

Министерство науки и высшего образования  
Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего  
образования «Санкт-Петербургский горный университет»

*На правах рукописи*

Иванова Дарья Александровна



ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКОГО РОСТА ГОРНОРУДНОГО  
ПРОИЗВОДСТВА С ПРИМЕНЕНИЕМ КОМПЛЕМЕНТАРНЫХ АКТИВОВ

Специальность 08.00.05 - Экономика и управление народным хозяйством  
(экономика, организация и управление предприятиями, отраслями, комплексами –  
промышленность)

Диссертация на соискание ученой степени  
кандидата экономических наук

Научный руководитель:  
доктор экономических наук, профессор  
Пономаренко Т.В.

Санкт-Петербург – 2021

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ОГЛАВЛЕНИЕ .....	2
ВВЕДЕНИЕ.....	4
ГЛАВА 1 АНАЛИЗ ПРОБЛЕМ ЭКОНОМИЧЕСКОГО РОСТА ГОРНОГО ПРОИЗВОДСТВА ..	9
1.1 Экономический рост горного производства в условиях современных требований к устойчивому развитию .....	9
1.2 Анализ специфики рисков предприятий добывающей отрасли и горнорудного производства .....	21
1.3 Оценка возможностей и ограничений, влияющих на экономический рост горнорудных предприятий (на примере АО «СУБР») .....	45
1.3.1 Анализ возможностей экономического роста алюминиевой отрасли России .....	45
1.3.2 Оценка производственных и экономических результатов АО «СУБР» в составе ОК РУСАЛ.....	52
1.3.3 Анализ влияния специфических горных рисков на экономический рост горнорудного производства в АО «СУБР» .....	56
1.4 Выводы к главе 1 .....	59
ГЛАВА 2 ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКОГО РОСТА ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ ЗА СЧЕТ РАЗВИТИЯ ЦИФРОВЫХ АКТИВОВ .....	61
2.1 Анализ и оценка современного состояния цифровизации горной промышленности.....	61
2.2 Экономические проблемы идентификации цифровых активов .....	77
2.3 Направления развития цифровых активов для экономического роста горных предприятий .....	87
2.4 Выводы к главе 2 .....	93
ГЛАВА 3 ФОРМИРОВАНИЕ КОМПЛЕМЕНТАРНЫХ АКТИВОВ ГОРНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ В ЦЕЛЯХ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКОГО РОСТА .....	95
3.1 Развитие концепции комплементарных активов .....	95
3.2 Обоснование состава и взаимодействия комплементарных активов на горном предприятии для обеспечения экономического роста.....	112
3.3 Разработка методического подхода к оценке эффектов от применения комплементарных активов на горном предприятии .....	120
3.4 Выводы к главе 3 .....	129
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	131
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	133
ПРИЛОЖЕНИЕ А Классификация рисков.....	165
ПРИЛОЖЕНИЕ Б Совокупная ценность цифровизации горной отрасли в 2016-2025 гг. ....	169
ПРИЛОЖЕНИЕ В Ценность цифровизации горной отрасли на 2025 г. с учетом сценариев ....	170

ПРИЛОЖЕНИЕ Г Алгоритм формирования комплементарных активов для обеспечения экономического роста в условиях воздействия горных рисков .....	171
ПРИЛОЖЕНИЕ Д Пример карточки горного удара .....	173
ПРИЛОЖЕНИЕ Е Расчет объема бурения .....	174

## ВВЕДЕНИЕ

### **Актуальность темы исследования и степень ее разработанности**

В условиях современной конкуренции в минерально-сырьевом секторе и необходимости ускоренного роста и развития национальной экономики на государственном уровне поставлены задачи увеличения объемов производства ряда видов товарной продукции из минерального сырья. Проекты по разработке месторождений полезных ископаемых по масштабу, воздействию и последствиям являются социально-значимыми, поэтому экономический рост горной отрасли осуществляется в условиях требований устойчивого развития.

Горные предприятия, ведущие разработку месторождений полезных ископаемых подземным способом как в России, так и за рубежом, сталкиваются сегодня с двумя вызовами: во-первых, необходимость наращивания объемов добычи некоторых видов минерального сырья вследствие увеличения спроса и изменения его структуры (например, по металлам), во-вторых, усложнение условий горного производства. Ограниченность качественных запасов руд цветных металлов обуславливает увеличение глубины разработки: в России – более 1200 метров, в мире – до 4000 метров. Это обуславливает появление новых неопределенностей и рисков, оказывающих влияние на промышленную безопасность, а также на возможности экономического роста горнорудных производств и предприятий.

Ограничение экономического роста горнорудного производства обусловлено рисками, ведущими к повышению аварийности работ. Несмотря на множество проектных и технологических решений по обеспечению безопасности добычи в таких условиях, их применение не обеспечивает надежного прогнозирования и управления рисками в изменчивых горно-геологических условиях, что влияет на производственные и экономические показатели горного производства и горной компании.

Поэтому в современных условиях горнорудного производства актуальна разработка экономического инструментария, обеспечивающего достижение плановых показателей и экономический рост горного производства и компании.

Проблемы экономического роста и эффективности горного производства и компаний МСК и ТЭК в широком контексте являются направлением многолетних исследований Научной школы «Рациональное недропользование» Горного университета, включая работы Н.Я. Лобанова, А.Е.Череповицына, С.В.Федосеева, Т.В.Пономаренко и многих других ученых. Экономический рост горной компании с точки зрения управления рисками горного производства рассмотрен в работах М.Х. Пешковой, Е.С. Фомичева, Г.Ю. Боярко, исследование специфических горных рисков представлено в работах Д.В. Сидорова, Д.О. Щербинина, анализ и воздействие рисков на социальный и экологический аспекты деятельности горного

предприятия выполнены в трудах Л.А. Мочаловой, Н.О. Калединой, W.E. Falck, T. Flitton, L. Mancini.

Управленческие проблемы внедрения цифровых технологий в горной отрасли исследованы в работах Ю.А. Плаkitкина, Ю.С. Плаkitкиной, С.А. Жиронкина и многих других специалистов, при этом С.М. Никитенко, Е.В. Гоосен, L. Barnewold, B. G. Lottermoser подчеркнули ограниченность и необходимость дальнейшего развития цифровизации.

Исследования экономических проблем в рамках концепции комплементарности представлены в работах В.С. Катькало, Р. Milgrom, J. Carmona-Lavado. Возможность применения этих идей в управлении промышленным предприятием, а также вопросы повышения экономической эффективности рассмотрены В.А. Хайтбаевым, Е.Н. Ветровой, Т. Astebro, X.L. Zhou.

Несмотря на значительное количество публикаций по тематике исследования, задача обеспечения экономического роста горнорудного производства в условиях ограничений, связанных с горным риском, требует дальнейших исследований и разработки комплексного подхода.

### **Цели и задачи**

Цель работы состоит в разработке методического подхода к формированию комплементарных активов на горнорудном предприятии в условиях высокого риска с целью обеспечения экономического роста горнорудного производства.

Задачи исследования:

- выявить влияние сложных горно-геологических условий на экономический рост горного производства и проанализировать экономические последствия аварий на горных предприятиях; классифицировать риски горного производства, уточнить их специфические виды в горнорудном производстве, а также проанализировать методические подходы к оценке ущербов от проявления рискованной ситуации с целью их влияния на экономический рост компании;
- выполнить оценку эффективности цифровизации на горном предприятии при решении различных производственных и управленческих задач, определить влияние цифровизации на экономический рост;
- выполнить анализ концепций комплементарных активов и обосновать состав комплементарных активов горного предприятия для целей экономического роста;
- разработать методический подход к формированию комплементарных активов на горнорудном предприятии в сложных горно-геологических условиях, включая циклический алгоритм и методику определения эффектов, обеспечивающий экономический рост горного производства.

### **Научная новизна**

1. выявлена специфика влияния горных рисков на экономический рост горнорудного производства, обусловленная современным состоянием и усложнением горно-геологических условий ведения работ;
2. доказана ограниченность применения цифровых активов для решения задачи обеспечения промышленной безопасности в условиях высоких специфических горных рисков, ограничивающих экономический рост горнорудного производства;
3. обоснован состав комплементарных активов горного предприятия, включающий результаты интеллектуальной деятельности, цифровые активы и организационный капитал, выявлены их характеристики, основанные на взаимосвязи активов, опциональности и циклических комплементарных связей;
4. разработан методический подход к формированию комплементарных активов горнорудного предприятия, функционирующего в сложных горно-геологических условиях, включающий сбор и обработку данных и информации с применением цифровых активов, проведение НИР и НИОКР, а также формализацию полученных результатов интеллектуальной деятельности в регламенты, создающие организационный капитал горной компании.

Полученные научные результаты соответствуют паспорту специальности 08.00.05 – Экономика и управление народным хозяйством (экономика, организация и управление предприятиями, отраслями, комплексами – промышленность):

1.1.2. Формирование механизмов устойчивого развития экономики промышленных отраслей, комплексов, предприятий.

1.1.11. Оценки и страхование рисков хозяйствующих субъектов.

1.1.13. Инструменты и методы менеджмента промышленных предприятий, отраслей, комплексов.

### **Теоретическая и практическая значимость работы**

Диссертационное исследование вносит вклад в обогащение научного знания в области обоснованного формирования комплементарных активов в целях обеспечения экономического роста горнорудного производства при ведении работ в сложных горно-геологических условиях. Практическая значимость работы состоит в оценке горных рисков в горнорудном производстве в сложных горно-геологических условиях ведения работ; разработке алгоритма формирования комплементарных активов на горном предприятии в целях обеспечения экономического роста; расчете прямого экономического эффекта от оптимизации затрат на обеспечение промышленной безопасности горнорудного производства на примере АО «СУБР».

### **Методология и методы исследований**

Теоретической основой диссертационного исследования являются концепции комплементарных активов, устойчивого развития и риск-менеджмента, представленные в работах отечественных и зарубежных ученых, а также концепции цифровой экономики и четвертой промышленной революции (Индустрии 4.0). Методической основой проведения исследования являются методы технико-экономического, сравнительного, статистического, финансового анализа, а также методы синтеза и аналогии.

### **Положения, выносимые на защиту**

1. Экономический рост горнорудного производства при разработке месторождений дефицитного и ценного минерального сырья должен определяться выполнением планируемых технико-экономических показателей с соблюдением требований промышленной и экологической безопасности, с учетом стратегических возможностей горной компании и ограничений, обусловленных влиянием специфического горного риска, связанного с усложнением горно-геологических условий.
2. Для обеспечения экономического роста горнорудного производства может применяться комплекс комплементарных активов, включающий цифровые активы, организационный капитал и результаты интеллектуальной деятельности, сформированный на основе разработанного методического подхода, последовательно объединяющего процессы мониторинга и сбора данных; проведение специальных научно-исследовательских работ; опытно-промышленные испытания; изменение параметров системы разработки месторождения.
3. При оценке экономического роста горнорудного производства с применением комплементарных активов следует учитывать совокупность прямых и косвенных экономических эффектов, включая оптимизацию затрат на обеспечение промышленной безопасности, а также экологического и социального эффектов вследствие снижения горного риска.

### **Степень достоверности и апробация результатов**

В ходе работы были применены современные подходы к обеспечению экономического роста горного производства, а также проведено исследование значительного объема актуальных научных публикаций по данной тематике, анализ нормативно-правовой базы, обзор мировых консалтинговых агентств и отчетов компаний минерально-сырьевого комплекса.

Главные идеи и научные результаты диссертационного исследования были представлены на следующих Всероссийских и Международных научных конференциях:

1. 59ая международная студенческая научная конференция по горному делу (AGH Научно-технический университет, Краков, Польша; 06 декабря 2018 года);

2. XXI Межвузовская студенческая научная конференция «Студент — исследователь — учитель» (РГПУ им. А. И. Герцена, Санкт-Петербург; 1-4 апреля 2019 года);
3. XVII Всероссийская конференция-конкурс студентов и аспирантов горно-геологического, нефтегазового, энергетического, машиностроительного и металлургического профиля (Горный университет, Санкт-Петербург; 27-29 марта 2019 года), диплом II степени;
4. XVII Межвузовская студенческая научно-практическая конференция «Наука, образование и технологии в контексте глобальной конкуренции: взгляд молодых лидеров» (Международный банковский институт, Санкт-Петербург; 23 мая 2019 года);
5. 14ый международный Фрайбергско-Петербургский коллоквиум молодых ученых (Фрайбергская горная академия, Фрайберг, Германия; 06 июня 2019 года);
6. 62ая Международная научная конференция (Горно-геологический университет, София, Болгария; 18 октября 2019 года);
7. XXII Российско-Германская сырьевая конференция (Горный университет, Санкт-Петербург; 27-29 ноября 2019 года);
8. XII научно-практическая конференция с зарубежным участием ЭКОНОМИКА ПРОМЫШЛЕННОСТИ (ЭКОПРОМ-2020) (Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург; 19-21 ноября 2020 года);
9. Международная научно-практическая конференция молодых учёных «Научные исследования современных проблем развития России: цифровая трансформация экономики» (Санкт-Петербургский государственный экономический университет, Санкт-Петербург; 15 февраля 2021 года), диплом.

### **Публикации**

Результаты диссертационной работы в достаточной степени освещены в 18 опубликованных работах, в том числе в 4 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 1 статье – в издании, входящем в международную базу данных и систему цитирования Scopus.

### **Структура диссертации**

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения и библиографического списка. Содержит 178 страниц машинописного текста, 22 рисунка, 14 таблиц, список литературы из 384 наименований и 6 приложений на 14 страницах.

## ГЛАВА 1 АНАЛИЗ ПРОБЛЕМ ЭКОНОМИЧЕСКОГО РОСТА ГОРНОГО ПРОИЗВОДСТВА

### 1.1 Экономический рост горного производства в условиях современных требований к устойчивому развитию

Базовые вопросы устойчивого развития исследуются с начала XX века – задолго до появления самого устоявшегося термина «устойчивое развитие». Среди первых оценок воздействия людей на природу следует отметить труды В.И.Вернадского – автора учения о биосфере, который утверждал, что человечество путем своей деятельности влияет на окружающую среду, преобразуя ее и внося изменения в ход протекания естественных процессов [93]. Вернадский подчеркивал, что производственная деятельность не проходит бесследно для природы, и будет только усиливать свое воздействие на нее вследствие развития техники и технологии. Во второй половине XX века некоторые исследования проблемы взаимодействия людей и природы носили в большей степени философский характер и делали акцент на взаимосвязи двух систем – природы и общества - и возникающих между ними взаимоотношений. Например, А.Д. Урсул утверждал, что прогрессивное развитие общества в информационном аспекте неизбежно должно вести в той или иной степени к деградации окружающей среды [226]. Данная точка зрения является слишком категоричной, потому что напрямую развитие информационного общества не подразумевает роста негативного влияния на экологическую ситуацию, а может его вызывать из-за несогласованности действий или отсутствия проработанных механизмов такого развития.

На международном уровне в 1980 году Международным союзом охраны природы, Комитетом ООН по окружающей среде и Всемирным фондом дикой природы была подготовлена Всемирная стратегия охраны природы, подчеркивающая важность и необходимость учета экологических факторов в ходе хозяйственной деятельности. Именно там было упомянуто понятие устойчивого развития и сделан акцент на том, что «достижение цели устойчивого развития должно осуществляться посредством сохранения живых ресурсов» [379].

При этом многие критики отмечали, что авторы Стратегии, имея все возможности внести большой вклад в сочетание интересов местных сообществ и движения по защите окружающей среды, ограничились поддержкой лишь экологических интересов, фокусируясь на сохранении биологического разнообразия видов и экологических процессах [328]. Продолжая фокусироваться на экологических приоритетах с середины века, в 1980-х годах понятие «устойчивое развитие» продолжало восприниматься как «экологическое устойчивое развитие» или «развитие в соответствии с требованиями окружающей среды» [367]. В нем не учитывались какие-либо другие аспекты, имеющие значение для заинтересованных сторон.

Вследствие этого различные научные и общественные организации и исследователи начали предлагать новые определения, более полные и развернутые. Например, Программой Организации Объединенных Наций по окружающей среде предлагалось включать в понятие устойчивого развития следующие аспекты, направленные на организацию социальных программ: поддержка бедных, развитие здравоохранения, обеспечение чистой питьевой водой и т.д. [188]. Таким образом, «устойчивое развитие» стало не просто понятием, отождествляемым со снижением нагрузки на окружающую среду, а включало и социальные составляющие, что явилось началом перехода к комплексному подходу.

В 1983 году была основана Всемирная комиссия по окружающей среде и развитию под эгидой ООН, которая в 1987 году опубликовала доклад «Наше общее будущее», впервые давший официальное определение понятия «устойчивое развитие». Так, устойчивым развитием называлось «такое развитие, при котором удовлетворение потребностей нынешнего поколения не ставит под угрозу способность будущих поколений удовлетворять свои собственные потребности» [154]. Сегодня данное определение считается классическим, несмотря на то, что с момента его выхода многие ученые не раз подвергали его критике за сложность прогнозирования и оценки потребностей будущих поколений и неоднозначности факта удовлетворения потребностей текущими поколениями в силу значительного количества стран и регионов, живущих в условиях бедности.

В том числе и по этой причине, несмотря на существование официального определения, продолжается дискуссия по содержанию понятия «устойчивое развитие», составу и значимости его элементов. С одной стороны, это дает возможность экспертам обсуждать разные подходы к определению понятия, что способствует ее развитию. С другой стороны, наличие большого количества определений не обеспечивает точной и конкретной информации о том, что именно подразумевается под устойчивым развитием, и, следовательно, не дает шанса выстроить единый понятийный аппарат, который мог бы использоваться в дальнейших исследованиях [334].

В некоторые расширенные определения внесены дополнения, актуальные для определенных стран либо видов деятельности, однако сегодня основным содержанием является необходимость гармонизации трех факторов: экономического, экологического и социального [134]. Сложность состоит в том, что забота об окружающей среде и обществе не должны приносить финансовые потери, поэтому для гармонизации всех составляющих необходимо ясное понимание их взаимосвязи и учет интересов всех членов общества [264, 312]. Из-за комплексности данного понятия достижение устойчивого развития можно назвать глобальной целью, достижение которой сложно и очень медленно. Оно требует как изменения политики на уровне государств, так и перехода на новый уровень управления в компаниях.

Говоря об управлении в компаниях, следует учитывать особенности отраслей. Так, горное предприятие имеет ряд специфических особенностей, оказывающих непосредственное влияние на производственные и управленческие процессы, и, следовательно, показатели устойчивого развития компании. Они рассмотрены далее.

Во-первых, горное предприятие обладает уникальными активами. Это минерально-сырьевые активы, которые являются специфическими, и отсутствуют в других отраслях.

Впервые понятие «специфический актив» было введено О.Уильямсоном, который трактовал его как «особенные, нетривиальные инвестиции, имеющие ценность лишь в определенных рамках» [173]. Суть специфических активов состоит в том, что они не могут альтернативно использоваться без потери своей ценности, не являются доступными в той же степени для остальных пользователей, используются в течение длительного периода времени и отличаются значительной капиталоемкостью.

Специфические активы обладают рядом характеристик, выделяющих их на фоне остальных активов. Например, это специфичность местоположения актива и его природы. Под специфичностью местоположения актива понимается невозможность либо нерентабельность перемещения актива в пространстве. Специфичность природы актива предопределяет его использование в производственном процессе, необходимость применения определенной техники и технологии, а также низкую вероятность альтернативного использования.

Что касается минерально-сырьевых активов, то они полностью отвечают данным требованиям, а также характеризуются некоторыми уникальными особенностями [202]:

- исчерпаемость;
- невозобновляемость;
- неотчуждаемость;
- отсутствие свободного доступа;
- сложность оценки по рыночной стоимости;
- оценочная качественная и количественная характеристика.

Во-вторых, отличительной характеристикой горного предприятия является его высокая капиталоемкость, вызванная производственной необходимостью применения дорогостоящих основных средств для добычи, переработки и транспортировки сырья, а также строительства подземных сооружений и наземных комплексов. Горное предприятие отличается высокой фондо- и материалоемкостью, обусловленной необходимостью поддержания производственной мощности, а также обслуживания и ремонта оборудования. Например, строительство новых мощностей в горно-химическом производстве оценивается в 1,5 млрд долл. США на 1 млн тонн  $P_2O_5$  [68].

Отдельно заметим, что не только строительство горного предприятия и его эксплуатация являются капиталоемкими и затратно-затратными. Из-за привязки горных предприятий к конкретному месторождению, часто расположенному вдали от развитой инфраструктуры, после прекращения ведения работ такие основные средства являются неликвидными. Примером может служить Кашпирское сланцевое месторождение Волжского сланцевого бассейна. В 2000-х гг. было принято решение о нецелесообразности дальнейшего ведения работ. Сравнительный анализ затрат на ликвидацию и консервацию производства показал, что несмотря на высокую стоимость обоих мероприятий, закрытие шахты, включая затраты на засыпку наклонных стволов, демонтаж оборудования, рекультивацию земель, является более экономичным, чем консервация, включающая затраты на электроэнергию, вентиляцию, откачку воды и другие специализированные процессы [193].

В-третьих, горные предприятия характеризуются значительной нагрузкой на окружающую среду. Особенно это актуально для открытых горных работ, так как уничтожается растительный покров, происходит вырубка леса, образование отвалов, проведение взрывов сопровождается значительным выбросом пыли, уменьшается стойкость почв, что ведет к образованию эрозии и т.д. [97]. Однако вне зависимости от способа ведения горных работ – открытого, подземного или комбинированного – существует ряд негативных последствий, оказываемых горной промышленностью на окружающую среду. Сюда относится изъятие минерально-сырьевых (топливно-энергетические ресурсы, твердые полезные ископаемые) и естественных природных (флора, фауна, подземные воды) ресурсов, шумовое, тепловое, электромагнитное и радиоактивное загрязнение гидро-, био- и атмосферы [147]. По официальным данным, в 2019 году объем сбрасываемых в поверхностные водоемы вод, образовавшихся в результате деятельности горнодобывающих предприятий, составил 1 394,0 м<sup>3</sup>, из которых 996,0 м<sup>3</sup> – загрязненные сточные воды; всего на территории страны складировано более 45 млрд т отходов горного производства разных классов опасности [176].

Перечисленные факторы и примеры свидетельствуют о том, что для горной промышленности тема устойчивого развития особенно актуальна. Это подтверждает проведенный автором обзор мировых достижений по этой тематике.

Первые документы приняты в конце XX века, когда в 1998 году главы крупнейших горных компаний пришли к выводу о необходимости глобальных изменений в горной добыче. Тогда Всемирным советом деловых кругов по вопросам устойчивого развития (World Business Council for Sustainable Development) была запущена глобальная инициатива, получившая название Global Mining Initiative. После этого Международным институтом окружающей среды и развития (International Institute for Environment and Development) было проведено исследование устойчивости горной промышленности, представленное в Проекте по горному

делу, металлам и устойчивому развитию (Mining, Minerals and Sustainable Development project) [317].

Помимо этого, существует значительное количество национальных и международных инициатив, например, Канадская Инициатива по устойчивому горному делу (Towards Sustainable Mining Initiative) или Европейская Ассоциация горнодобывающей промышленности, металлических руд и промышленных минералов (Euromines – European Association of Mining Industries, Metal Ores & Industrial Minerals) [274].

Именно поэтому, несмотря на значительное число исследователей, ставящих под сомнение саму возможность называть «устойчивой» отрасль, производственный процесс которой заключается в нарушении недр и изъятии сырья [117, 375], требования устойчивого развития являются важнейшими для горной промышленности. Объединение экологического, социального и экономического аспектов обеспечивает достижение горной отраслью максимальных показателей эффективности [322, 341]. Поэтому в условиях требований к устойчивому развитию экономический рост горного предприятия должен учитывать улучшение технико-экономических показателей с учетом социальных и экологических требований.

Социальная составляющая в триаде устойчивого развития понимается очень широко и включает разные сферы: от антропологических взглядов [48, 275] до психологических [265, 309]. Рассматриваются вопросы взаимодействия горных компаний с местными сообществами и влияние горнодобывающей промышленности на их благополучие [48, 265, 275].

Особого внимания в социальной составляющей заслуживает концепция SLO (Social license to operate) – «Социальная лицензия на деятельность». Концепция представляет собой «неформальное разрешение местного сообщества на деятельность компании» [197]. В России пока данной теме уделяют мало внимания, несмотря на значительное число конфликтов между компаниями добывающей отрасли и местными сообществами и, следовательно, высокую актуальность темы. При этом концепция значима не только для горной отрасли, на основе которой зародилась [356] и для которой является ключевым фактором [298], но и на другие отрасли промышленности, деятельность которых затрагивает интересы местного населения. Наличие такой лицензии способствует улучшению репутации компании, облегчает доступ к ресурсам, способствует усилению рыночной конкуренции, укрепляет отношения со стейкхолдерами и оказывает позитивное влияние на сотрудников, в то время, как при ее потере компания сталкивается с давлением заинтересованных лиц, что ведет к усилению контроля за ее деятельностью и ограничению доступа к рынку [289].

Социальные, юридические и экономические ограничения наравне с историей компании и ее корпоративной культурой оказывают влияние на восприятие компании стейкхолдерами, которые представляют собой совокупность разных групп лиц с разными интересами, что

подчеркивает, что социальная лицензия не может рассматриваться изолированно, только для определенной их части, и должна быть гибкой, чтобы учитывать различия в культурных и социальных особенностях [343]. Причем понимание концепции не ограничивается только взаимодействием между самой компанией и исключительно местным сообществом, а распространяется на региональный, национальный и международный уровень [333].

Важность данной темы подтверждается исследованиями международных консалтинговых компаний. Например, KPMG в классификации рисков горной индустрии в 2019-2020 гг. выделяет риск утраты социальной лицензии в качестве одного из наиболее важных рисков, отводя ему третье и четвертое место в классификации, в 2019 и 2020 году соответственно [370]. E&Y также подчеркивает значимость общественного одобрения деятельности горной компании, причем, если в 2017-18 гг. риск его потери занимал седьмое место [167], то в 2020 и 2021 годах данный риск возглавляет рейтинг [368, 369]. Это объясняется тем, что отрасль привлекает к себе больше внимания со стороны общественности, предъявляющей все более серьезные требования к соблюдению этических стандартов.

Отметим, что социальная составляющая устойчивого развития при этом не должна пониматься исключительно как взаимодействие компании с внешним миром. Социальная ответственность перед персоналом также важна, поскольку горное предприятие относится к опасным производственным объектам [229], следовательно, обеспечение безопасности горного производства является неотъемлемым требованием ведения работ.

Анализ статистических данных показывает, что порядка 60% всех травм и аварий вызваны ошибочными представлениями о реальном уровне опасности горного производства [219]. Несмотря на значительное количество нормативных документов различного уровня, регулирующих безопасность ведения работ, уровень травматизма в горной промышленности остается высоким.

Проведенный автором анализ данных о воздействии вредных производственных факторов по отдельным видам экономической деятельности по материалам Федеральной службы государственной статистики [225] показал, что горнодобывающая отрасль является лидирующей среди всех анализируемых отраслей по удельному весу работников, подвергшихся такому воздействию, что показано в таблице 1 [225].

Конвенция Международной организации труда №176 о безопасности и гигиене труда [111] устанавливает порядок обеспечения безопасности и осуществление надзора во время ведения горных работ. Конвенция обязывает работодателей не только минимизировать риск ведения работ за счет проведения необходимых мероприятий и принятия мер предосторожности, но и обеспечивать полное информирование трудящихся об опасностях, связанных с их работой, и существующих факторах риска.

Таблица 1 – Удельный вес работников, подвергавшихся воздействию вредных производственных факторов, по отдельным видам экономической деятельности в 2020 году, %

	Сельское, лесное хозяйство, охота, рыболовство и рыбоводство	Добыча полезных ископаемых	Обрабатывающие производства	Обеспечение электрической энергией, газом и паром; кондиционирование воздуха	Водоснабжение; водоотведение, организация сбора и утилизации отходов, деятельность по ликвидации загрязнений	Строительство	Транспортировка и хранение	Деятельность в области информации и связи
Воздействие шума и ультразвука	10,5	32,9	26,0	16,9	15,8	15,5	13,5	0,6
Воздействие вибрации	6,5	12,5	3,6	2,7	4,3	7,2	6,5	0,1
Воздействие неионизирующего излучения	0,6	1,7	1,7	1,3	0,9	2,2	0,9	0,1
Воздействие ионизирующего излучения	0,1	0,1	0,7	1,3	0,8	0,5	0,1	0,0
Воздействие аэрозолей	1,9	12,1	6,5	3,9	1,6	3,5	1,1	0,1
Воздействие химического фактора	5,2	9,2	12,1	6,3	9,7	6,9	2,9	0,4
Воздействие микроклимата	4,7	2,6	5,1	4,7	1,0	1,5	1,2	0,1
Воздействие световой среды	2,2	2,6	2,8	1,6	1,5	1,0	0,7	0,1
Воздействие биологического фактора	1,4	0,2	0,3	0,2	2,5	0,1	0,1	0,1

При этом, во-первых, Конвенция ратифицирована не во всех странах, а, во-вторых, ее выполнение не всегда гарантируется.

Например, во многих развивающихся странах с ресурсно-ориентированной экономикой и горнодобывающей промышленностью, уровень контроля и мер по обеспечению безопасности является низким, конвенция официально не утверждена. Ярким примером является Пакистан, где в 2020 году на шахтах погибли 208 рабочих [2]. Несмотря на то, что профсоюзы возмущены текущей ситуацией, на государственном уровне отсутствуют попытки решения проблемы аварийности, сами горные компании также не обеспечивают адекватных аварийно-спасательных мероприятий, а в случае аварии с летальным исходом выплачивают семьям погибших лишь незначительную компенсацию. В качестве решения проблемы эксперты видят ратификацию конвенции, приведение законодательства стран в соответствие с ее принципами,

проведение инструктажей по безопасности и создание инспекции по охране труда в стране. Аналогичные ситуации наблюдаются в Индии [118], Грузии [138] и ряде других стран.

Другим примером являются аварии на хвостохранилищах Бразилии. Прорыв дамбы в Брумандиньо в 2019 году стал крупнейшей промышленной катастрофой в истории Бразилии. Погибло 248 человек, 22 числились пропавшими без вести. Однако эта авария произошла через три года после аналогичного прорыва дамбы, когда жертвами стали 19 человек [32]. Эксперты утверждают, что повторение события было вызвано игнорированием тревожных сигналов и предоставлением правительству Бразилии заведомо ложной безопасности о безопасности дамбы, что подтверждает факт несоблюдения Конвенции.

Помимо Конвенции, существуют различные международные инициативы, направленные, в том числе, на повышение уровня безопасности. Например, в 2018 году вышла программа «Стандарты по обеспечению ответственной горной добычи» [39], включающие требования в области охраны труда, обеспечения безопасности. Кроме этого, также освещаются вопросы борьбы с загрязнением окружающей среды, защиты прав коренных народов и т.д.

Также в 2018 году была разработана «Карта ответственной горной добычи», дающая возможность горным компаниям продемонстрировать приверженность принципам социальной ответственности [352]. Ее целью является способствование распространению информации и налаживание контактов между компаниями и заинтересованными в ее деятельности лицами.

Несмотря на значительную работу в области повышения устойчивости горной добычи, по данным отчета «Горнодобывающая промышленность 2019г.» компании PwC за год число несчастных случаев со смертельным исходом возросло с 96 до 120 по 20 компаниям из 40 крупнейших добывающих предприятий мира, которые раскрывают статистические данные [169]. Это подчеркивает необходимость принятия регламентов и организации мероприятия по контролю их выполнения и снижению воздействия негативных факторов на здоровье людей, а также приоритетного внимания к фактору промышленной безопасности.

Как было показано ранее, сущность устойчивого развития заключается в том, что все его компоненты влияют на жизнедеятельность горного предприятия и являются взаимозависимыми.

Например, экологическая и социальная составляющие горного производства объединены при внесении изменений в использование земель, что оказывает влияние на местное сообщество.

Положительным примером, иллюстрирующим тесную взаимосвязь экологического и экономического аспектов, может являться повышение извлечения полезного компонента из рудной массы. Это способствует не только росту экономической эффективности горного производства, но и снижает объем горнопромышленных отходов, что положительно

сказывается на динамике затрат по их утилизации. Повышение энергоэффективности обуславливает снижение объемов выбросов углекислого газа и более низкие операционные затраты [314].

Примером взаимосвязи экономических и социальных аспектов может являться создание рабочих мест [117]. Отметим, что вопрос обеспечения занятости является дискуссионным, так как, с одной стороны, действительно способствует улучшению благосостояния жителей региона, особенно в случае моногородов, что характерно для горной отрасли, с другой стороны, вызывает ряд трудностей, связанных с высвобождением персонала в случае закрытия предприятия.

Для ресурсоориентированных стран на сегодняшний день отсутствует возможность отказа от горнодобывающей промышленности вследствие ее важности для экономики. Поэтому вопросы устойчивого развития рассматриваются не с точки зрения закрытия предприятий, а с точки зрения минимизации вредного воздействия производств. В России горная отрасль является одной из отраслей промышленности, которые нуждаются в развитии вследствие интенсивного воздействия со стороны внутренних факторов (истощение запасов, ухудшение их качества), а также внешних условий (изменение спроса, его структуры и объема и т.д.).

Для повышения эффективности горной промышленности важно обеспечение прироста запасов минеральных ресурсов за счет опережения темпов геологоразведки над добычей сырья. Данная проблема характерна для горной промышленности многих стран. Например, мировой объем добычи нефти за последние 10-15 лет в 3-5 раз превысил объем восполнения запасов, связанный с открытием и доразведкой новых месторождений, что отражено на рисунке 1 [162].

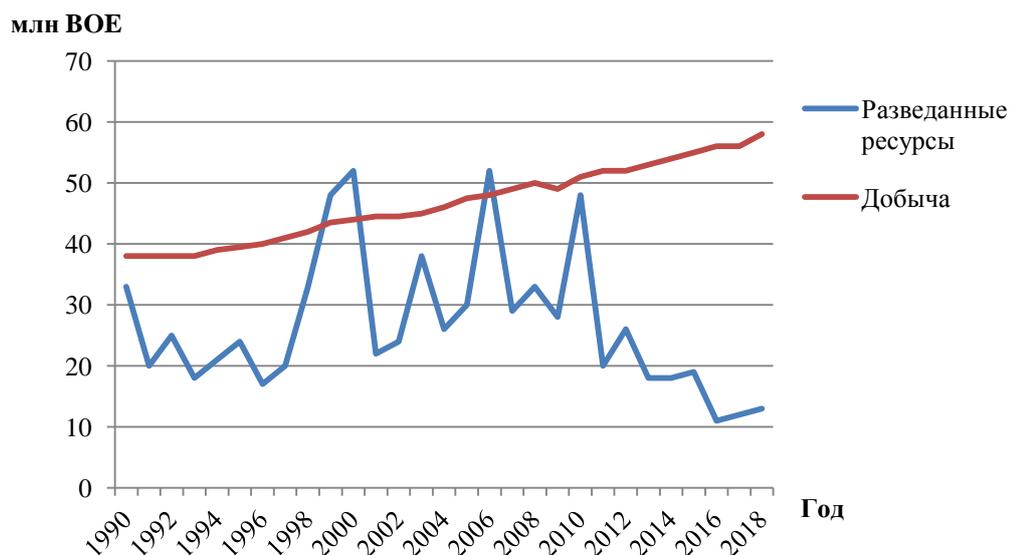


Рисунок 1 – Объемы добычи и восполнения запасов нефти в мире [162]

Что касается результатов геологоразведочных работ в России, то до сих пор остаются месторождения с низкой степенью изученности. Например, в случае Западно-Сибирского и

Тимано-Печорского нефтегазоносных бассейнов, она не достигает 60%, Лено-Тунгусского бассейна – 30% [211]. При этом, имеются факты обнаружения крупных месторождений, например, в 2014 году в Астраханской области было открыто месторождение «Великое» с запасами нефти, оцененными в 300 млн тонн [211].

Современное развитие геологоразведочных работ в России характеризуется следующим. Например, в 2020 году ГРП проводились на 48 завершающихся и 19 новых объектах твердых полезных ископаемых; по итогам ожидаются приросты прогнозных ресурсов по 8 видам минерального сырья [7]. Однако, несмотря на достигнутые результаты, эксперты характеризуют эту отрасль как проблемную. В период с 2015 по 2019 год расходы государства хоть и оценивались как недостаточные [41], но показывали тенденцию к росту: с 251 млрд руб. в 2015 году до 314 млрд руб. в 2019 [194]. 2020 год охарактеризовался падением затрат на 20% относительно уровня предыдущего года, что было вызвано снижением деловой активности на фоне запретительных мер вследствие пандемии коронавируса. Что касается перспектив на период 2021-23 гг., то в соответствии с Федеральным законом «О федеральном бюджете на 2021 год и плановый период на 2022 и 2023 годов» планируется уменьшение бюджетных ассигнований на 10% на государственную программу «Воспроизводство и использование природных ресурсов» [194]. Это свидетельствует об ограничениях расширения МСБ и увеличения числа горных предприятий и их производственной мощности.

Соответственно, рост объемов производства в горной отрасли и ее экономический рост могут быть достигнуты как за счет вовлечения в отработку запасов новых месторождений, так и за счет более интенсивного освоения месторождений с бедными запасами или сложными условиями их разработки и обогащения, с применением новых технологий.

Сложный производственный процесс в горно-металлургической компании (ГМК) укрупненно можно представить как комбинацию горнодобывающего, обогатительного и металлургического производства [128]. Соответственно, экономический рост и эффективность ГМК зависит от взаимосвязей и взаимных требований всех производственных процессов [123]. Поэтому рост экономической эффективности, результативности и стоимости ГМК определяется экономическим ростом горного предприятия (ГОКа, сырьевого дивизиона в ГМК), который зависит от экономического роста горного производства.

Под экономическим ростом горного предприятия как самостоятельного хозяйствующего субъекта понимается улучшение экономических показателей, прежде всего, прибыли от продажи, определяющей рост стоимости компании. На увеличение прибыли от продажи влияют значения показателей затрат, качества и объемов товарной продукции. Эти показатели могут быть улучшены за счет интенсивного способа с внедрением новых технологий, методов и способов организации производства и труда, направленных на снижение

затрат, рост содержания полезного компонента, снижение примесей, увеличения объемов с учетом качества, а также – экстенсивного способа за счет вовлечения дополнительных ресурсов.

Под экономическим ростом в узком значении для горного производства понимается рост горнотехнических показателей, включая объемы горнопроходческих, подготовительных, нарезных работ, а также объемов добычи горной массы. На такой экономический рост влияют потери сырья при добыче, обеспечение промышленной безопасности, отсутствие чрезвычайных ситуаций, вызывающих простои и т.д. Следует учитывать, что увеличение объемов добычи минерального сырья для его последующей переработки характеризует экстенсивное направление роста. Обеспечение неизменности объемов добычи минерального сырья при переходе на другие горизонты, участки, блоки и т.д. характеризует интенсивное направление, т.к. спецификой горной отрасли является необходимость поддержания производственных мощностей.

Горнорудное производство является одним из наиболее сложных видов горного производства и характеризуется комплексом особенностей, включая сложные горно-геологические условия, изменчивость качества руды, ее ценность. Изменчивость подразумевает непостоянство состава добываемого сырья и нелинейное изменение его качественных характеристик.

Увеличение объема товарной продукции после обогащения возможно за счет как непосредственного увеличения объема добываемой руды, так и снижения показателей потерь и разубоживания вследствие оптимальной организации добычных работ и выбора системы разработки месторождения. В технологическом процессе – обогащении – совершенствование технологий направлено на повышение коэффициента извлечения полезного компонента. Множество технологий непрерывно совершенствуются и находятся на современном пределе эффективности.

Под качеством руды понимается ее соответствие определенным показателям, основными из которых являются [106, 256]:

- минералогический состав, в том числе содержание полезного компонента и наличие примесей;
- показатель контрастности, то есть однородность состава руды или равномерность распределения полезного компонента;
- кусковатость;
- влажность.

Важность соблюдения требований к параметрам руды обусловлена высокой инерционностью обогатительного производства [170]: производственные процессы настроены

на обогащение руды определенного качества, отклонения от которого вносят серьезные изменения в ход процесса обогащения в силу невозможности его быстрой адаптации к новым условиям. Поэтому качество поступающего сырья обуславливает экономические, технологические и экологические результаты деятельности обогатительного комбината и эффективность работы ГОКа.

Проблема повышения качества добываемого минерального сырья не может решаться переходом на участки с более высоким содержанием полезного компонента в связи с истощением качественных запасов руды, одним из перспективных решений в обогащении является применение системы управления качеством руды.

В академических кругах [256] распространено мнение, что основное влияние на качество готовой продукции оказывает процесс обогащения, так как задача обогатительной фабрики состоит в производстве товарной продукции (разнообразных концентратов) из добытого минерального сырья с разными качественными и количественными изменениями в составе. Однако такой подход недооценивает функцию добычных единиц: рудники способны принимать участие в повышении качества рудопотока, обеспечивая первичный комплекс мер по его формированию. Формирование качества в непосредственной близости от забоя является менее сложным и трудозатратным, чем при ведении этого процесса удаленно от места добычи.

Классифицируя способы управления качеством руды при добыче сырья, можно условно выделить горно-технологические, организационные и экономические способы [106]. Под экономическими способами понимается интегральная оценка влияния вариантов управления качеством на производственные показатели предприятия с учетом как внутренних факторов, так и ситуации на рынке. Организационные способы управления качеством руды в забое представляют собой мероприятия с добытой рудой определенного состава, направленные на улучшение его показателей. К ним относятся определение порядка выемки руды, транспортировки, доставки, погрузки и выгрузки и т.д. Горно-технологические способы направлены на изменение самого процесса добычи руды и позволяют регулировать ее качественные показатели за счет изменения применяемой системы разработки или ее параметров. Помимо этого, они могут включать и дополнительные процессы, основанные на разделении или смешении руд. Процессы разделения (сепарационные) процессы представляют собой изъятие какой-либо части руды из ее общей массы в случае заметного отклонения по уровню качества (изменение содержания полезного компонента). Процессы смешения (усреднительные) представляют собой объединение объемов руды разного количественного и качественного состава с целью получения требуемого среднего значения. Проведение таких работ непосредственно в забое позволяет оптимизировать не только затраты на

транспортировку, но и сразу обеспечить поставку сырья в соответствии с требованиями обогащения.

Следует подчеркнуть, что процессы обогащительного производства имеют определенные технологические ограничения, что обусловлено развитием технологий и не может быть преодолено в конкретный момент времени с сохранением экономической эффективности. Поэтому для достижения экономического роста горного предприятия необходимо увеличение объемов добычи руды для достижения планируемых показателей либо поддержание объемов при работе на более глубоких горизонтах в сложных условиях.

Экономический рост горного предприятия и горнорудного производства может оцениваться с учетом возможностей и ограничений.

Под возможностями экономического роста горнорудного производства понимается наличие эффективной минерально-сырьевой базы, горного предприятия – государственных стратегий, направленной на поддержку и стимулирование развития отраслей МСК, рассмотренные в параграфе 1.3. диссертации. Ограничениями экономического роста горного предприятия и производства являются различные риски для предприятия и горные риски для производства, исследованные в параграфах 1.2. и 1.3. диссертации.

## **1.2 Анализ специфики рисков предприятий добывающей отрасли и горнорудного производства**

Неопределенность сопровождает любую хозяйственную деятельность вне зависимости от отрасли, размеров компании и ее производственно-экономических показателей. Суть неопределенности состоит в том, что все хозяйственные процессы происходят в условиях недостатка информации о самих процессах и влияющих на них внешних и внутренних факторах, что обуславливает возможность появления негативного исхода. Согласно наиболее распространенному определению, под неопределенностью понимается «такое положение, которое определяется отсутствием, неполнотой, недостаточностью и асимметрией информации о каком-либо объекте, процессе, явлении, в отношении которого ведется работа» [27].

Основные факторы неопределенности:

- Усложнение процесса производства определяет необходимость увязки характеристик машин, оборудования, механизмов друг с другом и учета степени адаптации к условиям работы конкретного предприятия.
- В социальной среде предприятия происходит интеграция и взаимодействие персонала. Поэтому важная роль отводится человеческому фактору, а точнее – сложности предсказания действий работников, что создает среду для появления неопределенности.

– Условия внешней среды, т.е. действие природных и погодных факторов, изменения геополитической обстановки, рыночной конъюнктуры и множества других постоянно изменяются и вносят свой вклад в возникновение неопределенности.

В горной промышленности неопределенность возникает во всех процессах производства: от работ по геологоразведке и поиску месторождений полезных ископаемых до завершающих этапов эксплуатации рудника. В горной промышленности на хозяйственную деятельность влияние оказывают такие виды неопределенности, как [88]:

- экономическая;
- ценовая;
- информационная;
- политическая;
- правовая;
- природно-климатическая;
- конфликтных ситуаций;
- неопределенность свойств недр.

Экономическая неопределенность характеризует влияние изменений в среде экономических субъектов или экономике государства, например, изменение структуры спроса и его объема, колебание курса валют, появление новых конкурентов и их поведение на рынке и т.д.

В качестве одного из проявлений экономической неопределенности необходимо отметить ценовую неопределенность. Она вызвана тем, что цены на сырьевые товары зависят от разных факторов и в большинстве случаев не контролируются государством, и в результате отличаются высокой волатильностью.

Ярким примером является изменение ситуации на рынке редкоземельных металлов (РЗМ). Добыча РЗМ началась еще в XIX веке, однако стремительный рост спроса был зафиксирован в конце XX века. Так, если в 1980 г. объем производства РЗМ в пересчете на оксиды составлял 26 тыс т, то к середине 2010-х годов он вырос до 100-120 тыс т. [161]. Это связано с ростом потребления РЗМ бурно развивающимся сектором высоких технологий. Изменение объема спроса на РЗМ вызвало развитие рынка и, как следствие, изменение цен. Так, если в 1980-90х гг. Китай являлся лидирующим производителем продукции, сохраняя монопольный контроль над рынком благодаря правительственным программам в стране, то с начала 2000-х годов ситуация изменилась, и Китай начал снижать объемы экспорта. Отсутствие альтернативных поставщиков повлекло за собой непредсказуемый рост цен: в 2009 г. средневзвешенная цена оксидов РЗМ колебалась на уровне 10 долл/кг, в середине 2011 г. достигла уровня в 190 долл/кг

[161], что подтверждает указанную выше сложность прогнозирования экономических факторов.

Другим примером, характеризующим неопределенность цен, может являться их изменение за относительно короткий период под влиянием ситуационных факторов. Вследствие пандемии коронавируса в первой половине 2020 года цены на медь снизились на 20%, на никель на 13%, на цинк на 14%. Аналогичная ситуация наблюдалась с ценами на драгоценные металлы: цена на золото снизилась на 6%, на серебро – на 30%, на платину – на 35%, на палладий – на 38% [112].

Информационная неопределенность отражает недостаток либо недостоверность данных о составляющих хозяйственной деятельности компании. В условиях цифровизации информация признается особо ценным активом горного предприятия, так как совершенствуются методы сбора данных, их обработки и интерпретации, что положительно сказывается на качестве принимаемых управленческих решений и, соответственно, производственно-экономических показателях работы горного предприятия. В качестве примера можно привести ситуацию на разрезе «Щербиновский», где ведение работ было прекращено после ввода разреза в эксплуатацию. При этом объем инвестиций для приобретения техники составил 60 млн руб [234]. Пример иллюстрирует, что отсутствие необходимой информации для анализа ситуации может приводить к потере значительных объемов денежных средств на любой стадии производственного процесса.

Информационная неопределенность в горной отрасли включает, в том числе, отсутствие данных о процессах, происходящих на объекте ведения работ, например, скорость и направление сдвижения горных пород. Неполнота такой информации может стать причиной недостоверных прогнозов и, как следствие, возникновения аварийных ситуаций. Например, в 2005 году на шахте «Есаульская» в Новокузнецке произошел взрыв метановоздушной смеси, в результате его погибли 25 человек. Авария произошла при ликвидации пожара, когда в шахте находились как рабочие, так и горноспасатели. Расследование причин аварий показало, что расчет безопасного расстояния для работы горноспасателей происходил на основе недостоверных данных [1].

Политическая неопределенность представляет собой нестабильность политической обстановки в стране [318]. Политическая неопределенность в странах поставщиков оборудования, клиентов также играет важную роль и в результате может отразиться на спросе на продукцию, совокупности требований к ее качеству и уровню сервиса и т.д. Например, укладка труб газопровода «Северный поток-2» по дну Балтийского моря была приостановлена вследствие введений США санкций, направленных на европейских подрядчиков строительства.

Правовая неопределенность определяется несовершенством законодательства, включая разногласия, пробелы и противоречия. Например, обладание лицензией на добычу полезного ископаемого не предусматривает передачу прав на использование земельного участка. Орган недропользования не наделен полномочиями по изъятию земель, в результате чего собственники земли требуют от недропользователя значительные суммы за возможность ведения работ на территории. Раньше согласно закону «О недрах» лицензия выдавалась только в случае наличия предварительного согласия органа управления земельными ресурсами либо собственника земли на отвод участка, однако в дальнейшем эта норма утратила силу, что в результате негативно сказалось на деятельности недропользователя [220].

Природно-климатическая неопределенность характеризует особенности влияния климата на хозяйственную деятельность компании. В качестве примера природно-климатической неопределенности можно назвать стихийные бедствия и природные катастрофы, а также суровые климатические условия, например, в Арктике. В горной промышленности это актуально для месторождений, разрабатываемых открытым способом, так как условия горного производства в карьерах в большей степени зависимы от изменения погоды. В глубоких карьерах зимой при антициклонах высока вероятность образования переходящих в смог туманов, что изолирует карьер от воздухообмена с внешней средой и ведет к росту концентрации угарного газа.

Неопределенность конфликтных ситуаций включает, например, изменение поведения клиентов, политики компаний-монополистов на рынке и т.д.

Перечисленные виды неопределенностей характерны в различной степени для компаний любых отраслей, для горной промышленности особое значение имеет неопределенность свойств недр, под которой понимается изменчивость характеристик минерального сырья и вмещающих пород, их динамика и т.д. Несмотря на разнообразные методы изучения недр, до настоящего времени не существует способов, позволяющих с полной уверенностью утверждать о возможности получения всех необходимых данных для безопасного ведения работ. Учитывая возрастание глубин добычи и усложнение горно-геологических условий, можно сделать вывод о том, что неопределенность свойств недр со временем будет возрастать.

