

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

На правах рукописи

Райхлин Семен Максимович



ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПРОЕКТОВ ПОВЫШЕНИЯ
ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ НА ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ В ЦЕЛЯХ
УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ

Специальность 5.2.3. Региональная и отраслевая экономика
(экономика промышленности)

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата экономических наук

Научный руководитель:
кандидат экономических наук, доцент
Невская М.А.

Санкт-Петербург – 2024

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ГЛАВА 1 ПРОБЛЕМЫ И УСЛОВИЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ НА ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ.....	9
1.1 Специфика горных предприятий как объектов для внедрения проектов повышения энергоэффективности	9
1.2 Анализ условий и факторов повышения энергоэффективности горных предприятий.....	15
1.3 Основные направления повышения энергоэффективности горных предприятий с учетом анализа лучших практик.....	24
1.4 Выводы по главе 1	28
ГЛАВА 2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ	29
2.1 Формирование и развитие концепций энергоэффективности	29
2.2 Устойчивое развитие и «энергетическая трилемма» как концептуальные основы повышения энергоэффективности горных предприятий	42
2.3 Развитие понятийного аппарата энергоэффективности как экономической категории	48
2.4 Методические подходы к оценке энергоэффективности на различных уровнях оценки	53
2.5 Выводы по главе 2	62
ГЛАВА 3 РАЗРАБОТКА И АПРОБАЦИЯ МЕТОДИЧЕСКОГО ПОДХОДА К КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКЕ ПРОЕКТОВ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ НА ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ.....	64
3.1 Основные этапы формирования методического подхода к оценке проектов повышения энергоэффективности в целях устойчивого развития.....	64
3.2 Обоснование признаков систематизации проектов повышения энергоэффективности	66
3.3 Методика многокритериальной оценки проектов повышения энергоэффективности.....	69
3.4 Апробация методического подхода на примере проектов повышения энергоэффективности предприятия «Албазино» АО «Полиметалл»	80
3.5 Выводы по главе 3	92
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	94
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	96
ПРИЛОЖЕНИЕ А Акт внедрения.....	115
ПРИЛОЖЕНИЕ Б Анализ факторов, влияющих на энергоемкость национальной экономики	116

ПРИЛОЖЕНИЕ В Лучшие практики повышения энергоэффективности	119
ПРИЛОЖЕНИЕ Г Комплекс показателей оценки различных результатов	126
ПРИЛОЖЕНИЕ Д Проект строительства электроэнергетического комплекса	130
ПРИЛОЖЕНИЕ Е Расчет окупаемости проектов	132

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования

Повышение энергоэффективности рассматривается как необходимое условие достижения энергетических и экологических целей развития экономики и отдельных ее секторов, усиления энергетической безопасности и независимости хозяйствующих субъектов.

Характерной чертой горной промышленности Российской Федерации является опережающий рост энергопотребления по отношению к темпам роста промышленной продукции; доля затрат на энергоресурсы в среднем составляют 40%.

Увеличение энергопотребления обусловлено качественными изменениями в применяемых технологиях, усложнением горно-геологических условий добычи, необходимостью обеспечения непрерывности производственных процессов, содержания инженерной и социальной инфраструктуры, в связи с чем повышение энергетической эффективности представляют собой критически важный аспект устойчивого развития горных предприятий.

Планы по достижению целей устойчивого развития определяют повышенные требования к качеству используемых энергоресурсов, надежности и безопасности энергетической инфраструктуры, необходимость внедрения цифровых технологий в производственный процесс и развития методов управления энергоресурсами.

В настоящее время отсутствует комплексный подход к оценке проектов, направленных на повышение энергоэффективности в целях устойчивого развития, а применяемые методики экономической оценки проектов не позволяют в полной мере учитывать достижение технологических, экологических, социальных и других результатов и эффектов их внедрения.

В этой связи повышается актуальность разработки метода, позволяющего учитывать вклад результатов различных по масштабам и уровням реализации проектов в повышение энергоэффективности горного предприятия в целях устойчивого развития горной компании.

Степень разработанности темы исследования

Вопросы устойчивого развития горных компаний отражены в работах А.Е. Череповицына, В.А. Плотникова, В.С. Жарова, Т.В. Пономаренко, М.А. Невской, О.А. Марининой, Н.Ю. Кирсановой, Н.В. Ромашевой, Дж. Сакс, М.М. Ислам, Д. Люссо, В. Спайзер, К. Фарташ, С. Ранганатан, А. Садабади, Р. Б. Суэйн, Д. Дж. Т. Самптер и др.