Неопределенность среды, оказывающей влияния на хозяйственную деятельность компании, обуславливает возникновение рисков. Ситуация риска представляет собой один из видов ситуации неопределенности [89], при котором вероятность наступления определенного события не просто существует, но и поддается определению.

В научной литературе существует множество определений риска. Наиболее общее понимание риска - «явление, сопутствующее всякой неопределенности при принятии

решений», либо как «ситуативная характеристика деятельности, состоящая в неопределенности ее исхода и возможных неблагоприятных последствиях в случае неуспеха» [139].

С экономической точки зрения базовым является определение риска как вероятности отклонения дохода от ожидаемого значения [358], однако анализ литературы по теме показал, что сегодня исследователями предлагается множество определений, делающих акцент на разных аспектах риска. Существуют определения, ориентированные на причины появления риска и факторы неопределенности: в [338] и [231] утверждается, что возникновение риска обусловлено недостатком информации. Другим авторам ключевым признаком риска представляется ущерб, причиняемый субъекту хозяйственной деятельности в случае наступления рискованной ситуации. На данном утверждении основаны как научные определения риска ([143]), так и принятые в документах государственных органов ([54], [59]). Третий тип определений риска обобщает два предыдущих подхода, в [116] утверждается, что «риск – это совокупность значений возможного ущерба в некоторой стохастической ситуации».

Недостатком рассмотренных подходов является представление риска как исключительно негативного события, что неверно, так как риск характеризуется возможностью получения не только отрицательных, но и положительных последствий [63]. Именно возможность получения выгод и является причиной, по которой осуществляются определенные рискованные действия, поэтому учет этого фактора важен для понимания природы риска.

Важной особенностью рисков является то, что в силу многообразия отраслей, объектов и процессов определение риска не может быть унифицировано и должно уточняться с учетом конкретных условий. Так, в горной отрасли возникновение риска, с одной стороны, обусловлено природными факторами и условиями, а с другой стороны, усиливается стремлением недропользователя максимизировать прибыль от добычи сырья [83]. При этом принятые решения по ведению горных работ, особенно в подземных условиях, затем отражаются на процессах добычи при переходе на более глубокие горизонты. Поэтому для горнорудной промышленности определение риска должно учитывать возможное временное отставание появления негативных последствий как от времени принятия управленческих решений, так и от времени ведения горных работ.

Определение риска, отражающее специфику горной отрасли, по мнению автора, должно выглядеть следующим образом: риск в горной промышленности – это вероятность возникновения потерь каких-либо ресурсов горного предприятия либо убытков его стейкхолдеров, вызванная деятельностью горного предприятия или природы в условиях неопределенности свойств недр, которая сопровождает любую временную стадию процесса ведения горных работ.

Для горнорудных компаний можно выделить несколько факторов риска, отражающих особенности их деятельности [30, 31, 324].

Во-первых, усложняются условия ведения горного производства. Исчерпаемость минеральных ресурсов, сопряженная с ростом спроса на определенные виды минерального сырья, заставляет компании вести работы в условиях, ранее считавшихся не подходящими для эксплуатации. Например, самой глубокой шахтой в мире является золотодобывающая шахта Тау-Тона в ЮАР, где суммарная длина горных выработок превысила 800 км, а глубина добычи достигла 5 км. Температура на глубоких горизонтах достигает 60 градусов, что обуславливает значительный комплекс проблем по проветриванию, логистике и т.д. [301]. Необходимость производства работ на такой глубине связана с рекордным содержанием золота – 9 грамм на 1 тонну. Такой пример является не единственным. В мировой тройке шахт, лидирующих по глубине ведения работ, находятся шахты по добыче золота и урана Витватерсранд (4,5 км) и Западная шахта глубокого залегания (3,9 км), также расположенные в ЮАР [75]. За последние 45 лет максимальная глубина рудников в мире возросла в три раза, что свидетельствует не только об единичных случаях, а о тенденции к переходу на более глубокие горизонты [75].

В некоторых случаях компании возвращаются к добыче сырья на месторождениях, ранее считавшихся нерентабельными. Например, в 2012 году Кувейтской государственной нефтяной компанией было принято решение об инвестировании 500 миллионов долларов США в разработку нефтяных месторождений Alma и Galia в Северном море, добыча на которых велась в 1970-90хх гг., после чего была приостановлена из-за высокой стоимости [332]. В 2015 году работы возобновились, так как запасы только на месторождении Alma оцениваются в 29 млн баррелей нефти. Причиной этого стал рост спроса на нефть и объявление налоговых каникул Великобританией, где зарегистрирована компания EnQuest, контролирующая эти месторождения. Этот пример доказывает, что изменение рыночных условий, а также появление новых технологий, позволяющих вести добычу в сложных условиях, способствует возвращению к ведению ранее приостановленных работ.

Еще одним фактором высокого риска горнодобывающих предприятий является высокая продолжительность периода строительства и длительность периода от начала строительства до момента получения первых денежных потоков от продажи реализуемой продукции. В среднем по статистике [174], составляет 5-8 лет, однако может увеличиваться при неблагоприятных условиях действия внешних факторов. Это представляет особый риск, так как в течение строительства могут реализоваться различные факторы неопределенности, например, могут появиться новые источники энергии, произойти серьезные изменения на политической арене, быть внедрены современные технологии и т.д. Горное предприятие достаточно ограничено в

видах деятельности и производимой продукции, что в случае неблагоприятного изменения рыночной конъюнктуры приведет компанию к убыткам.

Дополнительно к этому фактору можно добавить, что период эксплуатации большинства горных предприятий является длительным. Средний срок отработки месторождения превышает 20 лет [157].

Таким образом, в горнорудной промышленности учет рисков является необходимым для принятия управленческих решений [323]. Горнорудная промышленность отличается от разработки пластовых месторождений более высокой изменчивостью характеристик полезного ископаемого, низким содержанием полезного компонента, высокой ценностью руды, а также разнообразием применяемых систем разработки и технологий. Эти особенности обуславливают необходимость анализа рисков как фактора угроз.

Минерально-сырьевая база представляет собой одновременно среду ведения работ, то есть является объектом риска, а также является фактором риска [243]. Поэтому добыча сырья невозможна без идентификации, анализа и оценки рисков горного производства.

Значительное число различных видов классификаций риска учитывает разные факторы. Ввиду актуальности темы, предпринимаются все новые попытки классификации рисков: ученые либо дополняют ранее созданные классификации новыми составляющими, либо перегруппировывают их. Под классификацией понимается систематизация различных видов риска, объединение их в группы и подгруппы на основании каких-либо общих признаков.

Автором осуществлена систематизация рисков, на основании существующих классификаций в научной литературе (Приложение А) [18, 19, 62, 73, 172, 239]. Анализируя предложенную классификацию, отметим, что некоторые признаки классификации, например, по возможности страхования, будут универсальны для всех отраслей промышленности. Иные, по видам экономической деятельности, основаны, в том числе, на сфере деятельности предприятия, поэтому для горной отрасли данная часть классификации требует уточнения.

В академическом сообществе тема определения специфических рисков горного производства представлена не очень широко, в части публикаций это сделано косвенно, уделяя внимание лишь отдельным аспектам.

Особо отметим, что оценка рисков нефтегазовой отрасли исследована наиболее широко. Существуют работы, посвященные идентификации рисков полного производственного процесса: от рисков, возникающих при разведке месторождений, до рисков самой эксплуатации месторождений.

А.А. Конопляник и С.В. Лебедев [113] при анализе рисков проектов по разработке нефтегазовых месторождений рассмотрели весь цикл проекта, объединив риски в следующие группы: политические, технические, технологические, экономические, управленческие,

юридические, экологические, форс-мажорные. Авторами не выделены риски, характеризующие специфику отрасли, а главная роль отводится политическим рискам. Это объясняется тем, что проекты рассматриваются с позиции возможности вложения в них денежных средств зарубежными инвесторами, для которых политическая ситуация в стране имеет принципиальное значение. Соответственно, недостатком предлагаемого подхода является его ограниченная применимость для российских инвесторов.

Маринина О.А. в своей работе [136] в качестве основных рисков нефтегазовых проектов выделяет геологические, технологические, экономические, ценовые и экологические риски, укрупненно рассматривая все группы и подчеркивая необходимость учета геологии месторождения для организации эффективного производственного процесса.

Кожухова О.С. предлагает 7 групп рисков нефтегазовой компании: отраслевые, страновые, финансовые, правовые, геологические, экологические, маркетинговые риски [107]. Отраслевые при этом представляют собой совокупность таких рисков, как падение цен на нефть и газ, технологические риски, производственные риски, наличие конкуренции, колебания цен на материалы и оборудование. Страновые риски включают политические, социальные и экономические риски. Финансовые риски объединяют инфляцию, колебания курсов валют и ставок по займам. И лишь геологические риски представляются как особые риски отрасли, характеризующиеся неопределенностью оценок запасов сырья, строения нефтяных залежей и т.д.

Алимбекова Н.К. выделяет две группы рисков нефтегазовой компании по месту их возникновения: внешние и внутренние [11]. К внешним причисляются при этом кредитно-банковские, рыночные, валютные, политические и другие риски, характерные для предприятий любой отрасли экономики. Внутренние риски включают технические, институциональные, маркетинговые, финансовые риски и риски нефтегазодобывающего предприятия. К последним относятся риски, возникающие под действием внутренних факторов, такие, как производственно-технологические и экологические риски, и внешних сил – геологические и природные риски. Таким образом, в работе не просто констатируется наличие особых рисков, они систематизируются и интегрируются в общую систему рисков предприятия.

В работе Болдырева Е.С., Бурениной И.В. и Захаровой И.М. [28] приведена аналогичная классификация, разница состоит лишь в ее упрощении и не включении некоторых видов риска в итоговую схему рисков.

Одна из наиболее полных среди имеющихся классификаций рисков компаний нефтегазовой отрасли представлена в работе Имамова Р.Р. [91]. Автором также выделяется две группы рисков, однако не по месту возникновения, а по соответствию отрасли. Первая группа – общие риски – включает в себя риски, характерные для любого предприятия, которые классифицируются по сфере проявления (юридические, социальные, страновые и др.), стадии

проявления (предоперационные и операционные риски), причинам возникновения (функциональные, денежные, инвестиционные риски и др.) и последствиям проявления (риск прекращения деятельности, вариационный риск и прочие). Вторая группа включает специфические риски, под которыми автором понимаются риски, характерные для определенной отрасли промышленности. Эти риски включают пять подгрупп, объединенных по стадиям работы нефтегазового предприятия. Стадия поисков включает риск неоткрытия месторождения и риск открытия нерентабельного месторождения. Стадия разведки характеризуется риском отклонения от оптимальной стратегии. Стадия разработки объединяет риск потерь полезного ископаемого, риск строительства скважин с низкими качественными характеристиками, риск изменений конъюнктуры рынка и риск возникновения форс-мажорных обстоятельств. Стадия транспортировки продукции охватывает риски отказа оборудования, риск потерь полезного ископаемого, риск строительства объектов с низкими качественными характеристиками, риск изменений конъюнктуры рынка и риск возникновения форс-мажорных обстоятельств. Стадия переработки нефтепродуктов объединяет риск потерь полезного ископаемого, риск строительства установок с низкими качественными характеристиками, риск отказов в работе оборудования, риск изменений конъюнктуры рынка и риск возникновения форс-мажорных обстоятельств.

Недостатком такой классификации является возможный двойной учет некоторых рисков. Принцип деления процесса на стадии предусматривает исключение такой вероятности, так как, например, под потерями на третьей стадии подразумеваются потери, вызванные неточностью определения объемов запасов, в то время, как на пятой стадии потери уже обуславливаются неточным определением объема переработки сырья и изменением его качественных характеристик. В то же время, осуществление форс-мажорного обстоятельства может затронуть несколько процессов, поэтому данная классификация хоть и призвана четко разделить стадии производства и отразить специфические риски на каждой из них, требует доработки.

Существует множество исследований, посвященных какому-либо конкретному риску предприятия нефтегазовой сферы. Например, Лебедев А.А. в своей работе [124] рассматривает геоэкологические риски, Сергеева И.Г. и Схаб Н.А. характеризуют экологические риски производства [203], Алимбекова Н.К. и Горбунов Д.В. [12] выделяют риски организационных преобразований, Головкина Е.К. рассматривает политические риски, их классификацию и влияние на деятельность компании [46], Мишкевич В.М. анализирует природные и техногенные риски при проектировании и эксплуатации объектов нефтегазового комплекса [144], Соболев Д.В. и Табурчак П.П. уделяют отдельное внимание ценовым рискам [212] и т.д.

В то же время, рассматривая добычу твердых полезных ископаемых, необходимо отметить, что данная тема находит заметно меньшее отражение в научной литературе.

Классификация и анализ рисков, возникающих при горном производстве представлены более ограниченно, что требует уточнения и доработки.

А.Д.Мурзиным и Т.М.Роговой отраслевые риски горнодобывающей промышленности делятся на две группы: измеряемые (параметрические) и непараметрические [150]. К непараметрическим относятся внешние риски (правовые) и внешне-внутренние (экологические и информационные). Параметрические, в свою очередь, включают внешние риски (ценовые и налоговые) и внутренние (геологические, технологические, горнотехнические). Таким образом, при добыче твердых полезных ископаемых, особая роль отводится горнотехническим рискам, связанным с условиями ведения работ. При этом, идентификации и анализу данных рисков в работе внимания не уделяется, а наиболее подробно характеризуются эколого-экономические риски.

Р.С. Марченко рассматривает проекты по добыче горнорудного сырья с точки зрения их практической реализации и выделяет риск отставании срока строительства, недополученной расчетной прибыли и удорожания стоимости реализации проекта [137]. К риску отставания сроков строительства он относит правовые риски и риски срыва сроков поставщиками и заказчиками. К рискам недополученной расчетной прибыли он причисляет рыночные, политические, финансовые и кредитные риски. И, наконец, риски удорожания стоимости реализации проекта включают экономические, налоговые, экологические, организационные, геологические, горнотехнические риски, а также риски увеличения капитальных и эксплуатационных затрат и риски безопасности. С одной стороны, данная классификация охватывает значительный набор факторов, с другой – горнотехнические риски влияют на безопасность ведения работ, поэтому могут пересекаться с рисками безопасности. Аналогично происходит с организационными рисками, так как организация работ по добыче сырья обуславливает вид применяемой техники и технологии добычи.

В. Кубински и др. в работе [14] описывают важность выделения специфических рисков вследствие их значительного влияния на поиск, подготовку и эксплуатацию месторождения. Авторами выделяются следующие виды рисков: геологический (относящийся к количеству и качеству минерально-сырьевой базы), технологический (технология добычных работ), экономический и финансовый (волатильность цен, колебания спроса и предложения, инфляция), политический (возможность приватизации, изменения в законодательстве), риски, связанные с безопасностью (возникновение несчастных случаев и профессиональных заболеваний). Принцип выделения именно таких групп рисков логичен, однако, как и в предыдущем случае, вызывает вопросы принципиальное разделение технологии добычи и возникновения аварий, генезис которых также может быть обусловлен технологическими характеристиками.

Е.А.Куклина, рассматривая риски инвестирования в системе управления недропользованием, выделяет пять блоков факторов риска: юридически-правовой, геолого-экономический, финансово-экономический, организационно-производственный и регионально-политический [120]. Таким образом, к специфическим для отрасли она относит геолого-экономические риски, проявляющиеся в неподтверждении запасов, погрешности расчета кондиций, недостоверности информации о параметрах месторождения. Помимо этого, в группе организационно-производственных факторов также выделяются такие риски, как неэффективная технология добычи и переработки, но помещение такого риска в одну группу с, например, низкой квалификацией персонала, вызывает вопросы, так как отличается от него по природе своего происхождения и привязкой к отрасли.

О.А.Леонова в своей работе опирается на существующие классификации экономических рисков горного производства [125] и выделяет макро- и микроэкономические риски. К макроэкономическим рискам автор относит природно-естественные, отраслевые, рыночные, фискальные, политические и научно-технические риски; к микроэкономическим – инвестиционный риск и производственно-хозяйственный риск шахты, включающий в себя производственно-технический риск, хозяйственный риск и риск нанесения экологического вреда. На первый взгляд, данная классификация является логичной, однако вопросы вызывают виды рисков, отнесенные к каждой из групп. Так, автор утверждает, что к макроэкономическим рискам относятся природно-естественные, например, риск горно-геологических нарушений. В то же время, микроэкономические производственно-хозяйственные риски шахты включают риск геодинамических явлений, по сути, учтенный выше.

В работе Заернюка В.М. и др. [76] классификация рисков горного производства представляется комплексной. Так, авторы делят риски горного производства на две группы: системные риски, под которыми они понимают риск финансовых результатов предприятия, и несистемные риски, носящие технический характер.

К системным рискам относятся политические, рыночные и макроэкономические риски.

Несистемные риски включают геотехнические (связанные с литологией, рудным генезисом), экономические (характеризующие объем добычи сырья, его качественный состав, капитальные и операционные расходы), экологические (загрязнение природной среды, шумовое воздействие) риски, а также риски минерального происхождения (непрерывность рудных зон, появление минералов в рудных зонах) и риски безопасности (контроль газов, вентиляция, степень механизации).

Данная классификация наиболее полно отражает реальную картину горнорудного производства, несмотря на то, что вопросы вызывают названия некоторых групп рисков. Так, экономические логичнее было бы разделить на производственные, учитывающие объем

добычи, и непосредственно экономические, отражающие расходы, а риски, характеризующие минеральный состав, отнести к рискам минерального происхождения.

Отметим, что также, как и в случае нефтегазовой отрасли, часть работ по теме рисков горного производства посвящена исследованию конкретных рисков. Например, Н.О. Каледина и О.В. Воробьева в работе [96] подчеркивают высокую аварийность отрасли и рассматривают организационные риски, связанные с вероятностью неадекватного взаимодействия персонала, обуславливающие рост технико-технологических рисков.

В статьях А.Ю. Цветковой [242, 243] выделяется особый горный риск, отражающий нехватку информации о строении недр, в пределах которых недропользователь осуществляет свою деятельность. Бесспорно, необходимость учета геологии месторождения высока, но рассмотрение данного рода неопределенности как источника возникновения именно горного риска является спорным.

Также горный риск как один из видов риска рассматривается В.Н.Захаровым [79]. Однако в его трактовке он включает геологический риск, отражающий точность оценки запасов, правовой риск, касающийся законодательных требований и лицензионных соглашений, инвестиционный риск, затрагивающий оценку необходимого объема инвестиций для достижения планируемого объема добычи, и операционный риск, характеризующий возможность достижения требуемых экономических показателей.

Проанализировав подробно литературу по рискам горнодобывающих производств, в том числе, сделав акцент на добыче твердых полезных ископаемых, можно утверждать, что горная отрасль, в силу действующих факторов неопределенности, характеризуется специфическими рисками – рисками горного производства.

### **Риски горного производства**

Как было отмечено ранее, горное производство характеризуется высоким уровнем опасности, соответственно, должно быть учтено значительное количество рисков, сопровождающих ведение работ.

Важными факторами, влияющими на уровень промышленной безопасности, являются технические риски, обусловленные применяемым оборудованием. В горной промышленности, особенно, при подземной добыче, различные машины и механизмы выполняют широкий спектр функций и включают различные виды оборудования [160]:

- для проходки горных выработок: проходческие комбайны, погрузочные и погрузочно-доставочные машины, прицепные устройства;
- для крепления горных выработок: механизированные крепи;
- для проведения очистных и добычных работ: экскаваторы, очистные комбайны;
- для шахтного транспорта: подъемные машины, клетки, скипы, вагонетки, скреперы;

- для механизации околоствольных дворов: маневровые устройства, загрузочные и разгрузочные скиповые устройства;
- для бурения, забойки и зарядки шпуров и скважин: перфораторы, бурильные машины, пневмоударники, буровые станки, каретки;
- для вентиляции: вентиляторы и вентиляционные устройства;
- для освещения: шахтные лампы;
- для пылеподавления: средства пылеподавления и пылеулавливания;
- для вспомогательных работ: ручные инструменты;
- прочее оборудование: датчики, сигнализаторы и т.д.

Процесс горного производства сопровождается высокой степенью механизации. А с учетом роста темпов автоматизации производства и развития безлюдной добычи перечень оборудования и устройств будет расширяться. Несмотря на совершенствование технических характеристик и надежности оборудования, аварии, обусловленные поломкой оборудования, распространены и представляют серьезную опасность. Например, в 2019 на шахте «Алексиевская» в Кемеровской области вышел из строя главный вентилятор [185], 95 рабочих были эвакуированы, никто не пострадал. В 2016 году на шахте «Интауголь» в республике Коми произошел обрыв воздушного шланга высокого давления в результате поломки оборудования, погиб один рабочий [6].

Еще одной группой рисков являются организационные риски, под которыми понимаются действия людей, которые привели к возникновению аварийных ситуаций. К причинам возникновения таких рисков можно отнести следующие [166]:

- рассогласованность работы различных служб предприятия;
- недостаточная квалификация персонала;
- нарушения информационного обеспечения;
- разнородная культура безопасности персонала;
- осознанное нарушение требований безопасности и т.д.

Последний фактор особенно характерен для горной отрасли, так как важным производственным результатом является фактическое выполнение плана добычи. Поэтому, несмотря на ухудшающиеся горно-геологические условия ведения работ, рабочие иногда идут на риск, пренебрегая требованиями безопасности. Например, для возможности продолжения работ шахтеры отключают датчики уровня метана, что и произошло на шахте «Ульяновская», входящей Кузнецкий угольный бассейн Кемеровской области [64]. Ростехнадзором было установлено, что оборудование, показывающее уровень метана в выработке, было намеренно

выведено из строя для обеспечения непрерывной добычи угля. В результате концентрация метана в шахте превысила норму, что привело к взрыву и гибели 108 работников.

При этом следует учитывать, что организационные риски включают как индивидуальные риски, связанные с квалификацией или дисциплиной работника, так и системные, характеризующие организацию работ на горном предприятии. В частности, курение является непосредственным нарушением со стороны шахтеров. Примером последствий является взрыв метана в 2014 году в Прокопьевске на шахте им. Дзержинского вследствие курения [65]. В то же время расследование аварии на шахте «Западная» показало, что причиной произошедшего стали действия менеджмента, по вине которого произошел прорыв вод подземного озера в главный скиповой ствол шахты. Руководство знало о существующей проблеме с водоотливом, но не предприняло попыток ее решения, так как компания, ведущая работы на шахте, являлась арендатором, в то время, как собственником – государство в лице Министерства энергетики и Министерства имущества России, владевших контрольным пакетом ОАО «Ростовуголь». Отсутствие договоренности между арендатором и арендодателем не позволило своевременно решить проблему откачки воды, что привело к аварии [51].

Следует отметить, что, несмотря на то, что технические и организационные риски влияют на уровень безопасности на горнодобывающем предприятии, риски такого рода в разной степени характерны для любой промышленности. Поэтому их нельзя включать в состав горного риска, но необходимо учитывать для оценки уровня безопасности работ.

Учитывая специфику горной отрасли, логичным представляется выделение специфического комплексного горного риска, учитывающего все отраслевые особенности. Как было отмечено, в литературе встречается такое понятие, однако его трактовка не отражает природу риска и зачастую либо включает излишние аспекты, либо не учитывает важных.

Для представления и идентификации специфического горного риска автором предлагается представить условия его возникновения: естественные природные условия и выбранная схема ведения добычных работ.

Естественные природные условия отражают горно-геологическую характеристику месторождения. Рассматривая горные риски, обусловленные влиянием факторов природной среды, можно укрупненно назвать их горно-геологическими и разделить на пять групп в зависимости от влияющих факторов, к которым можно отнести:

1. Выбросы газа. Они наиболее характерны для угольных шахт, так как угольные пласты характеризуются метаноносностью. Структура угля неоднородна, отличается своей трещиноватостью, именно от объема макропор и трещин зависит содержание свободного газа в угле. Поэтому скопления метана располагаются в пласте неравномерно.

Например, на шахте «Комсомольская» Воркутинского месторождения метаноносность пачки угля изменяется от 3,3 м<sup>3</sup>/т до 103 м<sup>3</sup>/т [108]. Выбросы газа часто приводят к авариям, в том числе, с человеческими жертвами. Например, на шахте им. С.Д. Титова в Кузбассе (входит в состав Промышленно-металлургического холдинга, ПМХ) в январе 2021 года при выполнении подземных работ произошел внезапный выброс газа. В момент выброса 44 шахтера были под землей, 41 удалось выйти на поверхность, 3 погибли. Добычные работы на время были приостановлены [152].

Опасность состоит не только в том, что происходит обвал пород. При наличии искры может произойти взрыв метана. На сегодняшний день все причины взрыва газов в шахте хорошо изучены, разработан целый комплекс мер по снижению негативного воздействия. В частности, несмотря на то, что самопроизвольный взрыв может произойти при концентрации метана в 9%, а критичным является уровень в 5% [252], уже при фиксации 2% концентрации метана газоанализаторами шахта обесточивается [184]. Проблема состоит в том, что в России пренебрежение требованиями техники безопасности происходит очень часто, поэтому если в мире около половины всех случаев травматизма обусловлено сложно прогнозируемым обрушением пород, взрывы метана считаются именно российской проблемой. В соответствии с данными Ростехнадзора, основными причинами аварий являются нарушение вентиляции горных выработок и их недопустимый уровень загазованности, вызванный, в том числе, умышленным отключением контрольных приборов [184].

Риски такого рода, вызванные низкой вероятностью прогнозирования выбросов газа, можно называть газодинамическими.

2. Запыленность, т.к. наличие пыли в горной выработке является причиной целого ряда проблем.

Во-первых, в случае угольных шахт, как было указано выше, угольная пыль является взрывоопасной. Так, именно взрыв газа и пыли является самой частой причиной крупнейших аварий в мировой истории горного дела [223]. Отметим, что в мировой горной отрасли аварии по причине взрывов газа и пыли были зафиксированы десятки лет назад, при этом, в России до сих пор происходят часто.

Во-вторых, наличие пыли является источником серьезных заболеваний. Для открытых горных работ негативное воздействие распространяется на десятки километров [40], соответственно, затрагивает не только рабочих, но и местных жителей. В случае подземных работ все влияние оказывается непосредственно на рабочих очистного забоя. При этом запыленность характерна не только для угольной промышленности, где она вызывает у рабочих такие заболевания, как пневмокониоз, пылевой бронхит, силикоз [190]. Вредное воздействие

оказывает также соляная пыль, раздражая кожные покровы, слизистые оболочки и внутренние органы [210].

Таким образом, атмосфера в руднике заслуживает отдельного внимания, поэтому в составе горного риска следует выделить аэрологические риски, связанные с ее составом.

3. Проявление горного давления в виде горных ударов, под которым понимается «мгновенное хрупкое разрушение целика или краевой части массива, проявляющееся в виде выброса руды (породы) в подземные выработки с нарушением крепи, смещением машин, механизмов, оборудования и вызывающее нарушение технологического процесса» [227]. Иными словами, горный удар представляет собой «разрушение массива руды или породы и сопровождается выбросом в выработанное пространство разрушенной горной массы с образованием ударной воздушной волны и проявлением сейсмического эффекта в результате мгновенного преобразования потенциальной энергии, накопленной в массиве, в кинетическую» [49].

Разрушение массива может происходить как по естественным причинам, так и вследствие ведения горных работ. При этом исследования [127] показывают, что именно естественные гравитационно-тектонические напряжения и геолого-структурные особенности массива являются основным фактором появления горных ударов. Механизмы происхождения горных ударов, их формы и виды различны. При этом значение имеет не только естественное напряженное состояние массива, но и горно-геологические условия, свойства пород и т.д. Так, механизмы, описывающие горные удары на угольных месторождениях, не могут быть применены к рудным.

В России на сегодняшний день порядка 50 рудных месторождений имеют склонность к горным ударам [49]. К таким месторождениям относятся месторождения Северо-Уральского бокситового рудника, Горной Шории, Норильска и Кольского полуострова и т.д. До недавнего времени считалось, что их главным фактором возникновения является глубина ведения работ, то сегодня она является лишь одной из причин, так как удары фиксируются даже на глубинах, не превышающих 300 м [49].

К естественным причинам возникновения горных ударов относятся естественное поле напряжений, вызванное тектоническими силами; концентрация напряжений вблизи разрывных нарушений; присутствие высокомодульных горных пород, склонных к хрупкому разрушению. Например, в 2011 году горный удар произошел на Таштагольском руднике в Кемеровской области [50]. Удар был зафиксирован на глубине 280 метров, в качестве причины называется землетрясение силой 3,8 балла. Таштагольское месторождение железных руд входит в состав Западно-Сибирского металлургического комбината группы «ЕВРАЗ», введено в эксплуатацию в 1941 году. С глубины 600 метров оно отнесено к опасным по горным ударам [115]. За период

его эксплуатации было зафиксировано более 38 тысяч геодинамических явлений, в том числе 21 горный удар, 78 микроударов [151].

Такие риски, связанные с вероятностью происхождения и наступления горного удара, можно назвать геомеханическими или геодинамическими.

4. Сдвигение горных пород, под влиянием проводимых горных работ и действием природных факторов. Тектонические процессы, выщелачивание, водопонижение, изменение механических свойств пород при их увлажнении или обезвоживании – все это является действующими причинами сдвига [5].

Риски, вызванные поведением горных пород, можно назвать тектоническими, так как тектонические силы наряду с гравитационными обуславливают сдвигения в горном массиве.

5. Прорывы воды, проникновение пресных или слабоминерализованных вод в выработку, является характерной особенностью месторождений водорастворимых руд, в первую очередь – соляных рудников. Это проблема является актуальной для рудников разных стран [121, 347, 376], а некоторые эксперты даже утверждают, что «из всех калийных рудников, введенных в эксплуатацию, потерянных в результате затопления больше, чем действующих» [20]. Растворение пород вызывает прорыв потока воды в выработку, что ведет к оседанию земной поверхности и появлению провалов.

Одним из самых известных примеров в российской калийной отрасли является рудник Березниковского калийного комбината в Пермском крае, принадлежащий ПАО «Уралкалий». Первые провалы фиксировались еще в 80х гг. XX века [52], однако масштаб катастрофы ситуация обрела в начале XXI века. В 2006 году на руднике был зафиксирован водоприток в 300 - 400 м<sup>3</sup>/ч, который вскоре достиг скорости 1200 м<sup>3</sup>/ч [20], процесс затопления рудника стал неуправляемым, горные работы были остановлены. В дальнейшем это стало приводить к образованию провалов. В 2008 году размер самого крупного провала составлял 385x270 м, в 2010 году появился еще один провал около ж/д станции, в 2011 году появилась воронка рядом с заводоуправлением, в результате засыпки которой погиб водитель. При этом провалы образовывались не только на территории, подконтрольной самому предприятию. В 2014 году обвал произошел на месте дачного поселка, пострадали несколько жилых домов.

Данная проблема характерна и для добычи других видов сырья, хоть и встречается реже. Например, Соколовское месторождение магнетитовых руд в Казахстане характеризуется опасностью прорывов обводненных песчано-глинистых отложений, наличием «закритичных» значений высоты остаточных водяных столбов в меловом горизонте и наличием карстов [61]. Аналогичная ситуация складывается на бокситовых месторождениях АО «СУБР» [200], где вскрытие горными выработками карстовых полостей или зон тектонических нарушений вызывает прорыв трещинно-карстовых вод.

Такие риски, вызванные действием подземных вод и растворов, можно определить как гидрогеологические.

Второй средой возникновения риска является непосредственно выбранная схема ведения добычных работ, в том числе – система разработки.

Параметры системы разработки влияют на безопасность работников в самом забое, на других участках месторождения или даже на поверхности. Например, камерно-столбовая система разработки, которая наиболее распространена на рудных месторождениях, характеризуется наличием пустот (отработанных камер), что вызывает перераспределение напряжений в массиве и, соответственно, может вести к обрушению пород. Помимо параметров разделительных, опорных и барьерных целиков, к факторам, способствующим возникновению рисков ситуаций, относятся: [166]:

- способы крепления подготовительных и очистных выработок;
- размеры обнажений пород;
- размеры горных выработок;
- размеры рабочих площадок;
- размеры этажей, подэтажей, блоков;
- количество концентрационных горизонтов;
- параметры буровзрывных работ;
- схемы грузопотоков и т.д.

Анализ ситуаций в горном производстве показывает, что действие данных факторов может проявляться как в краткосрочном периоде, так и спустя определенный промежуток времени. Например, на Верхнекамском калийном месторождении по добыче калийных руд через 20-30 лет на отдельных участках наблюдаются значительные разрушения. Отслоение пород в стенках целиков превышает 2 м, в кровле фиксируется наличие междупластий, это ведет к ускорению сдвижения горных пород. В результате скорость оседания достигает 500 мм/год, а величина конечных деформаций поверхности – превышает 4 м [261].

Риски, возникновение которых обусловлено выбранной схемой разработки рудного месторождения и ведения добычных работ, будем называть горно-технологическими.

Схематично состав рисков горного производства при добыче подземным способом можно представить следующим образом (Рисунок 2).

Риски могут быть взаимосвязаны, т.к. один фактор может обуславливать развитие другого, в результате их совокупность может приводить к непредсказуемым последствиям.



Рисунок 2 – Классификация рисков горного производства

Например, причиной взрыва на шахте «Северная» компании «Воркутауголь» стал выброс метана, к которому привел горный удар [23]. Известно, что на угольных месторождениях горный удар характеризуется высокой степенью разрушения, сопровождается выбросом газа и пыли, которые и образуют взрывоопасную смесь. Такого рода взрывы вызывают обрушение пород, что в результате приводит к образованию цепной реакции.

Что касается горнорудного производства, то для него в полной мере будут характерны технические и организационные риски. Добыча рудных полезных ископаемых, в отличие от добычи угля, не всегда сопровождается высокой запыленностью и выбросами газа, поэтому аэрологические и газодинамические риски обычно не характерны для горнорудного производства. Соответственно, из представленных горно-геологических рисков особо следует выделить геомеханические, тектонические и гидрогеологические риски. Применяемые системы разработки оказывают определенное влияние, поэтому горно-технические риски сопровождают добычу любых полезных ископаемых, включая рудные. Они являются наиболее частыми причинами аварий на производстве, что приводит к разного рода ущербам. Опыт эксплуатации рудных месторождений свидетельствует [261], что все эти факторы приводят к возникновению неблагоприятных последствий даже в случае соблюдения всех норм и нормативов при проектировании горных работ и отработке месторождения.

### Оценка экономического ущерба от аварий на горнорудных предприятиях

Проведенный анализ концепции устойчивого развития применительно к горной отрасли показал, что современное горное предприятие оказывает влияние на целый круг заинтересованных лиц, к которым относятся сотрудники, собственники, а также государственные органы, местное население и т.д. Их интересы будут различаться в зависимости от выполняемых ими функций, поставленных целей и ответственности [35]. Что касается интересов государства, то с учетом сырьевой направленности экономики России государство напрямую заинтересовано в получении доходов от недропользователей в форме налогов и других платежей. При этом являясь гарантом социального развития, государство также заинтересовано и в создании рабочих мест, развитии инфраструктуры регионов, минимизации экологического ущерба, развитии минерально-сырьевой базы и достижении комплексного использования минерального сырья и т.д. Одновременно необходимость увеличения объемов добычи приводит к ведению работ в более сложных и опасных условиях по многим видам полезных ископаемых, что негативно отражается на безопасности и актуализирует проблему согласованности интересов субъектов горнодобывающей промышленности.

Горнодобывающая промышленность является одной из отраслей экономики, где существует значительное количество негативных последствий, затрагивающих разные заинтересованные стороны. Ученые [339] показывают, что в выборке из 50 академических источников, посвященных последствиям горного производства, основные сферы являются следующими (Рисунок 3):

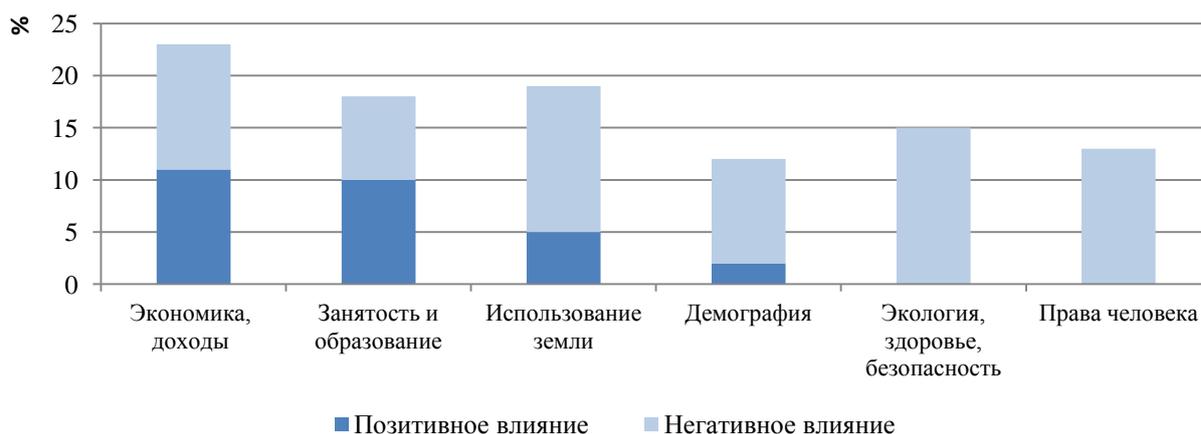


Рисунок 3 – Относительная частота упоминания соответствующей темы в научной литературе [339]

Количество упомянутых последствий, имеющих негативное влияние, в 2,5 раза превышает число позитивных последствий. Это свидетельствует о том, что горная отрасль характеризуется значительным негативным влиянием на экологию и общество, а также

отличается высокой аварийностью. Динамика случаев аварийности и смертельного травматизма с 2001 по 2016 гг., представляемая Федеральной службой по экологическому, технологическому и атомному надзору [69] подтверждает это (Рисунок 4).



Рисунок 4 – Динамика случаев аварийности и смертельного травматизма на объектах подземной добычи полезных ископаемых и разработке россыпных месторождений открытым способом [69]

При этом статистика учитывает лишь число аварий и не включает число несчастных случаев. Что касается последних пяти лет, то с 2016 года соотношение «добыча-инцидент» начало снижаться, но в настоящее время снова стало расти [189].

Высокая аварийность определяет высокий уровень ущерба. В горной промышленности расчет ущерба от возникновения чрезвычайных ситуаций осуществляется в соответствии с Методическими рекомендациями по оценке ущерба от аварий на опасных производственных объектах, утвержденными постановлением Госгортехнадзора России от 29.10.02 №63 [140].

В соответствии с ними, полный ущерб от аварии представляет собой сумму отдельных ущербов и определяется по формуле (1):

$$Y = P_n + Z_l + Y_k + P_c + Y_э + P_{тр}, \text{ руб.}, \quad (1)$$

где  $P_n$  – прямые потери компании, руб.;

$Z_l$  – затраты на ликвидацию и расследование аварии, руб.;

$Y_k$  – косвенный ущерб, руб.;

$P_c$  – социально-экономические потери, руб.;

$Y_э$  – экологический ущерб, руб.;

$P_{тр}$  – потери от выбытия трудовых ресурсов, руб.

Прямые потери компании включают повреждение основных фондов, товарно-материальных ценностей и имущества третьих лиц. Ранее было отмечено, что для подземных работ используются дорогостоящие горнопроходческие установки, буровые машины, аппараты

для крепления горных выработок, вентиляторы и многое другое оборудование. Соответственно, при авариях с учетом ограниченности пространства в выработке, оборудование подвергается значительному повреждению, а с учетом сложности и высоких затрат на подъем оборудования на поверхность с целью ремонта, оно остается в забое, являясь непригодным к использованию. Например, так произошло после аварии на шахте «Северная» в 2016 году, после которой шахта была законсервирована путем затопления. Стоимость оборудования, оставшегося в шахте, оценивается в 62 млн долларов США [78].

Основным отличием горной отрасли от других отраслей промышленности является наличие таких специфических активов, как горные выработки. Эти активы являются недвижимыми, их полное повреждение представляет собой значительные затраты для горного предприятия. Затраты на капитальный ремонт выработок также могут быть значительными, включают более 30 наименований работ, включая снятие рельсовых путей, забутовку пустот за крепью, разборку деформированных канавок, чистку водосборника, закладку выработок и т.д. [215].

Затраты на ликвидацию и расследование аварии в горной отрасли также достигают значительной величины. Расследование причин аварии осуществляется комиссией Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору. В состав мероприятий по ликвидации аварии могут входить различные действия, обусловленные видом аварии, состоянием горной выработки и т.д. Например, после взрыва на шахте «Северная» в 2016 году Техническим советом предлагалось «поставить перемычки у ствола шахты, где горит метан, заместить воздух азотом и таким образом потушить пожар» [254]. Однако это требовало спуска людей в шахту, что не удалось осуществить из-за серии повторных взрывов.

Что касается восстановления шахты «Северная», то эксперты оценили стоимость работ в 120-150 млн долларов США [254]. Эти затраты складываются из повторной проходки выработок, стоимость которой составляет около 100 000 рублей за погонный метр при общей длине выработок в 10 км, обновления проекта освоения месторождения из-за изменившихся геологических параметров вследствие взрыва, осушения шахты и затрат на электроэнергию. Для сравнения, затраты на восстановление шахты «Распадская», где произошел взрыв в 2010 году, составили 196 млн долларов США [254].

Косвенный ущерб учитывает вынужденные простои и связанные с этим расходы, а также выплату штрафов и неустоек. Помимо этого, могут быть другие статьи расходов. Например, на шахте «Северная» вследствие затопления повышается влажность угля, что в дальнейшем вызовет затраты на его просушку. Величина простоев зависит от масштаба аварии. Так, в случае значительных повреждений, как на «Северной», срок восстановления составляет не

менее года. «Распадской» удалось восстановить объемы добычи и довести их до предаварийного уровня только через пять лет.

Социально-экономические потери представляют собой затраты на компенсации в случае гибели и травмирования персонала. В 2012 году вступил в силу Федеральный закон «Об обязательном страховании гражданской ответственности владельца опасного объекта за причинение вреда в результате аварии на опасном объекте». Так как горные предприятия относятся к опасным производственным объектам, компенсационные выплаты, установленные в законе, распространяются и на них. Затраты на компенсации в случае гибели и травмирования персонала в соответствии с Законом [228] устанавливаются в размере:

1. двух миллионов рублей - в части возмещения вреда лицам, понесшим ущерб в результате смерти каждого потерпевшего (кормильца);
2. произведенных расходов, но не более 25 тысяч рублей - в счет возмещения расходов на погребение каждого потерпевшего;
3. причиненного вреда, но не более двух миллионов рублей - в части возмещения вреда, причиненного здоровью каждого потерпевшего;
4. причиненного вреда, но не более 200 тысяч рублей - в части возмещения вреда, причиненного в связи с нарушением условий жизнедеятельности каждого потерпевшего.

Обычно эти средства выплачиваются из страхового возмещения, получаемого предприятием, как указано в Законе, но на практике случаются ситуации, когда сумма страховых выплат не может покрыть все затраты. Например, шахта «Воркутинская» была застрахована на 10 млн руб, несмотря на то, что страховщики предупреждали о занижении суммы [218]. В результате, после взрыва в 2013 году с гибелью 18 человек, сумма выплат семьям составила 36 млн руб. Также должны были быть учтены затраты на погребение и возмещение ущерба пострадавшим, в таком случае выплаты осуществляются самим предприятием. Отдельно стоит учитывать, что травмирование или гибель людей не может учитываться наравне с потерей оборудования, так как имеет наибольшую степень опасности для общества.

Экологический ущерб является совокупностью ущербов от различных видов воздействия на объекты окружающей среды (загрязнение атмосферы, водных ресурсов, почвы и т.д.). Для предприятий по подземной добыче полезных ископаемых экологический ущерб не является определяющим за исключением редких случаев, как рассмотренный выше пример с ПАО Уралкалий в г.Березники. Однако обычно проявление геомеханических или геодинамических рисков в виде горных ударов не оказывает серьезной нагрузки на окружающую среду.

В целом нужно отметить, что аварии, оказывающие заметное влияние на экологическую ситуацию в регионе или приводящие к производственному травматизму или гибели работников, влияют не только на финансовые показатели, но и на стоимость и инвестиционную привлекательность горных компаний. Например, ПАО ГМК «Норильский никель» после аварии, связанной с обрушением конструкций в цехе горно-обогатительной фабрики в феврале 2021 года и повлекшей за собой гибель сотрудников, столкнулся с падением своих акций на Московской бирже. В день аварии снижение цен акций составило 3,8%, на следующий день падение усилилось и достигло уровня в 4,5% [9]. Это подтверждает оценку аварий не только в виде потерь материальных ресурсов и выплат компенсаций. Они влияют на положение компании на рынке и ее восприятие различными стейкхолдерами.

Потери от выбытия трудовых ресурсов из производства в результате гибели одного человека определяются как произведение доли прибыли, недополученной от одного работающего, на количество неотработанных рабочих дней в результате его гибели (принимается равным 6000) [140].

Анализ методического подхода к оценке ущерба от аварий на опасных производственных объектах показывает, что он полностью применим к горным предприятиям, включая добычу руды подземным способом. Он учитывает все важные составляющие ущерба, характерные для горной отрасли, и будет учтен в диссертации при определении эффектов от применения методов снижения горного риска.

Проведенный анализ примеров горного производства показал, что, несмотря на развитие нормативно-правовой базы и целого ряда мер по повышению безопасности производственных процессов на горном предприятии, аварийность остается значительной проблемой. Ухудшение горно-геологических условий добычи, недостаток опыта и компетенций для применения новых современных технологий, а также халатность персонала приводит к тому, что меры по обеспечению промышленной безопасности не обеспечивают гарантии при добыче минерального сырья.

Следует учитывать, что опыт и компетенции можно развивать, для чего сегодня созданы условия, что подтверждается анализом образовательных программ горных компаний, проводимых ими для своих сотрудников. Однако, ухудшение горно-геологических условий и горные риски представляют собой важнейшую проблему горного производства, так как, несмотря на развитие технологий, вопросы анализа и достоверного прогнозирования поведения горных пород в массиве требуют дополнительных научных исследований, разработки новых нормативных документов.

### 1.3 Оценка возможностей и ограничений, влияющих на экономический рост горнорудных предприятий (на примере АО «СУБР»)

#### 1.3.1 Анализ возможностей экономического роста алюминиевой отрасли России

В современных условиях развития промышленности спрос на алюминиевые сплавы растет во всех отраслях промышленности как в России, так и в мире в целом. Эксперты утверждают, что «алюминиевая промышленность должна быть приоритетом экономики» [13]. Это объясняется тем, что алюминий сегодня характеризуется широким спектром возможностей его использования, что обусловлено его свойствами. Благодаря таким характеристикам, как коррозионная стойкость, низкое электрическое сопротивление, высокая пластичность и теплопроводность, алюминий получил широкое распространение во многих отраслях промышленности: автомобилестроение, электротехника, аэрокосмическая промышленность, криотехника и т.д. Современной является возможность применения алюминия для получения водородного топлива [253]. Использование водорода сопряжено с различными проблемами (сложность транспортировки, взрывоопасность смеси), поэтому сегодня предлагается использовать энергоаккумулирующие вещества, такие, как алюминий, в качестве промежуточного энергоносителя. Также алюминий начинает шире использоваться в производстве специализированной одежды, применение которой рассчитано на нахождение человека в суровых погодных условиях, причем как в зонах низких, так и высоких температур [98]. Расширение сфер применения алюминия определяет рост спроса на металл. Так, согласно «Прогнозу долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2030 года», объем мирового спроса в 2010 году составил 36,7 млн тонн, прогнозные объемы представлены в таблице 2 [187]:

Таблица 2 – Прогноз мирового спроса на алюминий

	2010	2011-2015	2016-2020	2021-2025	2026-2030
Спрос, млн т/год	36,7	50,4	68,5	92,1	122,7
Прирост к 2010 году, %	-	37,3	86,7	150,9	234,3

В период с 2010 по 2019 гг. спрос на алюминий увеличивался, однако в 2019 году из-за развития китайско-американских конфликтов, которые привели к снижению темпов развития китайской экономики, впервые с 2009 года было зафиксировано падение спроса на алюминий.

В 2020 г, по прогнозам экспертов, вследствие стабилизации ситуации планировался рост спроса на алюминий, равный 1,3% по сравнению с предыдущим периодом [149], однако начавшаяся пандемия коронавируса и введенные по всему миру карантинные ограничения вызвали заметные отклонения от прогнозов. Так, согласно отчету ОК РУСАЛ [114], за первые

шесть месяцев 2020 года мировой спрос упал на 6,6%, что было вызвано, в том числе, сокращением производственных мощностей ряда машиностроительных предприятий ЕС. Однако, показатели выплавки первичного металла почти не претерпели изменений. Это было связано с тем, что остановка и повторный запуск электролизных линий требует высоких затрат. В результате, по итогам первого квартала 2020 года на мировом рынке образовался профицит в объеме 1,7 млн тонн ([149]), что вызвало падение мировых цен на металл (Рисунок 5).