Проблемам повышения энергетической эффективности посвящены работы Л.Д. Гительмана, М.В. Кожевникова, Е.Г. Магарил, Е.С. Шилец, И.А. Башмакова, Т.Ю. Чазовой Е.В. Шавиной, А.В. Чазова, А.В.Чемезова, В.П. Самариной, А. Суфастаи, Д. Стерлинга, Э. Уоррелла, Дж. А. Лайтнера, М. Левеска, М. Лабанка и др.

Методические проблемы оценки эффективности проектов изложены в работах А.Н. Ковалева, М.В. Самойлова, О.Л. Данилова, П.С. Гейзлера, В.В. Ефремова, И.У. Рахмонова, О.В. Климовец, А.С. Краснова и др.

Несмотря на достаточно высокий уровень исследования проблемы, проблема комплексной экономической оценки проектов повышения энергоэффективности на горных предприятиях в методологическом аспекте остается недостаточно разработанной.

Цель работы. Разработка методического подхода к оценке проектов повышения энергоэффективности горных предприятий в целях устойчивого развития.

Предметом исследования являются методы, условия и факторы, определяющие экономическую эффективность проектов, связанных с повышением энергетической эффективности горных предприятий.

Объектом исследования являются проекты, планируемые и реализуемые на горных предприятия минерально-сырьевого комплекса Российской Федерации.

Основная научная идея работы. Экономическая оценка проектов повышения энергоэффективности на горных предприятиях должна основываться не только на критериях коммерческой эффективности, но и включать критерии, характеризующие вклад проекта в достижение целей устойчивого развития предприятия.

Задачи исследования:

1. Обосновать основные направления повышения энергоэффективности горных предприятий с учетом их специфики, анализа и обобщения отечественных и зарубежных практик, факторов микро- и макросреды, влияющих на энергоэффективность.

2. Исследовать теоретические и методические основы повышения энергоэффективности горных предприятий в контексте концепций устойчивого развития и «энергетической трилеммы».

3. Дополнить признаки систематизации проектов повышения энергоэффективности.

4. Предложить критерии и показатели оценки проектов, направленных на повышение энергоэффективности горных предприятий.

5. Разработать методику многокритериальной экономической оценки проектов повышения энергоэффективности горного предприятия и выполнить ее апробацию.

Научная новизна работы заключается в следующем:

1. Обоснованы целевые направления повышения энергоэффективности и сформулированы, для условий горных предприятий, принципы «энергетической трилеммы», позволяющие в качестве критериев его устойчивого развития определить: экономичность, экологичность, надежность и безопасность, гибкость.

2. Дано авторское определение категории «энергоэффективность», под которой понимается как состояние, так и способность предприятия, как экономической системы, соответственно отвечать критериями устойчивого развития и экономически эффективно использовать энергоресурсы.

3. Сформирован комплекс показателей оценки проектов повышения энергоэффективности, характеризующих уровень достижения критериев устойчивого развития; предложен авторский показатель, характеризующий критерий «гибкость».

4. Принципы экономической оценки проектов повышения энергоэффективности, дополнен принципом «вклада» в достижение ЦУР, который также должен быть оценен.

5. Разработана методика экономической оценки проектов, направленных на повышение энергоэффективности, учитывающая эффективность инвестиций в проект и достижение позитивной динамики показателей, характеризующих обоснованные критерии.

Полученные научные результаты соответствуют паспорту специальности 5.2.3. Региональная и отраслевая экономика (экономика промышленности) и соответствует пункту 2.14. «Проблемы повышения энергетической эффективности и использования альтернативных источников энергии» и пункту 2.11. «Формирование механизмов устойчивого развития экономики промышленных отраслей, комплексов, предприятий».

Научная значимость исследования состоит в развитии методов экономической оценки проектов повышения энергоэффективности на горных предприятиях.

Теоретическая и практическая значимость работы заключается в разработке методики комплексной экономической оценки проектов, признаков систематизации информации о проектах для их паспортизации, выбора и включения в комплексные программы повышения энергоэффективности предприятий, а также комплекса показателей, характеризующих технологические, социальные, экологические результаты от внедрения проектов. Получен акт внедрения от 22.05.2024 г. в ООО «СЗТ-ПРОИЗВОДСТВО» (Приложение А).

Методология и методы исследования

Теоретической основой диссертационного исследования послужили фундаментальные и прикладные исследования российских и зарубежных авторов в области устойчивого развития, повышения энергоэффективности производства, ресурсо- и энергосбережения, внедрения новых технологий повышения энергоэффективности предприятий, методов экономической оценки проектов.

В диссертации применялись методы и инструменты логического, структурного и динамического анализа, отраслевого анализа, статистические методы обработки данных, методы оценки экономической эффективности.

Положения, выносимые на защиту:

1. Основными направлениями повышения энергоэффективности горного предприятия, определенными на основе выявленной специфики хозяйственной деятельности и факторов бизнес-среды, отечественной и зарубежной практики, а также сформулированных для уровня предприятия принципов «энергетической трилеммы», рекомендуется считать: снижение расхода и повышение качества потребляемых энергоресурсов, надежность и безопасность энергосистемы предприятия, а также гибкость управления ею.

2. Под повышением энергоэффективности горного предприятия следует понимать процесс и результат реализации проектов, обеспечивающих достижение обоснованных критериев экономичности, экологичности, надежности и безопасности, гибкости, а также выраженных в стоимостной форме технологических, социальных и экологических результатов, характеризующих эффективность использования энергоресурсов.

3. Экономическую оценку проектов повышения энергоэффективности рекомендуется выполнять на основе методического подхода, включающего разработанные принципы оценки проектов повышения энергоэффективности, комплекс показателей, учитывающих результаты проектов, систематизацию проектов и методику многокритериальной оценки их эффективности.

Степень достоверности и апробация результатов работы определяется соответствием методологии исследования основным положениям концепций устойчивого развития, ресурсо- и энергосбережения; обработкой и анализом достаточного объема фактических данных по исследуемой проблеме, опубликованных в научной литературе, содержащихся в государственных отчетах и докладах, официальной статистике и отчетах горных компаний. В работе использовались законодательные акты и нормативно-правовые документы Российской Федерации.

Апробация результатов. Главные идеи и научные результаты диссертационного исследования были представлены на следующих российских и международных научных конференциях:

- VIII Международная конференция «Менеджмент, экономика, этика, технология - МЕЕТ 2022» (г. Санкт-Петербург, Санкт-Петербургский горный университет, 06-07 октября 2022 г.);
- III Международная научно-практическая конференция «Современные тенденции в развитии экономики энергетики» (Минск, Белорусский национальный технический университет, 01 декабря 2022 года);
- IX Международная конференция «Менеджмент, экономика, этика, технология - МЕЕТ 2023» (г. Санкт-Петербург, Санкт-Петербургский горный университет, 05-06 октября 2023 г.).

Личный вклад автора заключается в постановке цели и задач диссертационного исследования, разработке метода исследования, обобщении отечественного и зарубежного опыта

реализации проектов повышения энергоэффективности, их систематизации, разработке методики экономической оценки различных эффектов реализации проектов, обработке полученных результатов, обработке полученных научных результатов и их апробации.

Публикация по работе. Результаты диссертационной работы в достаточной степени освещены в 5 печатных работах (пункты литературы № 13, 69, 98, 181, 192), в том числе в 3 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, в 2 статьях – в изданиях, входящих в международную базу данных и систему цитирования Scopus.

Структура работы. Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения и библиографического списка, содержит 134 страницы машинописного текста, 23 рисунка, 20 таблиц, список литературы из 222 наименований и 6 приложений на 20 страницах.

Благодарности

Автор выражает благодарность научному руководителю – к.э.н., доценту Невской М.А., зав. кафедрой организации и управления Череповицыну А.Е., профессору Пономаренко Т.В., профессору Хайкину М.М., а также всему коллективу кафедры организации и управления Санкт-Петербургского горного университета императрицы Екатерины II за помощь в подготовке диссертации.

ГЛАВА 1 ПРОБЛЕМЫ И УСЛОВИЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ НА ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

1.1 Специфика горных предприятий как объектов для внедрения проектов повышения энергоэффективности

Горная промышленность является основной базой для развития индустрии: помимо обеспечения сырьем перерабатывающих отраслей, создает условия для энергетической безопасности страны, формирования новых рабочих мест, развития территорий и регионов.