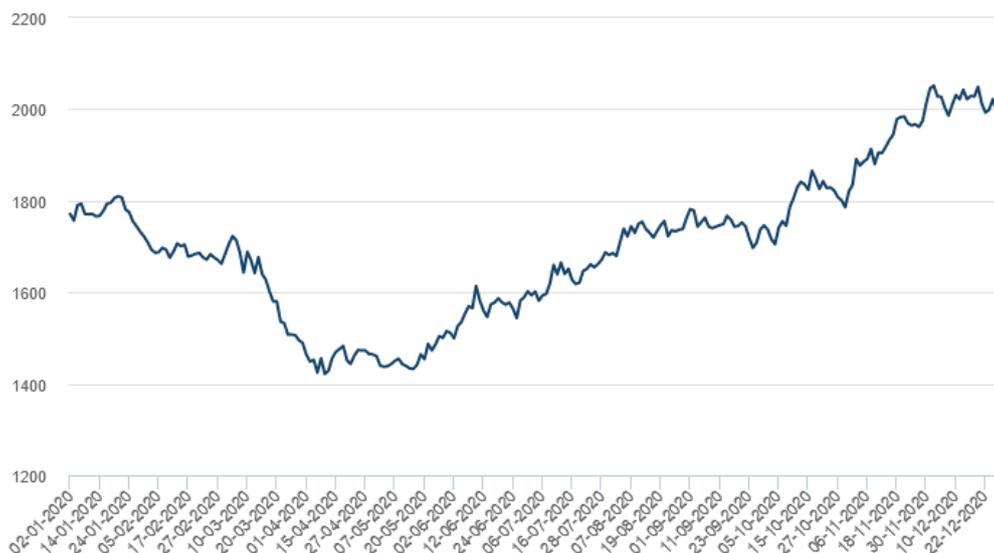


Рисунок 5 – График изменения цены на алюминий за период 01.01.2020-31.12.2020, долл. США/тонну [129]

Эксперты [15] утверждают о сохранении тенденции к росту цен, особо обращая внимание на применение алюминия в различных низкоуглеродистых отраслях – от возобновляемой энергетики до производства электромобилей, что в условиях мирового стремления к «зеленой энергетике» обуславливает рост спроса на металл. Прогноз цен на алюминий на 2021 год представлен в Таблице 3 [15]:

Таблица 3 – Прогноз средней цены алюминия в 2021 году

Источник	Цена, долл США/тонну
Reuters Poll	1 775
BofAM	2 000
Goldman Sachs	2 050

Прогнозы экспертов о росте спроса на алюминий: согласно Bloomberg, в ближайшие 5-10 лет в странах Европы ожидается рост потребления на 10%, в то время, как в США и Канаде к 2025 году лишь в автомобилестроении прогнозируется увеличение использования алюминия на 30-35% [148].

Добыча и производство алюминия играет важную роль и для экономики России. Так, в «Стратегии развития цветной металлургии России на 2014-2020 гг. и на перспективу до 2030

года» одной из целей ставится увеличение объема производства и экспорта алюминия на 30% [217]. Это позволяет сделать вывод о том, что алюминиевая отрасль характеризуется необходимостью экономического роста, как экстенсивного, подразумевающего увеличение производства товарной продукции за счет ввода новых мощностей и использования дополнительных ресурсов, так и интенсивного с производством дополнительной продукции за счет новых современных технологий.

Основным сырьем для производства алюминия являются бокситы и нефелиновые руды. Согласно Стратегии развития МСБ РФ до 2035 года [216], бокситы входят в третью группу дефицитных полезных ископаемых. Несмотря на наличие крупной сырьевой базы бокситов, их значительная часть отличается невысоким качеством, что ведет к вынужденному импорту сырья для внутреннего потребления и вовлечения в отработку нефелиновых руд.

Россия занимает шестое место в мире по величине запасов и восьмое место по объему добычи. В 2019 году в стране было добыто 6,6 млн т бокситов, из них – 5,96 млн т металлургического сорта для производства алюминия, было произведено 2,875 млн т глинозема и 3,9 млн т первичного алюминия, включая производство из импортированного сырья.

Основные месторождения бокситов приведены в таблице 4 [58, 60, 141, 213].

Таблица 4 – Основные месторождения бокситов и распределение их запасов и прогнозных ресурсов категории Р1 по субъектам Российской Федерации

Регион	Месторождения	Запасы, млн т	Ресурсы, млн т	Среднее содержание $Al_2O_3$ , %
Свердловская область	Кальинское, Ново – Кальинское, Черемуховское	422,2	10,6	50-54
Республика Коми	Вежаю-Ворыквинское, Верхне-Щугорское	352,6	47,5	46-51
Архангельская область	Иксинское	251,5	0	45-53
Белгородская область	Висловское	233,1	0	49
Красноярский край	Чадобецкое, Татарское, Горячегогорское	83,3	0	18-43
Алтайский край	Бердско-Майское, Обуховское	25,2	0	23-45
Кемеровская область	Кия-Шалтырское	8,9	0	22,5
Республика Башкортостан	Улуирское - 1	3,0	0	48-50

На рисунке 6 отражены объемы добычи сырья и производства продукции за период с 2010 по 2019 гг. в России в динамике.



Рисунок 6 – Динамика производственных показателей по добыче и переработке алюминиевого сырья в России в 2010–2019 гг., млн т [58]

Добыча бокситов и нефелиновых руд для производства алюминия осуществляется дочерними подразделениями ОК РУСАЛ, представленными на рисунке 7.

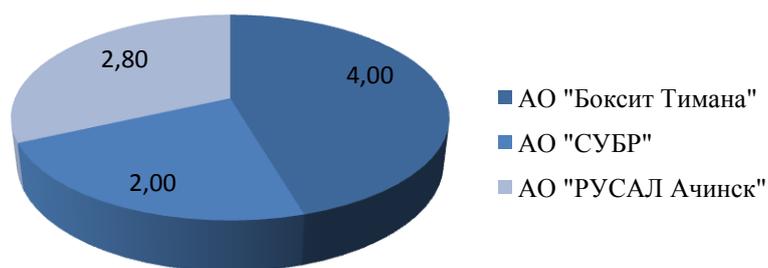


Рисунок 7 – Распределение добычи алюминиевого сырья в ОК РУСАЛ в 2019 году, млн т: [45]

АО «Боксит Тимана» (Республика Коми) ведет добычу высококачественных байеровских бокситов, которые направляются на Богословский и Уральский глиноземные заводы, и спекательных бокситов, перерабатываемых на Воркутинском, Новороссийском и других цементных заводах страны. По оценкам, срок обеспеченности запасами достигает 40 лет.

На АО «СУБР» в Свердловской области происходит добыча высококачественных байеровских бокситов, которые перерабатываются на Богословском и Уральском заводах, высококарбонатные бокситы направляются на цементные заводы и заводы черной металлургии. Обеспеченность запасами оценивается в 86 лет.

АО «РУСАЛ Ачинск» (Кемеровская область) ведет работы по добыче уртитовых (нефелиновых) руд, которые перерабатываются на Ачинском глиноземном комбинате. Запасы уже практически выработаны и срок отработки оставшегося сырья оценивается в 10 лет.

Структура алюминиевой промышленности страны представлена на рисунке 8:



Рисунок 8 – Структура алюминиевой промышленности России [58]

В России действуют три глиноземных и девять алюминиевых заводов, чья история начинается с 30-х гг. XX века, когда на Урале были обнаружены первые месторождения бокситов, в последствии ставшие сырьевой базой промышленности. Свое развитие они получили в военный и послевоенный период из-за высокого спроса на продукцию. В период с 1950-ых по 1970-ые гг. был открыт целый ряд заводов, функционирующих и сегодня. Некоторые из них стали бюджетобразующими предприятиями. На сегодняшний день в России действует 12 предприятий алюминиевой промышленности (Таблица 5) [163].

Таблица 5 – Предприятия алюминиевой промышленности Российской Федерации

Завод	Место расположения	Год ввода в эксплуатацию	Мощность, тыс т
Алюминиевые заводы			
КАЗ "РУСАЛ Кандалакша"	Мурманская область, г.Кандалакша	1951	72
НКАЗ АО "РУСАЛ Новокузнецк"	Кемеровская область, г.Новокузнецк	1943	215
КрАЗ АО "РУСАЛ Красноярск"	Красноярский край, г.Красноярск	1964	1 024
БрАЗ ПАО "РУСАЛ Братск"	Иркутская область, г.Братск	1966	> 1000
САЗ АО "РУСАЛ Саяногорск"	Республика Хакасия, г.Саяногорск	1985	542
ИрКАЗ Филиал ПАО "РУСАЛ Братск" в г.Шелехове	Иркутская область, г.Шелехов	1962	419
ВгАЗ "РУСАЛ Волгоград"	г.Волгоград	1959	69
БоАЗ ЗАО "Богучанский алюминиевый завод"	Красноярский край, Богучанский район	2015	258
«Хакасский алюминиевый завод»	Республика Хакасия, г.Саяногорск	2006	297
Глиноземные заводы			
БАЗ "РУСАЛ Краснотурьинск"	Свердловская область, г.Краснотурьинск	1943	1 030
УАЗ "РУСАЛ Каменск-Уральский"	Свердловская область, г.Каменск-Уральский	1939	910
АГК АО "РУСАЛ Ачинск"	Красноярский край, г.Ачинск	1970	1 069

Технологическая схема производства алюминия включает несколько этапов.

На первом этапе осуществляется добыча бокситов, содержащих оксид алюминия и считающихся качественными, если его содержание превышает 50%.

Следующий этап – переработка бокситов и получение из них глинозема, то есть непосредственно оксида алюминия. Самым распространенным способом получения оксида является метод Байера, основанный на растворении бокситов каустической щелочью при высокой температуре, однако применяемый только на бокситах высокого качества с небольшим содержанием примесей. В случае высокого содержания примесей, в частности – кремнезема, используется метод спекания, заключающийся в спекании бокситов с содой и известняком при высокой температуре и требующий больших затрат.

Заключительная стадия – получение чистого металла путем электролиза, что требует значительных затрат электроэнергии и обуславливает строительство производственных мощностей рядом с гидроэлектростанциями.

В результате из 4-5 тонн бокситов получается 2 тонны глинозема, из которого производят 1 тонну чистого металла [94]. Производственные мощности алюминиевых заводов существенно превышают мощности по объему производства глинозема и добычные мощности по бокситам. В частности, глиноземные заводы обеспечивают потребности алюминиевых предприятий лишь на 35-40% [58]. В России также применяется технология получения глинозема из нефелинового сырья, что не используется больше нигде в мире. Однако экономический эффект от использования нефелинового сырья значительно ниже, чем при использовании бокситов. Для получения 1 т глинозема необходимо 2,5 т бокситов или 5 т нефелинов [126]. В последнее время резонанс приобретают идеи об использовании минералов группы силлиманита в качестве сырья для получения алюминия. Такие технологии активно применяются в Бразилии, ЮАР, США, Индии, Франции, но в России месторождения пока не разрабатываются, несмотря на то, что по объему ресурсов и разведанных запасов, Россия занимает первое место в мире [126].

Поэтому в значительной мере алюминиевая отрасль России зависит от импорта: в 2019 году он составлял 4,9 млн т глинозема, что на 6% больше аналогичного показателя 2018 года. Несбалансированное соотношение спроса и предложения по алюминиевому сырью регулируется импортом сырья из Украины, Австралии, Казахстана и других стран (Рисунок 9).

При этом санкции для ОК РУСАЛ в 2018 году заставили компанию концентрироваться на внутреннем рынке не только в плане поставок готовой продукции, но и в плане производства и приобретения сырья.

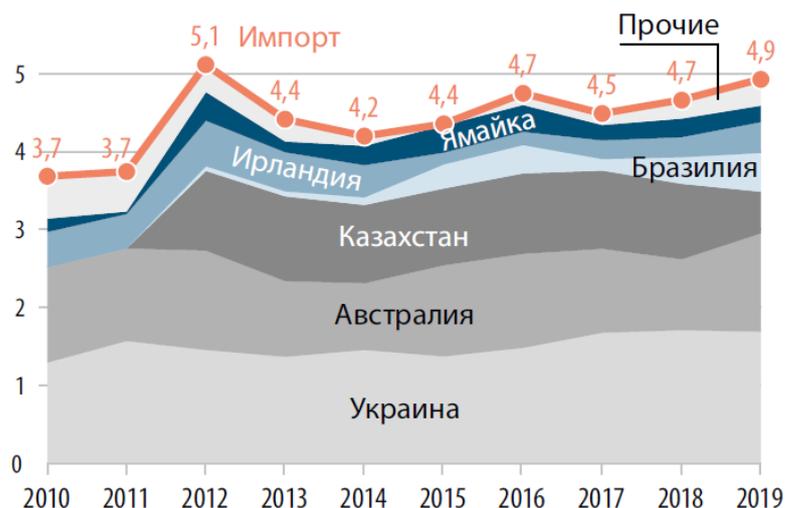


Рисунок 9 – Динамика импорта глинозема в Россию в 2010-2019 гг., млн т [58]

В частности, в апреле 2018 года после внесения компании в санкционный список, компания Rio Tinto заявила об изменении порядка сотрудничества с ОК РУСАЛ. Речь шла о пересмотре контрактов на поставку глинозема и возможном изменении условий участия предприятия в совместной компании – находящемся в Австралии крупнейшем в мире производителе глинозема Queensland Alumina Limited, 20% которого принадлежит ОК РУСАЛ.

Исследователи [126, 255] утверждают, что для российской алюминиевой отрасли наибольшую угрозу представляет дефицит сырья, так как порядка 50% приходится на импортное сырье. Другими важными проблемами отрасли также являются значительные транспортные издержки, высокая нагрузка на окружающую среду и, как следствие, загрязнение окружающей среды, низкая добавленная стоимость получаемой на предприятии продукции, высокий уровень износа оборудования и низкая восприимчивость к внедрению инноваций [29, 255, 257].

Поэтому дальнейшее развитие своей минерально-сырьевой базы является приоритетом компании с точки зрения обеспечения сырьевой безопасности и экономической эффективности.

В целом для алюминиевой отрасли характерна следующая тенденция [262]: экспорт из России представлен в основном необработанным алюминием, в то время как импорт представляет собой «прочие изделия из алюминия», куда входят литые изделия, гвозди, винты, болты, предметы высокой добавленной стоимости (сантехническое оборудование, кухонные изделия и т.д.), а также необработанный алюминий (Рисунок 10).

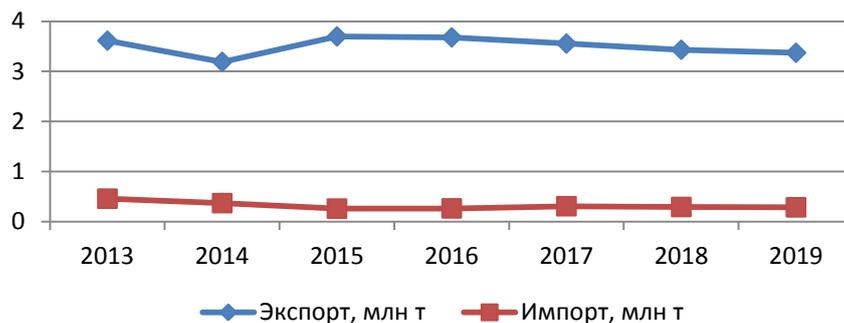


Рисунок 10 – Объемы экспорта и импорта алюминия и изделий из него, 2013-2019гг. [262]

### 1.3.2 Оценка производственных и экономических результатов АО «СУБР» в составе ОК РУСАЛ

ОК РУСАЛ – это одна из лидирующих компаний алюминиевой отрасли в мире. Так, по данным компании [163] в 2019 году было произведено 3,757 млн тонн алюминия, что составило 5,9% от всего мирового производства. Помимо алюминия, компания также занимается производством глинозема (7,858 млн тонн в 2019 году, 6,3% от мирового производства). Компания поставляет продукцию как на внутренний рынок, так и на экспорт в страны Европы, СНГ, Северной Америки, Юго-Восточной Азии и т.д.

ОК РУСАЛ является преемником российской и советской алюминиевой промышленности, однако свою современную историю ведет с 2000 года, которым датируется объединение активов СИБАЛа и Millhouse Capital. Это объединение позволило компании сразу войти в тройку самых крупных алюминиевых компаний мира. В 2007 году произошло слияние алюминиевых и глиноземных активов компании с Сибирско-Уральской алюминиевой компанией и алюминиевыми активами швейцарского трейдера Glencore. По итогам 2007 года компания контролировала 80% алюминиевых мощностей в России.

ОК РУСАЛ имеет 10 действующих алюминиевых заводов, 9 из которых находятся в России и 1 в Швеции. Имеющийся завод в Нигерии был заморожен [45]. Добычу бокситов осуществляют 2 российских горных предприятия: Боксит Тимана (Ухта) и Севуралбокситруда (Североуральск), являющийся объектом диссертационного исследования.

Североуральский бокситовый рудник – крупнейший производитель алюминий-содержащего сырья в России и сырьевой дивизион ОК РУСАЛ с годовой производственной мощностью 3 млн тонн.

Работы на АО «Севуралбокситруда» ведут свою историю с 1934 года, причем большая часть этого периода (порядка 60 лет) ознаменована монополией бокситов АО «СУБР» сначала на советском, а затем и российском рынке байеровского сырья [4]. Разрабатываются четыре

месторождения: Черемуховское, Ново-Кальинское, Кальинское и Красная Шапочка, находящиеся в 30 км от г. Североуральска. В 2015 году был введен в эксплуатацию первый пусковой комплекс шахты «Черемуховская-Глубокая», вошедшей в пятерку самых глубоких шахт мира. Два года спустя в эксплуатацию был введен второй, а в 2019 году – третий пусковой комплекс.

Анализ финансовых показателей и результатов АО «СУБР» за 2019 год показал, что добыча бокситов выросла с 2 326 тыс тонн в 2018 году до 2 353 тыс тонн в 2019 году, то есть на 1,2% [195]. Чистая прибыль при этом снизилась на 67,7% по сравнению с 2018 годом и составила 216 млн рублей.

Неудовлетворительные финансовые результаты АО «СУБР» подтверждаются проведенным автором анализом показателей финансовой устойчивости, платежеспособности, рентабельности деятельности и деловой активности и их бенчмаркингом со среднеотраслевыми значениями (Таблицы 6-9). В качестве среднеотраслевых значений взяты медианные показатели деятельности компаний, занимающихся добычей и обогащением алюмосодержащего сырья (бокситов и нефелиновых руд) из открытых источников [214].

Таблица 6 – Анализ рентабельности АО «СУБР» в 2018 г., %

Показатели	Модель расчета	Условные обозначения	Значения для АО "СУБР"	Отраслевые показатели	Отклонение, %
Рентабельность продаж ( $R_{\Pi}$ )	$R_{\Pi} = \frac{P_{\text{вал}}}{\text{Выр}} \times 100\%$	$P_{\text{вал}}$ – величина валовой прибыли, руб. Выр – величина выручки, руб.	12,1	7,6	+59,2
Рентабельность по чистой прибыли ( $R_{\text{чп}}$ )	$R_{\text{чп}} = \frac{P_{\text{ч}}}{\text{Выр}} \times 100\%$	$P_{\text{ч}}$ – величина чистой прибыли, руб. Выр – величина выручки, руб.	3,14	3,26	-3,7
Рентабельность активов ( $R_{\text{А}}$ )	$R_{\text{А}} = \frac{P_{\text{ч}}}{\text{А}} \times 100\%$	$P_{\text{ч}}$ – величина чистой прибыли, руб. А – величина активов, руб.	3,89	5,13	-24,2
Рентабельность собственного капитала ( $R_{\text{СК}}$ )	$R_{\text{СК}} = \frac{P_{\text{ч}}}{\text{СК}} \times 100\%$	$P_{\text{ч}}$ – величина чистой прибыли, руб. СК – величина собственного капитала, руб.	6,54	24	-72,8

Показатели рентабельности деятельности АО «СУБР» (Таблица 6) в среднем соответствуют среднеотраслевым, кроме показателя рентабельности собственного капитала.

Таблица 7 – Анализ финансовой устойчивости АО «СУБР» и отраслевых показателей, 2018 г.

Показатели	Модель расчета	Условные обозначения	Значения для АО "СУБР"	Отраслевые показатели	Отклонение, %
Коэффициент автономии (К <sub>а</sub> )	$K_A = \frac{СК}{А}$	СК – величина собственного капитала, руб. А – величина активов, руб.	0,59	0,22	+168,2
Коэффициент обеспеченности и собственными оборотными средствами (К <sub>оос</sub> )	$K_{оос} = \frac{СОС}{ОА}$	СОС – величина собственных оборотных средств, руб. ОА – величина оборотных активов, руб.	-0,50	-0,42	+19,0
Коэффициент обеспеченности и запасов (К <sub>оз</sub> )	$K_{оз} = \frac{СОС}{З}$	СОС – величина собственных оборотных средств, руб. З – величина запасов, руб.	-0,81	-1,29	-37,2
Коэффициент покрытия инвестиций (К <sub>пи</sub> )	$K_{пи} = \frac{СК + ДО}{А}$	СК – величина собственного капитала, руб. ДО – величина долгосрочных обязательств, руб. А – величина активов, руб.	0,69	0,49	+40,8

Финансовая устойчивость компании, анализ которой представлен в таблице 7, находится на низком уровне, так как из проанализированных показателей лишь коэффициент автономии значительно превышает средние показатели по отрасли и соответствует норме. При этом, являясь сырьевым дивизионом ОК РУСАЛ, АО «СУБР» практически лишен самостоятельности в принятии управленческих решений. Это ведет к ограниченным возможностям планирования при внедрении инвестиционных проектов, закупке оборудования, модернизации и т.д.

По показателям платежеспособности и ликвидности все коэффициенты находятся на уровне ниже, чем в среднем по отрасли (Таблица 8).

Показатели оборачиваемости (Таблица 9) являются единственной группой показателей, значения которых в компании заметно превосходят аналогичные отраслевые. Короткий период оборачиваемости положительно характеризует высокую деловую активность компании, но не может считаться полной мерой эффективности ее работы и не позволяет судить о прибыльности работы предприятия.

Рассматривая все проанализированные показатели в совокупности, можно прийти к выводу, что финансовое состояние организации не только хуже среднего по отрасли, но и в целом находится на низком уровне.

Таблица 8 – Анализ платежеспособности АО «СУБР»

Показатели	Модель расчета	Условные обозначения	Значения для АО "СУБР", 2018 г.	Отраслевые показатели, 2018 г.	Отклонение, %
Коэффициент текущей ликвидности ( $K_{ТЛ}$ )	$K_{ТЛ} = \frac{ОА}{КО}$	ОА – величина оборотных активов, руб. КО – величина краткосрочных обязательств, руб.	0,67	0,97	-30,9
Коэффициент быстрой ликвидности ( $K_{БЛ}$ )	$K_{БЛ} = \frac{ОА - З}{КО}$	ОА – величина оборотных активов, руб. З – величина запасов, руб. КО – величина краткосрочных обязательств, руб.	0,25	0,63	-60,3
Коэффициент абсолютной ликвидности ( $K_{АЛ}$ )	$K_{АЛ} = \frac{ДС + КВ}{ТО}$	ДС – величина денежных средств, руб. КВ – величина краткосрочных финансовых вложений, руб. ТО – величина текущих обязательств, руб.	0,005	0,07	-92,8

Таблица 9 – Анализ показателей оборачиваемости активов АО «СУБР», дни

Показатели	Модель расчета	Условные обозначения	Значения для АО "СУБР", 2018 г.	Отраслевые показатели, 2018 г.	Отклонение, %
Оборачиваемость оборотных активов ( $Об_{ОА}$ )	$Об_{ОА} = \frac{365}{K_{об} \cdot Выр}$ $K_{об} = \frac{Выр}{ОА}$	$K_{об}$ – коэффициент оборачиваемости, Выр – величина выручки, руб. ОА – величина оборотных активов, руб.	60,28	147	+58,9
Оборачиваемость дебиторской задолженности ( $Об_{ДЗ}$ )	$Об_{ДЗ} = \frac{365}{K_{об} \cdot Выр}$ $K_{об} = \frac{Выр}{ДЗ}$	$K_{об}$ – коэффициент оборачиваемости, Выр – величина выручки, руб. ДЗ – величина дебиторской задолженности, руб.	5,19	47,9	-89,1
Оборачиваемость активов ( $Об_{А}$ )	$Об_{А} = \frac{365}{K_{об} \cdot Выр}$ $K_{об} = \frac{Выр}{\bar{А}}$	$K_{об}$ – коэффициент оборачиваемости, Выр – величина выручки, руб. $\bar{А}$ – среднегодовая стоимость активов, руб.	292	422	-30,8

Анализ динамики выручки и чистой прибыли за последние годы, представленный на рисунке 11, показал, что, несмотря на рост показателей выручки до 2015 года, значение прибыли было невысоким, в отдельные годы был получен убыток. Начиная с 2015 года значения показателей выручки и прибыли снижаются. Это говорит о значительных экономических проблемах компании, связанных с трансфертным ценообразованием и высокими затратами на производство.



Рисунок 11 – Показатели выручки и прибыли АО «СУБР» за период 2012 – 2019 гг.[16]

Причинами недостаточных финансовых результатов и эффективности АО «СУБР» в составе сырьевого дивизиона ОК РУСАЛ являются следующие.

По характеру производственного процесса АО «СУБР» определяется как центр затрат, под которым подразумевается производственная единица, отличающаяся единообразием функций и производственных операций, схожим уровнем технического оснащения и организации труда, а также направленностью затрат [178]. Под центром затрат также понимается группировка мест возникновения затрат, объединенных по какому-либо признаку [104]. В таком случае центры затрат отражают место возникновения затрат, если продукция не имеет выхода на внешний рынок (за пределы ОК РУСАЛ). АО «СУБР», поставляя сырье на заводы ОК РУСАЛ, не имеет возможности продавать товарную продукцию и получать прибыль за пределами компании, что объясняет низкие финансовые результаты. Центры затрат аккумулируют в себе все издержки, имеют ограниченные возможности, определяемые корпоративным центром, по применению цен и получению прибыли, что позволяет получить высокие финансовые результаты в холдинге.

Таким образом, АО «СУБР» в составе ОК РУСАЛ, является, прежде всего, производственной единицей, практически лишенной свободы в принятии решений. При этом АО «СУБР» обязан поддерживать требуемый объем добычи сырья, равный 3 млн тонн.

### 1.3.3 Анализ влияния специфических горных рисков на экономический рост горнорудного производства в АО «СУБР»

В соответствии с Классификацией запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых, месторождения АО «СУБР» отнесены к месторождениям сложного геологического строения [141]. Такие месторождения характеризуются присутствием участков непромышленной мощности и безрудными зонами. В среднем мощность боксита

составляет порядка 5 метров, при этом колеблется от непромышленной мощности в 1-1,5 м и доходит до величины в 30 м.

Учитывая наличие горных факторов (ГГУ, глубина ведения работ 1400 метров), работа на шахтах АО «СУБР» сопровождается значительным количеством проблем в горном производстве, влияющих как на техническую, так и на экономическую эффективность и ограничивающих экономический рост.

Во-первых, 70% всех добычных работ на руднике ведется с применением камерно-столбовой системы разработки. Ее применение обусловлено рядом преимуществ: простая технологическая схема добычи и наличие фронта очистных работ, что делает ее одной из наиболее производительных систем, а также обеспечивает эффективное использование самоходного оборудования. При этом в связи с постепенным увеличением глубины ведения работ ее применение вызывает трудности, обусловленные возможностью пород выдерживать нарастающее давление и растущими потерями при увеличении размеров целиков. Так, показатели потерь, по оценкам, достигают 18-20% [142] или даже 40-60% [233], заметно снижая экономические результаты на больших глубинах.

Во-вторых, исследования показывают, что «различные горно-геологические (невыдержанная мощность залежи, неравномерное оруденение, тектоническая нарушенность, различные физико-механические свойства руд и вмещающих пород) и горно-технические условия (взаимное влияние очистных работ, порядок ведения горных работ, оставление целиков, большие площади обнажения кровли, повышенная изрезанность рудного массива) приводят к перераспределению напряжений в массиве и, как следствие, к возникновению горных ударов» [206].

Решение проблемы горных ударов является для АО СУБР особенно актуально, так как в соответствии с планом ведения работ их глубина будет увеличена до 2000 метров, что является рекордным показателем для России и поэтому не имеет аналогов. Однако непосредственное увеличение глубины не является определяющим фактором сложности горного производства. При переходе на глубокие горизонты особого внимания заслуживает исследование деформационного поведения породного и рудного массива [72], ведущее к горным ударам, так как применяемые сегодня методы управления горным давлением, эффективность которых доказана на верхних горизонтах, не обеспечивают соблюдения требований безопасности при переходе на более глубокие горизонты. Это будет являться ограничением экономического роста горного производства и горно-металлургической компании.

Первый горный удар произошел на месторождении «Красная Шапочка» в 1970 году, а спустя несколько лет было начато систематическое исследование проявлений горного давления на шахтах рудника [72], так как в тот же период Госгортехнадзором СССР залежи были

отнесены к опасным по горным ударам [259]. Были разработаны регламенты по прогнозированию горных ударов на шахтах АО «СУБР» и методы их предотвращения.

Информация о числе горных ударов на шахтах АО «СУБР» по мере увеличения глубины ведения работ представлена на рисунке 12:

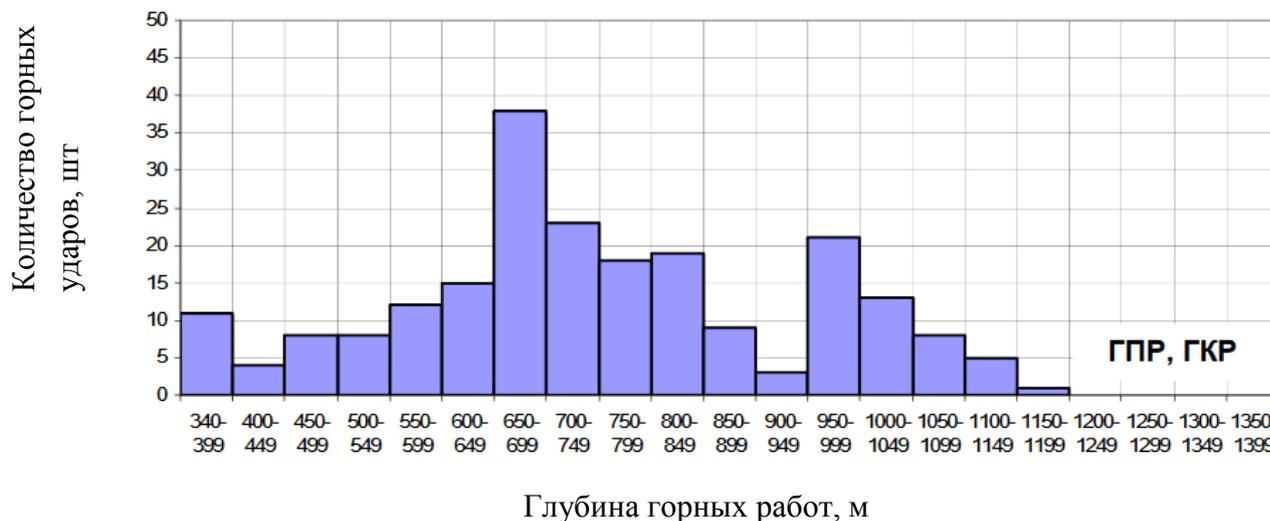


Рисунок 12 – Частота проявления горных ударов на шахтах АО «СУБР» на различной глубине работ (ГПР – горно-подготовительные работы, ГКР – горно-капитальные работы) [205]

В зависимости от принятой системы разработки и вида работ статистика по горным ударам представлена в таблице 10 [259]:

Таблица 10 – Число горных ударов за период 1970 – 2000 г.

Год	Система разработки запасов			Вид работ		Всего
	Камерно-столбовая	Слоевого обрушения	С закладкой	Подготовительные	Капитальные	
1970-1980	30	15	21	13	8	87
1981-1990	65	23	24	34	15	161
1991-2000	71	2	2	17	2	94
Итого	166	40	47	64	25	342

Причины появления горных ударов обусловлены двумя факторами – деформацией земной коры в целом и ведением горных работ, а также их совместным влиянием. При отработке полезного ископаемого эти факторы не просто влияют на ведение горных работ в разной степени, но еще и накладываются друг на друга, вызывая новые эффекты. Также сложность прогнозов геодинамических событий подтверждается и исследованиями их повторяемости [244], согласно которым ситуация на шахтах АО «СУБР» отличается от той, которая могла бы быть предсказана по имеющимся законам геодинамики.

Анализ современной ситуации на АО «СУБР» свидетельствует о ее уникальности, оказывающей непосредственное влияние на экономический рост горнорудного производства. С одной стороны, рост спроса на бокситы в ОК РУСАЛ обуславливает необходимость увеличения добычи минерального сырья с целью снижения зависимости от импортных

поставок. С другой стороны, сложные условия горного производства (понижение горизонтов ведения работ до рекордных показателей в сочетании со сложными геологическими условиями) определяют высокую опасность добычи на шахтах АО «СУБР», что требует высоких затрат на минимизацию рисков. Однако рост затрат и, как следствие, себестоимости добываемой руды, имеет критическое значение для предприятия, являющегося сырьевым дивизионом ОК РУСАЛ и лишенного производственной, ценовой и управленческой самостоятельности. В совокупности данные факторы предопределяют необходимость разработки экономического подхода к обеспечению ведения работ с целью соблюдения требуемых объемов добычи руды с соблюдением требований промышленной безопасности.

#### **1.4 Выводы к главе 1**

1. Современный контекст устойчивого развития не препятствует экономическому росту горной промышленности, но формирует определенные требования и ограничения. Они проявляются для горных компаний в экономической, экологической и социальной сферах.

2. Под экономическим ростом горного предприятия в составе ГМК понимается улучшение экономических показателей, прежде всего, прибыли от продажи, определяющей стоимость компании. Под экономическим ростом в узком значении для горного производства понимается рост горнотехнических показателей, включая объемы горнопроходческих, подготовительных, нарезных работ, а также объемы добычи горной массы.

3. Достижение горной компанией экономического роста возможно за счет экстенсивного пути развития, с привлечением дополнительных ресурсов для увеличения объема производимой продукции, и интенсивного пути получения дополнительной продукции за счет внедрения новых технологий.

4. Для горнорудной компании достижение экономического роста сопровождается рядом ограничений из-за истощения минерально-сырьевой базы, необходимости перехода к добыче сырья в сложных горно-геологических условиях, а также на больших глубинах, что сопровождается ростом горного риска.

5. Анализ возможностей алюминиевой отрасли показал, что отрасль характеризуется высоким спросом на металл, который, по прогнозам на ближайшие годы, будет только расти. В то же время ситуация, складывающаяся в российском производстве алюминия, характеризуется как критическая, так как объемы добываемого сырья недостаточны для производства требуемого количества металла, а снижение зависимости от импорта ставит под угрозу возможность стабильных объемов поставок из-за рубежа.

6. Сырьевая база бокситов, являющихся основным сырьем для производства алюминия, характеризуется значительными по объему запасами, при этом их условия залегания отличаются сложностью. В АО «СУБР», являющимся сырьевым дивизионом ОК РУСАЛ, работы ведутся на глубине, превышающей 1000 метров с последующим планируемым увеличением глубины до 2000 метров.

7. Ведение работ на больших глубинах обуславливает наличие большого количества рисков, включающих специфический для отрасли горный риск. Горный риск включает горно-геологический риск, отражающий влияние природных условий на ведение подземных работ, и горно-технологический риск, появляющийся вследствие техногенного воздействия.

8. Специфический горный риск включает, в том числе, риск возникновения горных ударов, которые могут быть вызваны как естественным изменением и перераспределением горного давления в массиве, так применяемой системой разработки месторождения. Данный риск является одним из основных рисков в АО «СУБР», что затрудняет ведение работ и ставит под сомнение возможность полной отработки месторождения, несмотря на срок обеспеченности запасов, превышающий 80 лет.

9. Высокая аварийность горных предприятий объясняет их принадлежность к опасным производственным объектам, аварии в горном производстве вызывают не только экономический ущерб для горной компании, но и влияют на деловую репутацию, стоимость и инвестиционную привлекательность. А учитывая современные тенденции устойчивой добычи, это становится все более важным также поставщикам, потребителям и другим стейкхолдерам.

10. Именно обеспечение экологических показателей и соблюдение требований промышленной безопасности наравне с выполнением плановых технико-экономических показателей определяют рост горнорудных предприятий при разработке месторождений ценного минерального сырья с учетом особенностей управления в вертикально-интегрированной горно-металлургической компании и усложнения горно-геологических условий, вызванных специфическим горным риском.

11. Основной проблемой, препятствующей достижению экономического роста, является удароопасность, действие которой усиливается при переходе на более глубокие горизонты. Поэтому актуальной проблемой горных компаний является поиск средства для прогнозирования горных ударов с целью их минимизации и обеспечения безопасных условий ведения работ.

## ГЛАВА 2 ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКОГО РОСТА ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ ЗА СЧЕТ РАЗВИТИЯ ЦИФРОВЫХ АКТИВОВ

### 2.1 Анализ и оценка современного состояния цифровизации горной промышленности

Внедрение цифровых технологий в горную отрасль обсуждалось с середины XX века [288]. Сегодня развитие горной отрасли тесно связано с процессом цифровизации под влиянием Четвертой промышленной революции. Некоторые эксперты отмечают, что мир находится на пороге «Первой цифровой декады» [362]. Цифровизация – это современный тренд мирового экономического развития, основанный на переводе данных в цифровой вид, но не ограничивающийся им и приводящий к повышению эффективности экономики и улучшению качества жизни. Цифровизация и предоставляемые ею преимущества используются на разных уровнях: от государственного до уровня отдельных домохозяйств [327]. Для бизнеса цифровизация позволяет достичь не только определенных результатов с меньшими затратами, но и открывает новые возможности, отсутствовавшие ранее.

Автором проведен анализ понятия «цифровизация», в соответствии с которым можно утверждать, что само понятие «цифровизация» неоднозначно. Одни авторы [238] понимают процесс цифровизации в узком смысле как перевод информации в цифровую форму, что предоставляет новые возможности, снижает издержки производства и способствует росту прибыли. Цифровизация в более широком смысле включает постоянную эволюцию и изменение отдельных процессов и процедур за счет цифровых технологий [276]. С понятием «цифровизация» связана «цифровая трансформация», определяющая, как предприятия адаптируются к «цифровым изменениям» [311, 315, 357, 371]. В общем виде «цифровой трансформацией» можно обозначить «процесс, возникающий за счет внедрения современных технологий на основе всеобъемлющих данных, их совместимости и принятия решений» [380]. Несмотря на то, что многие отрасли уже отличаются значительными успехами в этой области, горная промышленность характеризуется значительным отставанием (Рисунок 13).

При этом статистика показывает, что еще в 2014 году из Топ-10 мировых горных компаний только 6 указали цифровую трансформацию как часть их стратегии, 3 из 10 могли четко определить качественные результаты от нее и лишь 1 компания из 10 могла оценить эти преимущества количественно [354].

В мировом опыте цифровые технологии все чаще встречаются в разных отраслях, поэтому их применение на предприятиях по добыче сырья представляется вполне реальным [320]. Это способствует повышению эффективности производства, улучшению управления и снижению затрат.



Рисунок 13 – Относительная степень цифровизации отраслей [380]

В отличие от процессов компьютеризации, заключающихся в основном в применении компьютерных технологий для решения определенных задач по заранее установленному алгоритму, цифровизация не ограничивается такими рамками, а формирует так называемую технологическую среду, где ее пользователь получает возможность отражения полного спектра изучаемых процессов и взаимодействий между ними. Таким образом, осуществляется переход от решения отдельных задач посредством применения специализированных программ к решению проблем, учитывающему влияние всех факторов и процессов.

Для предприятия горной отрасли оптимизационные решения являются актуальными, что связано с влиянием множества факторов и многовариантностью решений. Сложность производственного процесса, изменчивость горно-геологических условий, влияние горных рисков определяют возможности цифровизации в различных процессах: от разведки месторождения до консервации рудника, от рутинных процессов добычи руды до формирования стратегии развития горно-металлургической компании. Экспертами [291] была

проведена количественная оценка роста кумулятивного эффекта цифровизации горной отрасли на период до 2025 года (Приложение Б), в том числе с учетом высокой и низкой адаптации отрасли цифровых технологий на 2025 год (Приложение В).

По оценкам, эффект от цифровизации будет оцениваться в 189 млрд долл США в год в случае высокой степени адаптации цифровизации отрасли.

Следует отметить, что, помимо экономического эффекта цифровизация приведет к снижению выбросов углекислого газа в атмосферу на 237 млн тонн, сокращению жертв несчастных случаев и аварий на 275 человека, уменьшению количеств травм на 13 000. Укрупненное развитие цифровых технологий представлено на рисунке 14.

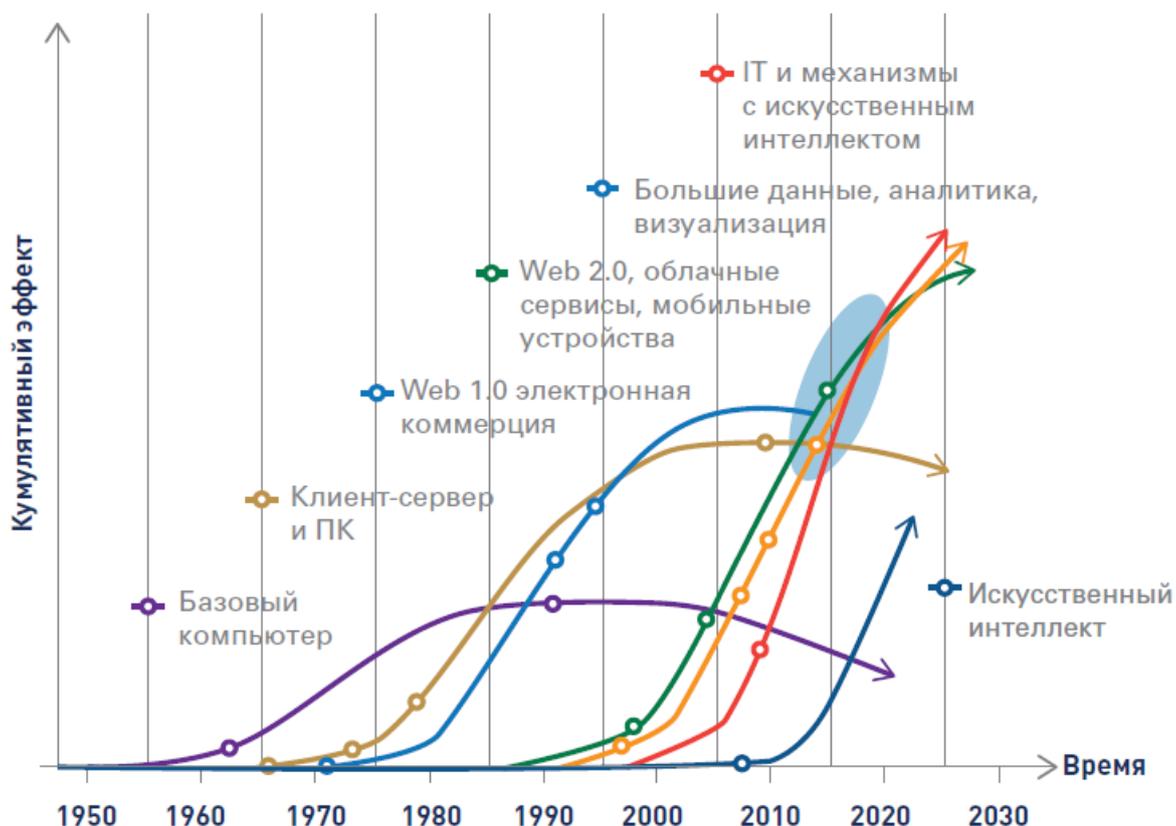


Рисунок 14 – Рост возможностей цифровых технологий [246].

Для горнодобывающей промышленности развитие цифровых технологий также происходило поэтапно. Отрасль традиционно отличается независимостью производственных операций, поэтому первый этап цифровизации был направлен на связь разрозненных процессов между собой посредством платформ корпоративных ресурсов (ERP). Это позволило связать удаленную инфраструктуру горного предприятия. Затем технологии стали использоваться для передачи информации между работниками с целью увеличения скорости передачи информации для оптимизации процессов по устранению опасных ситуаций.

Развитию этого особенно способствовала технология Интернета Вещей (IoT), которая позволила соединить все имеющееся и используемое оборудование в единую сеть. Сегодня в

мире количество объектов, подключенных к интернету вещей, превышает численность населения [364], значительная их часть относится к промышленным машинам и механизмам, что заставляет говорить о выделении отдельного так называемого промышленного Интернета Вещей (IIoT).

Благодаря IIoT строится определенная иерархия, заключающаяся в сборе данных на первом этапе за счет установки сенсоров и GPS, последующего их объединения в сети и создания интегрированной платформы, позволяющей преобразовывать собранные данные в информацию и использовать их для принятия решений.

Говоря о разных технологиях, использующихся сегодня в горной промышленности, можно привести исследование [276], утверждающее, что в мире применение находят 107 различных технологий, при этом лишь несколько можно отнести к распространенным. Так, проведенный исследователями [276] анализ 2400 публикаций по теме цифровизации горной отрасли, вышедших после 2010 года, показал, что 10 самых цитируемых технологий встречаются 820 раз. Из них самым частым термином является автоматизация со 153 упоминаниями. Далее следуют Big Data и IIoT. Также был проведен анализ относительной частоты употребления (%), показывающий отношение частоты употребления термина к общему количеству источников. Результаты представлены на рисунке 15.

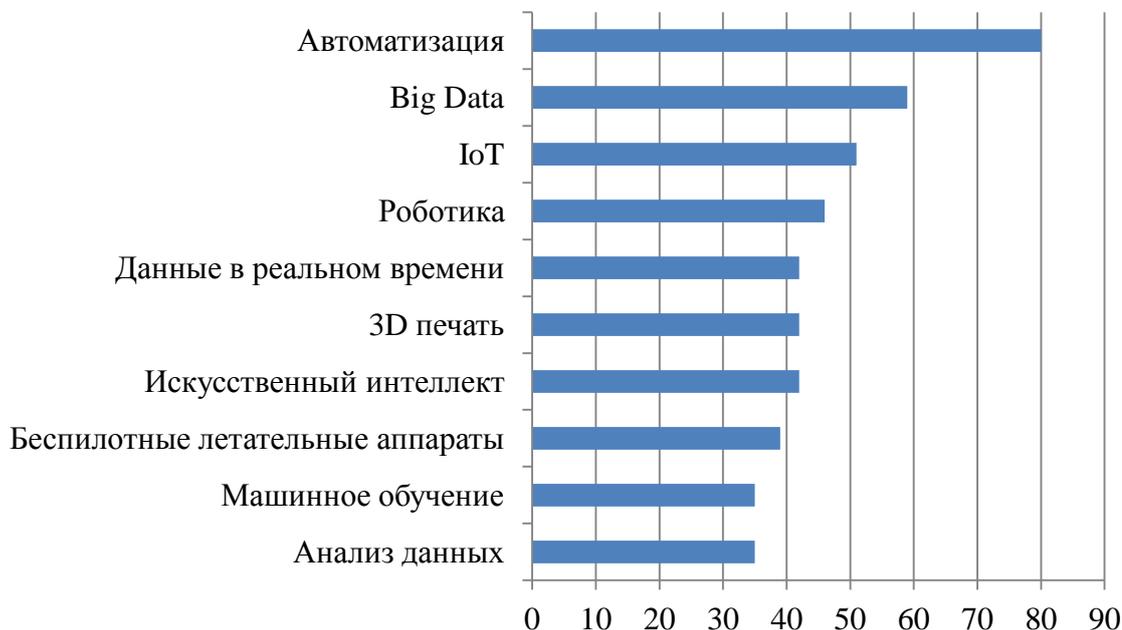


Рисунок 15 – Относительная частота употребления терминов, % [276]

При этом, по оценкам консалтинговой компании Ernst&Young, в горных компаниях выявлены значительное количество сложностей, возникающих при внедрении цифровых технологий. Порядка 37% компаний не имеют достаточных знаний о текущих доступных цифровых трендах [168].

При этом потенциальная значимость внедрения цифровых технологий настолько высока, что они становятся центральной темой модернизации отрасли.

Условно сферы применения цифровых технологий в горной промышленности можно разделить на 8 областей [3]: контроль безопасности, повышение точности геологоразведки, создание актуальной модели месторождения, управление производством, транспорт и логистика, сокращение простоев, подготовка кадров, мониторинг продукции.

– контроль безопасности

Учитывая опасность производственных процессов в горном производстве, контроль безопасности является одним из важнейших направлений, в которых цифровые технологии находят применение. К ним относятся сокращение объемов ручного труда за счет замены его роботизированной техникой, а в некоторых случаях – и полное применение безлюдной добычи. При машинно-ручном труде цифровизация также позволяет значительно увеличить уровень безопасности. Наличие информации о местоположении сотрудника значительно облегчает проведение спасательных операций во время аварий и несчастных случаев, повышая вероятность своевременного оказания помощи.

Кроме того, например, согласно Положению об аэрогазовом контроле в угольных шахтах [177], разработанном Федеральной службой по экологическому, технологическому и атомному надзору и утвержденном постановлением Правительства Российской Федерации от 30 июля 2004 г. N 401, на объекте должен быть организован непрерывный автоматический контроль за параметрами рудничной атмосферы, содержанием пыли и расходом воздуха в горных выработках. Такой контроль обеспечивается датчиками и прочими устройствами.

Цифровые технологии позволяют не только повысить точность и снизить вероятность поломок, но и учитывают определенные особенности производства и поведения работников. Например, учитывая упомянутые выше случаи отключения или перенесения датчиков в шахтах, многие современные датчики «закрыты на пломбы и без грубого взлома их невозможно перенести, а если будет предпринята такая попытка, это сразу станет видно инспектору» [34].

– повышение точности геологоразведки

Сегодня для повышения точности используют лазерные дальномеры для формирования маркшейдерской карты рудника. Во-первых, технология позволяет снизить число ошибок, вызванных человеческим фактором при проведении измерений стандартным способом, во-вторых – увеличить скорость ведения работ. Ранее при получении данных о рудном теле необходимо было сначала произвести взрывные работы, что требовало определенного времени и средств. Использование лазерных дальномеров исключает необходимость перемещаться по краю бортов, что снижает число возможных происшествий. К тому же, плохие погодные условия перестают быть препятствием для ведения работ. В результате, по подсчетам экспертов

[3] только от использования лазерной съемки и технологии BigData для обработки полученных результатов измерений, горные компании сокращают свои расходы на 150 тыс долл. США ежегодно.

– создание актуальной модели месторождения

Ведение горных работ опирается в том числе на данные, получаемые за счет ежедневной эксплуатационной разведки. Она обеспечивает уточнение не только направления работ, но и параметров залегания рудного тела и первоначальной модели месторождения. Это позволяет менеджменту компании оперативно реагировать на изменения характеристик полезного ископаемого.

Подобные системы применяются на большом количестве зарубежных и российских предприятий. Например, ГКМ Норильский никель использует технологию имитационного моделирования, состоящую из 3D-модели залежи, плана горной выработки и детальной информации по 6 рудникам [3].

– управление производством

Для управления производством компании внедряют различные ERP и MES системы оптимизации производственных процессов как платформу для повышения операционной эффективности. Например, ПАО «ГМК «Норильский никель» в рамках программы «Технологический прорыв» реализует систему управления рудопотоком за счет доступных аппаратных и программных средств планирования [248]. Она обеспечивает достижение следующих результатов:

- рост эффективности производства вследствие обеспечения соответствия потребности обогатительного производства по качеству руды (по содержанию полезного компонента),

- обнаружение «узких мест» производственного процесса благодаря автоматизированному сбору данных,

- оптимизацию процесса шихтования, в том числе и на этапе добычи.