Несмотря на то, что отрасли горной промышленности, в целом не относятся к самым энергоемким, доля затрат на электроэнергию в себестоимости, по отдельным компаниям может достигать 40% [57], а по некоторым крупным компаниям отмечается рост энергоемкости продукции. Следует также отметить, что горные предприятия, занятые добычей и первичной переработкой полезных ископаемых (горнодобывающие предприятия), согласно информационно-техническому справочнику по наилучшим доступным технологиям ИТС 16–2016 «Горнодобывающая промышленность. Общие процессы и методы» относятся к числу энергоемких производств [43].

В 2021 году наблюдалось увеличение энергозатрат на производство основных видов добываемых и перерабатываемых минерально-сырьевых и топливно-энергетических ресурсов. Рост удельных расходов составил: 6,6% при добыче газа, 6,8% при добыче нефти и газового конденсата, 2% при производстве железорудного агломерата и 0,3% при переработке газа [25]. Эта тенденция частично связана с ухудшением условий добычи топлива из-за истощения ресурсов наиболее продуктивных месторождений.

Удельные расходы энергии в 2022 г. выросли в нескольких сферах: в добыче нефти и газового конденсата — на 10,6%; в переработке газа — на 4,0%; в добыче железной руды (обогащение и производство железорудного концентрата) — на 3,5%; в производстве железорудных окатышей — на 3,2%; в добыче угля — на 2,6% [26].

На рисунке 1.1 представлена динамика удельных показателей расхода энергии при добыче и переработке отдельных видов ресурсов.

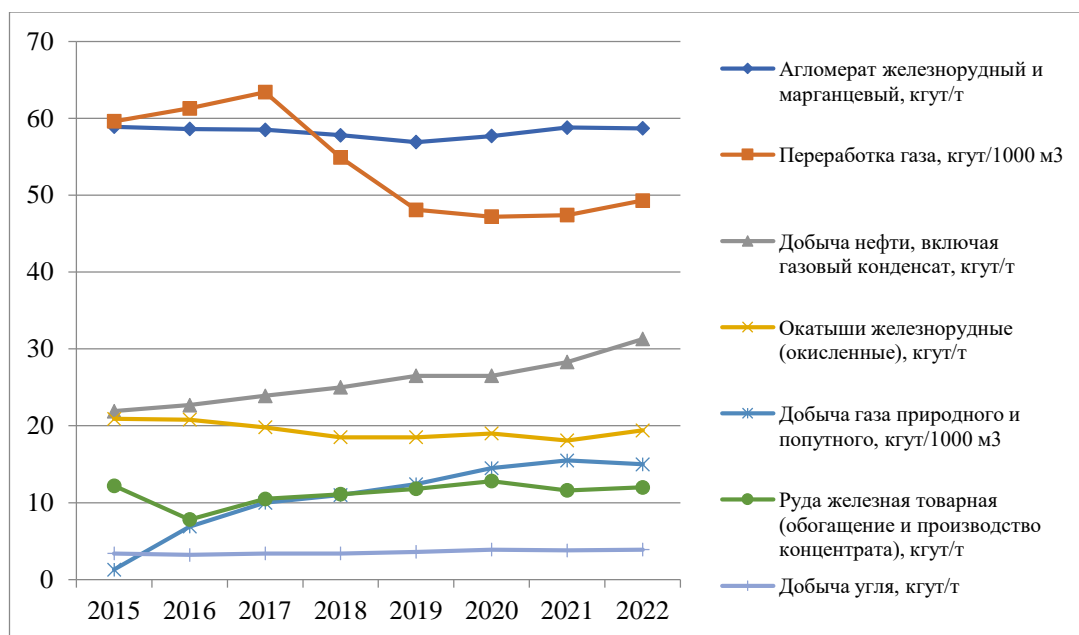


Рисунок 1.1 – Динамика удельных расходов энергии в добыче и переработке отдельных видов сырья и топлива. Источник: составлено автором на основании [66]

Динамика потребления энергоресурсов в секторе добычи представлена на рисунке 1.2. На сегодняшний день существует тенденция к росту, что подчеркивает необходимость повышения энергоэффективности в данной отрасли.

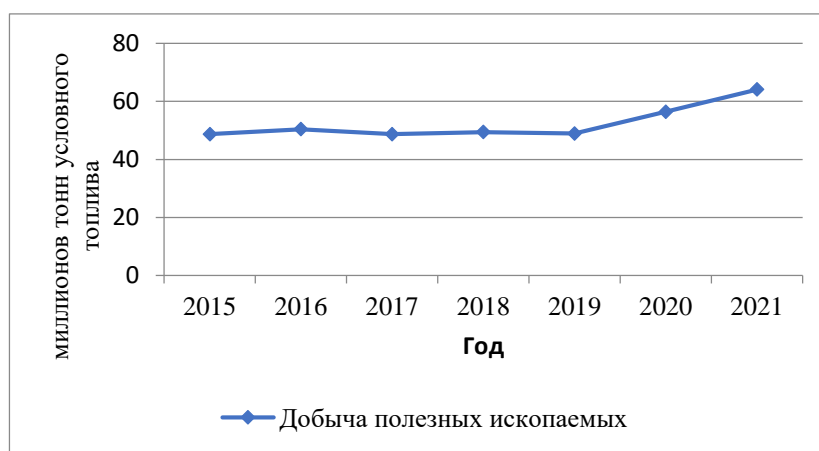


Рисунок 1.2 – Потребление энергоресурсов в секторе добычи полезных ископаемых. Источник: составлено автором на основании [7]

В России более 70% добычи полезных ископаемых осуществляется карьерным способом [32] и дальнейшее развитие открытых горных работ связано, прежде всего, с увеличением глубины и площади карьеров, усложнением горно-геологических и горнотехнических условий, увеличением площади отчуждаемых земель [99]. При этом увеличивается доля энергозатрат в процессе добычи. Все это происходит на фоне роста цен на электрическую энергию в мире в целом [172] и непосредственно в России (за период с 2017 по 2022 г. цены выросли на 28% [109]).

В горной промышленности наиболее актуальна проблема снижения энергоемкости для крупных горно-металлургических компаний. Например, по данным отчетов лидера алюминиевой отрасли компании «РУСАЛ», наметился тренд к повышению энергоемкости (рисунок 1.3), несмотря на то, что компания позиционирует себя в качестве крупнейшего производителя алюминия с низким углеродным следом: свыше 90% алюминиевого производства компании основано на использовании гидроэнергии [81].



Рисунок 1.3 – Динамика показателя энергоемкости продукции компании «РУСАЛ». Источник: составлено автором на основании [81]

Значительный рост показателя в 2022 г. обусловлен увеличением потребления топлива из возобновляемых источников и тепловой энергии [81].

Другим примером является компания «Северсталь» – крупнейшая компания России (на долю компании приходится около 16,5% объема выпуска стали), основная деятельность которой основывается на горнодобывающей и металлургической промышленности. Показатели энергоемкости продукции, полученные из отчетов по устойчивому развитию, представлены на рисунке 1.4.

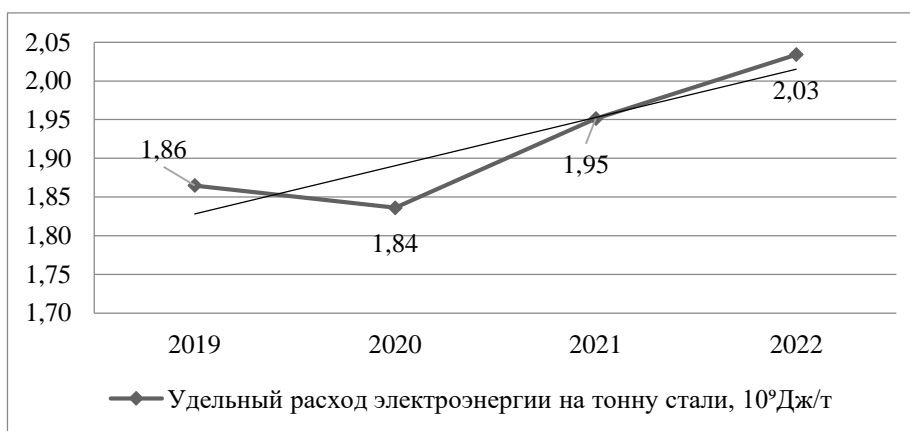


Рисунок 1.4 – Динамика энергоемкости продукции компании «Северсталь». Источник: составлено автором на основании [82]

Удельный расход электроэнергии на тонну стали в 2022 году составил $2.03 \cdot 10^9$ Дж/т, что на 4,2% больше по сравнению с 2021 годом.