– транспорт и логистика

Цифровизация обеспечивает оптимизацию системы мониторинга горнотранспортного оборудования. На автосамосвалах устанавливают датчики, которые дают возможность отследить различные параметры: не только местонахождение техники, но и объем горной массы, расход топлива и т.д. Помимо получения потока данных от объектов, цифровизация позволяет создавать системы мобильной диспетчеризации, которые автоматически распределяют потоки транспорта на основе анализа различных факторов, таких, как уровень загрузки складов, наличие очередей, выход из строя оборудования и т.д.

Например, за счет оснащения 1300 единиц автотранспорта системой мониторинга, компания «Алроса» планирует снизить расход топлива и уменьшить пробег автотранспорта на 10-15% [3].

– сокращение простоев

Цифровизация обеспечивает получение данных об отказах оборудования, их причинах, видах поломок и т.д. Все это может быть проанализировано с целью создания и оптимизации системы ремонтов на предприятии, что в результате приведет к уменьшению простоев оборудования.

– подготовка кадров

В настоящее время одним из трендов горной промышленности является развитие безлюдных технологий добычи, что подтверждает информация о числе высвобождаемых рабочих мест. При этом, следует учитывать рост требований к подготовке кадров, осуществляющих работу с цифровыми технологиями [297]. Развитие цифровых технологий широко способствует совершенствованию образовательных технологий. Возможность ускорить образовательный процесс, сделать его более понятным, комфортным и доступным – все это способствует росту профессионализма на предприятии, снижению числа возможных ошибок.

– мониторинг продукции

За рубежом все чаще используются технологии блокчейна в горной отрасли, позволяющие отслеживать данные о поставках. При этом речь идет не об отслеживании грузопотоков на территории предприятия, а о контроле движения товарной продукции к потребителю. Например, компания De Beers внедряет систему отслеживания алмазов на протяжении всего пути до прилавка магазина [3]. Это особенно важно для такого ценного сырья, как алмазы, так как позволяет снизить риски подделки продукции.

Другими экспертами [277] выделяются еще несколько сфер использования цифровых технологий в горной промышленности: геометаллургия и проведение буровзрывных работ. Цифровизация геометаллургии представляет собой внедрение цифровых инструментов для планирования оптимальной шихты для фабрики на базе цифрового двойника. Он позволяет создавать прогноз по производительности переделов. Оптимизация паспорта БВР предполагает использование экспертных систем на базе искусственного интеллекта и продвинутой аналитики, за счет чего снижаются затраты и совершенствуется управление.

Важно отметить, что данные эффекты, как правило, формируются в комплексе, который оказывает влияние на результаты работы горного предприятия. Это доказывает опыт «СУЭК» по промышленному испытанию беспилотных БЕЛАЗов. Сегодня в мире существует порядка 1000 беспилотных самосвалов в Америке, Канаде, Южной Африке. При этом, следует учитывать, что, по мнению экспертов [25], простое копирование технологий не дает

результатов. Причиной этому является как специфичность месторождения, так и условий ведения работ. Например, в Австралии добыча золота принципиально отличается от аналогичных процессов в России. Во-первых, человеческий труд оценивается выше. Во-вторых, добыча происходит в пустыне, что приводит к существенному удорожанию доставки ресурсов. Причем это затрагивает не только крупногабаритную технику, но и питьевую воду. Поэтому с учетом характеристик добываемого сырья эксперты утверждают, что такие условия являются «сверхъестественно маржинальными», поэтому использование беспилотной техники более чем оправдано. В России условия отличаются, поэтому внедрение беспилотной технологии пока не представлятельно.

Следует отметить, что уровень цифрового развития горной отрасли заметно отстает от других отраслей из-за следующих особенностей производства [196]:

- отсутствие анализа информации, поступающей в реальном времени для управления качеством рудопотоков;
- технологический предел увеличения объемов работ вследствие ограниченного количества техники или ее мощности;
- невысокое качество подготовки пород к выемке, обусловленное низкой производительностью БВР, высоким выходом негабарита и т.д.;
- нестабильная производительность и загрузка оборудования при транспортировке;
- отклонение качества руды, подаваемой на обогатительную фабрику, превышающее допустимые пределы;
- низкий уровень автоматизации производства;
- недостаток квалифицированных кадров.

Важной проблемой является совместимость цифровых технологий с применяемыми в настоящее время технологиями добычи минерального сырья и системами управления горнодобывающим оборудованием. Так, одним из неудачных примеров цифровизации можно назвать проект крупнейшей итальянской нефтегазовой компании Eni S. p. A., «вынужденной закрыть проект гибридного высокопроизводительного компьютера HPC3, предназначенного для использования в сегменте разведки и добычи углеводородов в связи с огромными издержками» [156]. В качестве причины называется несовместимость компьютера с данными, которые уже генерировались на производстве существующим оборудованием.

Добывающие компании имеют высокие шансы на интеграцию и применение современных технологий, причем, если говорить о компаниях топливно-энергетического комплекса, то наиболее перспективной отраслью является нефтедобыча. Последние годы характеризуются накоплением опыта в данной области и постепенной цифровизацией производственного и управленческого процессов. Это подтверждают различные исследования,

приводящие примеры работ в данном направлении [71, 224]. Согласно оценке Всемирного экономического форума, «цифровизация только нефтегазовой промышленности может принести дополнительный доход \$1,6 трлн к 2026 г». [291]. При этом такая технологическая трансформация будет довольно болезненно воспринята предприятиями, в первую очередь теми, чьи производственные процессы не отличаются инновационностью и готовностью к изменениям.

Современной и наиболее перспективной тенденцией в цифровизации является концепция «цифрового месторождения», представляющей собой цифровую модель месторождения, построение которой основано на внедрении современных технологических решений. «Умные скважины» и «цифровой керн» в течение 20 лет [36] используются с целью снижения неопределенности о процессе добычи и повышения его эффективности. С течением времени термин был расширен до «умного поля», что означало увеличение степени интеграции и позволило повысить производительность и безопасность производства.

В горнодобывающей отрасли цифровые достижения уступают нефтегазовой, при этом, являются не менее перспективными. Например, концепт «умного угольного пласта» [175] состоит в том, что угольный комбайн получает от пласта различного рода информацию, например, размеры пласта, его прочностные характеристики, наличие побочных включений и т.д. В соответствии с этим, изменяется ход работы и определенные настройки и параметры: наклон резов, скорость подачи исполнительного органа комбайна, вектор его перемещения по плоскости очистного забоя и т.д. Это ведет к повышению уровня автономности систем, и, соответственно, к их преобразованию в «производственные ячейки», способные самостоятельно управлять производственными процессами.

Процессы трансформации в горной отрасли характеризуются специфическими особенностями и моделями развития цифровизации, включая модели на основе платформенных моделей, на основе «умных месторождений» и «цифровых двойников» и на основе создания киберфизических систем [349].

Проведенный анализ показывает, что цифровизация на основе платформенных моделей наиболее характерна для угольной промышленности, использование «умных месторождений» - для нефтегазового сектора. Что касается третьей модели, то на сегодняшний день она только начинает использоваться в промышленности и в основном подразумевает выход цифровизации за пределы сектора. Например, сюда относятся кооперативные связи компаний энергетического сектора с наукоемкими отраслями. Горнорудные производства характеризуются низкой степенью использования таких моделей. Это объясняется сложностью и разнообразием условий работ, а также невозможностью унификации производственных процессов на разных объектах.

Цифровые технологии находят применение на всех этапах производственной цепи.

На этапе геологоразведки и подготовки месторождений наиболее перспективными является сбор данных и анализ информации о существующих запасах, создание цифровых двойников месторождений, проведение разведочных работ с использованием беспилотных летательных аппаратов, проектирование «умных» скважин, карьеров и рудников и т.д. [36, 71].

Вторым актуальным направлением является организация логистики и транспортировки, причем как сырья, так и готовой продукции потребителю. Особо актуально применение достижений цифровизации для угольной промышленности. Во-первых, порядка 60-70% от розничной стоимости угля приходится на его транспортировку, поэтому снижение затрат на логистику и оптимизация транспортных процессов позволят заметно сократить издержки предприятия. Во-вторых, на угольной отрасли заметно сказываются существующие и вводимые ограничения на выбросы углекислого газа и активного внедрения «умного потребления», целью которого является экономия энергоресурсов [131].

Третьим направлением является так называемый «energy mix» - сочетание гетерогенных типов используемых ресурсов или формирование смесей. Так, добытый уголь характеризуется значительным набором показателей качества, изменяющихся не только в пределах одного месторождения, но и в пределах пласта. При этом требования потребителей к показателям являются стандартными, что определяет требования к смешиванию. Задача минимизации затрат требует интеграции данных об имеющихся резервах, запасах, маршрутах доставки и т. д., что становится возможным с использованием цифровых технологий. Анализ деятельности компаний показывает, что такие системы дают возможность формировать план добычи из различных участков, увязывать процессы транспортировки и смешивания различных сортов сырья с целью максимизации маржи и минимизации затрат. Эффективные цифровые технологии позволяют компании получить более выгодную позицию на рынке и превзойти конкурентов [321, 344].

Сегодня для предприятий горной промышленности разрабатывается значительное число цифровых продуктов, применение которых позволит компании оптимизировать производственный процесс, что будет способствовать экономическому росту. Одной из самых перспективных технологий является цифровой двойник. Концепция цифрового двойника впервые была представлена в 2000-х гг., к настоящему времени получила различные толкования в академической и профессиональной среде.

Первоначально цифровые двойники рассматривались в контексте управления жизненным циклом продукта (PLM) [292]. Тогда цифровой двойник был описан как цифровая самостоятельная информационная система, отражающая физическую систему и связанная с ней. При этом отмечалось, что такое цифровое представление должно включать всю информацию об активах системы, которая потенциально может быть получена путем

исследования реального физического объекта. По сути, речь шла о цифровой модели уже произведенного реального объекта, позволявшей изучить различие между тем, что было спроектировано, и тем, что было фактически произведено, чтобы впоследствии свести эти различия к минимуму.

Резонанс вызвало вышедшее исследование о применении цифровых двойников в промышленности, а именно – об их использовании в аэрокосмической отрасли [305]. Это было связано с тем, что в работе описывалась необходимость не просто моделирования событий, но и возможности их предсказания с целью оптимизации издержек и предотвращения чрезвычайных ситуаций. Именно эти требования и привели к необходимости развития концепции цифровых двойников. Под цифровым двойником понималась интегрированная мультифизическая вероятностная симуляция системы, использующей наилучшие доступные физические модели, сенсоры и т.д. с целью отражения реальной картины в соответствующем двойнике.

Несмотря на то, что впоследствии некоторые авторы стали рассматривать цифровой двойник в более узком смысле, понимая его как объект, содержащий лишь виртуальную информационную модель и данные [306, 308], большинство исследователей и многие компании разделяют подход, связывающий цифровые двойники с возможностью симуляции производственных процессов [270, 350, 382]. При этом, следует добавить, что помимо симуляционных возможностей, мониторинга, расчетов и контроля происходящих процессов, отличительной чертой цифрового двойника является возможность использования предсказательной аналитики благодаря непрерывному двустороннему потоку цифровых данных от физического актива к цифровому и обратно. Именно динамический характер и возможность прогнозирования будущего состояния актива отличает цифровой двойник от так называемых «цифровых моделей», то есть технологий стандартного компьютерного моделирования.

В настоящее время компании-производители программного обеспечения и оборудования уделяют особое внимание именно возможностям предиктивной аналитики. К примеру, компания Oracle реализует стратегию Oracle Digital Twin in Oracle Internet of Things Cloud, элементами которой выступают виртуальные двойники, предиктивные модели активов и прогнозные модели. Виртуальные двойники при этом не просто позволяют визуализировать в облачном сервисе копию физического объекта и наблюдать за изменением его статуса в процессе работы актива, но и автоматически выявлять отклоняющиеся от нормальных условия работы и посылать соответствующие сигналы за счет встроенных в виртуальный двойник семантических моделей. Это позволяет оперативно реагировать на нештатную ситуацию. Для прогнозирования возникновения возможных ситуаций и раннего их предупреждения компания предлагает «Предсказательные двойники», которые могут быть реализованы в двух вариантах –

в виде физической модели реального объекта или менее затратной аналитической модели, более гибкой, практичной, которая имеет комплексный характер за счет возможности учитывать контекстную информацию. Зная о вероятных сбоях в работе оборудования, можно спроецировать их на результаты деятельности компании в целом, оценив возможный ущерб от остановки производства, возникновения дополнительных затрат на замену вышедшего из строя актива и потери способности выполнить в срок обязательства перед заказчиками или покупателями. Они обеспечивают интеграцию спрогнозированных производственных ситуаций с бизнес-процессами компании [269].

Компания Komatsu, разрабатывая производственное оборудование и системы, повышающие уровень безопасности горных работ (центры удаленного управления горными работами, прогнозирование вывалов породы и образования пустот), активно использует прогностические возможности анализа данных [302].

Повышенный интерес к концепции цифровых двойников повлек за собой многочисленные теоретические исследования в области обоснования направлений и возможностей применения этих технологий в разных сферах жизни человека, а также прикладные исследования, направленные на разработку механизмов их создания (дизайна) и внедрения в производственные и бизнес-процессы. В последние годы стали появляться исследования о возможности использования цифровых двойников в медицине [293, 377], логистике и транспорте [325, 330, 331], однако большинство исследований сконцентрированы на внедрении цифровых двойников в промышленность [336, 342, 355].

Несмотря на значительный интерес к теме цифровых двойников в добывающем секторе, академических исследований по внедрению этой концепции в процессы геологоразведки, проектирования разработки месторождений, различные аспекты процесса добычи полезных ископаемых пока недостаточно. В отличие от горнодобывающей, нефтегазовая промышленность имеет значительный позитивный опыт по цифровизации производства [279], хотя и в этом случае речь не идет о полноценном внедрении цифровых двойников в производственные и бизнес-процессы. Горнодобывающая промышленность значительно отстает в этом плане. Это связано с особенностями горного производства, высокими затратами и сложностью организации работ, однако, как подтверждают международные консалтинговые компании (Ernst&Young, McKinsey), представляет собой особо актуальное и перспективное направление развития горной отрасли.

Концептуальная модель цифрового двойника месторождения, создаваемая для решения прогностических задач по обеспечению безопасного производственного процесса, представляется в виде описательной модели, с учетом существенных элементов, предложенных [307] и адаптированных применительно к технологии цифрового двойника в работе [279]. В

моделях, разрабатываемых в исследованиях безопасности процессов, ключевыми элементами выступают:

- границы рассматриваемой системы: двойники отдельного технологического процесса двойники сложной системы – месторождения; в границы цифрового двойника целесообразно включить совокупность материальных и нематериальных активов, необходимых для создания и поддержания работы двойника, технологии и инфраструктуру;

- «вход» и «выход» системы: «входные» данные для создаваемого цифрового двойника месторождения представляются первичной (геофизической, геохимической) и вторичной, или интерпретированной, геологической информацией, в совокупности характеризующей инженерно-геологические условия территории: строение и условия залегания горных пород, геоморфологическую и гидрогеологическую структуру литосистемы, качественные характеристики и количество запасов полезного ископаемого, горно-технические условия ведения работ; ожидаемым «выходом» системы является динамическая виртуальная модель месторождения,

- ограничения системы обусловлены целью использования цифрового двойника – контроль горно-геологических и инженерно-технических параметров, влияющих на безопасность процесса добычи, а также ресурсными факторами,

- задачи, методы и производственные операции: задачи цифрового двойника месторождения можно сформулировать как обеспечение соответствия виртуальной модели реальной системе; мониторинг состояния сложной системы; прогнозирование опасных производственных ситуаций; моделирование их последствий в масштабах предприятия посредством применения методов работы с Big Data, включая методы предиктивной аналитики;

- внутренние свойства системы будут охарактеризованы в привязке к конкретным задачам.

Анализ опыта использования цифровых двойников в различных отраслях промышленности указывает на различные виды преимуществ, которые технология приносит компаниям – производственных и финансовых [267, 292, 293].

Применительно к цифровому двойнику месторождения потенциальные преимущества могут быть условно разделены на четыре группы по признаку направленности выгод в отношении пользователей: для рабочих, инженеров, менеджмента и собственников бизнеса (Рисунок 16).

При этом некоторые из них могут иметь значение для нескольких групп одновременно.

Для рабочих на добыче наиболее важно повышение безопасности работ, включающее улучшение текущих условий труда.

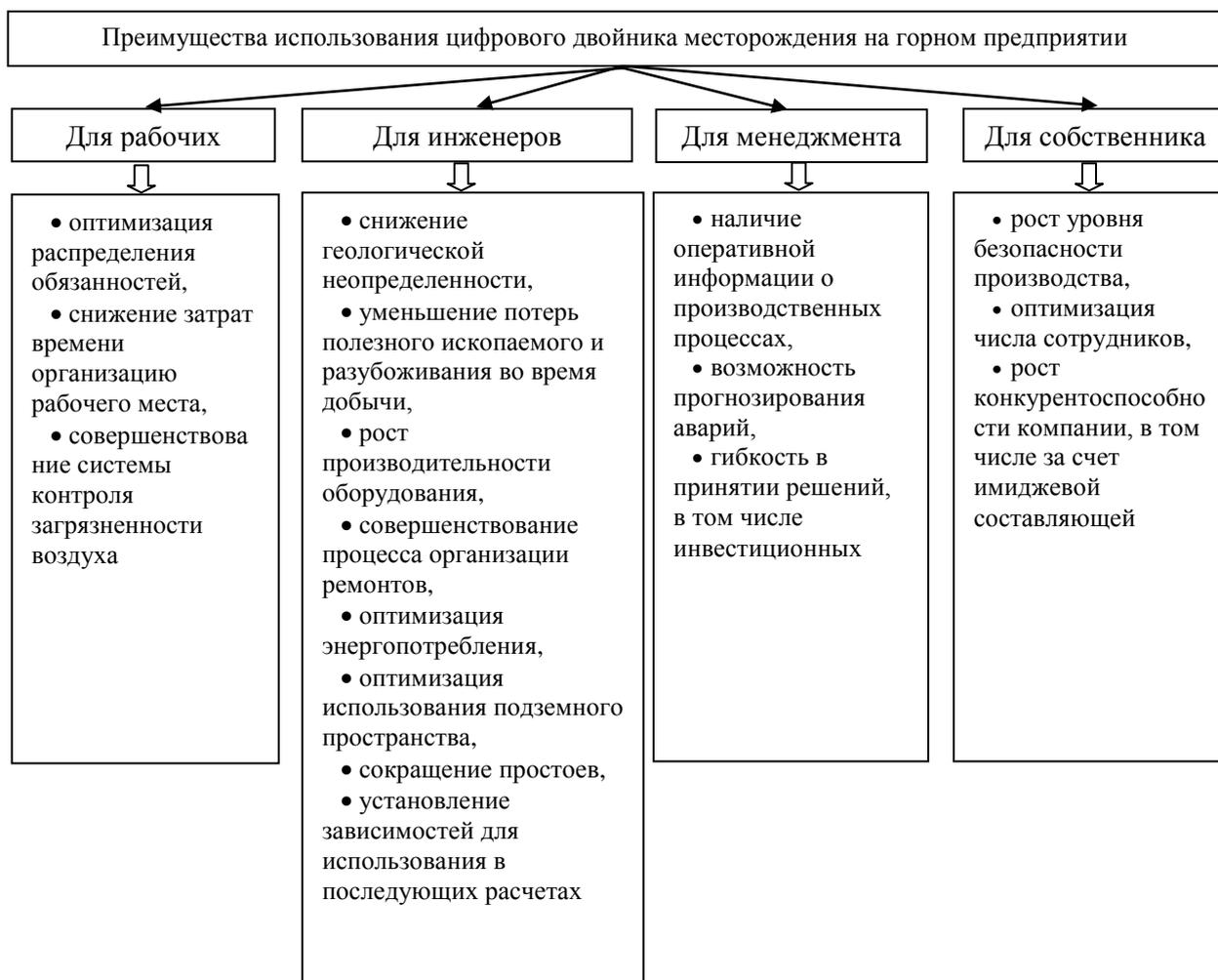


Рисунок 16 – Преимущества использования цифрового двойника на горном предприятии [277, 331, 355]

Руководители и специалисты получат возможность лучше понимать развитие ситуации в горном производстве, своевременно вносить необходимые изменения и прогнозировать процессы производства. Например, мониторинг состояния вмещающих пород позволит проследить динамику сдвижения горной массы, предсказать с большей вероятностью, чем при традиционном мониторинге, возникновение чрезвычайной ситуации и организовать эвакуацию рабочих и оборудования. Это поможет как избежать человеческих жертв, так и снизить денежные и материальные потери. Данная информация затем может использоваться для аналогичных прогнозов в будущем, что делает цифровой двойник еще более ценным. С управленческой точки зрения существенное преимущество технологии цифрового двойника заключается в возможности гибкого принятия решений в условиях неопределенности. Не инвестируя в создание цифрового двойника месторождения, менеджмент оценивает производственные риски проектов, полагаясь на статистические данные и экспертное мнение специалистов, а при управлении рисками пользуется стратегией передачи риска, страхуя его.

Внедряя в производственный и управленческий процесс цифровой двойник, менеджмент имеет возможность предупредить возникновение потерь и получает преимущества проактивного управления активами – возможность заранее прогнозировать состояние управляемой системы и, моделируя на виртуальной копии различные производственные ситуации по мере поступления новой информации, менять ход работ и оценивать приемлемость вариантов с точки зрения технических, экономических и финансовых показателей.

Для собственников бизнеса преимущества от использования цифрового двойника выражаются в обеспечении устойчивого роста, включающего социальные, экологические и экономические эффекты, в том числе снижение издержек, привлечение новых инвестиций, повышение стоимости акций на международных биржах, рост конкурентоспособности и устойчивости компании. Временные отрезки возникновения эффектов будут различны.

Концепция цифровых двойников активно развивается в последние годы, и исследования показывают, что в будущем интерес к ней будет только расти. Она открывает перед компаниями перспективы и возможности, недоступные ранее, что в результате способствует экономическому росту производства и повышению его устойчивости и безопасности. В некоторых отраслях уже можно наблюдать успешные примеры использования цифровых двойников, однако такие примеры не характеризуются массовостью и имеют определенные ограничения.

На текущий момент горную промышленность нельзя отнести к лидерам по использованию цифровых двойников, но она имеет значительный потенциал, который может быть реализован в будущем. По сравнению с общемировыми тенденциями, российская горная промышленность заметно отстает от лидеров. Компании только начинают адаптацию своих управленческих моделей и внедрение в них новых процессов, базирующихся на применении цифровых технологий.

На текущий момент наиболее развитыми можно назвать крупные нефтегазовые компании, такие как ПАО «Газпром», ПАО «Транснефть», ПАО «Сургутнефтегаз», ПАО «НОВАТЭК», ООО «СИБУР», ПАО «НК «Роснефть», ПАО «ЛУКОЙЛ», ПАО «Татнефть», ПАО «Газпром нефть». Они довольно активно имплементируют различные системы и устройства с целью регистрации возникающих технических проблем, мониторинга нахождения рабочих и оборудования в реальном времени, получения количественных показателей процессов добычи и переработки. «Цифровые двойники» позволяют виртуально моделировать происходящие процессы и предсказывать возможные отклонения.

В угольной отрасли первое место занимает ПАО «Сибирская угольная энергетическая компания» (СУЭК), которая помимо платформенных решений внедряет проекты «умного» угольного пласта. Помимо этого, компания уделяет много внимания оснащению машин и

оборудования специальным программным обеспечением, задача которого заключается в передаче сигнала оператору и одновременном заказе запасных частей.

Сложные современные условия ведения работ в горном производстве и высокая отраслевая конкуренция обуславливают потребность отрасли в таких современных решениях. Это заставляет специалистов возлагать на цифровые двойники большие надежды, связанные с решением множества производственных проблем, требующих больших затрат времени и финансов. Цифровые двойники в состоянии стать драйвером развития отрасли, выведя ее развитие на новый уровень [321]. Однако, несмотря на оптимистичные прогнозы, горные предприятия должны осторожно оценивать перспективы цифровых двойников, угрозы и риски.

Применение цифровых двойников имеет ограничения. Во-первых, для любых новых технологий требуется создание инфраструктуры. Например, наличие значительных вычислительных мощностей [277]. Во-вторых, для эффективной работы необходимы разработка и внедрение дополнительных инженерных, научных и цифровых решений, которые обеспечат интеграцию цифрового двойника в условия работы конкретного горного предприятия и его связь со всеми процессами.

Проведенный анализ опыта цифровизации горной отрасли показал, что все большее число горных предприятий применяет различные достижения цифровизации как для ведения работ, так и для управления ими. Эксперты утверждают, что цифровизация может привести к увеличению производительности горных компаний на 13% и снизить затраты на 15% [198].

Например, ООО «Промтехвзрыв», являющееся подразделением ПАО «Ураласбест», занимающегося разработкой хризотил-асбеста, проводит промышленные взрывы посредством электронных детонаторов, что позволяет исключить ошибки замедления при инициации [155]. На Михеевском ГОКе, принадлежащем "Русской медной компании", широко применяется технология удаленной диагностики оборудования за счет оснащения его датчиками, число которых превышает 3000. С помощью технологии Big Data происходит сбор, передача и обработка получаемых данных. Такая интеграция сети контроллеров дала возможность уменьшить частоту отклонений и сбоев в работе [198].

Учитывая широкий спектр возможностей цифровых технологий в горной отрасли, обеспечение безопасности является одним из основных направлений их применения. Возможности развития безлюдной добычи с целью минимизации количества рабочих, находящихся в забое, реализованы на немногих предприятиях. При этом не созданы условия для полностью роботизированной добычи сырья, следовательно, проблема обеспечения безопасности при ведении работ в удароопасных условиях остается нерешенной и требует комплексного применения различных активов и их объединения.

По мнению экспертов [191], несмотря на достижения в цифровизации, цифровые активы в своем развитии значительно превосходят средства работы с ними, поэтому актуальность получает создание единой системы, которая позволила бы увязать воедино все процессы и обеспечить их выполнение для решения проблем обеспечения экономического роста.

## **2.2 Экономические проблемы идентификации цифровых активов**

Понятие «актив» как экономическая категория четко регламентировано, однако отдельные виды активов до настоящего времени не имеют однозначной трактовки. Это связано с необходимостью учета специфических особенностей, элементов, факторов формирования и использования активов. Традиционная трактовка активов определяет их непосредственно как «имущество, являющееся собственностью организации, имеющее денежное выражение и способное приносить доход и иные экономические выгоды» [201], другими авторами активы рассматриваются шире и дополняются представлением активов как «контролируемых предприятием экономических ресурсов» [66]. Такая разная формулировка приводит к тому, что некоторые особые, в том числе, появляющиеся в результате инновационной деятельности и цифровизации, объекты не идентифицируются, не учитываются и не оцениваются в качестве активов.

Цифровизация отрасли влечет за собой внедрение и эксплуатацию значительного числа цифровых технологий. Идентификация их именно в качестве активов, а не ресурсов, является важной, поскольку позволяет выделять их в отдельную категорию, идентифицировать, увеличить интерес к ним, в том числе, выражающийся в инвестициях. Использование понятия «цифровой актив» за рубежом является стандартной практикой и встречается в значительном количестве источников [313, 359].

В то же время в России понятие цифровых активов еще не устоялось [122, 322]. Часто в цифровые активы включают лишь цифровые финансовые активы, представляющие собой криптовалюту [153], в то время, как цифровые активы других видов не рассматриваются. В том числе это связано с действующим законодательством, так как 1 января 2021 года вступил в силу закон «О цифровых финансовых активах» [77], регулирующий движение и использование криптовалюты в России и привлекающий внимание экспертов [204].

Поэтому необходимо идентифицировать цифровые активы как отдельный вид нематериальных активов предприятия, представленных в цифровой форме и служащих для поиска, сбора, создания, передачи, приема, хранения, распространения, обработки, анализа и преобразования информации, обладающей ценностью для предприятия, то есть вызывающей изменение его денежных потоков.

По экономическим характеристикам цифровые активы являются специфическими активами, т.к. их отличительной особенностью является конкретное использование и формирование ценности от использования только в определенных условиях. Несмотря на то, что с развитием цифровизации и появлением новых технологий данная тема должна была получить широкое распространение, на практике этого не происходит, и специфические активы выделяются лишь немногими авторами при исследовании высокотехнологичных компаний [110] и компаний минерально-сырьевого [182, 192] и топливно-энергетического комплекса [119].

Таким образом, в горных компаниях к специфическим относятся две группы активов – минерально-сырьевые и цифровые [86], что подчеркивает отличительные особенности отрасли и необходимость их учета для достижения экономического роста в горном производстве и горных компаниях.

Цифровые активы по условиям применения могут быть разделены на две группы: цифровые активы для производства и цифровые активы для управления. К цифровым активам производства в горной отрасли можно отнести цифровые технологии, обеспечивающие организацию и осуществление безлюдной добычи [250]. Цифровые активы управления позволяют оптимизировать процессы на предприятии, обеспечивая предварительную 3D симуляцию решений, удаленный доступ к мониторингу производственных процессов [250] и т.д.

При этом необходимо отметить, что наличие минерально-сырьевой базы и зависимость ведения горных работ от горно-геологических условий требует применения конкретных цифровых активов. Уникальные характеристики каждого месторождения, невозможность переноса минерально-сырьевых активов, применимость технологии к конкретным условиям делает цифровые активы идиосинкратическими, то есть активами, ценность которых при альтернативном применении становится ничтожной.

Следует отметить, что ключевые характеристики минеральных активов (геометрия рудного тела и содержание полезного компонента) являются источниками неопределенности и риска в отрасли. Это определяет необходимость получения значительного объема информации о рисках, повышения качества и эффективного использования информации. Сегодня наличие необходимой, полной и достоверной информации у лиц, принимающих решения, является одним из главных условий их эффективности, и дополняет традиционно значимые ресурсные факторы, включая наличие и рациональное использование материальных и финансовых ресурсов. Это указывает на необходимость выделения информации в отдельный специфический информационный актив компании, который будет являться одним из видов цифровых активов.

Если говорить об истории развития информационных активов горной отрасли, то можно выделить несколько периодов [100].

Первый период, с 60-х гг. XX века, связан со сбором информации о минеральном сырье, количестве и содержании. Одновременно начали развиваться технологии автоматизации в добыче и обогащении, что привело к росту производительности труда.

В начале 1970-х гг. появился геостатистический анализ, компании начали внедрение трехмерного цифрового блочного моделирования. Эти новшества помогли специалистам в решении задач прогноза запасов полезных ископаемых, что привело к росту качества и увеличению достоверности оценки ресурсов. Данный этап продолжался порядка 20 лет.

Третий период развития связан с дальнейшим развитием трехмерного геометрического моделирования и визуализации. Его можно рассматривать как эволюцию второго периода, так как основным достижением стало развитие трехмерных моделей и рассмотрение геологических структур как пространственных трехмерных объектов. Эта технология добавила новое измерение в процессы конструирования и анализа моделей. Даже учитывая то, что со временем этот процесс замедлил свое развитие, эффект от вызванной им визуализации длился довольно долго.

Во второй половине 80-х годов активно начал развиваться процесс компьютеризации информационных активов. Многие процессы стали оцифровываться, например, горное проектирование, оптимизация, календарное планирование. Эти процессы внесли заметные изменения в деятельность предприятий и процессы управления, однако, пройдя пик, и эта волна начала терять свою актуальность через несколько лет после начала.

В начале XXI века темпы развития информационных активов стали замедляться. Их развитие касалось отдельных элементов и процессов, в то время как появление глобальных новшеств на уровне всего предприятия стало более редким явлением, в основном осуществлялась модернизация существующих методов.

Однако в последние годы на первый план стал выходить новый вид информационного актива – «большие данные», или Big Data [82]. Термин «Big Data» используется с 1990-х годов, хотя по своей сути, принцип сбора больших объемов данных не является чем-то совершенно новым. За последние два десятилетия объем и скорость, с которой генерируются данные, изменились и стали выходить за пределы обычного человеческого восприятия. Даже с самыми передовыми технологиями сегодня невозможно проанализировать все имеющиеся данные.

Феномен Big Data связан с тем, что развитие Интернета вещей, то есть подключение физических объектов к сети и получение данных от них, а также повсеместное использование интернета позволяет собирать данные в огромных объемах от любых источников. Информация, поступающая таким образом, представляет собой многомерный неструктурированный массив,

ценности которого только начинает уделяться особое внимание. Это объясняется тем, что за счет развития технологий процедура сбора и хранения данных дешевеет и упрощается, а их использование находит все новое применение. Согласно последним исследованиям [295], такая тенденция в будущем будет не только сохраняться, но и набирать обороты.

Эволюцию Big Data можно условно разделить на четыре основных этапа:

– На первом этапе производился анализ данных, хранящихся в реляционных системах управления базами данных (RDBMS). Основными характеристиками этапа считаются хранение данных и управление базами данных. Первый этап обеспечил основу современного анализа данных с использованием хорошо известных методов, таких как запросы к базе данных, интерактивная аналитическая обработка и стандартные инструменты отчетности.

– Второй этап начинает свою историю с начала 2000-х годов, когда Интернет стал предлагать уникальные возможности сбора и анализа данных. Компании начали анализировать поведение клиентов, собирая и изучая данные о местоположении, статистику поиска и т.д. С точки зрения анализа данных, использование Интернета привело к значительному росту объема полуструктурированных и неструктурированных данных. Помимо работы со стандартными структурированными типами данных, организациям было необходимо найти подходы и решения для работы с новыми данными и их эффективного анализа. Это значительно обострило потребность в инструментах, технологиях и аналитических методах, которые могли бы извлекать значимую информацию из неструктурированных данных.

– Хотя работа с неструктурированными данными по-прежнему остается основным направлением исследований в области анализа данных, третий этап развития Big Data характеризуется получением ценной информации с помощью мобильных устройств, которые не только дают возможность анализировать поведенческие данные, такие как поисковые запросы, но и позволяют хранить и анализировать данные на основе местоположения.

– Четвертый этап развития Big Data характеризуется появлением Интернета вещей и ростом числа смарт-устройств, подключенных к сети, которые значительно увеличивают генерацию данных. Согласно исследованию о внедрении Интернета вещей в компаниях разных отраслей экономики в мире [364], 85% из числа исследованных компаний используют данную технологию, к 2021 году данный показатель должен возрасти до 94%. По прогнозам аналитиков в 2030 году [251] число активных устройств Интернета вещей составит 24 млрд единиц, что в три раза больше, чем в 2019 году, что только подтверждает актуальность Big Data для бизнеса.

При этом объем информации, который хоть и является одной из отличительных черт Big Data, не должен рассматриваться в качестве исключительного критерия. Это связано с тем, что, во-первых, данные могут быть представлены в разных форматах (текст, фото, видео), что делает сравнение некорректным, а, во-вторых, стремительная скорость развития устройств по

сбору и хранению данных доказывает, что тот объем, который еще пять лет назад являлся значительным, сегодня уже не может быть охарактеризован таким образом. Даже анализируя публикации, вышедшие за последние пару лет, можно убедиться, что разные авторы по-разному определяют объем Big Data: в то время как одни авторы говорят о тера- и петабайтах [44, 278, 303], другие рассматривают уже зеттабайты [266, 353].

Помимо объема, в качестве других важных характеристик необходимо выделить еще две. Первая - это скорость обработки данных, под которой понимается высокий темп их получения, обработки и дальнейшей передачи, и которая иногда расценивается как главная отличительная особенность Big Data [278]. И вторая – разнообразия форматов, в которых эти данные могут быть представлены: сюда входят тексты, изображения, видео, географическое положение и т.д.

Эти три характеристики представляют собой ключевые особенности, которые были выделены первоначально, при этом предлагается дополнительно учитывать характеристики достоверности [268, 365], ценности [67, 285], вариабельности [278], обоснованности [158].

Таким образом, исследования показывают, что с ростом изученности Big Data возрастает и число их специфических характеристик. Несомненно, число характеристик можно увеличивать и дальше, добавив, например, визуализацию, отражающую специфическую сложность отображения Big Data для их удобного восприятия.

Как и в случае внедрения любой новой технологии, работа с Big Data сопряжена с возникновением определенных проблем [278, 299], не дающих возможность использовать большие данные с получением максимальных эффектов.

Во-первых, рост объема данных требует соответствующих мощностей для их обработки. И если технологии, способные справляться с такой задачей, начинают появляться, то говорить об их широкой доступности пока преждевременно.

Во-вторых, пока отсутствуют аналитические инструменты, которые можно использовать для работы с Big Data. Обработка данных должна происходить с учетом не только конкретной отрасли, но и конкретного предприятия, например, для добывающей промышленности. Вследствие большого разнообразия условий ведения работ и характеристик полезного ископаемого, перенесение определенной модели с одного разрабатываемого месторождения на другое может повлечь серьезные ошибки.

В-третьих, при значительных объемах Big Data их качество может значительно отличаться, что, в условиях недостатка навыков работы с ними, также может отрицательно сказаться на принятии управленческих решений.

В-четвертых, отдельного внимания заслуживают средства визуализации данных, которые пока предоставляют ограниченные возможности и характеризуются невысокой производительностью и длительным временем отклика [366].

В-пятых, механизмы охраны данных еще не совершенны, поэтому вопрос обеспечения информационной безопасности и сохранности Big Data очень актуален для всего мирового сообщества. Сюда же можно включить и несовершенство законодательства, затрагивающего использование Big Data – проблему, особо острую для России [199].

И, наконец, в-шестых, важно отметить нехватку квалифицированных кадров и необходимых образовательных программ по подготовке специалистов в области использования Big Data. Проблема состоит в том, что развитие отрасли идет стремительными темпами, и образовательные программы не успевают за всеми изменениями.

К преимуществам, получаемым компаниями за счет использования Big Data, следует отнести [132, 230]:

– Повышение качества выпускаемой продукции.

Современное автоматизированное производственное оборудование способно собирать информацию о процессах, что будет отражаться на качестве выпускаемой продукции. Получаемый большой объем данных позволяет осуществлять мониторинг расхода и качества используемых материалов, производимой продукции и процесса производства, и вносить необходимые изменения.

– Обеспечение контроля производственного оборудования.

Big Data предоставляют компании возможности в управлении таким оборудованием, например, в оценке его износа и внедрении мероприятий по повышению эффективности его функционирования.

– Повышение безопасности ведения работ.

Для определенных отраслей, характеризующихся повышенной опасностью, как, например, атомная или горнодобывающая, вопрос снижения количества чрезвычайных ситуаций стоит особенно остро. Это связано с тем, что, во-первых, масштабы возможного ущерба велики, а во-вторых - последствия чрезвычайных ситуаций включают гибель людей, а не только материальный ущерб. В таких случаях мощная статистическая база позволит предсказывать вероятность того или иного чрезвычайного происшествия, и именно Big Data способны внести решающий вклад в ее качество.

– Усовершенствование дизайна продукта.

В отдельных отраслях экономики клиенты сами становятся участниками проектирования продукта, дизайнеры начинают рассматривать задачи проектирования как задачу использования данных, поступающих в больших объемах и требующих анализа и обработки.

– Улучшение и персонализация качества обслуживания.

Исследователи утверждают [82], что в современных условиях сервис и послепродажное обслуживание не менее важно для потребителей, чем содержание и качество самого продукта. Оказание услуг создает конкурентное преимущество для компании, Big Data дает возможность получать больше информации о конкретном случае, персонализировать обслуживание.

– Повышение точности прогнозирования спроса.

Анализ больших массивов дает возможность выявлять не только видимые тренды, подтверждаемые большим объемом имеющейся информации, но и идентифицировать скрытые зависимости, что является невозможным для стандартных технологий работы с данными.

– Повышение точности прогнозирования снабжения и доставки.

Получая данные о транспортировке грузов, обработка и анализ Big Data помогает также усовершенствовать каналы доставки. Информация о поставщиках характеризуется неоднородностью, что также влечет необходимость применения методов работы с Big Data для ее качественного анализа и использования.

– Контроль потребления ресурсов.

Благодаря работе с данными, поступающими от оборудования, могут быть приняты меры по рационализации потребления электроэнергии; на основе анализа траектории движения транспортных средств может быть определен их оптимальный маршрут, минимизирующий не только затраты топлива, но и объемы выбросов и т.д.

– Оптимизация складского хозяйства.

Можно с высокой точностью оптимизировать складские ресурсы, принимая при этом во внимание не только фактические показатели, но и факторы, влияющие на них, тем самым учитывая тенденции развития предприятия, рынка и экономики в целом.

Информационные активы часто обуславливают результативность производств, компаний и отраслей, а в некоторых странах с помощью информационных ресурсов производится подавляющая доля стоимости в ее общем объеме [258].

Главное значение информации состоит в том, что она уменьшает энтропию системы, тем самым снижая неопределенность. Именно это свойство и является основным, когда речь идет об информации о сырьевых активах.

Необходимость развития горной отрасли в современных условиях должна учитывать понятие потенциала минеральных ресурсов, отличающее их от других видов ресурсов и отражающее их вероятностную характеристику. Ценность потенциала определяется на основании кондиций сырья, рассчитанных в данный период времени в текущих условиях и с использованием технологий, обеспечивающих качество и полноту добычи. Из этого следует, потенциал, во-первых, изменяется в динамике и, во-вторых, не всегда представляет собой те

объемы сырья, добыча которых будет экономически выгодной для компании. Это определяется совокупностью факторов, таких, как рыночные цены на добываемое сырье, высокие затраты на добычу, текущие технические возможности компании, состояние горного массива и условия ведения работ и т.д.

Информация в форме цифровых данных представляет собой специфический ресурс [335], выделяемый за счет определенных особенностей среди других ресурсов компании:

- данные без потери их качества могут быть использованы одновременно различным числом пользователей;
- данные могут быть скопированы;
- данные могут быть перенесены на другие устройства и носители;
- данные обладают свойством исключительности, то есть не могут быть заменены;
- сфера использования данных широка;
- данные подвергаются обесцениванию по истечению определенного периода времени;
- данные характеризуются неисчерпаемостью;
- данные характеризуются возобновляемостью.

Понятие «информационный актив» в России в официальных документах было зафиксировано еще в 2007 году [57], однако на протяжении последних почти 15 лет его понимание подвергалось изменениям и уточнениям. Так, в ГОСТе 2007 года под информационным активом понимались «информационные ресурсы или средства обработки информации» [57]. Информационные ресурсы при этом рассматривались как «оборудование, используемое для обработки, передачи или хранения информации, независимо от того, находится оно внутри организации или за ее пределами. К подобному оборудованию относятся: телефоны, факсимильные аппараты и компьютеры». Недостатком данного подхода являлось отсутствие учета непосредственно информации в бумажном либо электронном виде.

Позже это было учтено, и под информационным активом стали понимать «различные виды информации, циркулирующие в информационной системе (служебная, управляющая, аналитическая, деловая и т.д.) на всех этапах жизненного цикла (генерация, хранение, обработка, передача, уничтожение)» [55]. Это определение включает саму информацию и конкретизирует ее различные виды, однако при этом не раскрывает состава и сущности этих видов.

В дальнейшем определение информационного актива было пересмотрено и сформулировано как «знания или данные, которые имеют значение для организации» [56]. Данное определение также нельзя назвать исчерпывающим, так как оно характеризовало активы лишь в общем, подчеркивая их значение для компании, но не раскрывая сущность.

До сих пор встречаются различные точки зрения на состав информационных активов.

В одних источниках [179] можно найти следующий состав:

- материальные информационные активы;
- нематериальные активы;
- бумажные документы;
- программное обеспечение;
- имидж и репутация компании;
- корпоративная база знаний компании.

С таким составом трудно согласиться. Бумажные документы без уточнения их содержания не следует считать информационными активами, к тому же, некоторые документы могут находиться лишь на электронных носителях и в таком случае не попадают в состав информационных активов в соответствии с этим представлением. Также нельзя утверждать, что информационными активами будут являться все нематериальные активы, а отдельное выделение имиджа и репутации компании ведет к двойному учету активов.

В других работах [99] информационные активы представлены как совокупность таких компонентов, как:

- информационные ресурсы;
- информационная модель компании;
- информационно-коммуникационная инфраструктура;
- регламенты информационного взаимодействия;
- персонал информационных служб.

Данный подход представляется более объективным, однако «персонал информационных служб» нельзя считать активами, а знания, навыки и умения должны быть учтены в составе человеческого капитала. Кроме того, исследователями не раскрыто содержание составляющих, что может приводить к неверной интерпретации подхода.

Что касается зарубежных источников, то понятие и значение информационных активов однозначно определяется в значительном количестве источников [351, 378]. Авторы подчеркивают, что информация является активом организации из-за ее важности и значения для принятия управленческих решений [372].

По мнению автора, под информационным активом следует понимать разновидность цифрового актива, представляющий собой совокупность данных, которые могут быть идентифицированы, представлены на любом носителе и имеют ценность для компании (Рисунок 17).



Рисунок 17 – Информационные активы в составе цифровых активов

Сегодня научный дискурс все больше внимания уделяет вопросу информационных активов, подчеркивая их значимость для принятия управленческих решений, в том числе, в добывающей промышленности. По нашему мнению, анализ связи информационных и минеральных активов позволяет повысить качество оценки ценности и эффективности использования недр. На сегодняшний момент именно неполнота информации о минеральном сырье в недрах и его характеристиках снижает или завышает стоимость минерального актива и перспективы освоения месторождения. Поэтому идентификация, оценка и учет информационных активов на горном предприятии позволяет выявить и оценить синергетический эффект за счет его комплексного состава и дополнительности (комплементарности) к минеральным активам.

Создание цифровых активов происходит как непосредственно в самих горных компаниях, так и при их сотрудничестве с научными, исследовательскими и образовательными центрами. Например, ПАО «ГМК «Норильский никель» имеет свою «Цифровую лабораторию», задачей которой является разработка решений по повышению внутренней эффективности и создание новых продуктов [222]. Особого внимания заслуживает программа компании под названием «Технологический прорыв» по переходу на безлюдную добычу с использованием автоматизированного транспорта и других технологий. Ожидаемый экономический эффект от программы оценивается в 400 миллионов долларов США к 2030 году [221].

При взаимодействии в системе бизнес-наука-образование цифровые активы создаются специализированными научными центрами и университетами. Например, ПАО Магнитогорский металлургический комбинат в 2018 году начал сотрудничество с МГТУ имени Носова, что привело к созданию научно-исследовательского центра "РнД МГТУ", задачами которого является создание цифровых двойников, систем автоматического управления, обработка и анализ больших данных и т.д. [198]

Это доказывает, что, во-первых, на практике такие информационные активы, как Big Data, непосредственно связаны как с минеральными активами, так как несут информацию о характеристиках сырья и производственных процессах, так и с другими цифровыми активами, как цифровой двойник, где происходит обработка и визуализация данной информации. Во-

вторых, это еще раз подчеркивает невозможность обособленного внедрения и использования цифровых активов на горном предприятии, так как для получения ожидаемых преимуществ необходимо научное и инженерное сопровождение.

Аналогичный пример – решение о размещении «Цифровой лаборатории Норникеля» на территории инновационного центра Сколково для использования инфраструктуры технопарка, а также возможности получения доступа к разработкам его резидентов [245]. Это позволит достичь комплексного эффекта за счет взаимодействия активов.

### **2.3 Направления развития цифровых активов для экономического роста горных предприятий**

Как и в случае применения любой новой технологии, нельзя утверждать, что цифровые активы могут быть без проблем интегрированы в производство. В качестве основных трудностей можно назвать следующие:

– ограниченные компьютерные возможности обработки данных.

Несмотря на развитие компьютерных технологий и постоянное увеличение объемов памяти, компьютеры, которые в состоянии обрабатывать большие данные, пока отличаются высокой ценой и широко не распространены на предприятиях. Соответственно, приобретение нового, более современного оборудования будет представлять собой дополнительные затраты, в то время, как темпы роста объемов данных значительно превышают рост возможностей развития техники по их обработке [82].

– плохая совместимость форматов данных.

Формат данных, получаемых от компонентов системы с помощью Интернета вещей, разнообразен. Это и числовые показатели, например, температура окружающего воздуха или объем перевозимой горной массы, и данные о местонахождении людей или оборудования, и фото- и видеоматериалы. Они требуют не только разных программ для их обработки, но и технической возможности обобщения и интеграции этой разнородной информации, что сегодня представляет собой техническую сложность [191].

– недостаток квалифицированных кадров.

В России наблюдается дефицит персонала, обладающего всеми необходимыми знаниями и умениями, как по созданию, так и по использованию цифрового двойника на производстве. Высшие учебные заведения не успевают за стремительным развитием этого направления инноваций, а малое количество успешных примеров разработки и внедрения цифровых двойников не позволяет специалистам учиться на практике.

– обеспечение информационной и кибербезопасности.

Большой объем и растущая ценность данных обуславливают необходимость мер по их защите. С развитием технологии цифровых двойников вся информация, содержащаяся в них, может представлять интерес не только для самого предприятия, но и для его конкурентов. Цифровой двойник может быть признан важнейшим конкурентным преимуществом предприятия, поэтому доступ к нему должен быть регламентирован.

– необходимость ментальной адаптации сотрудников.

Для России отдельно стоит отметить проблему, проявляющуюся в нежелании и боязни многих сотрудников и руководителей, особенно старшего поколения, перехода к использованию цифровых технологий. Основными причинами являются невысокая компьютерная грамотность и приверженность к старым проверенным методам ведения работ. Поэтому для разработки и внедрения методов, ориентированных на цифровизацию производства, требуется поддержка со стороны специалистов и изменение мышления в рамках всей организации.

Отдельно стоит отметить специфические особенности горной промышленности, которые могут быть причиной проблем, не рассматриваемых обычно компаниями других отраслей [321].

Например, при добыче полезных ископаемых подземным способом, в момент проведения буровзрывных работ, оборудование, находящееся в забое, получает значительные повреждения из-за действия взрывной волны. Соответственно, датчики, установленные на нем, будут также страдать от этих повреждений, что отрицательно скажется на процессе сбора и передачи данных и их качестве и может привести к дополнительным затратам.