В отчетах по устойчивому развитию компании «Полиметалл» в качестве показателя энергоемкости применяется ГДж на тысячу унций золотого эквивалента. Динамика энергоемкости представлена на рисунке 1.5.



Рисунок 1.5 – Динамика энергоемкости продукции компании «Полиметалл». Источник: составлено автором на основании [80]

В целом рост энергоемкости продукции может быть обусловлен ростом глубины отработки месторождений, что требует дополнительных расходов энергии на обслуживание горных выработок (освещение, вентиляция, водоотлив) и обеспечение безопасности работ, а также усложнением технологии переработки полезных ископаемых [120].

К факторам, в целом обуславливающим высокую энергоемкость горного производства относятся:

1. Энергозатратность производственных процессов (обеспечение их непрерывности) и оборудования [54]. К таким технологическим процессам и установкам на горных предприятиях относятся:

- технологические процессы добычи полезных ископаемых;
- технологические процессы обогащения полезных ископаемых;
- стационарные установки, обеспечивающие нормальные режимы протекания технологических процессов;
- установки гидромеханизации.

2. Значительные расходы энергии (топливной и электрической) на поддержание производственной и социальной инфраструктуры в малообжитых, географически удаленных от поставщиков и потребителей энергоресурсов районах. В таких регионах горное предприятие берет на себя нагрузку по энергообеспечению социальных объектов поселений.

4. Сложные природно-климатические условия хозяйственной деятельности горных предприятий, требующие значительных объемов энергетических ресурсов для производства и

жизнеобеспечения, поскольку в северных регионах России сконцентрировано 55,3% объемов добычи хромовых руд, 42,4% меди, 99,5% фосфатов, более 100% редкоземельных металлов и алмазов, 37,2% золота, 99,4 металлов платиновой группы [64].

5. Экологические требования: несмотря на изменившуюся политическую ситуацию и экономические санкции, многие крупные компании следует принятым на себя обязательствам по достижению Целей устойчивого развития и соблюдению международных экологических стандартов и требований к переходу на экологически чистые источники энергии.

Необходимость постоянного энергообеспечения объектов социальной и инженерной инфраструктуры в регионах размещения горных предприятий, а также удаленность объектов добычи от централизованных источников энергии определяют повышенные требования к *надежности энергосистемы предприятия* и создают условия для применения автономных или гибридных энергоисточников [145].

Современная система электроснабжения действующего горного предприятия состоит из целого ряда разных подсистем, обладающих собственной спецификой построения, имеющихся характеристик и заявленных требований, включая применяемое электрооборудование. Данный принцип является основой создания разных систем электроснабжения действующих горных компаний. Благодаря ему возможно выделение внешнего электроснабжения следующих потребителей:

- отдельно расположенные карьеры;
- дробильно-сортировочные фабрики;
- обогатительные фабрики;
- действующие фабрики агломерации и окомкования;
- электроснабжение разных потребителей, находящихся на поверхности;
- проведение подземных горных работ.

Для создания энергосистемы крупных действующих горных предприятий используется совокупность электростанций, электро- и теплосетей, которые связаны общим режимом в непрерывном производственном процессе, преобразуя и распределяя электрическую и тепловую энергию. Электрической частью созданной энергосистемы является совокупность работающих электроустановок разных электростанций и электросетей.

В различных отдалённых районах энергию получают от действующих местных электростанций [145].

Самая перспективная и эффективная альтернатива существующим централизованным электросетям заключается в использовании систем распределённой генерации, причём в этом процессе подразумевается применение комбинированных альтернативных и возобновляемых источников получения энергии [1, 3]. Повышение степени надёжности энергоснабжения

нагорных предприятиях предусматривается действующей Энергетической стратегией РФ. В этом случае актуально использование централизованных электросетей с распределённой генерацией на основе осуществляемой комбинированной работы следующего оборудования:

- ветроэнергетические установки;
- солнечные электростанции;
- генераторные установки, функционирующие на органическом топливе.

Указанное оборудование комбинируется с быстродействующими устройствами многоступенчатого ввода резерва автоматического типа [2].