Срок жизни горного предприятия ограничен, так как определяется объемом запасов полезного ископаемого на месторождении. Соответственно, создание цифрового двойника на горном предприятии должно происходить в начале работ по отработке месторождения, чтобы, во-первых, максимально собрать все требуемые данные, а, во-вторых, получить эффект от цифрового двойника до ликвидации производства. Отметим, что данные, содержащиеся в цифровом двойнике, в дальнейшем могут быть использованы самой компанией для упрощения процесса отработки аналогичных месторождений либо проданы заинтересованным лицам, однако специфичность условий ведения работ на каждом конкретном месторождении ограничивает тиражирование цифровых технологий, разработанных под определенные условия.

Учитывая сложность процесса добычи полезных ископаемых, обусловленную, например, ведением работ подземным способом в опасных условиях, необходимо отметить такое требование, предъявляемое к цифровому двойнику месторождения, как его комплексность.

В цифровом двойнике должны найти отражение все производственные процессы, используемое оборудование и количественные и качественные характеристики вмещающих

пород и самого полезного ископаемого. Учитывая масштабы производства, и, соответственно, объем получаемых данных, стоимость цифрового двойника месторождения в горной промышленности будет велика по сравнению со стоимостью цифровых двойников в других отраслях экономики. Поэтому данная технология будет доступна только крупным финансово устойчивым компаниям, для месторождений с многолетней эксплуатацией, или нескольких месторождений одного генезиса, по крайней мере, в ближайшее время, пока цифровые двойники не станут неотъемлемой частью любого предприятия, и стоимость их создания не будет снижаться.

Следует отметить, что использование информационных активов сегодня является одной из характеристик современного предприятия. При этом, важной чертой является объединение информации из разных источников и ее интеграция – процесс, который помогает увеличить эффективность принимаемых решений за счет появления так называемого комплементарного знания, чья ценность превышает суммарную ценность его составляющих. Кроме того, интеграция модернизирует процесс полностью, а не только вносит изменения в отдельные процессы. Интеграция использует различные независимые горные программы (приложения) и связывает их в цифровой форме, чтобы это соответствовало бизнес-модели и целям производства.

Для этого создаются интегрированные центры операций, представляющие собой комбинацию локальных центров управления операциями, удаленных центров и системы удаленного управления техникой и оборудованием [277]. Локальные центры обладают функциями диспетчеризации оборудования, мониторингом ее состояния и управлением производственной цепи от добычи до обогащения. Задачей удаленных центров является мониторинг и многофункциональная экспертная поддержка, а также удаленное управление оборудованием. Например, такие центры созданы в регионе Pilbara в Австралии [277], где происходит добыча железной руды. Создание таких интегрированных центров – сложный процесс, требующий изменений в системе организации производства и управления, поэтому на предприятии должен осуществляться постепенно путем перехода от локальных центров к постепенному внедрению удаленных центров. Это позволяет усовершенствовать систему контроля, повысить качество принимаемых решений вследствие их аналитической проработки и концентрации компетенций. В результате производительность операций возрастает в среднем на 5-10%, по отдельным видам оборудования – до 25% [277]. Рост производительности, уменьшение трудоемкости, снижения числа несчастных случаев и уменьшение времени и количества простоев способствует достижению планируемых производственных показателей, что ведет к экономическому росту компании.

Четыре важных технологических предпосылки способствуют развитию системной интеграции: персональные компьютеры, системы "клиент-сервер", доступ к централизованным базам данных и работа горных программ в сетях горных предприятий.

Использование персональных компьютеров стало неотъемлемой частью деятельности любого предприятия, а их технические характеристики, скорость и мощность позволяют решать широкий спектр проблем. Архитектура "клиент-сервер" дает возможность распределять ресурсы среди большого количества пользователей с помощью сетевых технологий. Сети обеспечивают доступ к новым и более совершенным процессам, например к централизованным базам данных для управления огромным количеством информации. Исторически эти технологии пришли из различных специализированных компаний, каждая из которых использовала свои алгоритмы и форматы. Сегодня они значительно развиты такими крупными компаниями как IBM, Microsoft, Oracle и многими другими. Их открытость и стандартизация сделали возможными интеграцию и ее результаты.

Сетевые горные технологии спроектированы для того, чтобы удовлетворять технические и ежедневные производственные потребности. Эти технологии разрабатываются такими поставщиками горных программ, как Gemcom, Datamine, Surpac, Maptek, Mincom и многими другими [290, 304]. Эти горные системы включают множество специализированных программ, от обработки данных по скважинам, оценки ресурсов, планирования и контроля качества рудопотоков. Кроме того, специализированные компании поставляют программы для различных специфических задач, таких как оптимизация карьеров, БВР или управление парками горных машин. Big Data уже находят применение в отрасли. В частности, компания Sasol (ЮАР) использует для хранения и обработки информации технологии «озеро данных» (data lake), где аккумулируются значительные объемы данных из разных источников [156].

Несмотря на существующие примеры использования Big Data и их потенциал, горная промышленность пока не является полностью подготовленной для их внедрения. Существующие сложности обусловлены резким увеличением объема информации и недостатком средств и технологий для ее корректного сбора, обработки, передачи, хранения и визуализации. Многие инструменты работы с Big Data отличаются невысокой производительностью [266], что затрудняет работу с ними. Важную роль играет и аналитика собираемых данных и, соответственно, наличие инфраструктуры для решения этой задачи. Специфические характеристики Big Data, такие как объем и неоднородность вызывают трудности интерпретации получаемой информации. Неточности и ошибки приводят к искажению ситуации и ошибочным выводам. Гарантии безопасности информации формируют конкурентное преимущество компании. В России еще два фактора затрудняют технологии: дефицит специализированных кадров и пробелы в специализированном законодательстве [199].

Эффективное функционирование цифровых и информационных активов создает ценность при правильной интерпретации полученных результатов. Это подтверждается мнением отраслевых специалистов в минерально-сырьевом секторе о том, что в эпоху 4 промышленной революции одним из главных направлений должно стать развитие кадровой политики [249]. Внедрения информационных технологий недостаточно, необходим переход к цифровому мышлению в процессе формирования управленческих стратегий [87], что может быть возможно только в случае соответствующего развития организационного капитала.

В условиях цифровизации экономики принятие управленческих решений представляет собой «важнейший ресурс повышения эффективности» [236]. Оно достигается при сокращении сроков принятия решений и повышении их обоснованности посредством использования цифровых технологий и структурированной и актуальной информации.

Неотъемлемым элементом для принятия решений служит наличие релевантной информации в нужном объеме и наличие необходимых средств и инструментов для ее обработки. При этом качество принимаемых управленческих решений определяется возможностями используемых инструментов. Цифровизация технологии принятия управленческих решений дает возможность принимать их, основываясь не только на имеющейся информации, но и используя контекстную информацию, поначалу отсутствующую в системе или не рассматриваемую для данной цели.

В некоторых современных исследованиях [250] авторы предлагают рассматривать комплексную систему, называемую «интеллектуальный майнинг». Данная система состоит из следующих компонентов:

- искусственный интеллект;
- современные телекоммуникационные системы;
- человек (работник).

Искусственный интеллект необходим для решения сложных задач, телекоммуникационные системы отвечают за эффективную передачу данных любого объема, знания, умения, навыки и компетенции работника интегрируются. «Интеллектуальный майнинг» представляет собой четвертый этап развития геотехнологии (Таблица 11) [250].

Как видно из характеристики Майнинга 4.0, его главной чертой является отражение обмена информацией в реальном времени между различными производственными процессами, отдельными участками и дирекцией. Таким образом, формируется представление о комплексном использовании активов, но недостатком данного концепта является то, что сама «информация» не расценивается как составная часть Майнинга.

Таблица 11 – Связь этапов развития промышленности, геотехнологии и эволюция Майнинга 4.0

Период	Этапы развития промышленности	Технологические инновации	Этапы развития геотехнологии	Инновации в горном деле
XVIII-XIX вв.	Индустрия 1.0	Каменноугольный кокс, паровые машины, добыча природного газа	Майнинг 1.0	Механизация вспомогательных процессов
Вторая половина XIX - начало XX вв.	Индустрия 2.0	Электричество, поточное производство, добыча нефти и цветных металлов, двигатели внутреннего сгорания	Майнинг 2.0	Механизация основных процессов
Вторая половина XX в.	Индустрия 3.0	Автоматизация, аналоговые вычислительные и управляющие системы	Майнинг 3.0	Оборудование высокой удельной производительности, аналоговая телеметрия
Начало XXI в.	Индустрия 4.0	Цифровизация, Интернет вещей, искусственный интеллект, конвергентные технологии	Майнинг 4.0	Безлюдные технологии, удаленное управление процессами, цифровое моделирование

При этом сегодня горнодобывающей компании требуется актуальная и полученная в реальном времени информация о производстве, качестве, продолжительности различных циклов, состоянии машин и оборудования, а также других переменных.

Цифровые активы приобретают ценность при использовании в производственном процессе и управлении, дополняют производственные активы и применяются совместно с минеральными активами, нуждаясь, при этом в сопровождении организационных активов, т.е., должны рассматриваться в едином комплексе. Несмотря на развитие цифровых активов и существующие подходы к их внедрению и интеграции в производственный процесс, до настоящего времени остается актуальным вопрос поиска инструментов для обеспечения экономического роста горнорудного производства.

Цифровые технологии, несмотря на их многообразие и положительный опыт внедрения, сами по себе не являются комплексным решением. Они требуют дополнения другими активами. В случае комплексной интеграции в системе накапливаются новые знания о природной и

техногенной среде ведения горных работ, что снижает риск и обеспечивает решение проблемы промышленной безопасности. Это способствует достижению экономического роста горной компании за счет выполнения планируемых показателей, повышая качество знаний об условиях ведения горных работ и обеспечивая требуемые объемы добычи сырья.

## 2.4 Выводы к главе 2

1. Цифровизация экономики распространяется на все сферы промышленности, в том числе и на добывающую отрасль. Лидером является нефтегазовая отрасль, а добыча твердого минерального сырья, особенно в подземных условиях, характеризуется низкой степенью внедрения цифровых технологий из-за сложности ведения работ и высокой специфичности их условий.

2. Анализ прогнозов цифровизации горной отрасли показывает значительные перспективы и возможность применения на всех этапах производственной цепи: геологоразведочных работ, при добыче, транспортировке, обогащении, маркетинге и поставках конечным потребителям. Цифровые технологии помогают решать задачи в области производства и управления для обеспечения безопасности, уточнения модели месторождения, подготовки кадров и т.д.

3. Значимость цифровых технологий для отрасли, их потенциал и единая природа обуславливают необходимость выделения специфического нематериального актива - цифрового актива, под которым понимается отдельный вид нематериальных активов предприятия, представленных в цифровой форме и служащих для поиска, сбора, создания, передачи, приема, хранения, распространения, обработки, анализа и преобразования информации, обладающей ценностью для предприятия, то есть вызывающей изменение его денежных потоков.

4. Феномен Big Data, характеризующийся ростом возможностей сбора информации о производственных и управленческих процессах, подчеркивает критическую важность информации для горной отрасли и определяет необходимость выделения особого цифрового информационного актива для горной отрасли, эксплуатация которого позволяет повысить эффективность и качество принимаемых управленческих решений, что напрямую способствует экономическому росту горнорудного предприятия.

5. Развитие цифровых технологий отличается высокими темпами и разнообразием решений, при этом проблемы нехватки технических возможностей для обработки больших объемов данных, плохой совместимости форматов данных, недостатка квалифицированных кадров, несовершенства законодательства в области разработки, внедрения, эксплуатации

цифровых активов и защиты информации ограничивают возможности цифровизации горного производства. Для эффективного функционирования цифровых активов в отрасли должны быть созданы определенные условия, в том числе развита инфраструктура для внедрения активов и подготовлен персонал для работы с ними. Развитие инфраструктуры подразумевает интеграцию цифровых активов с имеющимися активами, совместимость используемых технологий и данных.

6. Применение цифровых активов нацелено на решение широкого круга задач, к которым относится контроль безопасности, повышение точности геологоразведки, создание актуальной модели месторождения, управление производством, транспорт и логистика, сокращение простоев, подготовка кадров, мониторинг продукции.

7. Несмотря на существование отдельных цифровых активов, созданных для контроля безопасности на производстве, на сегодняшний день проблема прогнозирования горных ударов остается нерешенной, а уровень производственной аварийности – высоким, что подчеркивает недостаточность обособленного применения цифровых активов для достижения заданного уровня безопасности и ведения работ в опасных горно-геологических условиях.

8. Эксплуатация цифровых активов требует создания единой платформы, включающей научное и инженерное сопровождение и позволяющей успешно интегрировать цифровые активы в производственный и управленческий процесс и получать ожидаемые преимущества.

9. Комплексная интеграция цифровых активов в горнорудное производство обеспечит экономический рост горной компании, так как помимо улучшения ее финансово-экономических показателей будет способствовать достижению безопасности работ, что позволит гарантировать соблюдение требуемых объемов добычи сырья.

## ГЛАВА 3 ФОРМИРОВАНИЕ КОМПЛЕМЕНТАРНЫХ АКТИВОВ ГОРНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ В ЦЕЛЯХ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКОГО РОСТА

### 3.1 Развитие концепции комплементарных активов

Основой формирования концепции комплементарных активов и ресурсов является ресурсная теория в ее статическом и динамическом вариантах, институциональная теория и концепции синергии [26, 130, 164, 374]. Формирование концепции определяется сложностью современного производства и управления компанией и необходимостью выбора нового инструмента для решения текущих и перспективных задач. Значительное количество рисков, сопровождающих современное предприятие в условиях неопределенности, требует сложных новых комбинаций различных ресурсов и активов.

Исследования взаимосвязи между ресурсами фирмы и ее эффективностью на рынке стали появляться в конце 1980-х гг. В статье «Ресурсная трактовка фирмы» впервые была высказана мысль о том, что «полезность анализа фирмы определяется скорее с точки зрения ее ресурсов, чем продуктов» [374]. В то же время эта тема начала рассматриваться и в работах других ученых, что позволило говорить о появлении ресурсной теории [26]. В начале 1990-х гг. продолжается развитие данной темы, в том числе, вследствие выхода статьи «Ключевая компетенция корпорации» [346], где подчеркнута важность нематериальных ресурсов компании, а также благодаря развитию теории стратегического управления в работах Дж.Барни, Р.Гранта, Д.Коллиза, К.Кула, С.Монтгомери, Д.Тиса и других [102]. С этого времени ресурсная концепция стала находить все большее применение в практике стратегического управления компанией, что также способствовало ее развитию. Сегодня основной тезис ресурсной концепции звучит как «присущая фирмам неоднородность может быть устойчивой ввиду обладания ими уникальными ресурсами и организационными способностями, которые, являясь источниками экономических рента, определяют конкурентные преимущества конкретных фирм» [102].

Основные положения концепции [26, 103]:

- все исследуемые компании, чья деятельность и взаимодействия рассматриваются, являются независимыми;
- успех одной компании по отношению к другой обусловлен наличием устойчивых конкурентных преимуществ;
- фактором, обуславливающим конкурентные преимущества компании, является наличие стратегических ресурсов;
- распределение ресурсов между компаниями неравномерно;

– эффективное применение стратегических ресурсов обеспечивается наличием определенных качеств или способностей в компании.

Эти положения доказывают, что ресурсная концепция обоснованно признана важнейшей в развитии теории стратегического управления. Концепция характеризуется высокой степенью применимости для горной компании. Это связано с тем, что ресурсная концепция является «фундаментальной теоретической основой» для модели стратегического управления конкурентоспособностью горной компании за счет того, что компания обладает уникальными минеральными ресурсами, которые выступают в качестве конкурентных преимуществ [183].

При этом, в операционном управлении сложными и взаимосвязанными производственными процессами методология и инструментарий ресурсной теории пока используется достаточно ограниченно.

Содержательно, базой данной концепции являются ресурсы и способности, однако, несмотря на устоявшееся определение этих понятий, до сих пор существуют разные точки зрения насчет того, где проходит граница между ними. В первой трактовке способности рассматриваются как разновидность ресурсов, во второй – понятия однозначно разделяются [103].

При этом в первой интерпретации ресурсы определяются достаточно неоднозначно [287], а именно, как все то, что может быть источником конкурентных преимуществ для компании, в том числе физические и нематериальные активы, а также организационные способности. При такой точке зрения способности представляют собой один из видов ресурсов, целью которых является координация деятельности и использование других ресурсов. Они дают возможность компании использовать те же факторы производства, что и у конкурентов, но с помощью них получать такие продукты или услуги, которые будут отличаться (более высоким качеством или меньшими издержками). Некоторые авторы [26] подчеркивают, что способности имеют некоторые отличия от других видов ресурсов, например, их развитие во время использования, при этом все равно рассматривая способности как вид ресурсов.

Согласно второй точке зрения, ресурсы и способности различаются, при этом ресурсы «представляют собой источник способностей компании, а способности являются основоположником ее конкурентного преимущества и также выделяются своей организационной природой» [337]. Такая концепция представляется более логичной, так как каждый элемент характеризуется определенными чертами, не позволяющими объединять их в одно целое или устанавливать четкую иерархию. Несмотря на то, что и ресурсы, и способности могут быть как приобретены компанией, так и утрачены ею, ключевым различием между ними является то, что ресурсы расходуются по мере их потребления, а способности – развиваются [105].

При этом ресурсы компании могут характеризоваться как своим содержанием (иметь сложную структуру и топологию), так и количеством. Типов ресурсов выделяется множество, как материальных (финансовые, физические, технологические), так и нематериальных (человеческие, организационные, репутационные) [26].

Второй подход к рассмотрению комплементарных активов определяется с позиции институционализма. Отдельного внимания заслуживает рассмотрение ресурсов с точки зрения институциональной экономики, а именно – с позиции транзакционных издержек, в соответствии которой ресурсы – это специфические активы, использование которых альтернативным образом приведет к уменьшению их ценности. Таким образом, под ресурсами понимаются «специфические активы, которые трудно или невозможно имитировать и которые позволяют фирме реализовывать стратегии, способствующие повышению ее экономической и управленческой эффективности» [164].

Условия, которым должны удовлетворять ресурсы в соответствии с институциональной теорией:

- быть редкими, то есть их доступность должна быть ограничена;
- быть неповторимыми или невозпроизводимыми;
- быть незамещаемыми другими видами ресурсов.

Второе и третье условия поддерживают первое и исключают возможность дубликации ресурсов и, тем самым, снижения их редкости. При этом стоит отметить, что данные условия хоть и являются необходимыми, их недостаточно, чтобы ресурс стал стратегическим для какой-либо компании. Важную роль играет специфичность ресурса и самой компании. Тот ресурс, который может приносить конкурентные преимущества одной фирме, может быть бесполезным для другой.

Также следует учитывать, что наличие определенного ресурса само по себе не определяет конкурентное преимущество компании. Владение ресурсами требует формирования определенных способностей использовать эти ресурсы, так называемых динамических способностей, которые дают компании возможность создавать и имплементировать имеющиеся компетенции для соответствия изменениям и вызовам среды. Обращаясь к определению, принятому в академической среде, можно согласиться с [384], где утверждается, что «динамические способности — это являющийся результатом организационного обучения стабильный способ коллективной деятельности, посредством которого организация систематически генерирует и модифицирует свои операционные рутинные в стремлении к повышению управленческой эффективности» [384].

Только располагая ресурсами и необходимыми способностями для использования этих ресурсов, компания может формировать «ключевые компетенции», которые являются основой

получения конкурентных преимуществ. При этом ключевыми компетенции можно назвать только тогда, когда сочетание ресурсов и способностей является не копируемым, то есть уникальным для конкретной компании.

Третья концепция, рассматривающая комплементарные активы, - это концепция синергизма.

Концепция синергизма, которая начала складываться с 1920-х гг., фокусирует внимание на объединении ресурсов и получении синергетических эффектов. Первые упоминания в отечественной науке о возможном взаимном влиянии различных сил в компании появились в 1925 году. Тогда О.А. Ерманский высказал предположение о том, что при рациональной организации труда совместное действие составляющих представляет собой нечто большее, чем просто их арифметическая сумма [130]. Был выдвинут «принцип положительного подбора сил», означавший такое сочетание трудовых ресурсов, средств производства и т.д., при котором они взаимно дополняют друг друга. Таким образом, при отсутствии широко используемого сегодня терминов «синергизм» или «синергия» уже подразумевалось наличие дополнительных эффектов от объединения организационных составляющих.

Само понятие синергетического эффекта появляется в 1960-х гг. и по-разному применяется в различных отраслях. Так, некоторые исследователи ([232]) приписывают создание общего термина «синергетика» Г.Хакену, согласно которому «синергетика занимается изучением систем, состоящих из большого числа частей, компонент или подсистем, сложным образом взаимодействующих между собой». Применительно к экономическим наукам следует выделить И. Ансоффа с определением синергетического эффекта как «возможности превышения экономического эффекта от совместной работы нескольких бизнес-единиц над результатами их самостоятельной деятельности» [74].

После этого понятие синергии все чаще встречалось в экономических исследованиях. Так, Х.Итами, рассматривая отдельную бизнес-единицу, выделял ее внутренние ресурсы как объект синергизма и именно он ввел понятие синергетических и комплементарных эффектов [17]. При этом он принципиально разделял эти эффекты, утверждая, что комплементарный эффект возникает лишь за счет эксплуатации материальных активов и представляет собой повышение эффективности их работы, в то время, как синергетический представляет собой результат использования нематериальных активов. К материальным (или «физическим») активам он относил производственные мощности, а под нематериальными («невидимыми») активами подразумевал неосязаемые ресурсы: клиентский капитал, компетенции сотрудников, корпоративную культуру. При этом он утверждал, что именно невидимые активы являются основой долгосрочных конкурентных преимуществ за счет своей уникальности. Несмотря на

сложность создания и невозможность приобретения таких активов, они могут комбинироваться и быть использованы в различных направлениях, что обеспечит развитие компании.

Ансофф в своих работах не рассматривал нематериальные активы, Итами видел основные преимущества именно в них, утверждая, что они помогают компании получать конкурентные преимущества с меньшими издержками [130].

Взгляды Итами являлись более прогрессивными для своего времени, однако, как и идеи Ансоффа, не учитывали необходимость взаимосвязи материальных и нематериальных активов, что в дальнейшем отразилось в ресурсной теории. Итами рассматривал влияние нематериальных активов на рост эффективности производства при процессах слияний и поглощений компаний.

Основная характеристика нематериальных активов состоит в том, что они не расходуются во время использования, а приумножают свою ценность. В таком случае действительно логично говорить о возникающем синергизме. Однако если рассматривать деятельность компании, не участвующей в сделках M&A, то становится сложно обосновать идеи Итами. В современной компании «невидимые активы», в частности, организационные способности, имеют огромное значение, так как способствуют организационному обновлению компании с целью ее соответствия требованиям развития экономики. При этом говорить о том, что все конкурентные преимущества основываются лишь на нематериальных активах, не следует. Нематериальные активы помогают увеличить эффективность работы материальных активов, однако в производстве не несут ценности в случае их изоляции от последних.

Поэтому идеи Ансоффа и Итами были восприняты в научном сообществе неоднозначно: не только одобрением, но и критикой. Например, М.Портер критически относился к синергизму нематериальных активов и считал более рациональным уделять внимание взаимосвязям между материальными, нематериальными и конкурентными подразделениями компании [130].

Таким образом, в результате развития ресурсной и институциональной теорий и концепции синергетических эффектов в 1986 г. появилась концепция комплементарных активов, когда Д. Тис предложил концепцию включения комплементарных активов в модель PFI (Profiting from Innovation – Получение прибыли от инноваций). Инновации как фактор развития комплементарных активов рассматривались в работах ученых из разных стран [272, 286, 294]. Тис утверждал, что коммерциализация какого бы то ни было технологического достижения неотъемлемо связана с активами предприятия [383]. Комплементарные активы рассматривались в контексте распределения ценности от инноваций.

Наиболее известной публикацией стала теория комплементарных активов Милгрона и Робертса, в которой утверждается, что: «когда в результате какого-либо изменения повышается прибыльность одного из комплементарных видов деятельности или уменьшаются связанные с

ним издержки, что побуждает фирму увеличить объем данной деятельности, то возрастает доходность остальных комплементарных видов деятельности, что приводит также и к увеличению их объемов. Это, в свою очередь, еще больше увеличивает предельные доходы от первого вида деятельности, что может привести к новому циклу роста всех этих комплементарных видов деятельности» [340]. Данная концепция давала одно из объяснений эффективности, рентабельности и ценности видов деятельности или продуктов компании. Комплементарные активы рассматривались в контексте создания и максимизации ценности.

Таким образом, на основании данной концепции определение комплементарных активов можно представить с точки зрения эффективности инвестиций в них, а именно: комплементарные активы – это такие активы, где инвестиции в один актив приводят к увеличению эффекта от использования другого актива. То есть комплементарные активы способствуют росту ценности друг друга, что обуславливает необходимость их совместного развития.

Ряд исследований комплементарных активов представлен в работах по слияниям-поглощениям компаний [80, 81, 284]. В них утверждается, что комплементарные активы должны также рассматриваться в контексте создания и увеличения ценности компании, что особенно ярко проявляется в сделках по слияниям и поглощениям. Это объясняется тем, что в случае объединения, компании получают в распоряжение больший объем ресурсов, взаимодополняющих друг друга, что приводит к росту отдачи от них.

Все три концепции обосновывают идеи комплементарности активов не только с точки зрения материальных факторов производства, но и нематериальных, и направлены на поиск неосязаемых факторов ценности инноваций, эффективности деятельности, стоимости объединенной компании.

Проведенный анализ концепций комплементарных активов (КА) показал, что существует ряд определений КА в зависимости от подхода к их рассмотрению.

Во-первых, комплементарные активы могут рассматриваться с точки зрения цепочки создания стоимости. В соответствии с [361], комплементарные активы находятся в самом начале цепи и представляют собой активы, необходимые для производства, маркетинга и послепродажного обслуживания. В дальнейшем [360] данные идеи получили распространение и были дополнены необходимостью учета НМА и организационных способностей наравне с включением материальных активов в состав комплементарных.

Второй подход базируется на синергии. В частности, [296] понимают комплементарные активы как уникальные ресурсы партнеров альянса, которые суммарно генерируют доход, превышающий сумму доходов каждого из участников альянса.

И, наконец, третье определение базируется на роли самих активов. Так, активы делятся на основные и комплементарные, при этом к основным активам относятся те, которые обеспечивают выполнение основной деятельности предприятия, в то время как комплементарные активы дополняют основные и участвуют в производственной и управленческой деятельности компании [373].

Следует отметить, что данные подходы применимы к определенным условиям.

Первый подход является самым общим и не учитывает отраслевых особенностей. Кроме того, однозначное утверждение о том, что комплементарные активы находятся в начале цепочки создания стоимости исключает ситуации, когда дополнительные эффекты появляются, например, при дистрибуции продукта. Мы полагаем, что КА могут создаваться и функционировать на разных этапах производственного процесса в силу изменчивости и нестабильности внешней среды [319].

Второй подход описывает возникновение синергии при сделках слияния и поглощения и не рассматривает влияние комплементарных активов на производственный процесс предприятия и его показатели деятельности. Помимо этого, синергетический эффект рассматривается лишь с положительной точки зрения, в случае, когда общий доход превышает сумму доходов каждого отдельного участника. Как показывают исследования консалтинговых компаний (McKinsey, PWC и др.), не все сделки M&A ведут к такому результату, итогом некоторых является отсутствие какого-либо эффекта либо отрицательный эффект. Это свидетельствует о том, что, по мнению автора, под комплементарностью следует понимать не исключительно положительное влияние и рост эффективности от одних активов при наличии других, но и отрицательное влияние составляющих.

Третий подход к классификации активов на основные и комплементарные представляется логичным, однако охватывает только ситуации производства одного продукта или оказания одной услуги, т.е., имеет ограничения. В компании возможны случаи, когда какой-то актив, являющийся основным в производственном процессе по выпуску одного продукта или вида деятельности, может являться комплементарным для другого продукта (вида деятельности) и наоборот.

В результате анализа основных концепций КА автором сделан вывод о том, что определение комплементарных активов не содержит их четко выделенных признаков, является общим, что обусловлено недостатком исследований об изучении природы, взаимодействия и оценки КА [90].

Для уточнения формулировки выделены основные признаки, свойственные комплементарным активам.

1. Комплементарными могут быть два и более взаимосвязанных актива, использующихся для решения каких-либо производственных или управленческих задач компании.

2. Один из активов обуславливает создание, внедрение и применение другого актива или группы активов, причем такая зависимость является взаимной.

3. Использование комплементарных активов в деятельности компании не является обязательным, КА применяются для решения определенных многовариантных задач, что определяет их опционную природу.

4. Один или несколько комплементарных активов являются специфическими активами для конкретного предприятия, что определяет их конкретные условия и возможности применения и вследствие этого невозможность копирования и заимствования.

5. Комплементарные активы развиваются совместно, что вызывает появление комплементарных связей между ними, которые усиливают эффект от самих активов.

6. Связи между КА являются циклическими и двусторонними, так как в динамике развитие активов не останавливается, и изменение одного актива стимулирует изменения во всех остальных.

7. С течением времени комплементарные активы включают накопление объемов информации, что увеличивает возможности их применения и обуславливает рост их ценности во времени.

В последние годы в связи с развитием цифровых активов, растущим интересом к инновациям, экономике знаний, неосязаемым факторам развития и эффективности, идеи концепции комплементарности получают более широкое распространение и становятся актуальными. Однако, если за рубежом они привлекают внимание специалистов разных отраслей [294, 310], то в России пока исследования довольно фрагментарны [237, 247]. Например, некоторые исследования российских специалистов находятся в области комплементарности информационных ресурсов [241] и реализации комплементарных стратегий [43].

В работе [241] рассматриваются комплементарные информационные ресурсы, которые вследствие взаимосвязи образуют сложную систему. Комплементарность при этом понимается как «их согласованность и взаимная дополняемость при достижении поставленной цели» [241]. Подчеркивается, что такая комплементарность выделяется на основании существующей цели, поэтому ресурсы, комплементарные для одной цели могут не быть такими для другой. При этом комплементарность является необходимым свойством для организации систем, и если в биологических системах она достигается естественным путем, то в технических должна быть организована. По нашему мнению, это обоснованный научный взгляд, опирающийся на

институциональные идеи и системный подход для технических систем, который расширен в диссертации до технико-социально-экономической системы – горного производства и положен нами в основу формирования комплементарных активов в горном производстве.

В [43] комплементарность трактуется как «соответствие, взаимодополняемость, взаимосоответствие». По мнению авторов, она помогает представить в виде непротиворечивой модели противоположные концепции, отражающие различные взгляды. С учетом усиления конкуренции и развития экономической системы комплементарность понимается как основополагающая стратегия реализации бизнес-процессов. Она исходит из того, что «множество организаций, либо услуг, либо теорий, основываясь на разных системах отношений, взаимно дополняют друг друга и могут быть использованы для построения системы более высокого уровня» [43]. С таким представлением комплементарности также можно согласиться, и принципиальная характеристика дополняемости далее использована при формировании комплементарных активов. При этом, данные взгляды на комплементарность как свойство не позволяют классифицировать активы.

В классификации комплементарных активов выделены три базовых подхода (Рисунок 18).

Согласно первому подходу, классификация может осуществляться на основе зависимости различных процессов коммерциализации технологической инновации от различных комплементарных активов [361].

Так, Д.Тис разделяет комплементарные активы на три группы. Первая группа – это общие активы, характеризующиеся тем, что они могут быть свободно приобретены на рынке и не нуждаются в какой-либо модификации для начала их использования. Ко второй и третьей группе относятся специальные (в терминологии институциональной теории – специфические) активы, которые необходимы для продвижения инновации, при этом покупка которых затруднена или невозможна и сопровождается высокими рисками. Различие между второй и третьей группой состоит в том, что КА второй группы («специализированные») характеризуются односторонней зависимостью от инноватора (Д.Тис рассматривает процесс, когда в компанию «приходят» инновации не приобретением продукта, а посредством компании-инноватора), в то время, как для КА третьей группы («ко-специализированных») такая зависимость двусторонняя.

Это означает, что компания, которая обладает ко-специализированными активами, например, каналами дистрибуции или специализированными производственными мощностями, находится в выигрышной позиции по отношению к компании-инноватору. При этом в случае ко-специализированных активов особого внимания заслуживает контроль таких активов в случае слабого механизма их юридической защиты.



Рисунок 18 – Подходы к классификации комплементарных активов

Второй подход к классификации основан на функции актива в производственном процессе. Так, комплементарные активы включают активы, относящиеся к маркетингу, производству, поставкам, финансам и социальным взаимосвязям, в соответствии с функциональной классификацией производственного процесса, а также включают информационную инфраструктуру предприятия [273]. Учитывая развитие современных технологий, другие ученые уточняют эту классификацию и выделяют три сферы активов: производство, продажи и сервис. Так, к сфере производства относят конкурентоспособный производственный потенциал и отношения с поставщиками, к сфере продаж – каналы продаж, отношения с заказчиками, влияние бренда, а к сфере сервиса – продукты и технологии обслуживания [381].

Третий подход учитывает источники комплементарных активов. Так, можно встретить деление активов на рыночные и нерыночные, где рыночные комплементарные активы включают обслуживание клиентов, бренд, управление каналами поставок и др., в то время, как

к нерыночным относятся субсидии на проведение исследовательских работ, налоговые льготы, выдачу лицензий, менеджмент и политические отношения [345]. К такому же принципу классификации можно отнести и деление комплементарных активов на внешние и внутренние, в соответствии с правами владения активами и степенью контроля над ними. При этом к внутренним комплементарным активам относятся те, которые полностью принадлежат предприятию, остальные же активы называются внешними [300].

Таким образом, в академической среде устоявшейся классификации не существует, при этом следует отметить, что все приведенные выше классификации не противоречат подходу Д.Тиса, который выделял производственные активы, активы маркетинга, активы послепродажного обслуживания и другие поддерживающие активы.

Для горной промышленности невозможно применять все перечисленные выше подходы в силу природы производственного процесса и характера самой продукции. Это обусловлено тем, что, во-первых, в случае добычи и последующей продажи сырья, готовая продукция не включает послепродажное обслуживание, во-вторых – для компаний, являющихся сырьевыми дивизионами и поставляющих добытое сырье внутри холдинга, не являются важными вопросы маркетинга, так как сбыт продукции осуществляется единственному потребителю.

Что касается отечественной научной школы, то, как было выявлено в результате анализа, она не уделяет достаточного внимания концепциям комплементарных активов в представленном виде. Комплементарные активы компании делятся на три группы: человеческий, организационный и компьютерный капитал [263].

Исследование человеческого капитала в качестве отдельного и самостоятельного актива началось в начале перехода к постиндустриальному обществу [145]. Человеческий капитал является одним из компонентов интеллектуального капитала компании, помимо организационного и сервисного капитала [84]. Человеческий капитал представляет собой комплексное явление, что послужило основой для появления разных подходов к его толкованию.

В первых концепциях человеческий капитал рассматривался в узком смысле как совокупность способностей человека для производства товаров или оказания услуг, понимая при этом под способностями знания и навыки [38]. По мере развития исследований, основное внимание стал привлекать экономический смысл понятия, а именно – способность работника приносить доход. С другой стороны, экономическую составляющую в человеческом капитале видели в отдаче инвестиций, поэтому человеческий капитал определялся как «приведенная стоимость инвестиций» в навыки людей. Однако уже тогда под инвестициями понимались не только затраты на обучение сотрудников, но и целый комплекс мер, направленных на улучшение качества их жизни, например, затраты на медицинское обеспечение, миграцию и т.д.

Современный этап развития экономики, включая экономику знаний, изменяет понятие «человеческий капитал». Экономика знаний характеризуется повышением интереса к знаниям и способностям, а человек рассматривается как фактор успеха развития экономики. Это связано с тем, что знания превращаются в самый важный ресурс развития компании. Поэтому сегодня некоторые источники [109] утверждают, что человеческий капитал превосходит по важности природные и финансовые ресурсы компании, что не может быть однозначно верно, без уточнения отрасли и характера производственного процесса.

Сегодня человеческий капитал представляется системой, состав и взаимосвязь компонентов которой представляет предмет дискуссии. Одни авторы [101] в качестве компонентов человеческого капитала рассматривают здоровье, образование, подготовку на производстве, обладание экономической информацией, мобильность, мотивацию экономической деятельности. Данный подход поддерживается многими авторами и иногда дополняется еще некоторыми составляющими. Например, в работе [240] помимо вышеперечисленных компонентов, которые оставлены без изменений, рассматривается также научная деятельность и ее результаты (изобретения и научные исследования) и культура (воспитание и развитие). Эти дополнения представляются логичными, они более полно раскрывают понятие человеческого капитала, в том числе, с социальной точки зрения, однако вряд ли могут быть названы критическими для его понимания и оценки.

Другие авторы [33] предлагают более интересный подход, рассматривая человеческий капитал и его компоненты в динамике и давая возможность представить его в виде пирамиды, в основании которой лежит базовый или исходный человеческий капитал, подразумевающий образ жизни и генетические характеристики. Таким образом, базовый капитал под воздействием социализации и образования переходит в потенциальный человеческий капитал и лишь под влиянием среды, образованной системой рынка труда, образует финальный совокупный человеческий капитал. Эта трактовка по своему содержанию также не противоречит вышеприведенным классификациям. Она учитывает динамику процесса и рассматривает человеческий капитал с позиции самого человека и его профессионального становления. Таким образом, человеческий капитал является ресурсом, обладающим специфическими знаниями, навыками, опытом, компетенциями.

Важность знаний и умений индивида состоит в том, что они интегрируются в производственный процесс и позволяют компании получать дополнительные конкурентные преимущества. Именно в качестве канала передачи знаний изначально подразумевался организационный капитал [47]. Его рассматривали как инфраструктуру для передачи человеческого капитала предприятию с целью повышения эффективности его работы.

Организационный капитал стал рассматриваться как важный ресурс именно тогда, когда промышленные производства начали стремительно расти и развиваться. Изменение структуры и организации работ стало требовать определенных правил, регламентов и форм организации производства и управления. Поэтому развитие организационного капитала не должно отставать от темпов технологического прогресса. Исследования показывают, что в России актуальна проблема эффективной организации производства, так как предприятия характеризуются низкой производительностью труда, значительным износом основных средств, низкой мотивацией персонала и проблемами соответствия корпоративной стратегии производственной деятельности [47].

Несмотря на актуальность, общая концепция организационного капитала сегодня отсутствует [24]. С учетом того, что организационный капитал обладает сложной структурой, организационный капитал больше не понимается как исключительно инфраструктура для извлечения экономической выгоды из человеческих ресурсов. Подходы к определению основаны на различных признаках: экономическая или социальная направленность, природа организации и т.д. [42].

В первом подходе разница в определениях основана на специфике конкурентных преимуществ при ведении производственной деятельности. Экономическая направленность определения «организационный капитал» подразумевает именно экономический эффект, социальная направленность – построение социальных связей и реализацию сотрудниками своего потенциала.

Под природой организации понимается ее понимание как экономического субъекта либо в качестве управленческой функции. В случае рассмотрения организации как субъекта, организационный капитал представляет собой совокупность составляющих производственного процесса, включающих как материальные, так и нематериальные активы. Однако понимание процессов на предприятии дает возможность рассматривать его как производственную функцию, соответственно, организационный капитал может быть определен как способность эффективного объединения производственных элементов для достижения цели [47].

Помимо этого, разные определения могут учитывать и другие аспекты, например, разницу в статическом и динамическом подходе, учет открытости предприятия для внешней среды [22].

В статическом подходе «организационный капитал представляет собой организационную структуру управления, корпоративную культуру, системы управления, применяемые информационные технологии и базы знаний, а также интеллектуальную собственность» [53]. При рассмотрении с динамической точки зрения необходимо подчеркнуть,

что внимания будут заслуживать именно бизнес-процессы, которые обеспечивают работу компании и постоянно совершенствуются.

Открытость предприятия для внешней среды также важна, так как внешняя среда представляет не только набор угроз, но и набор возможностей, использование которых также может привести к возникновению эффекта синергии и, следовательно, к получению экономического эффекта. Поэтому организационный капитал является ресурсом развития корпорации и представляет собой механизм снижения неопределенности окружающей среды за счет того, что обеспечивает сбор информации и ее последующее использование, формирование репутации компании и т.д. (Рисунок 19).



Рисунок 19 – Виды результатов интеллектуальной деятельности [235]

Развитие организационного капитала и получение преимуществ и эффектов позволяет компании повышать эффективность деятельности, улучшать производственные и финансово-экономические показатели, характеризующие экономический рост.

В современных рыночных условиях организационный капитал логично рассматривать в виде системы организационно-экономических отношений, компонентами которой будут организация труда, организация производства и организация управления.

Организация труда подразумевает определение его сущности, объемов, стимулирования и оплаты. В случае сбоя в каком-либо из этих процессов или при отсутствии регламентации этих принципов падает уровень развития трудовых отношений, снижается лояльность сотрудников, возрастает их недовольство, что негативно сказывается на работе компании.

Организация производства представляет собой структуру связи единичных производственных процессов в общий связанный цикл. Тогда при наличии сбоев либо при плохой организации и взаимоувязке процессов компания может сталкиваться с простоями, вынужденными перерывами, нерациональной загрузкой и использованием оборудования, что будет приводить к снижению производительности труда.

Организация управления в таком случае будет означать умение использовать изменения во внутренней и внешней среде компании, минимизировать негативные эффекты от

непредвиденных событий и оптимально использовать ограниченные ресурсы. Проблемы в организации управления будут являться самыми сложными для анализа и оценки, так как не существует однозначных методик для определения и измерения качества менеджмента.

Тогда условно организационный капитал можно представить в виде трех составляющих: организация труда (планирование, нормирование, учет, контроль, оценка); организация производства (обеспечение основными и оборотными средствами, создание инфраструктуры, организация информационных потоков) и организация управления (целеполагание, координация, принятие решений). Отметим, что для предприятия любой отрасли характерно наличие трех подсистем, при этом их состав и взаимосвязи могут варьироваться.

Так, для горных компаний можно выделить такие составляющие:

- нормирование труда, связанное со сложной совокупностью взаимосвязанных процессов, мощности которых также взаимосвязаны. Поэтому отклонение объемов способны нарушить ритмичность производства и снизить его экономическую эффективность;
- регламенты, характеризующие безопасность ведения работ вследствие высокой аварийности деятельности, вызванной увеличением глубины ведения работ и ухудшением горно-геологических условий;
- создание производственной инфраструктуры, необходимое из-за ведения работ в специфических условиях, в том числе, под землей, и обеспечения сотрудников необходимыми ресурсами для выполнения производственных функций.

Исследования показывают, что различные элементы взаимодействуют друг с другом, оказывая влияние на показатели деятельности предприятия. При этом некоторые ученые утверждают, что человеческий капитал играет самую важную роль, так как помогает компании образовывать и укреплять организационный и сервисный капитал [316]. Так, исключительная важность человеческого капитала компаний подтверждается целым рядом исследований для определенных отраслей из-за высокой степени их инновационности [280, 326, 329, 363]. В то же время для компаний, которые работают не на рынке услуг, важнейшим является организационный капитал [281].

В России компании сталкиваются с определенными проблемами при развитии организационного капитала. Помимо недостатка организационных компетенций, в России институт права собственности на нематериальные активы неразвит [146]. Это ведет к трудностям при разработке и регистрации объектов интеллектуальной собственности и, следовательно, замедляет развитие организационного капитала.

Однако практические исследования промышленных компаний [271] показывают, что на самом деле организационный капитал неожиданно признается тем видом интеллектуального капитала, который оказывает наибольшее влияние на производственные показатели компании.

Несмотря на существенное значение человеческого капитала и капитала отношений вследствие выявленной важности межличностных контактов, а также вопреки слабому развитию легитимных институтов [348], проведенные опросы показывают, что организационный капитал имеет наибольшее значение.

Организационный капитал, несмотря на свою значимость для компаний, признается как наименее развитый, но, несомненно, заслуживающий внимания и изменения текущей ситуации. Это обусловлено тем, что ключевой ролью организационного капитала предприятия является преобразование индивидуальных компетенций в организационные и превращение неформализованных знаний в формализованные. В результате это ведет к таким последствиям для компании, как обмен знаниями и их накопление, управление рисками, сокращение производительности производственного цикла, уменьшение потерь и т.д. Это способствует увеличению производительности труда и, как следствие, созданию дополнительной ценности на каждой стадии производственного процесса.

Понятие компьютерного капитала тоже нельзя назвать широко устоявшимся. В конце XX века компьютеры стали неотъемлемой частью производственных процессов. Они позволяли автоматизировать производственные операции, отдельные бизнес-процессы, что приносило преимущества компаниям. Под компьютерным капиталом в общем сегодня понимается совокупность используемых предприятием ИТ-активов [180]. К таким активам можно отнести данные и системы их хранения, обработки и передачи. Развитие компьютерного капитала происходит одновременно с развитием интеллектуального капитала компании и непосредственно связано с ним. При этом компьютерный капитал является так называемой «технологией общего назначения», так как лишь создает среду для функционирования других технологий.

Понимание компьютерного капитала как среды или инфраструктуры на заре своего зарождения привело к противоречивым мнениям о необходимости инвестиций в него, что в результате отразилось в «Парадоксе производительности» Солоу. Данный парадокс был получен на основании практических исследований и гласил о том, что «не существует положительного влияния ИТ на производительность и эффективность компаний» [283]. По мере более глубокого исследования темы была доказана ошибочность парадокса на основании того, что, во-первых, отсутствуют однозначные и точные механизмы количественной оценки инвестиций в ИТ, а во-вторых – следует принимать во внимание временной разрыв между вложением инвестиций и получением эффектов от них. В частности, установлено, что в краткосрочном периоде увеличение выручки компании за счет внедрения компьютерного капитала происходит на величину, примерно равную стоимости этого капитала, в то время, как в долгосрочном периоде это увеличение значительно больше [282]. При этом исследования

эффективности инвестиций в компьютерный капитал до сих пор остаются актуальными, так как получаемые эффекты зависят от разных факторов, в том числе и от социо-культурных особенностей людей, как и в случае с человеческим и организационным капиталом [135].

Важным является и состав рассматриваемого компьютерного капитала, так как наравне с представленным выше «классическим» составом существует еще и «расширенное» представление [135]. Последнее характеризуется дополнительным включением в компьютерный капитал процессов управления ИТ, навыков и знаний ИТ-персонала, финансовых ресурсов в виде ИТ-бюджета и т.д. Такая трактовка принципиально меняет подход к рассмотрению комплементарности, так как учет знаний сотрудников включает, таким образом, человеческий капитал в состав компьютерного, и комплементарное рассмотрение этих видов капитала будет невозможным вследствие двойного учета составляющих. Поэтому «классическое» определение представляется более логичным.

Отдельно стоит проанализировать соотношение цифровых активов, рассмотренных в главе 2, и компьютерного капитала. С учетом того, что под компьютерным капиталом понимается совокупность средств работы с данными, цифровые активы выходят за пределы данного понятия. Цифровые активы представляют собой не только системы управления базами данных (СУБД), где происходит накопление информации, но и системы управления знаниями и информацией (СУЗИ), где информация обрабатывается и переходит в форму знания. СУЗИ отличаются своей динамичностью и возможностью анализа. Поэтому здесь можно говорить о комбинации компьютерного и организационного капиталов. А с учетом того, что для обеспечения работы таких активов помимо явных знаний, представляющих собой организационный капитал, используются еще и неявные, то цифровые активы, рассмотренные в главе 2, затрагивают все три рассмотренных вида капитала.

В компаниях присутствуют человеческий, организационный и компьютерный капитал, и если сама организация находится в стабильном состоянии, то эти активы комплементарны. Однако это утверждение справедливо в условиях рассмотрения статической картины. Организация представляет собой динамическую систему, где все составляющие взаимодействуют между собой и изменяются. При этом необходимо учитывать, что под воздействием различных факторов активы изменяются, однако в различной мере. Это связано и с их природой, и инерционностью. Таким образом, какой-то актив (или группа активов) изменяется быстрее, чем другие. Конечно, комплементарные связи не позволяют стать этому разрыву критическим, поэтому система переходит в новое устойчивое состояние, которое сохраняется до следующего изменения. Под комплементарными связями будем понимать взаимодействие двух или более комплементарных активов, при котором использование одного из них становится более эффективным при совместном применении с другим.

Поэтому важно отметить, что комплементарные активы хоть и являются неравнозначными как по своему составу и природе, так и скорости изменения, они не могут быть классифицированы по степени важности. Их взаимное влияние не дает возможности выделить один актив, значение которого превышало бы значение других активов. Решение проблемы возможно, видимо, для конкретного предприятия, где главный актив может быть определен, исходя из анализа специфики конкретного предприятия, отрасли его деятельности, производственных показателей и целей.

### **3.2 Обоснование состава и взаимодействия комплементарных активов на горном предприятии для обеспечения экономического роста**

Обеспечение экономического роста горного производства осложняется комплексом проблем, возникающим при добыче при переходе на более глубокие горизонты. А доказанная необходимость вовлечения в отработку новых месторождений или их частей подчеркивает актуальность этой проблемы в долгосрочной перспективе. Серьезный фактор, который сдерживает рост производительности горных работ – это геомеханические проблемы. Несмотря на существование геомodelей, в том числе, цифровых, создаваемых специализированными научными организациями, требуется большой объем изысканий для получения данных по геомеханике, геологии и гидрогеологии на всех стадиях – от проектирования до эксплуатации. Сбор массивов таких данных осуществляется посредством разнообразных специализированных программ, затем данные используются для численного моделирования в целях построения модели процессов в массивах горных пород. На горнорудном предприятии за это ответственно специальное подразделение – Служба прогноза и предотвращения горных ударов, создаваемая в соответствии с законодательством [191].

Несмотря на существование специализированных программ для прогнозирования горных ударов, нерешенная проблемой остается «отсутствие единой технологической среды для расчетов и проектирования» [191]. На практике не удастся использовать полученные данные сразу, так как требуется значительный объем работы по их обработке, изменению форматов. Актуализация этой проблемы объясняется стремительным развитием цифровых технологий и отставанием нормативной базы в области безопасности с учетом постоянного ухудшения геомеханической ситуации, обусловленной как общим ростом геодинамической активности на планете в начале XXI века, так и увеличением интенсификации технологий добычи руды и строительства подземных сооружений, ростом плотности освоения месторождений, развитием качественных и количественных форм недропользования.

Данная тенденция объясняет необходимость комплексного подхода, выражающегося в создании единой геотехнической модели среды. Она включает цифровые технологии обработки и анализа данных, данные о состоянии пород, научно-исследовательские работы, результаты интеллектуальной деятельности, руководства, правила и регламенты по обеспечению устойчивости и порядку ведения работ в составе организационного капитала.

Рассмотрим пример АО «СУБР» в части применения комплексного подхода к решению геомеханических проблем, ограничивающих горное производство, и формирования комплементарных активов.

Несмотря на комплексный подход к проблеме удароопасности и принятие различных мер по ее решению, приводящих к снижению числа горных ударов и снижению их энергетического уровня, действующей сейсмостанцией регулярно фиксируются сейсмические явления различной энергии. По данным проводимых на предприятии исследований в год в среднем регистрируется порядка 1000 сейсмических явлений с энергией от  $10^2$  до  $10^7$  Дж [165]. По мере развития горных работ и переходе на более глубокие горизонты в радиусе более 500 км стали регистрироваться и более мощные удары с энергией  $10^8 - 10^{10}$  Дж. Кроме того, регистрируются удары горно-тектонического типа, очаги которых не поддаются прогнозированию по месту и времени. Таким образом, месторождения АО «СУБР» характеризуются возникновением новых геологических факторов, влияющих на удароопасность.

В настоящее время в компании существует служба прогнозирования и профилактики горных ударов, в обязанности которой входит изучение проявления горного давления и разработка мер по предупреждению горных ударов в зонах, склонных к ним. Помимо службы предприятия, в проблему прогнозирования и предотвращения горных ударов вовлечены также институты УФ ВНИМИ и «Унипромедь» [260].

Это говорит о том, что разработка мер по решению проблемы не просто является сложным процессом, но и требует различных ресурсов, в том числе временных, так как некоторые факторы являются неизменными и определяются геологией месторождения, в то время как другие факторы являются непостоянными и изменяются во времени в зависимости как от природных факторов, так и от процесса ведения горных работ.

Сегодня экспертами предлагаются разные способы снижения негативного влияния увеличения глубины ведения работ и возникающих горных ударов.

Некоторые ученые [165] предлагают изменить систему разработки месторождения, отдавая предпочтение сплошной «каскадной» технологии, состоящей в отработке участков камерами-секциями с размещением выработок в разгруженной от сил горного давления зоне и обеспечивающей прирост опорного давления после образования очистного пространства.

Другие [233] также предлагают оптимизировать технологическую схему разработки, предлагая переход на варианты с многостадийной выемкой, устанавливая, таким образом, оптимальные границы применения существующей системы разработки.

Третьи [207] утверждают о необходимости корректировки и дифференцирования применяемых параметров конструктивных элементов текущей системы, а также принятия новых технологических решений, таких, как сокращение размеров выемочных участков.

Четвертые предлагают силовое воздействие на массив при проходке подготовительных выработок, которое может проявляться в виде создания разгрузочной щели в рудном теле при ее горизонтальной ориентации либо при ее ориентации по простиранию залежи в вертикальной плоскости, отмечая при этом, что любое воздействие на массив сопровождается рядом негативных последствий [72].

Пятые делают акцент на необходимости проведения дополнительных исследований, несмотря на значительный объем имеющихся данных, и осуществления расчетов конструктивных элементов систем разработок, например, опорных целиков, оценка величин и направления действия главных напряжений, действующих в массиве, изменение порядка и организации очистных работ и так далее [260].

Сегодня в качестве технологических мероприятий по борьбе с горными ударами используются следующие [260]:

- проведение полевых выработок полигональной формы сечения;
- камуфлетное взрывание зарядов взрывчатых веществ в шпурах и скважинах;
- бурение разгрузочных скважин и щелей.

Для снижения негативных проявлений на руднике применяется площадная разгрузка рудной залежи скважинами большого диаметра (105 мм), а на больших площадях отработки при отсутствии безрудных зон или участков непромышленного оруденения в качестве дополнительных опор, ориентированных на поддержание выработанного пространства, помимо опорных целиков, используются барьерные и междукammerные целики. Определение их рациональных параметров основано на учете ряда факторов: безопасность ведения работ; экономическая эффективность; учет горно-геологической и горно-технической обстановки и др. [207].

До промышленного внедрения на всех шахтах СУБРа доведена методология по геомеханическому обеспечению камерно-столбовой системы разработки, учитывающая изменение характера влияния природных и техногенных факторов на состояние выработок и горных конструкций [208].

Методология состоит из пяти этапов. Первый этап представляет собой анализ условий и влияния угроз природного и техногенного характера. На этом этапе выявляются имеющиеся

нарушения, уточняется степень удароопасности руд и вмещающих пород. Таким образом, подробно рассматриваются причины разрушения горных выработок и генезис горных ударов, определяются закономерности их проявления и их влияние на безопасность ведения работ.

На втором этапе происходит анализ геомеханического обеспечения применяемой камерно-столбовой системы разработки и осуществляется прогноз удароопасности на месторождении.

На АО «СУБР» на малых и средних глубинах добычные работы велись на основании разработанных регламентов, содержащих указания по применению методов снижения воздействия горного давления. При переходе на глубокие горизонты и усложнении горно-геологических условий данные регламенты не могут обеспечивать гарантируемый уровень безопасности вследствие изменения пространственной геометрии фронта работ и появления ошибок, связанных с ограниченным объемом исходных данных.

На АО «СУБР» осуществляется два типа прогнозов удароопасности: локальный для анализа отдельных участков и региональный для анализа поведения массива горных пород в динамике. При этом данные прогнозы не обеспечивают достижения требуемого уровня безопасности из-за ограничений в анализируемых параметрах и отсутствия единых количественных критериев для оценки опасности ударов. Таким образом, перспективное планирование остается актуальной проблемой.

Поэтому ведение работ в соответствии с методическими рекомендациями, возможное на малых глубинах, характеризующихся высокой степенью прогнозирования их состояния, становится невозможным при переходе на более глубокие горизонты. На первый план выходит необходимость пересмотра параметров выемочных пространств, барьерных и междукамерных целиков с учетом меняющихся внешних условий. Такая методика отсутствует в существующих регламентах, что снижает безопасность ведения работ и экономическую эффективность и ограничивает экономический рост.

Третьим этапом является уточнение геомеханического обеспечения системы разработки в соответствии с выявленными тенденциями поведения горных пород и влияния прочих естественных угроз. На этом этапе осуществляется расчет необходимых параметров ведения работ.

Четвертый этап представляет собой проведение опытно-промышленных испытаний, помогающих установить, насколько полученные при моделировании новые параметры удовлетворяют условиям обеспечения безопасности, подтверждаются шахтными экспериментами и могут быть реализованы на практике.

Заключительный пятый этап включает непосредственное внедрение геомеханического обеспечения, отвечающего всем предъявляемым требованиям.

Реализация этих мероприятий дает возможность значительно снизить удароопасность ведения горных работ. Однако, для сложных условий СУБРа поиск новых научных, технических и организационных решений для обеспечения безопасности работ продолжается. В связи с планированием поддержания и увеличения объемов производства, развития горных работ с увеличением глубины отработки требуется новый комплекс исследований.

Комплекс комплементарных активов на горнорудном предприятии формируется следующим образом (Рисунок 20):



Рисунок 20 – Комплекс комплементарных активов на горнорудном предприятии. Цветом обозначена среда воздействия цифровых активов

Алгоритм формирования и взаимодействия в комплексе комплементарных активов для обеспечения экономического роста в условиях воздействия горных ударов представлен в Приложении Г.

Суть алгоритма состоит в следующем. Обнаружение горных ударов на горнорудном производстве ведет к выполнению взаимосвязанных процессов с комплементарными активами.

На первом этапе происходит сбор цифровой геолого-технической информации о состоянии пород, характере их сдвижения и т.д. При больших глубинах статический характер

геодинамических процессов превращается в динамический, что не позволяет проецировать известные закономерности на новые условия, поэтому получение реальных данных становится особенно актуальным. Достоверность информации является ключевым фактором для принятия технических и организационно-управленческих решений.

Однако достоверность не является единственным условием, также важен объем получаемой информации с использованием цифровых активов. При отсутствии цифровых активов передача информации лицам, принимающим решения, может быть искажена под влиянием человеческого фактора. При этом причины искажения могут быть вызваны различными факторами: от некомпетентности персонала до боязни невыполнения плана и умышленного сокрытия реальной ситуации. Использование цифровых активов для сбора информации решает проблему как качества данных, так и их недостатка, так как сегодня лишь около 2% всей имеющейся информации на горном производстве собирается и используется в управлении [246].

В сложных и непредсказуемых горнотехнических условиях сложно оценить требуемый объем информации, достаточной для объективной оценки ситуации и прогноза. Информация всегда представляет собой дефицитный ресурс, и его достаточность может быть определена лишь экспертной оценкой. Широкое применение в таких сложных ситуациях, как переход на большие глубины с высокими рисками находит Big Data. Эта технология позволяет вывести на новый уровень сбор информации и возможности исследования процессов ее обработки. Собранные данные необходимы для постановки и выполнения НИР.

Следующим важным этапом является непосредственно выполнение научно-исследовательских работ (НИР). В целом, научные исследования в горной отрасли обширны и охватывают разные области: по исследованию технологических проблем, по вопросам безопасности, экологии, контроля и мониторинга [37] и другие. Горная отрасль из-за специфичности условий ведения работ, сложных технологических процессов, модернизации машин и оборудования может быть расценена как наукоемкая, что подтверждается высоким коэффициентом корреляции между наукоемкостью отрасли и ее удельным весом в ВВП страны [21]. Это определяет большие объемы проводимых НИР и НИОКР. Полученные в результате НИР модели могут быть доведены до компьютерных решений.

Например, на АО «СУБР» для оценки напряженности горного массива используется программный продукт PRESS 3D URAL. Он имеет в своем составе три основных блока: обработка исходных данных, непосредственный расчет, визуализация и представление полученного результата. PRESS 3D URAL позволяет анализировать состояние рудного тела и вмещающих пород, обеспечивая возможность планирования горных работ на будущие периоды и их оптимизации. Характерной чертой PRESS 3D URAL является возможность учета в

совокупности природных и техногенных факторов, влияющих на горные работы, повышая точность прогнозов, что доказано результатами внедрения программного продукта на предприятии.

На данном этапе применение различных цифровых технологий также представляется оправданным. Они не только существенно сокращают трудоемкость расчетов, но и способствуют повышению качества прогнозирования, как, например, происходит в случае использования программного комплекса PRESS 3D URAL [85]. При сравнении вариантов развития горных работ с целью долгосрочного планирования производства обеспечивается эффективное использование ресурсов, а также снижает вероятность ситуации, когда решения, принятые в прошлом, не являются подходящими для будущего как с точки зрения техники и технологии, так и экономической эффективности.

Результатом проводимых НИР является формализация полученных результатов интеллектуальной деятельности (РИД). Для проверки полученных при моделировании закономерностей проводятся опытно-промышленные испытания (ОПИ). В случае неподтверждения результатов производится анализ ошибок, которые могли произойти как на этапе НИР, так и на этапе ОПИ, расчеты уточняются. При необходимости этап повторяется до подтверждения расчетов в реальных промышленных условиях.

После этого полученные РИД, апробированные в реальных промышленных условиях, приобретают документальную форму в виде регламентов, инструкций, методических указаний и материалов, рекомендаций.

Так на АО «СУБР», благодаря использованию PRESS 3D URAL были определены рациональные параметры ведения работ, что в результате нашло отражение в новой проектно-технической документации [208]:

1. Руководство по выбору конструктивных параметров камерно-столбовой системы разработки на шахтах ОАО «Севуралбокситруда», обрабатывающих месторождения с глубиной 1000 м и более;
2. Дополнение к Руководству по выбору конструктивных параметров камерно-столбовой системы разработки на шахтах ОАО «Севуралбокситруда», обрабатывающих месторождения с глубиной 1000 м и более для глубин менее 1000 м;
3. Проект «Камерно-столбовая система разработки бокситовых месторождений на глубине 1000 м и более» на шахтах ОАО «Севуралбокситруда»;
4. Дополнение к Проекту «Камерно-столбовая система разработки бокситовых месторождений на глубине 1000 м и более на шахтах ОАО «Севуралбокситруда».

Эти документы позволили дополнить существующие методы прогнозирования геомеханических проявлений, основанные на эксплуатации цифровых активов на АО «СУБР» и

сформировать комплексную систему, направленную на снижение воздействий горных ударов и обеспечение безопасности работ в забое.

В результате был сформирован комплементарный актив, состоящий из цифровых активов – программного продукта PRESS 3D URAL, информационного актива, представляющего собой совокупность собранных данных о состоянии пород и динамике горного массива, и организационного капитала, выраженного посредством формализованных инструкций и руководств, полученных в результате проведения НИР.

По мнению автора, следует дополнить процессы, представленные в разработанном алгоритме.

Отдельным этапом следует выделить патентование полученных результатов. Процесс патентования в горной отрасли остается довольно спорным. Некоторые исследователи трактуют патентную активность горной компании как неотъемлемое требование ее развития [92], объясняя это тем, что патенты отражают интеллектуальный потенциал сотрудников компании и, тем самым, их число может быть расценено как один из показателей интеллектуального капитала компании.

Однако на практике это не подтверждается. Так, существующие исследования [186] показывают, что, например, с 1993 по 2019 год в угольной отрасли были опубликовано лишь 28 патентов, касающихся добычи угля открытым способом. При этом на сегодняшний день поддерживаются только пять из них, что ставит под сомнение актуальность и необходимость остальных. Авторы исследования утверждают, что причиной этому могут являться несколько факторов: отсутствие патентоспособных разработок, сложность правового регулирования, отсутствие правовых стимулов. Наиболее вероятным представляется последнее. Учитывая уникальность условий ведения работ, можно утверждать, что патенты не всегда имеют практическую значимость. Специфичность ГГУ каждого конкретного месторождения не позволяет заимствовать технологии, применяемые на другом объекте. Это подтверждается и анализом опыта патентования в горной отрасли России и Европы, США и Германии, который показывает, что, в то время как в России патентами защищаются непосредственно технологии ведения работ, на Западе большинство патентов в отрасли относится к конструкции оборудования [186].

Таким образом, в результате обоснования, формализации и, при необходимости, обеспечения защиты полученных результатов интеллектуальной деятельности (РИД), горное предприятие развивает организационный капитал.

Исследования автора показывают, что данный процесс является циклическим, он не останавливается на однократном проведении НИР. При продвижении фронта работ в современных горно-геологических условиях на рудных месторождениях невозможно

проецировать полученные ранее результаты на другие участки месторождения. Поэтому необходимы постоянный мониторинг и оценка горнотехнических показателей, уточнение и повторение комплементарных процессов.

Таким образом, происходит отработка месторождения по мере перехода на новые участки и новые глубины для поддержания объемов добычи и экономического роста. При этом, учитывая постепенное увеличение себестоимости ведения работ при переходе на более глубокие горизонты, при отработке новых участков может быть проведен экономический анализ целесообразности ведения работ.

Таким образом, формирование и комплексное использование комплементарных активов позволяет обеспечивать работу на подготовленных участках и горизонтах, анализировать и прогнозировать развитие горных работ в средне- и долгосрочной перспективе.

Формирование комплекса комплементарных активов не является неотъемлемым и обязательным требованием для горного предприятия. Деятельность компании может осуществляться в соответствии с ранее утвержденными регламентами. Научно-исследовательские работы могут быть проведены «вручную», рекомендации по выбору параметров системы разработки, обоснование необходимости внедрения мероприятий по повышению безопасности ведения работ и другие технические и организационно-управленческие решения могут быть приняты на основе экспертизы.

Поэтому обоснованное формирование комплементарных активов может применяться для обеспечения экономического роста горнорудного производства. Согласно [159], под обеспечением понимается «совокупность мер и средств, создание условий, способствующих нормальному протеканию экономических процессов, реализации намеченных планов, программ, проектов, поддержанию стабильного функционирования экономической системы и ее объектов, предотвращению сбоев, нарушений законов, нормативных установок, контрактов». Для горнорудной промышленности и, в частности, алюминиевой отрасли формирование и применение КА означает выполнение планируемых показателей добычи руды в условиях выполнения всех требований к безопасности ведения работ и снижения рисков при переходе на более глубокие горизонты.

### **3.3 Разработка методического подхода к оценке эффектов от применения комплементарных активов на горном предприятии**

Формирование комплекса комплементарных активов в горнорудном производстве направлено на обеспечение экономического роста вследствие повышения качества прогнозов и

снижения риска аварий. Применение комплементарных активов может привести к формированию комплекса эффектов. Автором выделены основные группы эффектов и обоснованы подходы к их оценке. Комплекс эффектов от применения комплементарных активов в контексте устойчивого развития представляет собой совокупность трех составляющих: экономического, социального и экологического, при этом эффекты могут формироваться как в горном производстве, так и в горной компании.

По мнению автора, в общем виде получаемые эффекты можно схематично представить следующим образом (Рисунок 21):

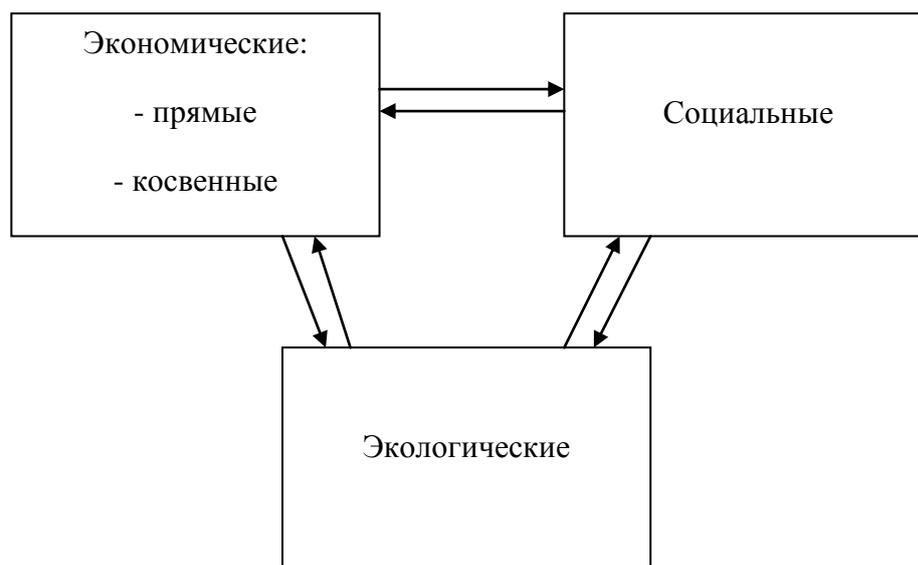


Рисунок 21 – Эффекты от эксплуатации комплементарных активов

При оценке экологического эффекта от применения комплементарных активов, необходимо отметить значительное различие открытого или подземного способа разработки по видам, степени, масштабу и времени воздействия. В случае открытого способа разработки процесс добычи полезного ископаемого характеризуется образованием значительного объема вскрыши, являющейся источником загрязнений атмосферы. При подземной добыче объем отвалов минимален, а зачастую и полностью отсутствует.

Процесс транспортировки добытого сырья при различных способах добычи различаются, а учитывая, что производственная мощность карьеров значительно выше (для крупных месторождений она достигает 20-40 млн т/год [209], в то время, как для рудников составляет около 3-4 млн т/год), влияние транспортировки горной массы на воздух существенно различны.

Таким образом, рассматривая влияние подземных работ, загрязнение атмосферы происходит в меньшей степени, поскольку бурение и взрывание осуществляются под землей, где, в результате, и остается бóльшая часть образующейся пыли. Аналогично воздействие на почву не является существенной угрозой, в том числе вследствие отсутствия отвалов. Влияние

на гидросферу в ходе подготовительных и очистных работ включает изменение гидродинамического режима и проявляется в каждом конкретном случае по-разному, так как зависит от условий месторождения. Наиболее важным экологическим проявлением является нарушение недр, возникающее из-за сдвижения пород, вызванного горными ударами. В результате, это проявляется в провалах земной поверхности, неравномерном ее оседании, появлении трещин и т.д. [133]. Это вызывает деградацию ландшафта и изменение режима подземных вод.

Социальный эффект проявляется в повышении безопасности ведения работ на горном производстве и предприятии за счет предотвращения чрезвычайных ситуаций либо снижения их масштаба и влияния. Учитывая масштабы компании, число работников промышленно-производственного персонала (ППП) на добыче сырья и сложность ГГУ, следует отметить, что социальный эффект от эксплуатации комплекса комплементарных активов имеет большую значимость. Оценка социального эффекта включает горное производство, АО «СУБР», а также ОК РУСАЛ, что значимо с точки зрения корпоративной социальной ответственности компании. Для оценки социального эффекта применяются показатели промышленной безопасности, характеризующие отчетность по несчастным случаям на производстве, показатели отчетности по устойчивому развитию и интегрированной отчетности [181].

Поэтому с точки зрения эффектов непосредственно социальной направленности, возникающих при использовании КА, необходимо выделять снижение травматизма и смертельных случаев, вызванных горными ударами и обрушением пород.

Социальный эффект необходимо рассматривать с точки зрения различных стейкхолдеров. В первую очередь, повышение уровня промышленной безопасности важно для рабочих, занятых на горном производстве. Однако также это важно и для руководителей и специалистов, ответственных за безопасность труда, и собственников компании.

Показатели устойчивого развития компании являются основой для принятия решений инвесторами, поэтому безаварийное производство представляет собой особый интерес. Аварии на производстве влияют на имидж компании, что отражается как на стоимости ее акций, так и на инвестиционной привлекательности. Например, в компании «Норильский никель» в июне 2020 года произошла утечка порядка 20 тыс. тонн дизельного топлива на местной ТЭЦ, принадлежащей дочерней компании, в феврале 2021 года произошло затопление грунтовыми водами рудников «Октябрьский» и «Таймырский», в тот же период произошла авария на горно-обогатительной фабрике. Анализ показал, что стоимость акций компании снизилась на 9,5% [171], 7,1% [10] и 4,5% [8] соответственно. Это свидетельствует о важности безаварийного и бесперебойного ведения работ для инвесторов и акционеров и отражается на репутации

предприятия, сказывается на корпоративной социальной ответственности, демонстрирует влияние на финансовые показатели.

Экономический эффект можно условно представить как совокупность двух составляющих: прямого и косвенного экономического эффектов.

Прямой экономический эффект отражает результаты определенных изменений денежных потоков; это эффект прямого действия, сказывающийся на расходах и доходах горного производства и горной компании. Косвенный эффект представляет собой общекорпоративный эффект, трудно поддающийся прямым расчетам.

При формировании КА в целях экономического роста он включает оптимизацию затрат на бурение разгрузочных скважин и крепление горных выработок. При отсутствии комплекса комплементарных активов и организации горного производства в соответствии с существующими регламентами горное производство не полностью отвечает новым условиям.

Он отражает снижение потерь полезного ископаемого, снижение материальных ущербов, связанных с повреждением производственных активов всех видов, а также снижение простоев. Снижение потерь при добыче обусловлено изменением параметров системы разработки, которые оптимизируются с применением цифровых активов (PRESS 3D URAL). Применяемая в горнорудном производстве камерно-столбовая система характеризуется наличием целиков, определение размера которых является сложной оптимизационной задачей. С одной стороны, целики обеспечивают безопасность ведения работ, с другой – представляют собой полезное ископаемое, остающееся в недрах, так как в реальности ситуации, когда целики образованы безрудными породами, редки. Соответственно, горное предприятие заинтересовано в запланированных объемах добычи с учетом обеспечения заданного уровня безопасности, и лишь точные прогнозы проявления горного давления позволяют рационально и наиболее полно добывать сырье из недр, сокращая потери полезного ископаемого. Применение цифровых активов позволило изменить параметры КССР, перейти от использования столбчатых и барьерных целиков к ленточным и комбинированным целикам, сократив потери с 33,41% до 26,67% и 29,33%, соответственно.

Достигнутое за счет изменения параметров системы разработки снижение потерь обеспечит увеличение объемов добычи сырья, что в результате позволит снизить условно-постоянные затраты горного производства и снижение себестоимости добычи руды.

Косвенным эффектом является также снижение себестоимости за счет повышения уровня концентрации работ. Под концентрацией работ в горном производстве понимается либо концентрация работ в пространстве, характеризующая достижение определенных объемов добычи на меньшем числе участков, либо концентрация во времени, выражающаяся в выполнении заданного объема работ за меньшее число рабочих смен [95]. На показатели

эффективности производственного процесса влияет тот факт, что при достижении более рациональных пространственных параметров увеличивается ритмичность процессов. Это ведет к тому, что, с одной стороны, растет производительность труда, а с другой – уровень безопасности.

На сегодняшний день оценка концентрации работ на горном производстве производится лишь в сравнительных показателях и определяется как «низкая, средняя и высокая» [70]. Экономический эффект от повышения концентрации работ не может быть оценен в общем виде, он зависит от конкретного объекта, параметров системы разработки, характеристик сырья и вмещающих пород. Однако можно утверждать, что повышение концентрации ведет к снижению издержек на проведение подготовительных горных выработок, а также транспорт, что включает в себя заработную плату рабочих, затраты на вентиляцию, энергоснабжение, оборудование и т.д. Простои в горном производстве возникают по разным причинам: поломка оборудования, человеческий фактор, неэффективная организация работ. Однако одной из важнейших причин простоев является вынужденная остановка работ, вызванная аварией. В таком случае добыча приостанавливается на период, равный десяти дням [140], снижается объем горного производства, горное предприятие недополучает прибыль, не обеспечивается экономический рост.

Прямой материальный ущерб в горном производстве связан с выводом из строя машин, оборудования, нарушение или разрушение горных выработок вследствие аварии. Величина ущерба связана с частотой и силой горных ударов и их последствиями. В качестве примера проанализированы карточки горных ударов, зафиксированных на АО «СУБР». В Приложении Д представлена Карточка горного удара, произошедшего 26 марта 2015 года на шахте «Красная Шапочка» на отметке -970 метров. Его последствием стало нарушение горных выработок, объем составил 4,7 п.м. Было принято решение о запрете очистных работ на отметке -947,1 м, а также необходимости запрета ведения очистных работ горизонта -970 м более чем в двух забоях.

Учитывая то, что социальный эффект, включающий снижение травматизма и гибели, в стоимостном выражении представляет собой снижение затрат на предоставление пособий, компенсаций сотрудникам и их семьям, обеспечение медицинской помощи и программ по восстановлению здоровья и другими мероприятиями, он оказывает влияние на финансовые показатели предприятия.

Горные выработки на предприятии представляют собой наиболее капиталоемкие активы, поэтому затраты на их восстановление могут быть значительны.

Стоимостная оценка социальных эффектов предполагает субъективный подход, так как вопрос оценки стоимости человеческой жизни решается в различных странах по-разному.

Оценка материального ущерба, вызванного аварией, проводится для конкретных условий, так как зависит от масштаба, количества единиц оборудования, находившегося во время происшествия в забое, степени повреждения горной выработки и других факторов.

Автором разработана методика оценки экономического эффекта от оптимизации затрат на бурение разгрузочных скважин с применением комплементарных активов, состоящая из нескольких этапов. При этом учтено, что комплементарные активы могут иметь различный состав, но экономически они не оцениваются, так как не имеют справедливой стоимости, что не дает возможность рассчитать экономический эффект по общепринятым методикам оценки инвестиционных проектов.

На первом этапе непосредственно осуществляется определение параметров, которые должны быть учтены для оценки проводимых мероприятий.

В случае бурения разгрузочных скважин определяется их количество по формуле (2):

$$n_{\text{СКВ}} = a \div (C_{\text{СКВ}} + d_{\text{СКВ}}), \text{ шт}, \quad (2)$$

где  $n_{\text{СКВ}}$  – количество скважин, шт

$a$  – размеры участка, м

$C_{\text{СКВ}}$  – расстояние между скважинами, м

$d_{\text{СКВ}}$  – диаметр скважины, м.

Для определения общего объема бурения полученное число скважин умножается на их длину в соответствии с формулой (3):

$$l_{\text{общ.}} = n_{\text{СКВ}} \times l_{\text{СКВ.}}, \text{ м} \quad (3)$$

где  $l_{\text{общ.}}$  – суммарная длина скважин, м

$n_{\text{СКВ.}}$  – число скважин, шт

$l_{\text{СКВ.}}$  – длина скважины, м

На втором этапе определяются затраты на бурение разгрузочных скважин с применением КА. Суммарные затраты на бурение определяются по формуле (4):

$$Z = \sum_{i=0}^n (ЗП_{\text{бур.}} + C_{\text{кор.}} + C_{\text{шт.}} + C_{\text{СВ}}), \text{ руб.}, \quad (4)$$

где  $Z$  – общие затраты на бурение, руб

$n$  – длина скважин, м

$ЗП_{\text{бур.}}$  – заработная плата бурильщиков на 1 п.м. скважины, руб

$C_{\text{кор.}}$  – стоимость коронок для бурения 1 п.м. скважины, руб

$C_{\text{шт.}}$  – стоимость штанг НКР для бурения 1 п.м. скважины, руб

$C_{\text{СВ.}}$  – стоимость сжатого воздуха для бурения 1 п.м. скважины, руб

Расчет происходит в соответствии с нормами на 1 п.м. скважин и ценами на материалы и ресурсы (Таблица 12) [205].

Таблица 12 – Нормы расхода материалов на 1 п.м. бурения и их стоимость

	Нормы расхода материалов	Стоимость материалов, руб.
Коронки	0,0035	3 082,94
Штанги НКР	0,043	2 352,55
Сжатый воздух	0,2571	767,54

На втором этапе эффект от эксплуатации комплементарных активов оценивается по сравнению со «стандартным» ведением работ по действующим регламентам.

В соответствии с предложенной методикой были произведены расчеты экономического эффекта от применения комплементарных активов в горном производстве АО «СУБР».

В соответствии с действующими регламентами и технической документацией, в зависимости от горно-геологических условий работ рекомендовано бурение скважин с параметром  $\frac{\Delta}{3}, \frac{\Delta}{2}, \Delta$ , где  $\Delta$  равно диаметру скважины, то есть 0,105 м. Для расчетов принято среднее значение  $\frac{\Delta}{2}$ , равное 0,052 и определено расстояние между скважинами, равное 0,12 м.

Проведен расчет количества скважин и их длины для всех участков ведения работ в АО «СУБР» для глубин от 800 до 1400 м. Фрагмент выполненных автором расчетов представлен в Таблице 13. Расчеты приведены в Приложении Е

Таблица 13 – Фрагмент расчета длины скважин разгрузочного бурения на шахтах АО «СУБР»

Н, м	№ участка	Расстояние между скважинами, м	Ширина участка, м	Число скважин, шт	Длина скважины, м	Суммарная длина скважин, м
800	1	0,12	5	23	11	253
	2	0,12	6	27	12	324
	3	0,12	2	9	12	108
	4	0,12	3	14	11	154
	5	0,12	1	5	8	40
	...	...	...	...	...	...

Исследователями [205] был проведен расчет объема бурения, с применением КА. Результаты расчетов автора и их сравнение с показателями, полученными при применении PRESS 3D URAL (на основании [205]) представлены в таблице 14 и на рисунке 22.

Таблица 14 – Результаты расчета и сравнительного анализа объема бурения скважин

Глубина, м	Общая длина скважин в соответствии с авторскими расчетами по технической документации, м	Общая длина скважин при применении КА, м [205]	Относительная разница, %
800	2310	1296	- 43,9
1000	4660	3295	- 29,2
1200	6960	5764	- 17,2
1400	8303	8750	+ 5,4
Итого	22233	19105	- 14,1

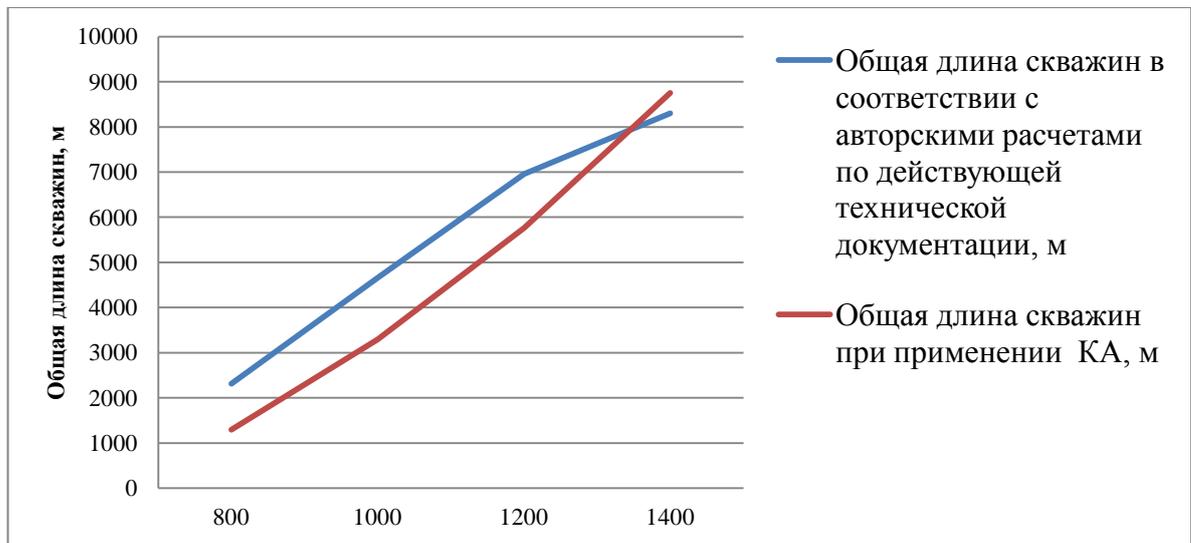


Рисунок 22 – Сравнение объемов бурения на шахтах АО «СУБР» с применением и без применения комплементарных активов

Проведенный анализ показал, что использование цифровых активов, включая PRESS 3D URAL, позволяет сократить объем бурения на 3 228 м, т.е.14%: с 22 333 м до 19 105 м.

Рассчитаем затраты на материалы:

$$З (\text{коронки}) = 3\,082,94 \times 0,0035 \times 1149 = 12\,398,04 \text{ руб}$$

$$З (\text{штанги}) = 2\,352,55 \times 0,0043 \times 1149 = 11\,623,24 \text{ руб}$$

$$З (\text{сжатый воздух}) = 767,54 \times 0,2571 \times 1149 = 226\,737,38 \text{ руб}$$

Таким образом, экономический эффект составил:

$$\mathcal{E} = 3\,228 \times \frac{93\,303,67 + 12\,398,04 + 11\,623,24 + 226\,737,38}{1149} = 966\,624,6 \text{ руб}$$

Анализ рисунка 22 показал, что с точки зрения оптимизации затрат применение программного комплекса PRESS 3D URAL в составе комплементарных активов доказывает

свою эффективность лишь на глубинах до 1 300м. На больших глубинах объемы бурения возрастают, затраты на бурение также возрастают по сравнению с регламентом. Экономический эффект при этом не является определяющим, важное место занимает социальный эффект, связанный с повышением надежности прогнозов горных ударов и обеспечением требуемого уровня промышленной безопасности.

Также следует отметить, что расчеты, проведенные на основании методических указаний, могут быть справедливы только для определенных ГГУ, под которые были обоснованы конкретные регламенты. Однако исследования показывают, что при достижении глубин в 1200-1400м поведение горных пород приобретает более динамический характер, соответственно, применение ранее полученных зависимостей не обосновано. В результате это может привести к тому, что следование существующим методическим указаниям без учета изменения горно-геологических условий может привести к проявлению горных ударов и, соответственно, авариям, ущерб от которых значительно превысит затраты на использование PRESS 3D URAL либо подобных цифровых активов. К тому же, не исключены варианты, при которых аварии не просто приведут к материальному ущербу или несчастным случаям на горном производстве, но и поставят под угрозу возможность дальнейшего ведения работ.

Поэтому формирование комплекса комплементарных активов на АО «СУБР» необходимо рассматривать как социально-значимый проект, затрагивающий интересы разных групп стейкхолдеров: от персонала, занятого непосредственно в горном производстве, до собственников компании, инвесторов и государства.

Проекты такой направленности должны рассматриваться не только на уровне компании, так как в их реализации АО «СУБР» и ОК РУСАЛ являются не единственными заинтересованными сторонами. Могут быть применены дополнительные финансовые стимулы для горных компаний, АО «СУБР», в частности, применять цифровые технологии и формировать комплементарные активы.

Необходимость государственной поддержки горной отрасли обусловлена ее значимостью для народного хозяйства стран с ресурсно-ориентированной экономикой. Помимо налоговых поступлений в государственный бюджет (бюджетной эффективности), горные предприятия также косвенно воздействуют на экономику страны. Во-первых, горное предприятие обеспечивает рабочие места для населения, а с учетом градообразующего характера в моногородах это приобретает особую важность. Во-вторых, успешная горная компания, ведущая свою деятельность, в том числе, на мировом рынке и поставляющая продукцию на экспорт, влияет на международное разделение труда.

### 3.4 Выводы к главе 3

1. Необходимость формирования комплементарных активов в горном производстве связана с влиянием горного риска и нерешенной проблемой удароопасности при добыче минерального сырья в условиях перехода на глубокие горизонты, посредством существующих активов и методов.

2. В теории комплементарность рассматривается в основном в контексте открытых инноваций, концепции комплементарности анализируется с точки зрения институциональной экономики, концепции синергизма и ресурсной теории.

3. В российских исследованиях комплементарность отражена очень ограниченно – с точки зрения необходимости интеграции информационных ресурсов и разработки управленческих стратегий, и не используется в оперативном управлении компаний для решения текущих и перспективных задач.

4. Комплементарные активы представляют собой специфические активы, что определяет их конкретные условия и возможности применения и вследствие этого невозможность копирования и заимствования. В комплементарных активах один из активов обуславливает создание, внедрение и применение другого актива или группы активов. Комплементарные активы развиваются совместно, что вызывает появление комплементарных связей между ними, при этом использование комплементарных активов в деятельности компании не является обязательным; они помогают решать определенные задачи, но не являются единственным вариантом их решения и имеют опциональную природу.

5. Цифровизация горной отрасли должна рассматриваться с точки зрения концепции комплементарности, то есть цифровые активы, в том числе, и цифровые информационные активы, должны быть взаимосвязаны с организационным и человеческим капиталом, представляющими собой комплементарные активы на уровне горной компании.

6. В деятельности горнорудного предприятия целенаправленное формирование комплекса комплементарных активов направлено на обеспечение экономического роста за счет повышения безопасности добычи, соблюдение требуемых экологических нормативов и выполнения планируемых производственно-экономических показателей. В состав комплементарных активов входят: РИД в форме патентов и результатов НИОКР, цифровые активы, включая специализированные программные продукты, организационный капитал, представленный различными документами.

7. Формирование комплекса комплементарных активов для обеспечения экономического роста горнорудного производства представляет собой циклический алгоритм, в соответствии с которым идентификация проблемы горного давления инициирует проведение

НИОКР, результаты которых формализуются, при необходимости защищаются патентованием и вызывают изменения параметров применяемой системы разработки с целью повышения уровня безопасности работ и обеспечения возможности продолжения добычи и увеличении ее объемов при увеличении глубины отработки.

8. Комплекс эффектов от формирования и эксплуатации комплементарных активов горнорудной компании включает социальные эффекты, связанные со снижением уровня производственного травматизма, экологические эффекты, связанные со снижением степени нарушенности недр и экономические эффекты, оцениваемые прямо и косвенно.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой предлагается новое решение актуальной научной задачи – обоснования методического подхода к формированию комплекса комплементарных активов, направленного на обеспечение экономического роста горнорудного предприятия в сложных горно-геологических условиях.

Выполненные исследования позволяют сделать следующие выводы и рекомендации:

- установлено, что на предприятиях по добыче твердых полезных ископаемых подземным способом горный риск, состоящий из горно-геологического и горнотехнического рисков, представляет собой одну из основных угроз, негативно влияющую как на безопасность горного производства, так и на технико-экономические показатели горной компании;
- уточнен методический подход к определению ущербов, возникающих на горнорудном предприятии при возникновении горных ударов. Установлено, что совокупный ущерб должен включать в себя материальный ущерб, социальный ущерб и экологический ущерб;
- выявлено, что горные компании, являющиеся сырьевыми дивизионами интегрированных компаний характеризуются отсутствием финансовой и управленческой самостоятельности и ведут свою деятельность на уровне точки безубыточности;
- определены основные направления цифровизации горной отрасли, такие, как создание цифровых технологий для безлюдной добычи с целью снижения аварийности работ, мониторинг процесса добычи руды и ее качества, уточнение моделей месторождений, и выявлены проблемы, с которыми сталкиваются горные предприятия при внедрении цифровых технологий для увеличения эффективности производственных процессов, не позволяющие достигать планируемых результатов;
- уточнены понятия и взаимосвязь цифровых и информационных активов, установлено, что для эффективного функционирования цифровых активов необходимо создание комплекса комплементарных активов на горном предприятии;
- определены составляющие комплекса комплементарных активов: цифровые активы, включая специализированные программные продукты, организационный капитал, представленный различными документами, РИД в форме патентов и результатов НИОКР, и выявлены характеристики, свойственные комплементарным активам горного предприятия;
- разработан алгоритм формирования комплементарных активов для обеспечения экономического роста горного производства в условиях воздействия горных рисков;
- разработаны методические рекомендации по определению эффектов от эксплуатации комплементарных активов и выполнен расчет прямого экономического эффекта, получаемого за счет оптимизации затрат на обеспечение безопасности в условиях АО «СУБР».

Разработанный методический подход основан на требованиях к обеспечению экономического роста горной компаний осуществляющей свою деятельность в сложных горно-геологических условиях, выражающихся в проявлении горных ударов, с учетом соблюдения промышленной и экологической безопасности горного производства. Подход базируется на обоснованных принципах устойчивого развития горнодобывающей промышленности и концепции цифровой экономики.

Исследование может получить продолжение при экономическом обосновании формирования новых комплексов комплементарных активов на горных предприятиях в различных условиях горного производства, а также методического подхода к идентификации и оценке эффектов от применения КА

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. 10 крупнейших аварий на угольных шахтах России. Досье // ТАСС. 2016. URL: <https://tass.ru/info/2705381>. (дата обращения: 19.07.2021).
2. 2020-й – год страшных инцидентов для пакистанских шахтёров // Industryall. 2021. URL: <http://www.industryall-union.org/ru/2020-a-year-of-carnage-for-pakistans-mineworkers>. (дата обращения: 19.07.2021).
3. 8 задач горнорудной промышленности, которые можно решить с помощью ИТ // TADVISER. 2018. URL: [https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:ИТ\\_в\\_горнорудной\\_промышленности](https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:ИТ_в_горнорудной_промышленности). (дата обращения: 19.07.2021).
4. Абакумов, И.В. О необходимости введения нового параметра кондиций на бокситы месторождений СУБРа – максимального коэффициента рудоподготовки / И.В. Абакумов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал) . – 2006. – №2. – С. 127-129.
5. Абрамян, Г.О. Модель оценки возможности проявления мульды сдвижения земной поверхности / Г.О. Абрамян, И.В. Баранникова, П.А. Баранников // Вестник Евразийской науки. – 2020. – №4, Том 12.
6. Аварии на шахтах в России в 2015-2018 годах // РИА новости. 2018. URL: <https://ria.ru/20180815/1526630685.html>. (дата обращения: 19.07.2021).
7. Аксенов, С.А. Основные результаты геологоразведочных работ на твердые полезные ископаемые в 2020 г. и задачи на 2021 г. / С.А. Аксенов // Отечественная геология. – 2021. - №1. – С. 19-24.
8. Акции «Норникеля» падают после аварии на Норильской обогатительной фабрике // Коммерсант. 2021. URL: <https://www.kommersant.ru/doc/4703006>. (дата обращения: 19.07.2021).
9. Акции «Норникеля» продолжили падать 2-ой день подряд после аварии // Интерфакс. 2021. URL: <https://www.interfax.ru/business/752078>. (дата обращения: 19.07.2021).
10. Акции «Норникеля» упали на 7% после новости о снижении производства из-за аварии // Forbes. 2021. URL: <https://www.forbes.ru/newsroom/biznes/423597-akcii-nornikelya-upali-na-7-posle-novosti-o-snizhenii-proizvodstva-iz-za>. (дата обращения: 19.07.2021).
11. Алимбекова, Н.К. Анализ факторов рисков деятельности предприятий нефтегазовой промышленности / Н.К. Алимбекова // Вестник Тамбовского университета. Серия: Гуманитарные науки. – 2012. – №1 (105). – С. 48-52.

12. Алимбекова, Н.К. Управление рисками организационных преобразований предприятий нефтегазовой отрасли / Н.К. Алимбекова, Д.В. Горбунов // Вестник Саратовского государственного социально-экономического университета. – 2012. – № 4(43). – С.61-64.
13. Алюминиевая промышленность должна быть приоритетом экономики // Независимая газета. 2018. URL: [https://www.ng.ru/economics/2018-07-19/5\\_7270\\_alumin.html](https://www.ng.ru/economics/2018-07-19/5_7270_alumin.html).
14. Анализ рисков в горнодобывающей промышленности, связанных с безопасностью работы / В. Кубиньски, Е. Кубиньска-Ябзон, А. Петров, Д. Сала, Д.Ю. Савон. // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2017. – № 11. – С. 168-176.
15. Аналитический отчет ОТКРЫТИЕ Research. Цветные металлы. Сектора товарных рынков. 01.10.20-23.12.20 URL: [https://s3.open-broker.ru/site/news/00odd0fk6uncvV3WmwaBTW1dp1qpiogK2JErLC2V/Otkritie\\_Commodity\\_Base\\_Metals\\_30092020.pdf](https://s3.open-broker.ru/site/news/00odd0fk6uncvV3WmwaBTW1dp1qpiogK2JErLC2V/Otkritie_Commodity_Base_Metals_30092020.pdf). (дата обращения: 19.07.2021).
16. АО "СЕВУРАЛБОКСИТРУДА": бухгалтерская отчетность и финансовый анализ // Audit-it.ru. URL: [https://www.audit-it.ru/buh\\_otchet/6631001159\\_ao-sevuralboksitruda](https://www.audit-it.ru/buh_otchet/6631001159_ao-sevuralboksitruda). (дата обращения: 19.07.2021).
17. Балабан, В.А. Синергия: сферы проявления и источники получения / В.А. Балабан // Вестник ТГЭУ. – 2006. – №3. – С.90-98.
18. Барикаев, Е.Н. Определение и классификация рисков / Е.Н. Барикаев, В.З. Черняк // Вестник Московского университета МВД России . – 2014. – №2. – С. 126-133.
19. Барчуков, А.В. Многозадачная классификация рисков / А.В. Барчуков, Д.В. Соколов // Вестник Сибирского института бизнеса и информационных технологий. – 2015. – № 3 (15). – С. 17-26.
20. Барях, А.А. Ликвидация калийных рудников и соляных шахт: обзор и анализ проблемы / А.А. Барях, А.В. Евсеев // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал) . – 2019. – №9. – С. 5-29.
21. Батугина, Н.С. Оценка наукоемкости горнодобывающих отраслей / Н.С. Батугина // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2011. – №5. – С. 263-271.
22. Башкирова, О. Роль организационного капитала в структуре управления современной корпорации / О. Башкирова // Вестник Института экономики РАН. – 2011. – №3. – С. 127-138.
23. Безжалостное подземелье // Эксперт. 2016. URL: <https://expert.ru/expert/2016/10/bezzhalostnoe-podzemele/>. (дата обращения: 19.07.2021).

24. Белкин, В. Н. Организационный капитал предприятия / В. Н. Белкин, Н. А. Белкина, О. А. Антонова // Экономика региона. – 2016. – Т. 12, вып. 3. – С. 826-838.
25. Беспилотная техника. Едем в роботизированное будущее // dprom.online. 2020. URL: <https://dprom.online/unsolution/bespilotnaya-tehnika-edem-v-robotizirovannoe-budushhee/>. (дата обращения: 19.07.2021).
26. Богданова, С.А. Ресурсная теория как основа стратегического управления / С.А. Богданова // Формирование транспортно-логистической инфраструктуры. Приграничное сотрудничество России и Казахстана. Материалы 2-ой Международной научно-практической конференции. – Омск: Издательство «СибАДИ», 2007. – С.58-62.
27. Богоявленский, С.Б. Управление риском. СПб: Изд-во СПбГУЭФ, 2010. 147с.
28. Болдырев, Е.С. Учет рисков при оценке инвестиционных проектов в нефтегазовой отрасли /Е.С. Болдырев, И.В. Буренина, И.М. Захарова // Вестник евразийской науки. – 2016. – Том 8 №1. – С. 1-11.
29. Бородкина, В.В. Перспективы развития алюминиевого производства в России / В.В. Бородкина, О.В. Рыжкова, Ю.В. Улас // Фундаментальные исследования. – 2018. – №12 (часть 1). – С. 72-77.
30. Боярко, Г.Ю. Стратегические отраслевые риски горнодобывающей промышленности / Г. Ю. Боярко // Отечественная геология. – 2003. – № 4-5. – С. 28-32.
31. Боярко, Г. Ю. Управление рисками проектов недропользования / Г. Ю. Боярко // Известия Томского политехнического университета. – 2002. – Т. 305. – № 8. – С. 257-266.
32. Бразилия закрывает 47 опасных дамб // Industryall. 2020. URL: <http://www.industriall-union.org/ru/braziliya-zakryvaet-47-opasnyh-damb>. (дата обращения: 19.07.2021).
33. Былков, В.Г. Компоненты человеческого капитала: вопросы теории и практики / В.Г. Былков // Известия Байкальского государственного университета. – 2011. – №6 (80) . – С. 109-116.
34. В "Воркутауголь" опровергли сообщения о якобы манипуляциях с датчиками метана на шахте // ТАСС. 2016. URL: <https://tass.ru/proisshestviya/2702915>. (дата обращения: 19.07.2021).
35. Ветрова, Е. Н. Модель инновационного развития российского промышленного предприятия в условиях ресурсных ограничений / Е. Н. Ветрова, И. В. Гладышева // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Экономика и экологический менеджмент. – 2017. – № 4. – С. 39-47.
36. Воробьев, К.А. Цифровизация нефтяной промышленности: технология «цифровой» керн / К.А. Воробьев, А.Е. Воробьев, Х. Тчаро // Вестник Евразийской науки. – 2018. – №3.