Характерной чертой горного производства является опережающий рост энергопотребления по отношению к темпам роста промышленной продукции, вызванное качественными изменениями технологий, усложнением горно-геологических условий добычи, внедрением природоохранных мероприятий.

Принимая во внимание тот факт, что при производстве горных работ доля затрат, связанных с энергосбережением, составляет 40–60%, можно сделать вывод, что реализация организационных и технических мероприятий по энергосбережению может привести к заметной экономии топливно-энергетических ресурсов [34].

В таблице 1.1 представлены выявленные признаки горных предприятий, определяющих их специфику как объектов энергопотребления.

Таблица 1.1 – Признаки, определяющие специфику горных предприятий как объектов энергопотребления. Источник: составлено автором

Признаки горных предприятий как объектов энергопотребления	Проявления специфических особенностей горных предприятий
Связь с объектом недропользования, который может быть расположен в отдалённых и труднодоступных районах	Необходимость создания надежных систем энергоснабжения для непрерывного обеспечения энергоресурсами производственной и социальной инфраструктуры.
Этапность и непрерывность производственного процесса	Повышенные требования к непрерывности энергоснабжения предприятий и промышленной безопасности
Особые условия труда (подземные)	Повышенные требования к безопасности условий труда: необходимость непрерывности энергообеспечения систем вентиляции, водоотлива, горного транспорта и пр., а также к надежности системы энергоснабжения
Высокий уровень механизации работ	Необходимость в более доступных источниках ввиду высокой энергоёмкости производственных процессов и операций
Сложность системы энергоснабжения	Повышенные требования к объектам внутреннего энергоснабжения, размещенным под землей

Учет специфических особенностей горных предприятий являются необходимым условием определения основных направлений разработки и реализации мероприятий по повышению энергоэффективности.

1.2 Анализ условий и факторов повышения энергоэффективности горных предприятий

Россия имеет четвертую по величине электроэнергетическую систему в мире, уступая только США, Китаю и Индии. Электроэнергетика, как базовая отрасль, определяет производственный потенциал страны и входит в десятку отраслей, вносящих наибольший вклад в ВВП России (2,3% в 2023 г. по данным Росстата) [110].

Суммарная мощность электростанций на 1 января 2024 года в России составляет 248 ГВт, из них [79] (рисунок 1.6 и рисунок 1.7):

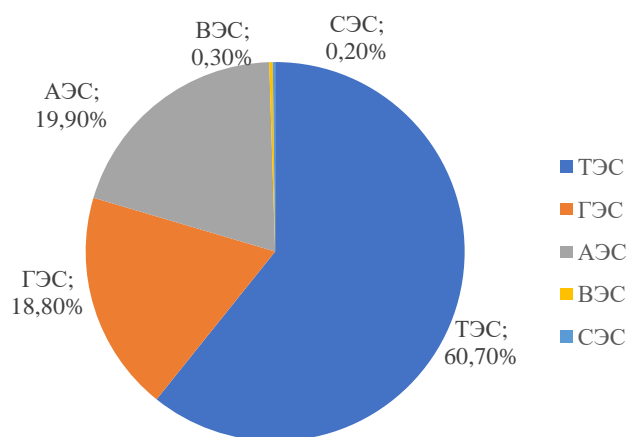


Рисунок 1.6 – Структура генерации электроэнергии в РФ. Источник: составлено автором на основе данных [79]

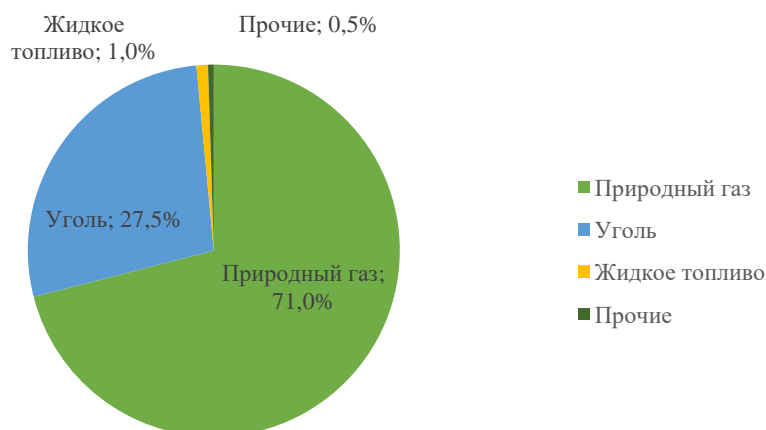


Рисунок 1.7 – Структура потребляемых энергоресурсов ТЭС. Источник: составлено автором на основе данных [79]