37. Воробьева, О.В. Роль научного обеспечения в области безопасности жизнедеятельности / О.В. Воробьева // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2008. – №4. – С. 153-168.
38. Воронина, Л.И. Сохранение человеческого капитала в трудовой деятельности граждан пожилого возраста / Л.И. Воронина, Т.И. Касьянова, Т.Е. Радченко // Вестник Томского государственного университета. Экономика. – 2020. – №49. – С. 96-109.
39. Вышли новые стандарты ответственной горной добычи // Industryall. 2018. URL: <http://www.industryall-union.org/ru/vyshli-novye-standarty-otvetstvennoy-gornoj-dobychi>. (дата обращения: 19.07.2021).
40. Галкин, А.Ф. Методика оценки условий труда по пылевому фактору / А.Ф. Галкин, Е.П. Обожина, А.В. Дормидонтов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал) . – 2015. – №S7. – С. 396-401.
41. Геологоразведка в России: дело государственной важности // DW. 2015. URL: <https://www.dw.com/ru/геологоразведка-в-россии-дело-государственной-важности/a-18604439>.
42. Гилева, Т.А. Формирование организационного капитала предприятия на основе реализации инноваций / Т.А. Гилева, М.Е. Гурина // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Экономические науки. – 2015. – № 3(221). – С. 221-231.
43. Глухих, Л.В. Реализация комплементарной стратегии посредством конкурентного механизма ведения бизнеса / Л.В. Глухих, Д.Я. Родин, Е.П. Астахова // Научный журнал КубГАУ. – 2014. - №101 (07).
44. Гобарева, Я.Л. Big data: большой потенциал управления рисками / Я.Л. Гобарева, О.Ю. Городецкая, М.С. Николаенкова // Транспортное дело России. – 2016. – №1. – С. 21-24.
45. Годовой отчет ОК РУСАЛ. 2020. URL: <https://rusal.ru/upload/iblock/b69/b69ea110f38548741dbda8d26f2c3873.pdf>. (дата обращения: 19.07.2021).
46. Головкина, Е.Ю. Политические риски в нефтегазовом секторе как объекты риск-анализа / Е.Ю. Головкина // Социально-гуманитарные знания. – 2013. – № 11. – С.93-96.
47. Горбунов, В.Д. Организационный капитал предприятия / В.Д. Горбунов // Челябинский гуманитарий. – 2010. – №10. – С.27-32.
48. Горная промышленность в Арктике в контексте обеспечения устойчивого развития местных сообществ / В.А.Маслобоев, С.Н.Виноградова, В.В.Дидык, Е.М.Ключникова, Е.А.Корчак, Т.А.Мингалёва, В.Н.Петров, Л.А.Рябова // Вестник Кольского научного центра РАН. – 2015. – № 4 (23). – С. 82-89.
49. Горный удар // Федеральное автономное учреждение «Главное управление государственной экспертизы». 2019. URL: <https://gge.ru/analytics/experts/naibolee-slozhnoy-i>

vazhnoy-problemy-pri-razrabotke-glubokozalegayushchikh-mestorozhdeniy-yavlyayets/. (дата обращения: 19.07.2021).

50. Горный удар произошел на одной из шахт Кузбасса после землетрясения в Туве // Российская газета. 2011. URL: <https://rg.ru/2011/03/28/reg-sibir/udar-anons.html>. (дата обращения: 19.07.2021).

51. Горняков затопило по вине начальства. Завершено расследование аварии на шахте "Западная" // Коммерсантъ. 2005. URL: <https://www.kommersant.ru/doc/539130>. (дата обращения: 19.07.2021).

52. Города с провалами: как уходили под землю Березники и Соликамск // rbc. 2016. URL: <https://www.rbc.ru/photoreport/06/10/2016/57f65cfa9a7947f9f67cb6cc>. (дата обращения: 19.07.2021).

53. Горшенина, М.Е. Обоснование управленческих инноваций на основе анализа взаимодействия человеческого и организационного капиталов компании / М.Е. Горшенина // Управление экономическими системами: электронный научный журнал. – 2015. – №10 (82).

54. ГОСТ Р 31010-2011 Методы оценки риска. ISO/IEC 31010:2009 // Консорциум кодекс [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/gost-r-iso-mek-31010-2011>.

55. ГОСТ Р 53114-2008 Защита информации. Обеспечение информационной безопасности в организации. Основные термины и определения. – Москва: Стандартинформ, 2008. – 20 с.

56. ГОСТ Р ИСО/МЭК 27000-2012 Информационная технология (ИТ). Методы и средства обеспечения безопасности. Системы менеджмента информационной безопасности. Общий обзор и терминология. – Москва: Стандартинформ, 2014. – 22 с.

57. ГОСТ Р ИСО/ТО 13569-2007. Финансовые услуги. Рекомендации по информационной безопасности. – Москва: Стандартинформ, 2008. – 70 с.

58. Государственный доклад «О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2019 году». - Москва: Министерство природных ресурсов и экологии, 2020. 494 с.

59. Гражданский кодекс Российской Федерации от 30 ноября 1994 года № 51-ФЗ // КонсультантПлюс [Электронный ресурс]. URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_5142](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_5142). (дата обращения: 19.07.2021).

60. Гусев, А.И. Бокситы Салаирского кряжа: формационные типы и их перспективы / А.И. Гусев // Современные наукоемкие технологии. – 2014. – № 1. – С. 85-89.

61. Далатказин, Т.Ш. Обеспечение безопасности горных работ при разработке Соколовского железорудного месторождения /Т.Ш. Далатказин, А.Н. Каюмова // Проблемы недропользования. – 2019. – №4. – С. 113-121.

62. Данов, А.А. Классификация рисков / А.А. Данов // Вестник Тамбовского университета. Серия: Гуманитарные науки. – 2008. – №10. – С.350-354.
63. Данов, А.А. Понятие и оценка риска / А.А. Данов // Вестник Тамбовского университета. Серия: Гуманитарные науки. – 2008. – №9 (65). – С. 348-351.
64. Датчик метана на "Ульяновской" был намеренно испорчен // rbc. 2007. URL: <https://www.rbc.ru/society/16/04/2007/5703c6e69a79470eaf764b49>. (дата обращения: 19.07.2021).
65. Дело - табак! Кто и что курит в шахтах Кузбасса? // Аргументы и факты. 2014. URL: <https://kuzbass.aif.ru/incidents/1097304>. (дата обращения: 19.07.2021).
66. Денисенко, Е. С. Экономическая сущность понятия «Активы» и их классификация / Е.С. Денисенко // Актуальные вопросы экономических наук. – 2015. – №44. – С. 105-111.
67. Денисова, О. Ю. Большие данные – это не только размер данных / О. Ю. Денисова, Э. А. Мухутдинов // Вестник технологического университета. –2015. –Т.18, №4. – С.226-230.
68. Дмитриева, Д.М. Формирование подхода к стратегическому управлению компаниями горно-химического комплекса в условиях динамизма внешней среды / Д.М. Дмитриева, А.А. Ильинова // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ». – 2016. – Том 8, №2. – С. 1-15.
69. Доклад о правоприменительной практике контрольно-надзорной деятельности в Федеральной службе по экологическому, технологическому и атомному надзору при осуществлении федерального государственного надзора в области промышленной безопасности за 2016 год.
70. Дубинный, А.Ф. Оценка концентрации горных работ / А.Ф. Дубинный // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2000. – № 2. – С.132-134.
71. Еремин, А. Н. Современное состояние и перспективы развития интеллектуальных скважин / А. Н. Еремин, Н.А. Еремин // Нефть. Газ. Новации. – 2015. – № 12. – С. 50-53.
72. Ермаков, Н.И. Причины возникновения горных ударов на рудных месторождениях (на примере СУБРа) / Н.И. Ермаков // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2001. – №8.
73. Ергошенко, Д.Э. Классификация рисков в предпринимательской деятельности / Д.Э. Ергошенко, Л.А. Иванченко // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. – 2014. – №10. Том 2. – С. 304-305.
74. Журова, Л.И. Подходы к оценке синергетического эффекта корпоративной системы // Вестник Волжского университета им. В.Н. Татищева. – 2016. – №3, Том 2. – С. 1-7.

75. За 45 лет максимальная глубина шахт увеличилась в три раза // dprom.online. 2020. URL: <https://dprom.online/unsolution/za-45-let-maksimalnaya-glubina-shaht-velichilas-v-tri-raza/>. (дата обращения: 19.07.2021).
76. Заернюк, В.М. Особенности проявления рисков и неопределенности при реализации горных проектов / В.М. Заернюк, Ю.В. Забайкин, Б.М. Сейфуллаев // KANT. – 2017. – № 3(24). – С.130-138.
77. Закон о цифровых активах вступил в силу. Что изменилось // rbc. 2021. URL: <https://www.rbc.ru/crypto/news/5fedaf549a794784d89eb416>.
78. Затопленную шахту «Северная» законсервируют на семь лет // Ведомости. 2018. URL: <https://www.vedomosti.ru/business/news/2018/02/27/752121-shahtu-severnaya-zakonserviruyut>. (дата обращения: 19.07.2021).
79. Захаров, В.Н. Оценка и управление горным риском, как инструмент повышения эффективности и безопасности функционирования горного предприятия / В.Н. Захаров // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2013. – №1. – С. 57-69.
80. Иванов, А.Е. Генезис синергетического подхода в исследованиях слияний и поглощений: развенчание главного мифа о синергии / А.Е. Иванов // Финансы и кредит. – 2013. – №42. – С. 69–78.
81. Иванов, А.Е. Комплементарный и ресурсный подходы к обоснованию синергетического эффекта слияний и поглощений / А.Е. Иванов // Экономический анализ: теория и практика. – 2017. – Т. 16, № 9. – С. 1678-1695.
82. **Иванова, Д.А.** Big Data как информационный актив современного предприятия: проблемы и возможности / Д.А. Иванова // Экономика и предпринимательство. – 2019. – №10. – С.804-810.
83. **Иванова, Д.А.** Анализ специфических рисков горнодобывающего предприятия / Д.А. Иванова // XVII Всероссийская конференция-конкурс студентов и аспирантов горно-геологического, нефтегазового, энергетического, машиностроительного и металлургического профиля: Тезисы докладов / Санкт-Петербургский горный университет. СПб, 2019. 290 с. (27-29 марта 2019 г.). – С. 269.
84. **Иванова, Д.А.** Квалификация и оценка интеллектуального капитала компаний топливно-энергетического комплекса / Д.А. Иванова, Т.В. Пономаренко // Записки Горного института. – 2012. – т.196. – С.172-177
85. **Иванова, Д.А.** Комплементарность активов как условие развития горного предприятия в рамках цифровой экономики / Д.А. Иванова, Т.В. Пономаренко // Цифровая экономика, умные инновации и технологии: сборник трудов Национальной (Всероссийской)

науч.-практ. конф. с зарубежным участием, 18-20 апреля 2021 г., Санкт-Петербург / под ред. д-ра экон. наук, проф. Д. Г. Родионова, д-ра экон. наук, проф. А. В. Бабкина. – СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2020. – С. 280-282.

86. **Иванова, Д.А.** Минеральные и цифровые активы как специфические активы горных предприятий / Д.А. Иванова, Т.В. Пономаренко // Устойчивое развитие цифровой экономики, промышленности и инновационных систем: сборник трудов научно-практической конференции с зарубежным участием, 20–21 ноября 2020 г. / под ред. д-ра экон. наук, проф. Д. Г. Родионова, д-ра экон. наук, проф. А. В. Бабкина. – СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2020. – С. 363-366.

87. **Иванова, Д.А.** Организационно-экономические аспекты внедрения цифровых технологий на горном предприятии / Д.А. Иванова, Т.В. Пономаренко // Научные исследования современных проблем развития России: цифровая трансформация экономики: сборник научных трудов по итогам Международной научно-практической конференции молодых учёных Санкт-Петербургского государственного экономического университета. 15 февраля 2021 года / под ред. д-ра экон. наук, проф. Е.А.Горбашко. – СПб.: Изд-во СПбГЭУ. – 2021. – С. 156-159.

88. **Иванова, Д.А.** Проблема идентификации специфических рисков предприятий минерально-сырьевого комплекса и их влияние на инвестиционную привлекательность компании / Д.А. Иванова // Экономика и предпринимательство. – 2019. – №4. – С.1089-1093.

89. **Иванова, Д.А.** Риски предприятий горной промышленности в условиях неопределенности / Д.А. Иванова // Актуальные проблемы современной экономики: от политики экономического роста к управлению предприятием: Сборник научных работ молодых исследователей / Под общей ред. канд. экон. наук. Н.М. Старобинской, докт. экон. наук Н.А. Пашкус. – СПб.: КультИнформПресс, 2019. – С. 117-121.

90. **Иванова, Д.А.** Ценность комплементарных активов в горных компаниях: минеральные и информационные активы / Д.А. Иванова, Т.В. Пономаренко // Устойчивое развитие цифровой экономики и кластерных структур: теория и практика: монография. – СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС. – 2020. – С. 362-398

91. **Имамов, Р.Р.** К вопросу о классификации рисков инвестиционных проектов в нефтегазовой промышленности / Р.Р. Имамов // Актуальные вопросы современной науки. – 2014. – №31. – С. 52-61.

92. **Инженерно-технический состав угольной отрасли России: ретроспектива, современное состояние, прогноз / А.А. Рожков, И.С. Соловенко, Т.А. Коркина, М.А. Лошилова // Уголь. – 2020. – №4. – С. 16-25.**

93. Казиева, Ж.Н. Методологические подходы к определению категории устойчивого развития промышленности / Ж.Н.Казиева, Д.А.Раджабова // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. – 2010. – № 16. – С. 165-173.
94. Как производится алюминий // Сайт об алюминии. URL: [https://aluminiumleader.ru/production/how\\_aluminium\\_is\\_produced/](https://aluminiumleader.ru/production/how_aluminium_is_produced/). (дата обращения: 19.07.2021).
95. Каинов, А.И. Обоснование способов и показателей концентрации горных работ на угольных разрезах с большегрузным автомобильным транспортом / А.И. Каинов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал) . – 2015. – № S45-1. – С.260-274.
96. Каледина, Н.О. К оценке организационных рисков на горных предприятиях /Н.О. Каледина, О.В. Воробьева // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2009. – № 12, Том 12. – С. 51-60.
97. Калиева, К.Б. Воздействие на окружающую среду открытых горных разработок / К.Б. Калиева, Б.Т. Ишкенов // Инновационная наука. – 2017. - №11. – С. 33-37.
98. Камалова, Э.Р. Системный подход к проектированию специальной одежды из полимеров для рабочих горячих цехов / Э.Р. Камалова // Вестник Казанского технологического университета. – 2014. – Т.17, №19. – С.94-95.
99. Канев, С.А. Информационные активы и конкурентоспособность компании / С.А. Канев // Российское предпринимательство. – 2010. – № 2. – С. 77-81.
100. Капутин, Ю.Е. Информационные технологии и экономическая оценка горных проектов. – СПб: Недра, 2008 г. – 397 стр.
101. Касаева, Т.В. Расширительная трактовка структуры человеческого капитала / Т.В. Касаева // Terra Economicus. 2013. – Том 11. – №2 Часть 2. – С. 21-27.
102. Катъкало, В.С. Место и роль ресурсной концепции в развитии теории стратегического управления (предисловие к разделу) / В.С. Катъкало // Вестник Санкт-Петербургского университета. –2003. – Сер. 8. Вып.3 (№24) . – С. 3-17.
103. Катъкало, В.С. Ресурсная концепция стратегического управления: генезис основных идей и понятий / В.С. Катъкало // Вестник Санкт-Петербургского университета. – 2002. – Сер. 8. Вып.4 (№32) . – С. 20-42.
104. Киреева, Н.В. Анализ содержания элементов системы калькулирования себестоимости продукции (работ, услуг) / Н.В. Киреева, Е.А. Малышев // Вестник ЧитГУ. – 2011. – №8 (75). – С. 3-8.
105. Клейнер, Г.Б. Ресурсная теория системной организации экономики / Г.Б. Клейнер // Российский журнал менеджмента. – 2011. – Том 9, № 3. – С. 3-28.

106. Кожиев, Х.Х. Классификация способов управления качеством руд при подземной добыче / Х.Х. Кожиев // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – №8. – 2005. – С. 11-13.
107. Кожухова, О.С. Исследование рисков, влияющих на деятельность российских нефтегазовых компаний / О.С. Кожухова // Управление экономическими системами: электронный научный журнал. – 2011. – №36. – С. 1-15.
108. Колесниченко, Е.А. Геолого-генетические основы предотвращения взрывов метана в шахте / Е.А.Колесниченко, И.Е.Колесниченко // Горная Промышленность. – 2005. – №1.
109. Колядин, А.П. Структурные элементы человеческого капитала / А.П. Колядин // Экономический вестник Ростовского государственного университета. – 2006. – Том 4. №2. – С.61-65.
110. Комарова, И.П. Проблемы трансформации организационного строения высокотехнологичных компаний / И.П. Комарова // Вестник РЭУ им. Г. В. Плеханова. – 2016. – № 6 (90) . – С. 41-50.
111. Конвенция 176. Конвенция о безопасности и гигиене труда на шахтах // International Labour Organization. URL: [https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---ed\\_norm/---normes/documents/normativeinstrument/wcms\\_c176\\_ru.htm](https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---ed_norm/---normes/documents/normativeinstrument/wcms_c176_ru.htm). (дата обращения: 19.07.2021).
112. Кондратьев, В.Б. Коронавирус и горная промышленность / В.Б. Кондратьев // Горная промышленность. – 2020. – №5. – С.10-18
113. Конопляник, А.А. О рисках финансирования нефтегазовых проектов / А.А. Конопляник, С.В. Лебедев // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. – 2001. – №4. – С. 38-45.
114. Консолидированная финансовая отчетность Международной компании публичного акционерного общества «Объединенная Компания «РУСАЛ» за 2020 год. URL: <https://rusal.ru/upload/iblock/a56/a564e1a079c04f503b720d8848178d28.pdf>. (дата обращения: 19.07.2021).
115. Копытов, А. И. О состоянии и перспективах развития Таштагольского филиала ОАО «Евразруда» / А. И. Копытов, А. А. Еременко, В. В. Першин // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2011. – №2. – С.13-18.
116. Королев, В. Ю. Математические основы теории риска : Учебн. пособ. / Королев В. Ю. , Бенинг В. Е. , Шоргин С. Я. - 2-е изд. , перераб. и доп. - Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2011. - 620 с.

117. Котилайнен, Ж. О динамическом подходе к устойчивости в горнодобывающей промышленности / Ж. Котилайнен // Проблемы развития территории. – 2015. – №8(80). – С. 51-62.
118. Кризис безопасности на шахтах Индии требует ратификации Конвенции МОТ № 176 // Industryall. 2020. URL: <http://www.industrialunion.org/ru/krizis-bezopasnosti-na-shahtah-indii-trebuuet-ratifikacii-konvencii-mot-no-176>. (дата обращения: 19.07.2021).
119. Крюков, В.А. Учет специфических активов в процессе реорганизации нефтегазового сектора / В.А. Крюков // Экономическая наука современной России. – 2000. – №2. – С. 84-93.
120. Куклина, Е. А. Риски инвестирования в системе управления недропользованием / Е.А. Куклина // Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. – 2013. – Т. 17, № 7(60). – С.47-50.
121. Лаптев, Б. В. Аварийные ситуации на Верхнекамском месторождении калийно-магниевого сырья / Б.В. Лаптев // Безопасность труда в промышленности. – 2009. – № 8. – С. 28-31.
122. Лаптева, А.М. Правовой режим цифровых активов (на примере Big Data) / А.М. Лаптева // Журнал российского права. – 2019. – № 4. – С. 93-104.
123. Ларичкин, Ф.Д. Системный анализ экономических проблем комплексного использования минерального сырья / Ф.Д. Ларичкин // Цветная металлургия. – 2004. – №3. – С. 19-27.
124. Лебедев, А.А. Экономическое обоснование геоэкологических рисков в нефтегазовой отрасли / А.А. Лебедев // Инженерный вестник Дона. – 2010. – №4, Том 14. – С. 75-84.
125. Леонова, О.А. Проблема экономического риска в антикризисном управлении горным производством / О.А. Леонова // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2015. – № 2. – С. 277-283.
126. Лепезин, Г.Г. Перспективы импортозамещения в алюминиевой отрасли России / Г.Г. Лепезин // Инновации. – 2016. – №1 (207). – С. 43-52.
127. Ловчиков, А.В. Изменение представлений о механизме горных и горно-тектонических ударов в рудниках на современном этапе / А.В. Ловчиков // Записки Горного института. – 2010. – Т. 188. – С. 63-65.
128. Ломоносов, Г.Г. Основные положения по обеспечению стабильности качества выдаваемой руды / Г.Г. Ломоносов, Н.А. Туртыгина, А.В. Охрименко // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2009. – №11. – С. 258-260.

129. Лондонская биржа металлов (LME): официальный сайт. – URL: <https://www.lme.com/>.
130. Ляхов, А. В. Понятия и виды синергизма / А. В. Ляхов, М. В. Крачулова // Экономика промышленности. – 2009. – № 4. – С. 25-30
131. Ляхомский, А.В. Анализ деятельности организаций угольной отрасли по обеспечению повышения энергоэффективности / А.В. Ляхомский, Е.Н. Перфильева, А.Г. Кутепов // Уголь. 2021. № 4. С. 32-36.
132. Магеррамов, З.Т. Big Data: проблемы, методы анализа, алгоритмы / З.Т. Магеррамов, В.Г. Абдуллаев, А.З. Магеррамова // Радиоэлектроника и информатика. – 2017. - №3. – С. 42-52.
133. Мазина, И.Э. Снижения негативного воздействия на окружающую среду с использованием технологии закладки выработанного пространства при подземной разработке угля / И.Э. Мазина, П.П. Ганган, Фан Туан Ань // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал) . – 2019. – № 2. – С. 28–35.
134. Майбуров, И. Устойчивое развитие как коэволюционный процесс / И. Майбуров // Общество и экономика. – 2004. – № 4. – С. 124-143.
135. Маликов, С.Н. Эволюция подходов к управлению информационными технологиями / С.Н. Маликов // Образовательные ресурсы и технологии. – 2016. – №4 (16) . – С. 51-58.
136. Маринина, О.А. Классификация и методы учета инвестиционных рисков нефтегазовых проектов / О.А. Маринина // Записки Горного института. – 2013. – Т. 205. – С. 202-207.
137. Марченко, Р.С. Классификация рисков горнодобывающих проектов / Р.С. Марченко // Современные инновации. – 2016. – № 11(13). – С.40-41.
138. Массовые акции протеста в Грузии в поддержку действенной инспекции труда // Industryall. 2017. URL: <http://www.industrialunion.org/ru/massovye-akcii-protesta-v-gruzii-v-podderzhku-deystvennoy-inspekicii-truda>. (дата обращения: 19.07.2021).
139. Матвеевко, Ю.И. Современные подходы к изучению риска / Ю.И. Матвеевко // Известия Тульского государственного университета. Гуманитарные науки. – 2012. – №1-1. – С. 165-173.
140. Методические рекомендации по оценке ущерба от аварий на опасных производственных объектах (РД 03-496—02). Серия 03. Выпуск 19. — 3-е изд.,испр. и доп. — М.: Закрытое акционерное общество «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности», 2010. — 40 с.

141. Методические рекомендации по применению классификации запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых. Аллюминиевые руды. Издание: ФГУ ГКЗ, Москва, 2007 г., 38 стр.

142. Минзарипов, Р.Г. Применение камерно-столбовой системы разработки на глубоких горизонтах шахт СУБРа / Р.Г. Минзарипов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2006. – №4. – С. 320-329.

143. Митяков, Е.С. Оценка рисков в задачах мониторинга угроз экономической безопасности / Е.С. Митяков, С.Н. Митяков // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – 2018. – № 1(120). – С. 44-51.

144. Мишкевич, В.М. Природные и техногенные риски при проектировании и эксплуатации объектов нефтегазового комплекса / В.М. Мишкевич // International agricultural journal. – 2021. – № 1. – С.55-60.

145. Мокроносов, А.Г. Человеческий капитал или человеческий потенциал / А.Г. Мокроносов, Ю.В. Крутин // Идеи и идеалы. – 2017. – №3 (23) . – С. 80-88.

146. Молодчик, М.А. Инновации и интеллектуальный капитал компании: анализ панельных данных / М.А. Молодчик, Я.С. Нурсубина // Современные стратегии инновационного развития. Тринадцатые Друкеровские чтения / Под ред. Р.М. Нижегородцева. Новочеркасск: Южно-Российский государственный технический университет. С. 231-237.

147. Мочалова, Л. А. Нормативно-правовое обеспечение перехода горных предприятий на наилучшие доступные технологии / Л. А. Мочалова // Горный журнал. – 2019. – № 1. – С. 28-33.

148. Музлова, Г. Нет санкций без добра / Г. Музлова // Морские порты. – 2019. – №10

149. Музлова, Г. Спрос падает и трансформируется / Г. Музлова // Морские порты. – 2020. – №5.

150. Мурзин, А.Д. Идентификация эколого-экономических рисков горнодобывающей промышленности / А.Д. Мурзин, Т.М. Рогова // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2017. – № 5. – С. 97–104.

151. На Таштагольском руднике группы «ЕВРАЗ» пройдет реконструкция // Строительство.ru. 2020. URL: <https://rcmm.ru/novosti/50275-na-tashtagolskom-rudnike-gruppy-evraz-projdet-rekonstrukcija.html>. (дата обращения: 19.07.2021).

152. На шахте в Кузбассе произошло обрушение из-за выброса метана // ТАСС. 2021. URL: <https://tass.ru/proisshestviya/10520939>.

153. Налогообложение оборота цифровых активов / А. А. Арямов, Ю. В. Грачёва, А. И. Чучаев, С. В. Маликов, С. Г. Ольков // Азиатско-Тихоокеанский регион: экономика, политика, право. – 2019. – № 1. – С. 96-129.

154. Наше общее будущее: Доклад международной комиссии по окружающей среде и развитию (МКОСР): пер. с англ. – М.: Прогресс, 1989.

155. Не время для хайпа: когда российская промышленность станет современной // Объединение лидеров нефтегазового сервиса и машиностроения России. Национальная Ассоциация нефтегазового сервиса. 2021. URL: <https://nangs.org/news/it/ne-vremya-dlya-haypa-kogda-rossiyskaya-promyshlennosty-stanet-sovremennoy>. (дата обращения: 19.07.2021).

156. Никитенко, С.М. Мировой инновационный проект «Индустрия 4.0» и перспективы комплексного освоения недр в топливно-энергетическом комплексе России / С.М. Никитенко, Е.В. Гоосен, Е.О. Пахомова // Инновации. – 2019. – № 10 (252). – С. 116-126.

157. Никишичев, С.Б. К вопросу определения оптимального периода долгосрочного планирования для горнодобывающих предприятий / С.Б. Никишичев, А.А. Твердов, А.В. Жура // Горная Промышленность. – 2010. – №6 (94).

158. Новиков, Д.А. Большие данные – от Брагге к Ньютону / Д.А. Новиков // Проблемы управления. – 2013. – №6. – С. 15-23.

159. Обеспечение. Современный экономический словарь. Составители: Райзберг Б.А., Лозовский Л.Ш., Стародубцева Е.Б., 1999 год. URL: <http://economics.niv.ru/doc/dictionary/economical/index.htm>. (дата обращения: 19.07.2021).

160. Обзор горно-шахтного оборудования // Торговый Дом «ПермПромСервис». URL: <http://td-pps.ru/articles/30-obzor-gorno-shahtnogo-oborudovaniya>.

161. Обзор рынка РЗМ и технологий переработки редкоземельного сырья / Т.И. Юшина, И.М. Петров, С.И. Гришаев, С.А. Черный // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2015. – S1. – С. 577 – 608.

162. Обзор трендов и перспектив в геологоразведке, сформированный по итогам первой международной конференции EAGE «ПроГРРесс'19. Геологоразведка как бизнес»

163. Объединённая компания «РУСАЛ». URL: <https://rusal.ru/>. (дата обращения: 19.07.2021).

164. Орехова, С.В. Формирование устойчивых конкурентных преимуществ фирмы в контексте ресурсной концепции / С.В. Орехова // Современная конкуренция. – 2011. – №4 (28) . – С. 97-105.

165. Осинцев, В.А. Добыча руды в удароопасных условиях на шахтах СУБРа / В.А. Осинцев, В.М. Беркович, Д.В. Шараев // Вестник МГТУ им. Г.И.Носова. – 2008. – №2. – С. 5-9.

166. Особенности формирования и функционирования систем обеспечения безопасности горнодобывающих предприятий в сложных условиях разработки месторождений / И.Л. Кравчук, В.А. Пикалов, Е.М. Неволина, Е.П. Ютяев, Ю.М. Иванов // Уголь. – 2017. – №5 (1094). – С 60-67.
167. Отчет E&Y: Top 10 business risks facing mining and metals 2017-2018.
168. Отчет E&Y: Top 10 business risks facing mining and metals 2019-2020.
169. Отчет PwC: Горнодобывающая промышленность 2019 г. Ресурсы для будущего
170. Павлишина, Д.Н. Разработка инструмента формирования эффективных технологических схем стабилизации качества рудопотока / Д.Н. Павлишина, П.А. Шумилов, С.В. Терещенко // Проблемы недропользования. – 2017. – №1. – С. 48-54.
171. Падение акций «Норникеля» ускорилось до 9,5% // rbc. 2020. URL: <https://quote.rbc.ru/news/article/5ed8fa049a79479fb063193b>. (дата обращения: 19.07.2021).
172. Панягина, А.Е. Подходы к пониманию и классификации рисков / А.Е. Панягина // Современная экономика: проблемы, тенденции, перспективы. – 2012. – №6. – С. 1-11.
173. Пахомова, Н.В. Экономика отраслевых рынков и политика государства / Н.В. Пахомова, К.К. Рихтер – М.: ЗАО Изд-во «Экономика», 2009. – 816 с.
174. Пешкова, М.Х. Методы риск-анализа горных проектов / М.Х. Пешкова // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2002. – №8. – С. 16-22.
175. Плакиткин, Ю.А. Программы «Индустрия-4.0» и «Цифровая экономика Российской Федерации» – возможности и перспективы в угольной промышленности / Ю.А. Плакиткин, Л.С. Плакиткина // Горная Промышленность. – 2018. – №1 (137) . – С. 22-28.
176. Планетная технология. Предпосылки формирования новой научной дисциплины / М.М. Хайрутдинов, Ч.Б. Конгар-Сюрюн, Ю.С. Тюляева, А.М. Хайрутдинов // Горная промышленность. – 2020. – №3. – С. 113-120.
177. Положение об аэрогазовом контроле в угольных шахтах <https://docs.cntd.ru/document/902321894>.
178. Полушин, А.П. Система формирования и учет издержек по центрам затрат / А.П. Полушин // Экономический анализ: теория и практика. – 2003. – №5. – С. 48-50.
179. Поляничко, М.А. Методика оценки совокупной ценности информационных активов при оценке рисков от инсайдерских угроз информационной безопасности / М.А. Поляничко // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: естественные и технические науки. – 2019. – №8. – С.107-110.

180. Пономарев, С.В. Экономика знаний (развитие интеллектуального и компьютерного капитала предприятия) / С.В. Пономарев // Вестник экономической науки Украины. – 2018. – №2 (35). – С. 198-203.

181. Пономаренко, Т.В. Интегрированная корпоративная отчетность горных компаний в контексте стейкхолдерской теории / Т.В. Пономаренко, И.Б. Сергеев // Записки Горного института. – 2013. – Том 205. – С. 232-237.

182. Пономаренко, Т.В. Механизм формирования стратегических конкурентных преимуществ горных компаний / Т.В. Пономаренко // Записки Горного института. – 2010. – Т.194. – С.291-300.

183. Пономаренко, Т.В. Модель стратегического управления конкурентоспособностью интегрированной компании / Т.В. Пономаренко, Ф.Д. Ларичкин // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. – 2011. - №6 (18). – С. 131-139.

184. Почему взрываются шахты, и кто за это ответит // РАПСИ. 2010. URL: [http://rapsinews.ru/incident\\_publication/20100511/250077928.html](http://rapsinews.ru/incident_publication/20100511/250077928.html). (дата обращения: 19.07.2021).

185. Почти сотню горняков эвакуировали из-за аварии на шахте в Кузбассе // гбс. 2019. URL: <https://www.rbc.ru/society/10/06/2019/5cfde7219a79474318739d6e>. (дата обращения: 19.07.2021).

186. Правовые проблемы патентования в угольной промышленности /В.К. Шайдуллина, В.П. Павлов, В.Н. Синельникова, Н.А. Ефимова, Л.Ю. Новицкая // Уголь. – 2019. – №1 (1114). – С. 58-62.

187. Прогноз долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2030 года. URL: <static.government.ru/media/files/41d457592e04b76338b7.pdf>. (дата обращения: 19.07.2021).

188. Программа ООН по окружающей среде // ООН программа по окружающей среде URL: <https://www.unep.org/ru/programma-oon-po-okruzhayuschey-srede> (дата обращения 01.06.2021).

189. Промышленная безопасность горных работ. Изменение 2019 года // dprom.online. 2019. URL: <https://dprom.online/mtindustry/promyshlennaya-bezopasnost-gornyh-rabot-izmeneniya-2019-goda/>. (дата обращения: 19.07.2021).

190. Профессиональные заболевания шахтеров. Справка // РИА новости. 2010. URL: <https://ria.ru/20100511/233044619.html>. (дата обращения: 19.07.2021).

191. Развитие горной отрасли: цифровые технологии и добыча полезных ископаемых // Хабр. 2021. URL: <https://habr.com/ru/company/ds/blog/564250/>. (дата обращения: 19.07.2021).

192. Рассуждай, Э.Я. Особенности формирования капитализации горнодобывающих компаний Украины / Э.Я. Рассуждай, О.С. Шестакова // Стратегия и механизмы регулирования промышленного развития. – 2013. – №5. – С. 283-299.
193. Решетняк, С.П. Систематизация факторов, необходимых для проекта закрытия горных предприятий / С.П. Решетняк, Ю.В. Федотова, В.В. Дорошенко // Записки Горного института. – 2010. – Т. 188. – С. 221 – 224.
194. Роснедра: В 2020 году недропользователи сократили инвестиции в ГРП до 250 млрд руб. // Агентство нефтегазовой информации. 2020. URL: <http://www.angi.ru/news/2885982-Роснедра%3A%20В%2020%20году%20недропользователи%20сократили%20инвестиции%20в%20ГРП%20до%20250%20млрд%20руб./>.
195. РУСАЛ объявляет операционные результаты четвертого квартала и 2019 года. URL: <https://rusal.ru/upload/iblock/4c7/4c78aba1b6b8922430057bd9d6d0917c.pdf>. (дата обращения: 19.07.2021).
196. Рыльников, А.Г. Цифровая трансформация горнодобывающей отрасли: технические решения и технологические вызовы / А.Г. Рыльников., И.А. Пыталев // Известия ТулГУ. Науки о Земле. – 2020. – №1. – С. 470-481.
197. Рябова, Л.А. Социальная лицензия на деятельность ресурсодобывающих компаний как новый инструмент муниципального развития / Л.А. Рябова, В.В. Дидык // Вопросы государственного и муниципального управления. – 2015. – № 3. – С. 61-82.
198. С роботом – в карьер // Российская газета. 2020. URL: <https://rg.ru/2020/04/28/rossijskie-dobyvaiushchie-predpriatiia-vnedriaiut-cifrovye-tehnologii.html>. (дата обращения: 19.07.2021).
199. Савельев, А.И. Проблемы применения законодательства о персональных данных в эпоху «Больших данных» (Big Data) / А.И. Савельев // Право. Журнал Высшей школы экономики. – 2015. – №1. – С. 43-66.
200. Саранкин, А. Г. Пути совершенствования мероприятий по предотвращению прорывов карстовых вод в подземных горных выработках СУБРа / А.Г. Саранкин // Известия Уральского государственного горного университета. – 2003. – №17. – С.146-147.
201. Сафонова, Н.С. Сущность активов и их кругооборот на предприятии / Н.С. Сафонова, О.Г. Блажевич // Бюллетень науки и практики. – 2017. – №4. – С.213-227.
202. Сергеев, И.Б. Оценка стоимости минерально-сырьевых активов горной компании методом реальных опционов / И.Б. Сергеев, Т.В. Пономаренко // Проблемы современной экономики. – 2010. – №4. – С. 142-145.
203. Сергеева, И.Г. Идентификация и оценка экологических рисков компаний нефтегазового сервиса / И.Г. Сергеева, Н.А. Схаб // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Экономика и экологический менеджмент». – 2020. – №4. – С. 3-10.

204. Сидоренко, Э.Л. Законопроект о цифровых активах: новое решение / Э.Л. Сидоренко, З.И. Хисамова // Вестник экономики, права и социологии. – 2018. – № 4. – С. 294-297.
205. Сидоров, Д.В. Геомеханическое обеспечение камерно-столбовой системы разработки удароопасных месторождений Североуральского бокситового бассейна на больших глубинах: дис. ... докт. тех. наук: 25.00.20; [Место защиты: Нац. минерально-сырьевой ун-т «Горный»] – Санкт-Петербург, 2015.
206. Сидоров, Д.В. Геомеханическое обоснование конструктивных параметров камерно-столбовой системы разработки для проектирования глубоких горизонтов СУБРа / Д.В. Сидоров // Записки Горного института. – 2012. – Т.199. Часть 2. – С. 54-56.
207. Сидоров, Д.В. Геомеханическое обоснование конструктивных параметров камерно-столбовой системы разработки для проектирования глубоких горизонтов СУБРа / Д.В. Сидоров // Записки Горного института. – 2012. – Т.199. Часть 2. – С. 54-56.
208. Сидоров, Д.В. Методология снижения удароопасности при применении камерно-столбовой системы разработки Североуральских бокситовых месторождений на больших глубинах / Д.В. Сидоров // Записки Горного института. – 2017. – Т. 223. – С. 58-69.
209. Славиковская, О.Ю. Сравнительная оценка техногенного воздействия на окружающую среду открытой и подземной геотехнологий / О.Ю. Славиковская // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2011. – № 7. – С.188-192.
210. Сметанин, М.М. Система обеспечения безопасности по пылевому фактору в калийных рудниках / М.М. Сметанин // Записки Горного института. – 2006. – Т.168. – С. 37-40.
211. Снижение затрат на геологоразведку приведет к сокращению добычи нефти // Российская газета. 2020. URL: <https://rg.ru/2020/04/05/snizhenie-zatrat-na-geologorazvedku-privedet-k-sokrashcheniiu-dobychi-nefti.html>. (дата обращения: 19.07.2021).
212. Соболев, Д.В. Инновации в области управления ценовыми рисками в нефтегазовой отрасли / Д.В. Соболев, П.П. Табурчак // Инновации. – 2006. – № 6(93). – С.70-71.
213. Справка о состоянии и перспективах использования минерально-сырьевой базы Алтайского края (на 15.06.2020) // Роснедра. 2020. URL: <https://www.rosnedra.gov.ru/data/Fast/Files/202011/b019320175472cfb966bca1390867e79.pdf>. (дата обращения: 19.07.2021).
214. Сравнение финансового состояния фирмы с отраслевыми показателями и конкурентами // TEST firm. URL: <https://www.testfirm.ru/>. (дата обращения: 19.07.2021).
215. Стоимость ремонта горных выработок с учетом территориальных норм и расценок / В.Г. Голоскоков, Л.К. Нефедова, О.Б. Кортелев, А.И. Щербаков, А.Н. Александров //

Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2005. – № 4.2. – С.100-104.

216. Стратегия развития минерально-сырьевой базы Российской Федерации до 2035 года [Текст]: Распоряжение Правительства Российской Федерации от 22 декабря 2018 г. № 2914-р.

217. Стратегия развития цветной металлургии России на 2014-2020 гг. и на перспективу до 2030 года [Текст]: Приказ Министерства промышленности и торговли РФ от 5 мая 2014г. №839.

218. Страховки на всех горняков не хватит //Российская газета. 2013. URL: <https://rg.ru/2013/02/11/strahovki-site.html>. (дата обращения: 19.07.2021).

219. Сыромятников, Д.Б. Основные причины аварийности и травматизма на объектах открытых горных работ в России и пути их устранения / Д.Б. Сыромятников, Е.Б. Гридина, К.Н. Ястребова // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2012. – №5. – С. 214-218.

220. Тельхигова, М.Ш. Правовое регулирование изъятия земель для нужд недропользования / М.Ш. Тельхигова // Проблемы экономики и юридической практики. – 2014. – №5. – С. 178-181.

221. "Технологический прорыв" даст Норильскому Никелю большой экономический эффект // Металлоснабжение и сбыт. 2019. URL: <https://www.metalinfo.ru/ru/news/112527>. (дата обращения: 19.07.2021).

222. «Технологический прорыв» назван «Технолидером-2020» // Норникель. 2020. URL: <https://www.nornickel.ru/news-and-media/press-releases-and-news/tekhnologicheskii-proryv-nazvan-tekhnoliderom-2020/>. (дата обращения: 19.07.2021).

223. Топ 10 аварий на шахтах мира // СГИ. URL: <http://www.mining-portal.ru/news/all-news/top-10-avariy-na-shahtah-mira/>. (дата обращения: 19.07.2021).

224. Тчаро, Х. Цифровизация нефтяной промышленности: базовые подходы и обоснование «интеллектуальных» технологий / Х. Тчаро, А.Е. Воробьев, К.А. Воробьев // Вестник Евразийской науки. – 2018. – №2.

225. Удельный вес работников, подвергавшихся воздействию вредных производственных факторов, по отдельным видам экономической деятельности // Федеральная служба государственной статистики. 2021 URL: [https://rosstat.gov.ru/working\\_conditions](https://rosstat.gov.ru/working_conditions). (дата обращения: 19.07.2021).

226. Урсул, А.Д. Перспективы экоразвития. – М.: Наука, 1990.

227. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Положение по безопасному ведению горных работ на месторождениях, склонных и опасных по горным ударам».

228. Федеральный закон «Об обязательном страховании гражданской ответственности владельца опасного объекта за причинение вреда в результате аварии на опасном объекте» от 27.07.2010 №225-ФЗ // СПС КонсультантПлюс.

229. Федеральный закон от 21.07.1997 №116-ФЗ (ред. от 11.06.2021) «О промышленной безопасности производственных объектов» // СПС КонсультантПлюс.

230. Федин, М.В. Перспективы использования систем обработки больших данных (Big Data) в металлургической промышленности / М.В. Федин // Economics. – 2015. – №8 (9).

231. Филимонов, Д.И. Классификация рисков кадровой безопасности в деятельности IT-структур / Д.И. Филимонов // Экономика и предпринимательство. – 2017. – № 5-1(82). – С. 682-685.

232. Финогенова, Е.А. Синергетический эффект: подходы к определению и классификация / Е.А. Финогенова // Вестник науки и образования. – 2017. – Том 1.№5 (29). – С. 69-72.

233. Фицак, В.В. Эффективные границы применения вариантов камерно-столбовой системы разработки / В.В. Фицак // Записки Горного института. – 2002. – Т.150. Часть 2. – С. 54-56.

234. Фомичев, Е.С. Риски в сфере основной деятельности горнодобывающих предприятий / Е.С. Фомичев // Горная промышленность. – 2003. – № 6.

235. Хаертдинова, Д.З. Управление корпоративной системой поддержки технологического развития нефтяных компаний: дис. ... канд. экон. наук: 08.00.05; [Место защиты: Санкт-Петербургский горный университет] – Санкт-Петербург, 2017.

236. Хайруллина, А.Р. Информационное обеспечение принятия управленческих решений в малом и среднем предпринимательстве в цифровой экономике / А.Р. Хайруллина // Вестник УГНТУ. Наука, образование, экономика. Серия экономика. – 2019. – № 4 (30). – С. 141-149

237. Хайтбаев, В.А. Комплементарное управление предприятием / В.А. Хайтбаев, С.В. Копейкин // Наука и образование транспорту. – 2017. – №1. – С. 161-165.

238. Халин, В.Г. Цифровизация и ее влияние на российскую экономику и общество: преимущества, вызовы, угрозы и риски / В.Г. Халин, Г.В. Чернова // Управленческое консультирование. – 2018. – № 10. – С. 46–63.

239. Хомская, Т.А. Анализ и классификация рисков на производстве / Т.А. Хомская // Научный журнал. – 2018. – № 4 (27). – С. 37-40.

240. Цапенко, И.В. Человеческий капитал и инновационные факторы его развития / И.В. Цапенко, Д.Д. Миронова // Инженерный вестник Дона. – 2012. – №2. Том 20. – С.153-163.
241. Цветков, В.Я. Комплементарность информационных ресурсов / В.Я. Цветков // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2016. – №2 (Часть 2). – С. 182-185.
242. Цветкова, А.Ю. Основные Бизнес-риски горнодобывающих предприятий и возможности инноваций в современных условиях / А.Ю. Цветкова // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2015. – № 40. – С. 100-107.
243. Цветкова, А.Ю. Основные риски предприятий горнодобывающей и металлургической отраслей в современных условиях / А.Ю. Цветкова // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2011. – S4-4. – С. 71-78.
244. Цирель, С.В. Форма и наклон графиков повторяемости динамических событий как характеристики уровня опасности и соотношения естественной и техногенной составляющих геодинамического процесса / С.В. Цирель, Л.И. Беяева. // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2009. – №11. – С. 235-240.
245. «Цифровая лаборатория Норникеля» переедет в Сколково // Норникель. 2018. URL: <https://www.nornickel.ru/news-and-media/press-releases-and-news/tsifrovaya-laboratoriya-nornikelya-pereedet-v-skolkovo/>. (дата обращения: 19.07.2021).
246. Цифровизация в горнодобывающей промышленности // GIZ. 2019. URL: <http://www.good-climate.com/materials/files/152.pdf>. (дата обращения: 19.07.2021).
247. Цифровое предприятие: трансформация в новую реальность / В.И. Ананьин, К.В. Зимин, М.И. Лугачев, Р.Д. Гимранов, К.Г. Скрипкин // Бизнес-информатика. – 2018. – №2 (44). – С. 45-54.
248. Цифровые технологии управления рудопотоком / Д. Баранов, В. Бруев, М. Макеев, И. Осипов // Горная промышленность. – №3(139). – С. 40-42.
249. Четвертая промышленная революция и запрос на новые компетенции специалистов угледобывающих предприятий / Е.П. Ютяев, А.Н. Машнюк, Ю.В. Пыльнев, В.В. Бушуев // Горная Промышленность. – 2018. – №6 (142). – С. 24-28
250. Чехлар, М. Цифровые технологии индустрии 4.0 в майнинге 4.0 – перспективы развития геотехнологии в XXI веке / М. Чехлар, С.А. Жиронкин, О.В. Жиронкина // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2020. – № 3. – С.80-90
251. Число устройств интернета вещей утроится к 2030 году // Cnews. 2020. URL: [https://safe.cnews.ru/news/top/2020-06-30\\_chislo\\_ustrojstv\\_interneta](https://safe.cnews.ru/news/top/2020-06-30_chislo_ustrojstv_interneta) (Дата обращения 01.06.2021).

252. Что случилось на «Северной» // rbc. 2016. URL: <https://www.rbc.ru/newspaper/2016/03/01/56d45cfb9a794735d67bd230>. (дата обращения: 19.07.2021).

253. Чудотворова, Е.О. Оценка возможности применения алюминия для водородного топлива / Е.О. Чудотворова, А.С. Пугачук // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 2017. – №11 (692). – С.42-48.

254. Шахту «Северная» зальют водой // Ведомости. 2016. URL: <https://www.vedomosti.ru/business/articles/2016/03/04/632473-shahtu-severnaya>. (дата обращения: 19.07.2021).

255. Шварцкопф, Н.В. Проблемы и перспективы развития алюминиевой промышленности России / Н.В. Шварцкопф // Эпоха науки. – № 23. – 2020. – С. 146-148.

256. Шибаева, Д.Н. Экономическая оценка целесообразности отработки месторождения бедных руд с использованием различных принципов управления их качеством / Д.Н. Шибаева, С.В. Терещенко // Вестник МГТУ. – 2011. – Том 14, №4. – С.778-783.

257. Штрейблинг, О.Г. Современные проблемы и решения алюминиевой промышленности России / О.Г. Штрейблинг // Эпоха науки. – № 21. – 2020. – С. 189-192.

258. Шуркина, Е.Ю. Роль информационных ресурсов в экономике / Е.Ю. Шуркина // Теория и практика общественного развития. – 2014. – № 18. – С. 77-79.

259. Щербинин, Д.О. Вопросы разработки месторождений СУБРа в сложных горно-геологических и удароопасных условиях / Д.О. Щербинин // Известия Уральского государственного горного университета. –2003. – №17. – С. 124-128.

260. Щербинин, Д.О. Вопросы разработки месторождений СУБРа в сложных горно-геологических и удароопасных условиях/ Д.О. Щербинин // Известия Уральского государственного горного университета. – 2003. – №17. – С. 124-128.

261. Экспериментальные и теоретические исследования длительной устойчивости несущих элементов камерной системы разработки калийных пластов / В.А. Асанов, И.Л. Паньков, А.В. Евсеев, С.Ю. Лобанов, И.С. Ломакин // Вестник Пермского федерального исследовательского центра. – 2017. – №1. – С.8-15.

262. Экспорт и импорт России по товарам и странам // Ru-stat. URL: <https://ru-stat.com/> (Дата обращения 01.06.2021).

263. Эффективность инвестиций в ИТ. Альманах лучших работ / М.И. Лугачев, К.Г. Скрипкин, В.И. Ананьин, К.В. Зимин // М.: СОДИТ, 2013. 194 с.

264. Юрак, В. В. Против устойчивого развития: сценарии будущего / В. В. Юрак, А. В. Душин, Л. А. Мочалова // Записки Горного института. – 2020. – Т. 242. – С. 242-247.

265. Юшкова, О.И. Значение индивидуально-психологических особенностей работников горной промышленности в обеспечении безопасности труда / О.И. Юшкова, С.А. Калинина // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2007. – №14. – С. 139-144.
266. A comprehensive review on adaptability of network forensics frameworks for mobile cloud computing / S. Khan, M. Shiraz, A.W. Abdul Wahab, A. Gani, Q. Han, Z. Bin Abdul Rahman // The Scientific World Journal. – 2014.
267. A Digital Twin-Based Approach for Designing and Multi-Objective Optimization of Hollow Glass Production Line / H. Zhang, Q. Liu, X. Chen, D. Zhang and J. Leng, // IEEE Access. – 2017. – Vol. 5. – P. 26901-26911.
268. A general perspective of Big Data: applications, tools, challenges and trends / L. Rodríguez-Mazahua, C. A. Rodríguez-Enríquez, J. L. Sánchez-Cervantes, J. Cervantes, J. L. García-Alcaraz, G. Alor-Hernández // The Journal of Supercomputing. – 2015. – P. 1-41.
269. About the Oracle IoT Digital Twin Implementation // Oracle. URL: <https://docs.oracle.com/en/cloud/paas/iot-cloud/iotgs/oracle-iot-digital-twin-implementation.html>. (дата обращения: 19.07.2021).
270. Advanced manufacturing systems: socialization characteristics and trends / F. Tao, Y. Cheng, L. Zhang, A.Y.C. Nee // Journal of Intelligent Manufacturing. – 2017. – Vol. 28. – P. 1079-1094.
271. Andreeva, T. Do all elements of intellectual capital matter for organizational performance? Evidence from Russian context / T. Andreeva, T. Garanina // Journal of Intellectual Capital. – 2016. – Vol. 17 Iss 2. – P. 397-412.
272. Andronikidis, A. Reflections on grounding firm innovation and viability / A. Andronikidis, D. Karolidis, G. Zafeiriou // European Management Journal. – 2020. – Vol. 39.
273. Åstebro, T. Business Partners: Complementary Assets, Financing, and Invention Commercialization / T. Åstebro, C.J. Serrano // Journal of Economics & Management Strategy. – 2015. – Vol. 24. – P. 228-252.
274. Azapagic, A. Developing a framework for sustainable development indicators for the mining and minerals industry / A. Azapagic // Journal of Cleaner Production. – 2004. - №12. – P. 639-662.
275. Ballard, C. Resource wars: the anthropology of mining / C. Ballard, G. Banks // Annual Review of Anthropology. – 2003. – Vol. 32. – P. 297–313.
276. Barnewold, L. Identification of digital technologies and digitalization trends in the mining industry / L. Barnewold, G. B. Lottermoser // International Journal of Mining Science and Technology. – 2020. – Vol. 30, Issue 6. – P. 747-757.

277. BCG. REVIEW // BCG. 2020 URL: <https://media-publications.bcg.com/BCG-Review-September-2020.pdf>. (дата обращения: 19.07.2021).
278. Big Data in product life cycle management / J. Li, F. Tao, Y. Cheng, Li. Zhao // *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. – 2015. – Vol. 81.
279. Blockchain technology in the oil and gas industry: A review of applications, opportunities, challenges, and risks / H. Lu, H. Kun, M. Azimi, G. Lijun // *IEEE Access*. – 2019. – Vol. 9. – P. 41426 - 41444.
280. Bollen, L.P. Linking intellectual capital and intellectual property to company performance / L.P. Bollen // *Management Decision*. – 2005. – Vol. 43 № 9. – P. 1161-1185.
281. Bontis, N. Intellectual capital and business performance in Malaysian industries / N. Bontis, W.C.C. Keow, S. Richardson // *Journal of Intellectual Capital*. – 2000. – Vol. 1 №. 1. – P. 85-100.
282. Brynjolfsson, E. Computing Productivity: Firm-Level Evidence / E. Brynjolfsson, L. Hitt // *Review of Economics and Statistics*. – 2003. – Vol. 85(4) . – P. 793-808.
283. Brynjolfsson, E. The Productivity Paradox of Information Technology: Review and Assessment / E. Brynjolfsson // *Communications of The ACM*. – 1993. – Vol. 36(12). – P. 66-77.
284. Chatterjee, S. Types of Synergy and Economic Value: The Impact of Acquisitions on Merging and Rival Firms / S. Chatterjee // *Strategic Management Journal*. – 1986. – Vol. 7, Iss. 2. – P. 119-139.
285. Chen, M. (2014). Big data: A survey / M. Chen, S. Mao, Y. Liu // *Mobile Networks and Applications*. – 2014. – Vol. 19(2). – P. 171–209
286. Complements or substitutes? The contingent role of corporate reputation on the interplay between internal R&D and external knowledge sourcing / M. Delgado-Verde, G. Martín-de Castro, J. Cruz-González, J. E. Navas-López // *European Management Journal*. – 2021. – 39. – P. 70-83.
287. Cool, K. Constructing competitive advantage / K. Cool, L.A. Costa, I. Dierickx // *Handbook of strategy and management* / Ed. by A. Pettigrew, H. Thomas, R. Whillington. Sage Publications, London. – 2002. – P 55-71.
288. Cooper, R. Sociotechnical systems / R. Cooper, M. Foster // *American Psychologist*. – 1971. – №26 (5). – P.467-474.
289. Dare, M.L. Community engagement and social license to operate / M.L. Dare, J. Schirmer, F. Vanclay // *Impact Assessment and Project Appraisal*. – 2014. – Vol. 32, Issue 3. – P. 188-197.
290. Datamine. URL: <https://www.dataminesoftware.com/ru/главная-страница/>. (дата обращения: 19.07.2021).

291. Digital Transformation Initiative Mining and Metals Industry // World Economic Forum. 2017. URL: <https://reports.weforum.org/digital-transformation/wp-content/blogs.dir/94/mp/files/pages/files/wef-dti-mining-and-metals-white-paper.pdf> (дата обращения: 19.07.2021).
292. Digital Twin in manufacturing: A categorical literature review and classification. / W. Kritzinger, M. Karner, G. Traar, J. Henjes, W. Sihn // IFAC-PapersOnLine. – 2018. – №51 (11). – P. 1016–1022.
293. Digital twins to personalize medicine / B. Björnsson, C. Borrebaeck, N. Elander, T. Gasslander, D.R. Gawel, et al. // Genome Medicine. – 2020. – Vol. 12. – Article number 4.
294. Does open innovation always work? The role of complementary assets / A. Carmona-Lavado, G. Cuevas-Rodríguez, C. Cabello, E. Fedriani Martel // Technological Forecasting and Social Change. – 2021. – Vol. 162. – Article number 120316.
295. Donoho, D. High-dimensional data analysis: the curses and blessings of dimensionality. In: The American Mathematical Society Conference, Los Angeles, CA, United States, 7–12 August 2000.
296. Dyer, J.H. The Relational View: Cooperative Strategy and Sources of Interorganizational Competitive Advantage / J.H. Dyer, H. Singh // Academy of Management Review. – 1988. – Vol. 23. – P. 660-679.
297. Economic and legal aspects of digital transformation in mining industry / M. Paschke, O. Lebedeva, M. Shabalov, D. Ivanova // Russia and Germany: partner-ship and pooling potentials against the backdrop of new global and environmental challenges: Proceedings of the XII Russian-German Raw Materials Conference, November 27-29, 2019, Saint-Petersburg, Russia. P. 492-500.
298. Falck, W.E. Selection of social demand-based indicators: EO-based indicators for mining / W.E. Falck, J. Spangenberg, // Journal of Cleaner Production. – 2014. – Vol. 84. – P. 193-203.
299. Fan, J. Challenges of Big Data analysis / Fan J., Han F., Liu H. //National Science Review. – 2013. – Vol. 1 (2). – P. 293–314.
300. Fang, X.B. Research on the Resistance of Organizational Inertia to the Utilization of External Complementary Assets and Its Elimination Mechanism / X.B. Fang // Science and Technology Management Research. – 2012. – Vol. 12. – P. 224-226.
301. Flitton, T. Resource estimation for deep tabular orebodies the AngloGold Ashanti way / T. Flitton, R. Peattie // Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy. – 2016. – Vol. 116. – P. 601-608.

302. Fourie, W.A.S. The digital mine eco-system / W.A.S. Fourie // Mining Goes Digital: Proceedings of the 39th International Symposium “Application of Computers and Operations Research in the Mineral Industry” (APCOM 2019). Mueller et al. (Eds). – 2019. – P. 491-496.
303. Gandomi, A. Beyond the hype: Big data concepts, methods, and analytics / A. Gandomi, M. Haider // International Journal of Information Management. – 2015. – Vol. 35. – P. 137–144.
304. Geovia Surpac. URL: <https://www.3ds.com/ru/produkty-i-uslugi/geovia/produkty/surpac>. (дата обращения: 19.07.2021).
305. Glaessgen, E. The Digital Twin Paradigm for Future NASA and U.S. Air Force Vehicles / E. Glaessgen, D. Stargel // 53rd AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics and Materials Conference 20th AIAA/ASME/AHS Adaptive Structures Conference 14th AIAA. – 2012. –P.1818.
306. Grieves, M. Digital Twin: Mitigating Unpredictable, Undesirable Emergent Behavior in Complex Systems / M. Grieves, J. Vickers // Kahlen F.J., Flumerfelt S., Alves A. (eds) Transdisciplinary perspectives on complex systems. Springer, Cham. – 2017. – P. 85-113.
307. Hangos, K.M. Process modelling and model analysis / K.M. Hangos, I.T. Cameron // Process systems engineering. Academic press, London. – 2001.– Vol. 4.– 543 p.
308. Hauptert, J. CPS-based manufacturing with semantic object memories and service orchestration for industries 4.0 applications / J. Hauptert, X. Klinge, A. Blocher // Industrial internet of things. Springer International Publishing, Basel. – 2017. – P. 203-229.
309. Heiler, K. ”The Struggle for Time: A Review of Extended Shifts in the Tasmanian Mining Industry, Overview Report” (A report prepared for the Tasmanian government, ACIRRT, 2002).
310. Hess, A. M. When are assets complementary? Star scientists, strategic alliances, and innovation in the pharmaceutical industry / A. M. Hess, F. T. Rothaermel // Strategic Management Journal. – 2011. – Vol. 32. – P. 895-909.
311. Hinings, B. Digital innovation and transformation: an institutional perspective / B. Hinings, T. Gegenhuber, R. Greenwood // Information and Organization. – 2018. – Vol. 28(1). – P. 52-61.
312. Hjorth, P., Navigating towards sustainable development: A system dynamics approach / P. Hjorth, A. Bagheri // Futures. – 2006. – Volume 38, Issue 1. – P. 74-92.
313. How was this done? An attempt at formalising and memorising a digital asset's making-of / I. Dudek, J. Blaise, L. De Luca, L. Bergerot, N. Renaudin // 2015 Digital Heritage. – 2015. – P. 343-346.

314. Humphreys, D. Sustainable development: can the mining industry afford it? / D. Humphreys // *Resources Policy*. – 2001. - №27. – P. 1-7.
315. Initialising customer-orientated digital transformation in enterprises / T. von Leipzig, M. Gamp, D. Manz, K. Schöttle, P. Ohlhausen, G. Oosthuizen, D. Palm, K. von Leipzig // *Procedia Manufacturing*. – 2017. – Vol. 8. – P. 517-524.
316. Inkinen, H. Review of empirical research on intellectual capital and firm performance / H. Inkinen // *Journal of Intellectual Capital*. – 2015. – Vol. 16 Iss 3. – P. 518-565.
317. Is it time for a Global Mining Initiative 2.0? / M. Tost, V. Chandurkar, M. Hitch, P. Moser, S. Feiel // *Geo-resources environment and engineering*. – 2017. – Vol. 2. – P. 41-47.
318. **Ivanova, D.** Actual problems of the mineral resource complex of the Russian Federation: the industry conditions and the consequences of the imposition of sanctions / D. Ivanova // *Materialy 59. konferencyjne Studenckich Kol Naukowych AGH, Krakow, Poland*. – 2019. – P. 229
319. **Ivanova, D.** Application of complementary assets in mining industry: definition, nature, and features / D. Ivanova, T.V. Ponomarenko // *St Petersburg State Polytechnical University Journal. Economics*. – 2021. – №2. – P. 92-104.
320. **Ivanova, D.A.** Digitization in mining industry: does the future start now? / D. A. Ivanova, I.B. Sergeev // *Межвузовский студенческий научный журнал. Bulletin of students' economic scientific society – Вестник экономического научного общества студентов и аспирантов. / Под редакцией специалиста по НИРС МБИ Е.В. Мартыновой – СПб.: Изд-во МБИ*. – 2019. – № 54. – С. 12-13.
321. **Ivanova, D.** Digitalisation of the industry as a key to risk reduction at a mining enterprise / D. Ivanova // *Journal of mining and geological sciences*. – 2019. – Vol. 62. – Number 4. – P. 15-18.
322. **Ivanova, D.** Formation of digital mineral asset as a tool for reducing mining-geological risks / D. Ivanova // *Abstracts Book XII Russian-German raw materials forum: Youth day, Saint-Petersburg*. – 2019. – P. 119-120.
323. **Ivanova, D.** Risk management and its contribution to sustainable development of mining enterprises / D. Ivanova // *Scientific and practical studies of raw material issues – Proceedings of the Russian-German raw materials dialogue: a collection of young scientists papers and discussion*. 2019. P. 182-190. DOI: 10.1201/9781003017226-26.
324. **Ivanova, D.** Risk reduction as a path to sustainable development of the enterprises of mineral resources sector / D. Ivanova // *Scientific reports on resource issues*. – 2019. – Vol.1. – С. 348-352

325. Kaewunruen, S. Digital Twin aided Sustainability-based Lifecycle Management for Railway Turnout Systems / S. Kaewunruen, L. Qiang // *Journal of Cleaner Production*. – 2019. – Vol. 228. – P. 1537-1551.
326. Kamath, G.B. Intellectual capital and corporate performance in Indian pharmaceutical industry / G.B. Kamath // *Journal of Intellectual Capital*. – 2008. – Vol. 9 № 4. – P. 684-704.
327. Khaikin, M. Possible effects of economy digitalization processes on Russian mining industry from economic theory point of view / M.Khaikin, M.Shabalov, **D.Ivanova**, N.A.Shapiro // *Advances in Raw Material Industries for Sustainable Development Goals – Litvinenko (Ed)*. 2021. P. 481-491.
328. Khosla, A. “Alternative strategies in achieving sustainable development” in P.Jacobs and D.A.Munro (Eds), *Conservation with equity: Strategies for sustainable development* (Cambridge: International Union for Conservation of Nature and Natural Resources, 1987). P.191-208.
329. Komnencic, B. Intellectual capital and corporate performance of MNCs in Serbia / B. Komnencic, D. Pokrajcic // *Journal of Intellectual Capital*. – 2012. – Vol. 13№ 1. – P. 106-119.
330. Korth, B. Simulation-ready digital twin for realtime management of logistics systems / B. Korth, C. Schwede, M. Zajac // *IEEE International conference on Big Data*. – 2018. – P. 4194-4201.
331. Kuehn, W. Digital twins for decision making in complex production and logistic enterprises / W. Kuehn // *International Journal of Design & Nature and Ecodynamics*. – 2018. – Vol. 13. – P. 260-271.
332. Kuwait to invest in UK oilfield // *Financial times*. 2012. URL: <https://www.ft.com/content/0266e2d4-a9ad-11e1-9772-00144feabdc0> (Дата обращения 01.06.2021).
333. Lacey, J. Using social contract to inform social license to operate: an application in the Australian coal seam gas industry / J. Lacey, J. Lamont // *Journal of Cleaner Production*. – 2014. – Vol. 84. – P. 831-839.
334. Lele, S.M. Sustainable Development: A Critical Review / S.M. Lele // *World Development*. – 1991. – №19(6). – P: 607-621.
335. Levitin, A.V. Data as a resource: Properties, implications, and prescriptions / A.V. Levitin, T.C. Redman // *Sloan Management Review*. – 1998. – Vol. 40(1) . – P. 89–101.
336. Machine Learning based Digital Twin Framework for Production Optimization in Petrochemical Industry / Q. Min, Y. Lu, Zh. Liu, Ch. Su, B. Wang // *International Journal of Information Management*. – 2019. – Vol. 49. – P. 502-519.
337. Makadok, R. Toward a synthesis of the resource-based and dynamic-capability view of rent creation / R. Makadok // *Strategic management journal*. – 2001. – Vol. 22. – P. 387-401.

338. Management of Risk: Guidance for Practitioners. Norwich: TSO (The Stationary Office), 2010. 160 p.
339. Mancini, L. Social impact assessment in the mining sector: Review and comparison of indicators frameworks / L. Mancini, S. Sala // Resources Policy. – 2018.
340. Milgrom, P. The Economics of Modern Manufacturing: Technology, Strategy, and Organization / P. Milgrom, J. Roberts // American Economic Review. – 1990. – Vol. 80. – P. 511-528.
341. Mochalova, L. A. Assessment of socio-eco-economic effectiveness of circular business models in mineral production / L. A. Mochalova, O. G. Sokolova // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2020. – No 4. – P. 80-89.
342. Negri, E. A Review of the Roles of Digital Twin in CPS-based Production Systems / E. Negri, L. Fumagalli, M. Macchi // Procedia Manufacturing. – 2017. – Vol. 11. – P. 939–948.
343. Nelsen, J.L. Social license to operate / J.L. Nelsen // International Journal of Mining, Reclamation, Environment. – 2006. – Vol. 20. – P. 161-162.
344. Paschke, M. Economic and legal aspects of digital transformation in mining industry / M. Paschke, O. Lebedeva, M. Shabalov, **D. Ivanova** // Advances in Raw Material Industries for Sustainable Development Goals – Litvinenko (Ed). 2021. P. 492-500.
345. Pek-Hooi, S. Institutional Environment and Complementary Assets: Business Strategy in China's 3G Development / S. Pek-Hooi, Y. Jiang, Y. // Asia Pacific Journal of Management. – 2010. – Vol. 27. – P. 647-675.
346. Prahalad, C.K. The core competence of the corporation / C.K. Prahalad, G. Hamel // Harvard Business Review. – 1990. – Vol. 68. – P.79-91.
347. Prugger, F. F. Water problems in Saskatchewan potash mining — what can be learned from them? / F. F. Prugger, A. F. Prugger // CIM Bulletin. –1991. – Vol. 84, № 945. – P.58-66.
348. Puffer, S.M. Two decades of Russian business and management research: An institutional theory perspective / S.M. Puffer, D.J. McCarthy // Academy of Management Perspectives. – 2011. – Vol. 25 №. 2. – P. 21-36.
349. Redutskiy, Yu. Conceptualization of Smart Solutions in Oil and Gas Industry / Yu. Redutskiy //8th International Conference on Ambient Systems, Networks and Technologies, ANT-2017 and the 7th International Conference on Sustainable Energy Information Technology, SEIT 2017. Madeira. Portugal. 16-19 May 2017.
350. Reengineering aircraft structural life prediction using a digital twin / E. Tuegel, A. Ingraffea, T. Eason, S. Spottswood // International Journal of Aerospace Engineering. – 2011. – Vol. 11.

351. Ren, G.-J. Identifying Information Assets for Open Data: The Role of Business Architecture and Information Quality / G.-J. Ren, S. Glissmann // Proceedings of the 2012 IEEE 14th International Conference on Commerce and Enterprise Computing, CEC 2012. – 2012. – Pages 94-100.
352. Responsible mining map // Responsible mining. 2021 URL: <https://map.responsiblemining.net>. (дата обращения: 19.07.2021).
353. Sagiroglu, S. Big Data: A Review / S. Sagiroglu, D. Sinanc // International Conference on Collaboration Technologies and Systems (CTS). – 2013. – P. 42-47.
354. Sganzerla, C. Disruptive innovation in digital mining / C. Sganzerla, C. Seixas, A. Conti // Procedia Engineering. – 2016. – Vol. 138. – P. 64-71.
355. Shaping the digital twin for design and production engineering / B. Schleich, N. Anwer, L. Mathieu, S. Wartzack // CIRP Annals - Manufacturing Technology. – 2017. – Vol. 66. – P. 141-144.
356. Social license to operate: understanding how a concept has been translated into practice in energy industries / N. Hall, J. Lacey, S. Carr-Cornish, A-M. Dowd // Journal of Cleaner Production. – 2015. – Vol. 86. – P. 301-310.
357. Sousa, M. Digital learning: developing skills for digital transformation of organizations / M. Sousa, Á. Rocha // Future Generation Computer Systems. – 2019. – Vol. 91. – P. 327–334.
358. Spekman, R. E. Risky business: expanding the discussion on risk and the extended enterprise / R. E. Spekman, E. W. Davis // International Journal of Physical Distribution & Logistics Management. – 2004. – Vol. 34. Issue 5. – P. 414-433.
359. System Information Modelling: Enabling Digital Asset Management / P.E.D Love, J. Zhou, J. Matthews, H. Luo // Advances in Engineering Software. – 2016. – Vol. 102. – P. 155-165.
360. Taylor, A. Organizational Linkages for Surviving Technological Change: Complementary Assets, Middle Management, and Ambidexterity / A. Taylor, C.E. Helfat // Organization Science. – 2009. – Vol. 20. – P. 718-739.
361. Teece, D.J. Profiting from Technological Innovation: Implications for Integration, Collaboration, Licensing and Public Policy / D.J. Teece // Research Policy. – 1986. – Vol. 15. – P. 285-305.
362. The first digital decade begins - defining the DNA of digital business transformation // Realwire. 2016. URL: <https://www.realwire.com/releases/2016-The-First-Digital-Decade-Begins-Defining-the-DNA-of-Digital-Business> (Дата обращения 01.06.2021).
363. The impact of intellectual capital on firms' market value and financial performance / D. Maditinos, D. Chatzoudes, C. Tsairidis, G. Theriou. // Journal of Intellectual Capital. – Vol. 12 № 1. – P. 132-151.

364. The internet of things: how the next evolution of the internet is changing everything // CISCO white paper. 2011. URL: [https://www.cisco.com/c/dam/en\\_us/about/ac79/docs/innov/IoT\\_IBSG\\_0411FINAL.pdf](https://www.cisco.com/c/dam/en_us/about/ac79/docs/innov/IoT_IBSG_0411FINAL.pdf). (дата обращения: 19.07.2021).
365. The role of big data in smart city / I. A. T. Hashem, V. Chang, N. B. Anuar, K. Adewole, I. Yaqoob, A. Gani // International Journal of Information Management. – 2016. – Vol. 36(5). – P. 748–758.
366. Thorvaldssdóttir, H. Integrative Genomics Viewer (IGV): high-performance genomics data visualization and exploration / H. Thorvaldssdóttir, J. T. Robinson, J.P. Mesirov // Briefings in bioinformatics. – 2012. – Vol. 14(2) . – P. 178–192.
367. Tolba, M.K. The premises for building a sustainable society – Address to the World Commission on Environment and Development, October 1984 (Nairobi: United Nations Environment Programme, 1984).
368. Top 10 business risks and opportunities – 2020 // E&Y. 2020. URL: [www.ey.com/en\\_gl/mining-metals/top-10-business-risks-facing-mining-and-metals](http://www.ey.com/en_gl/mining-metals/top-10-business-risks-facing-mining-and-metals). (дата обращения: 19.07.2021).
369. Top 10 business risks and opportunities – 2021 // Mining. 2021. URL: [www.miningglobal.com/top10/top-10-business-risks-and-opportunities-mining-2021](http://www.miningglobal.com/top10/top-10-business-risks-and-opportunities-mining-2021). (дата обращения: 19.07.2021).
370. Top trends and risks in the global mining industry // Consultancy. 2020. URL: <https://www.consultancy.com.au/news/1734/top-trends-and-risks-in-the-global-mining-industry> (дата обращения: 19.07.2021).
371. Troshani, I. Digital transformation of business-to-government reporting: an institutional work perspective / I. Troshani, M. Janssen, A. Lymer, L. Parker // International Journal of Accounting Information Systems. – 2018. – Vol. 31. – P. 17-36.
372. Viscusi, G. Digital Information Asset Evaluation: Characteristics and Dimensions / G. Viscusi, C. Batini // Smart Organizations and Smart Artifacts. – 2014. – P. 77–86.
373. Wang, Y. Alliance Capabilities: Review and Research Agenda / Y. Wang, N. Rajagopalan // Journal of Management. – 2015. – Vol. 41. – P. 236-260.
374. Wernerfelt, B. A resource-based view of the firm / B. Wernerfelt // Strategic Management Journal. –1984. – Vol.5 №2. – P.171-180.
375. Whitmore, A. The emperors new clothes: Sustainable mining? / A. Whitmore // Journal of Cleaner Production. – 2006. – №14. – P. 309-314.

376. Whyatt, J. Catastrophic Failures of Underground Evaporite Mines / J. Whyatt, F. Varley // Proceedings of 27th International Conference on Ground Control in Mining. NIOSH. Spokane Research Laboratory, USA. – 2008. – P.17-23.
377. Wieser, B. Digitale Gesundheit: Was ändert sich für den Gesundheitsbegriff? / B. Wieser // Österreichische Zeitschrift für Soziologie. – 2019. – Vol. 44. – P. 427-449.
378. Wilson, R. M. S. Valuation of information assets on the balance sheet / R. M. S. Wilson, J. A. Stenson // Business Information Review. – 2008. – Vol. 25(3) . – P.167–182.
379. World Conservation Strategy // IUCN: International Union for Conservation of Nature. 1980 // URL: <https://portals.iucn.org/library/efiles/documents/wcs-004.pdf>. (дата обращения: 19.07.2021).
380. Young, A. A Review of Digital Transformation in Mining / A. Young, P. Rogers // Mining, Metallurgy & Exploration. – 2019. – Vol. 36 (1).
381. Zahra, S.A. Absorptive Capacity: A Review, Reconceptualization, and Extension / S.A. Zahra, G. George // Academy of Management Review. – 2002. – Vol. 27. – P.185-203.
382. Zheng, Y. An application framework of digital twin and its case study / Y. Zheng, S. Yang, H. Cheng // Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing. – 2019. – Vol. 10 (3) . – P. 1141-1153.
383. Zhou, X.L. A Review of Complementary Assets / X.L. Zhou // American Journal of Industrial and Business Management. – 2019. – Vol.9. – P. 1772-1780. <https://doi.org/10.4236/ajibm.2019.99116>
384. Zollo, M. Deliberate learning and the evolution of dynamic capabilities / M. Zollo, S. G. Winter // Organization Science. – 2002. – № 13 (3). – P. 339.

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

### Классификация рисков

Таблица А.1 – Классификация рисков

Признак классификации	Виды риска	Характеристика рисков
По назначению	Простые (чистые, статические)	Риски, ведущие к потерям
	Сложные (спекулятивные, динамические)	Риски, ведущие как к потерям, так к получению выгоды
По масштабам решений	Стратегические (ключевые)	Риски длительных периодов, последствия которых влияют на результаты деятельности всего предприятия
	Оперативные (тактические)	Краткосрочные риски, сопровождающие текущую деятельность компании
По степени допустимости	Незначительные	Риски очень малых потерь
	Минимальные	Риски потери небольшой части ожидаемой прибыли
	Повышенные	Риски потери большей части ожидаемой прибыли
	Критические	Риски появления убытков
	Катастрофические (недопустимые)	Риски, ведущие к банкротству
По видам экономической деятельности	Финансовые	Риски потерь денежных средств
	Маркетинговые	Риски неправильной оценки рынка
	Инвестиционные	Риски невозврата вложенных средств

Продолжение Таблицы А.1

	Производственные (технические)	Риски потерь от превышения текущих расходов над плановыми
	Транспортные	Риски транспортирования грузов
	Информационные (коммуникационные)	Риски недостатка или отсутствия информации
	Коммерческие	Риски изменения условий ведения коммерческой деятельности
	Страховые	Риски управления страховыми фондами
	Инновационные	Риски внедрения и использования инноваций
По социально-политическим источникам возникновения	Потребительские	Риски свободы поведения потребителя
	Социальные	Риски, связанные с социальной средой
	Политические	Риски, связанные с политической обстановкой в стране
	Экологические	Риски загрязнения окружающей среды
	Криминальные	Риски криминализации хозяйственной деятельности
По месту возникновения	Внешние	Риски, вызванные не зависящими от предприятия факторами
	Внутренние	Риски, возникшие из-за деятельности самого предприятия
По рыночным факторам	Конкурентные	Риски проигрыша в конкурентной борьбе
	Конъюнктурные	Риски появления товаров- заменителей
	Ценовые	Риски колебания цен на продукцию предприятия
	Упущенной выгоды	Риски неполучения прибыли из-за неосуществления какого-либо мероприятия

## Продолжение Таблицы А.1

По роду опасности	Техногенные	Риски, вызванные деятельностью человека
	Природные	Риски природных катастроф
	Смешанные	Риски событий природного характера, вызванные хозяйственной деятельностью
По объективности	Объективные	Риски, возникающие в результате объективных причин
	Субъективные	Риски, обусловленные действием человеческого фактора
По оправданности	Оправданные (правомерные)	Риски, последствия которых не оказывают серьезного влияния на экономический эффект
	Неоправданные (авантюрные)	Риски, последствия которых ведут к потерям, превышающим допустимые
По масштабам проявления	Глобальные	Риски, характерные для всего человечества
	Международные	Риски, обусловленные международными отношениями
	Национальные	Риски, находящиеся в правовом поле государства
	Региональные	Риски, характерные для отдельного региона
	Отраслевые	Риски, определяемые спецификой отрасли
	Локальные	Риски конкретного предприятия
По времени решения проблемы	Принятия решения	Ошибки в методологии определения уровня риска
	Реализации решения	Риски ошибок в реализации выбранного решения
По длительности воздействия	Краткосрочные	Риски с коротким временем воздействия
	Долгосрочные	Риски с длительным временем воздействия

Продолжение Таблицы А.1

	Постоянные	Риски, сопровождающие проект на протяжении всего жизненного цикла
По однородности	Однородные	Риски, в которых частота и ущерб равномерны и одинаковы во времени
	Неоднородные	Риски, в которых частота неравномерна, размер ущерба различен
По частоте	Единичные	Происходят очень редко
	Массовые	Происходят постоянно
По прогнозируемости	Прогнозируемые	Ожидаемые риски в соответствии с текущей ситуацией
	Непрогнозируемые	Риски, которые невозможно предвидеть
По возможности страхования	Страхуемые	Риски, поддающиеся страхованию
	Нестрахуемые	Риски, не поддающиеся страхованию
По возможности диверсификации	Систематические	Риски, которые не могут быть диверсифицированы
	Специфические	Риски, которые могут быть диверсифицированы
По последствиям воздействия	Финансовые	Риски, наносящие ущерб в денежном выражении
	Психологические	Риски снижения деловой активности
	Имиджевые	Риски нанесения ущерба имиджу компании
	Этические	Риски ухудшения норм этики и морали

## ПРИЛОЖЕНИЕ Б

### Совокупная ценность цифровизации горной отрасли в 2016-2025 гг.

Таблица Б.1 - Совокупная ценность цифровизации горной отрасли в 2016-2025 гг. [291]

	Экономические выгоды				Неэкономические выгоды			
	Степень внедрения на 2025, %	Добавочная ст-ть, млрд долл. США	Прирост ценности для компании, млрд долл. США	Прирост соц. и экол. ценности, млрд долл. США	Сокращение эмиссии CO <sub>2</sub> , млн т	Кол-во сохраненных жизней	Сокращение кол-ва травмированных, чел.	Кол-во созданных рабочих мест
«Умные» датчики»	20	9	0	8	161	-	-	-39826
Автономные операции	25	47	0	19	396	257	10076	-59663
3D печать	25	0	1	2	35	-	-	-
Отслеживание рабочих	50	59	0	0	-	471	21789	-200541
Центр удаленных операций	30	65	6	1	16	248	12452	-11910
Кибербезопасность активов	75	5	0	0	-	-	-	-
Интегрированные платформы	15	2	69	0	-	-	-	-5110
Продвинутая аналитика	25	2	0	0	-	-	-	-13094
Суммарно 2016-25 гг.		189	76	30	608	976	44317	-330144

## ПРИЛОЖЕНИЕ В

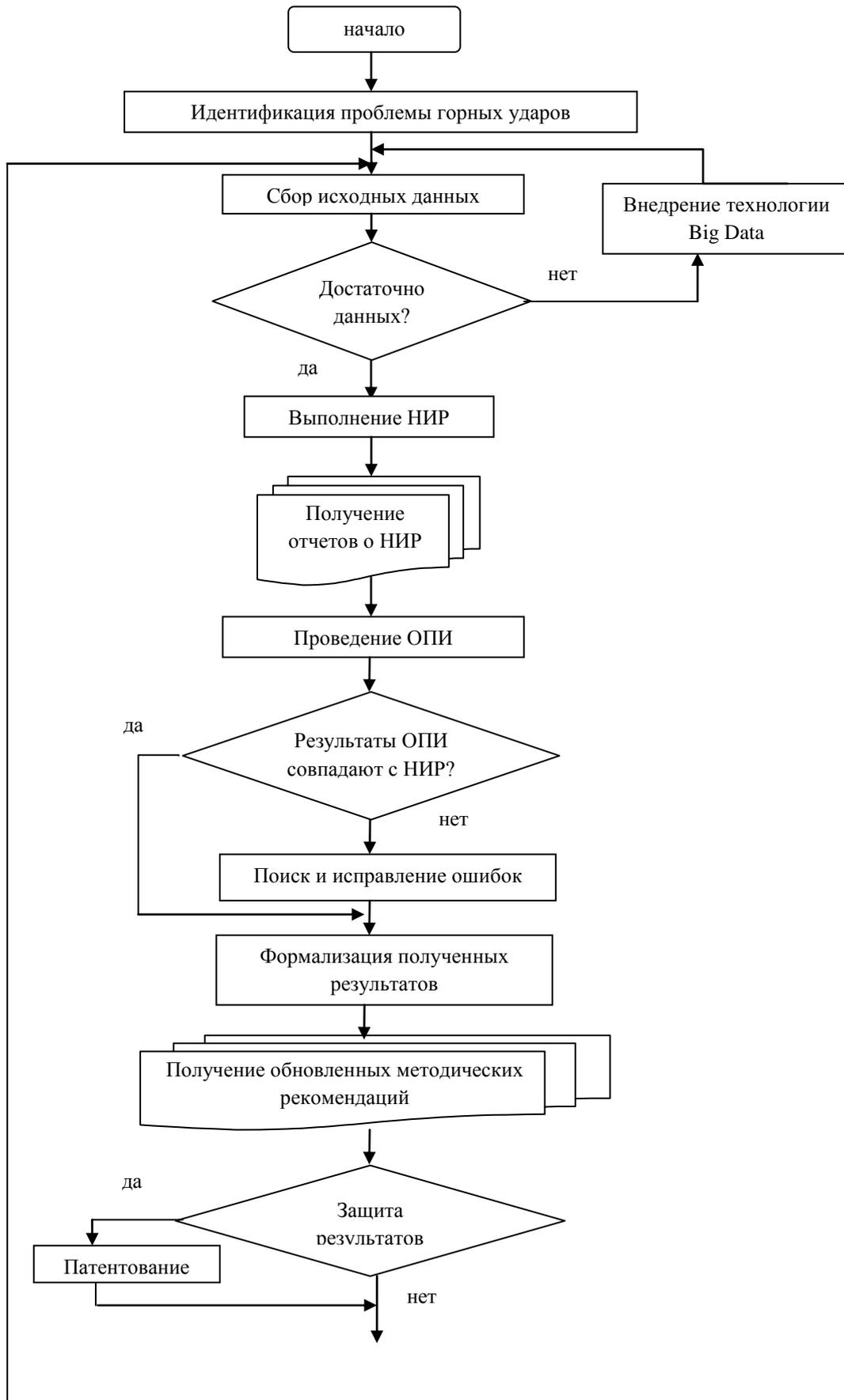
### Ценность цифровизации горной отрасли на 2025 г. с учетом сценариев

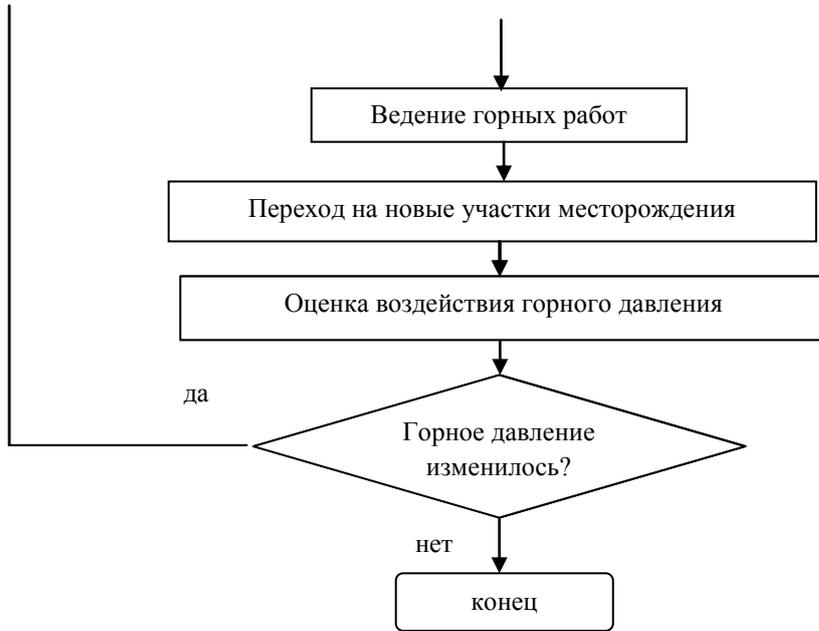
Таблица В.1 - Ценность цифровизации горной отрасли на 2025 г. с учетом сценариев [291]

	Экономические выгоды				Неэкономические выгоды			
	Степень внедрения на 2025, %	Добавочная ст-ть, млрд долл. США	Прирост ценности для компании, млрд долл. США	Прирост соц. и экол. ценности, млрд долл. США	Сокращение эмиссии CO <sub>2</sub> , млн т	Кол-во сохраненных жизней	Сокращение кол-ва травмированных, чел.	Кол-во созданных рабочих мест
«Умные» датчики»	12-50	1-4	0-0	1-3	11-51	0-11	0-0	-1758 – -8118
Автономные операции	10-40	5-23	0-0	2-9	40-169	40-91	901-3974	-7189 – -28758
3D печать	2-40	0-0	0-1	0-1	4-13	0-0	0-0	0-0
Отслеживание рабочих	30-65	6-14	0-0	0-0	0-0	0-114	2751-5484	-22894 – -39902
Центр удаленных операций	20-60	9-27	1-2	0-0	1-4	1-70	1256-3768	-1122 – -3366
Кибербезопасность активов	30-80	0-1	0-0	0-0	0-0	0-0	0-0	0-0
Интегрированные платформы	10-25	0-1	0-17	0-0	0-0	0-0	0-0	-348 – -820
Продвинутая аналитика	10-50	0-1	0-0	0-0	0-0	0-0	0-0	-1579 – -7895
Суммарно 2016-25 гг.		21-71	1-20	3-13	56-237	52-275	4908-13226	-34890 – -88859

## ПРИЛОЖЕНИЕ Г

## Алгоритм формирования комплементарных активов для обеспечения экономического роста в условиях воздействия горных рисков





## ПРИЛОЖЕНИЕ Д

## Пример карточки горного удара

## Карточка горного удара № 500

1. Рудник (шахта), месторождение: СУБР Шахта «Красная Шапочка»	2. Дата горного удара: 26.03.2015г. 11 ч. 21 мин.	3. Глубина от поверхности 1180м	4. Место Блок 11 <sup>с</sup> гор. -970м
5. Геологическая характеристика района горного удара, сведения о геологических нарушениях, элементах их залегания, прочностных свойствах руды и вмещающих пород	АТН № 19 с изменяющейся амплитудой вертикального смещения 35÷80м; широтно ориентированное ТН с $A = 1,0 \div 2,0$ м. Особенностью ориентации рудной залежи по простиранию в границах блока 11 <sup>с</sup> гор. -970м является её поднятие в северном направлении к плоскости АТН № 19 с максимальным «затягом» непосредственно у плоскости сместителя. Рудная залежь – по контакту с известняками висячего бока прослой плотных обесцвеченных бокситов; боксит красный немаркий, на отдельных участках и в месте максимальных разрушений боксит яшмовидный Покрывающие породы – темно-серые, слоистые ( $m < 0,3$ м) амфиболовые, битуминозные известняки. Пачка пород «ложной» кровли II типа $m = 0,1 \div 0,5$ м		
6. Элементы залегания рудного тела и вмещающих пород	Пластообразная рудная залежь с мощностью около 8,0м и восточным падением под углом $16^\circ - 27^\circ$ .		
7. Категория удароопасности до и после динамического проявления	«ОПАСНО» 28.08.2014года, очистная камера отм. -942,0м; 29.08.2014года ПЭК – «НЕОПАСНО» (геофизический метод). «ОПАСНО» при сбоях I <sup>м</sup> слоем этой же очистной камеры с отработанной камерой блока 10 <sup>с</sup> гор. -970м 18.12.2014г, 19.12.2014г. 19.12.2014 года ПЭК - «НЕОПАСНО» (геофизический метод).		
8. Предупредительные признаки (их наличие)			
9. Работы, выполнявшиеся перед горным ударом			
10. Сведения о применявшихся профилактических мероприятиях	Камуфлетное взрывание шпуровых зарядов ВВ, сменный «отстой» забоя после производства взрывных работ.		
11. Сведения о системе разработки, управлении кровлей, технологии работ	Камерно-столбовая система разработки с оформлением, в пределах обрабатываемых в настоящее время отметок, ленточных целиков ориентированных по простиранию на южном фланге блока и квадратных – на северном фланге. Крепление - сталеполимерные штанги $\xi = 1,8$ м и $\xi = 2,5$ м («гребёнка»).		
12. Сведения о горном ударе и его последствиях	Сейсмическая энергия $E = 3,5 \times 10^4$ Дж. Общий объем обрушенной горной массы составил $\approx 9,4$ м <sup>3</sup> . Длина нарушенных выработок – 4,7п.м.		
13. Причины горного удара	1. Ведение очистных работ в зоне влияния активного тектонического нарушения (АТН) № 19. 2. Разрядка повышенных напряжений в породах петропавловской свиты под краевой частью панельного целика. 3. Наличие яшмовидных разновидностей боксита в верхней части панельного целика между отм. -947,1м и -951,9м с неблагоприятным соотношением его высоты $h = 3,5$ м (по западной стороне) и ширины $d = 5,3$ м.		
14. Основные выводы комиссии, расследовавшей горный удар, и принятые решения по обеспечению безопасности дальнейшего ведения горных работ	1. Классифицировать как микроудар. 2. Очистные работы на отм. -947,1м запретить. 3. При ведении очистных работ камерно-столбовой системой разработки в блоках с использованием переносного оборудования применять паспорта усиленного крепления в камерах (местах) установки скреперных лебедок. 4. Запретить ведение очистных работ в блоках 10 <sup>с</sup> и 11 <sup>с</sup> гор. -970м более чем в двух забоях. 5. До начала оформления расчески нап. штр. отм. -957,5м произвести разгрузку по контуру западного и южного бока целика в проектных границах и далее по мере его оформления по позициям 23' - 27' плана горных работ на апрель 2015 года. Разгрузку произвести взрыванием камуфлетных шпуров длиной не менее трех метров со всех сторон.		

## ПРИЛОЖЕНИЕ Е

## Расчет объема бурения

Таблица Е.1 - Расчет объема бурения разгрузочных скважин на шахтах АО «СУБР»

Н, м	№ участка	Расстояние между скважинами, м	Ширина участка, м	Число скважин, шт	Длина скважины, м	Суммарная длина скважин, м	Общая длина скважин, м
800	1	0,12	5	23	11	253	2310
	2	0,12	6	27	12	324	
	3	0,12	2	9	12	108	
	4	0,12	3	14	11	154	
	5	0,12	1	5	8	40	
	6	0,12	2	9	8	72	
	7	0,12	1	5	1	5	
	8	0,12	2	9	6	54	
	9	0,12	3	14	8	112	
	10	0,12	2	9	10	90	
	11	0,12	2	9	2	18	
	12	0,12	2	9	4	36	
	13	0,12	3	14	2	28	
	14	0,12	3	14	10	140	
	15	0,12	8	36	10	360	
	16	0,12	2	9	8	72	
	17	0,12	3	14	6	84	
	18	0,12	1	5	2	10	
	19	0,12	1	5	6	30	
	20	0,12	3	14	10	140	
	21	0,12	2	9	10	90	
	22	0,12	2	9	10	90	
1000	1	0,12	3	14	20	280	4660
	2	0,12	3	14	16	224	
	3	0,12	5	23	16	368	
	4	0,12	3	14	16	224	
	5	0,12	2	9	13	117	
	6	0,12	3	14	10	140	
	7	0,12	2	9	2	18	
	8	0,12	3	14	6	84	

Продолжение Таблицы Е.1

Н, м	№ участка	Расстояние между скважинами, м	Ширина участка, м	Число скважин, шт	Длина скважины, м	Суммарная длина скважин, м	Общая длина скважин, м
1000	9	0,12	2	9	6	54	
	10	0,12	2	9	1	9	
	11	0,12	3	14	2	28	
	12	0,12	3	14	3	42	
	13	0,12	2	9	2	18	
	14	0,12	1	5	1	5	
	15	0,12	2	9	3	27	
	16	0,12	3	14	5	70	
	17	0,12	3	14	12	168	
	18	0,12	3	14	10	140	
	19	0,12	2	9	8	72	
	20	0,12	3	14	7	98	
	21	0,12	2	9	7	63	
	22	0,12	4	18	9	162	
	23	0,12	3	14	10	140	
	24	0,12	4	18	14	252	
	25	0,12	2	9	11	99	
	26	0,12	2	9	10	90	
	27	0,12	3	14	9	126	
	28	0,12	2	9	7	63	
	29	0,12	3	14	6	84	
	30	0,12	4	18	3	54	
	31	0,12	4	18	10	180	
	32	0,12	9	40	10	400	
	33	0,12	2	9	10	90	
	34	0,12	2	9	8	72	
	35	0,12	2	9	8	72	
	36	0,12	2	9	3	27	
	37	0,12	1	5	1	5	
	38	0,12	1	5	3	15	
	39	0,12	1	5	6	30	
	40	0,12	2	9	10	90	
	41	0,12	2	9	10	90	
	42	0,12	4	18	10	180	
	43	0,12	2	9	9	90	

Продолжение Таблицы Е.1

Н, м	№ участка	Расстояние между скважинами, м	Ширина участка, м	Число скважин, шт	Длина скважины, м	Суммарная длина скважин, м	Общая длина скважин, м
1200	1	0,12	7	32	12	384	6960
	2	0,12	8	36	13	468	
	3	0,12	2	9	15	135	
	4	0,12	3	14	11	154	
	5	0,12	7	32	14	448	
	6	0,12	8	36	13	468	
	7	0,12	2	9	3	27	
	8	0,12	2	9	7	63	
	9	0,12	2	9	10	90	
	10	0,12	1	5	10	50	
	11	0,12	3	14	2	28	
	12	0,12	2	9	4	36	
	13	0,12	3	14	6	84	
	14	0,12	6	27	25	675	
	15	0,12	1	5	4	20	
	16	0,12	1	5	15	75	
	17	0,12	4	18	14	252	
	18	0,12	3	14	11	154	
	19	0,12	2	9	9	81	
	20	0,12	2	9	8	72	
	21	0,12	1	5	7	35	
	22	0,12	3	14	9	126	
	23	0,12	1	5	9	45	
	24	0,12	3	14	11	154	
	25	0,12	2	9	14	126	
	26	0,12	1	5	16	80	
	27	0,12	1	5	19	95	
	28	0,12	2	9	19	171	
	29	0,12	5	23	24	552	
	30	0,12	3	14	6	84	
	31	0,12	3	14	9	126	
	32	0,12	3	14	7	98	
	33	0,12	2	9	5	45	
	34	0,12	2	9	3	27	
	35	0,12	2	9	2	18	

Продолжение Таблицы Е.1

Н, м	№ участка	Расстояние между скважинами, м	Ширина участка, м	Число скважин, шт	Длина скважины, м	Суммарная длина скважин, м	Общая длина скважин, м
1200	36	0,12	3	14	12	168	
	37	0,12	5	23	10	230	
	38	0,12	7	32	10	320	
	39	0,12	2	9	10	90	
	40	0,12	2	9	8	72	
	41	0,12	2	9	3	27	
	42	0,12	2	9	3	27	
	43	0,12	1	5	6	30	
	44	0,12	2	9	10	90	
	45	0,12	2	9	10	90	
	46	0,12	4	18	10	180	
	47	0,12	2	9	10	90	
1400	1	0,12	2	9	14	126	8303
	2	0,12	3	14	14	196	
	3	0,12	3	14	16	224	
	4	0,12	4	18	16	288	
	5	0,12	1	5	16	80	
	6	0,12	3	14	19	266	
	7	0,12	2	9	13	117	
	8	0,12	2	9	9	81	
	9	0,12	5	23	12	276	
	10	0,12	8	36	10	360	
	11	0,12	2	9	3	27	
	12	0,12	2	9	7	63	
	13	0,12	2	9	9	81	
	14	0,12	1	5	10	50	
	15	0,12	4	18	2	36	
	16	0,12	3	14	4	56	
	17	0,12	3	14	5	70	
	18	0,12	2	9	7	63	
	19	0,12	2	9	1	9	
	20	0,12	3	14	1	14	
	21	0,12	3	14	9	126	
	22	0,12	12	54	25	1350	

Продолжение Таблицы Е.1

Н, м	№ участка	Расстояние между скважинами, м	Ширина участка, м	Число скважин, шт	Длина скважины, м	Суммарная длина скважин, м	Общая длина скважин, м
1400	23	0,12	2	9	7	63	
	24	0,12	1	5	15	75	
	25	0,12	3	14	15	210	
	26	0,12	4	18	12	216	
	27	0,12	4	18	9	162	
	28	0,12	2	9	7	63	
	29	0,12	3	14	9	126	
	30	0,12	3	14	12	168	
	31	0,12	6	27	19	513	
	32	0,12	5	23	24	552	
	33	0,12	1	5	1	5	
	34	0,12	2	9	2	18	
	35	0,12	3	14	6	84	
	36	0,12	5	23	10	230	
	37	0,12	3	14	8	112	
	38	0,12	2	9	5	45	
	39	0,12	2	9	3	27	
	40	0,12	1	5	1	5	
	41	0,12	2	9	10	90	
	42	0,12	2	9	10	90	
	43	0,12	2	9	10	90	
	44	0,12	8	36	10	360	
	45	0,12	5	23	10	230	
	46	0,12	2	9	10	90	
	47	0,12	2	9	10	90	
	48	0,12	2	9	3	27	
	49	0,12	2	9	7	63	
	50	0,12	2	9	10	90	
	51	0,12	2	9	10	90	
	52	0,12	2	9	10	90	
	53	0,12	2	9	10	90	
	54	0,12	2	9	10	90	
	55	0,12	2	9	10	90	
Итого							22233