Структура производства электроэнергии в России по типам станций за 2023 год выглядит следующим образом: основной объём (66%) производится на тепловых станциях; на АЭС вырабатывается 20% электроэнергии, на ГЭС - 19%; и менее 1% приходится на станции альтернативного типа — приливные, геотермальные, солнечные и ветровые установки. Среди потребляемых ресурсов преобладают природный газ и уголь.

Динамика производства и потребления электроэнергии в РФ по данным отчета 2023 г. о функционировании ЕЭС России (в отчете представлена динамика за 2017 -2021 гг.) представлена на рисунке 1.8 и 1.9.

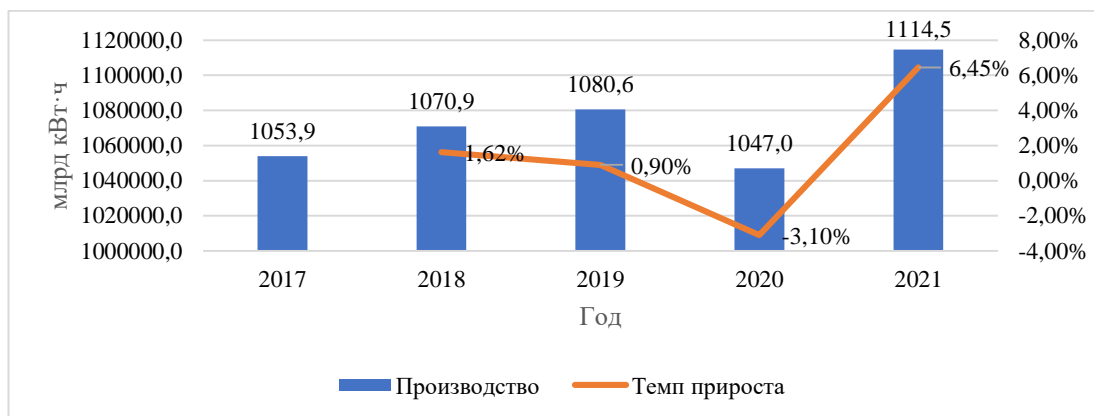


Рисунок 1.8 – Динамика производства электроэнергии в России. Источник: составлено автором на основе [118]

Можно сделать вывод о том, что за рассматриваемый период объём производства электроэнергии достиг высоких значений из-за увеличения внутреннего спроса, объём производства электроэнергии вырос на 60,7 млрд. кВт/ч, а среднегодовой темп роста составил 1,47%.

Анализ динамики потребления электроэнергии на внутреннем рынке Российской Федерации [13], представленной на рисунке 1.9, показывает, что объёмы потребления электроэнергии растут. В целом, за 6 лет уровень потребления электроэнергии вырос на 5,92%.

За рассматриваемый период произошли следующие изменения: из 1114,5 млрд. кВт/ч, произведенной электроэнергии, было потреблено 1090.4 млрд. кВт/ч, что говорит о том, что внутренний рынок электроэнергии является одним из факторов развития предприятий в современных условиях [13]. Основными причинами увеличения потребления электрической энергии и максимума потребления мощности ЕЭС России в 2021 году явились отмена карантинных ограничений и новые соглашения ОПЕК+ в части добычи нефти. Снижение этих показателей в 2020 году обусловлено уменьшением потребления электроэнергии нефте- и газодобывающими предприятиями, а также на крупных предприятиях машиностроения и химической промышленности.



Рисунок 1.9 – Динамика потребления электроэнергии в РФ. Источник: составлено автором на основе [118]

Для России минерально-сырьевой комплекс является одним из базовых секторов экономики, играя ведущую роль в развитии регионов и обеспечивая более половины объема экспорта страны. По данным Федеральной таможенной службы (ФТС России), в 2023 году доля минеральных продуктов в российском экспорте (в стоимостном выражении) составила 61 против 66% в 2022 году (в 2021 году было 56%) [100].

Значимость минерально – сырьевого комплекса для экономики Российской Федерации подтверждается и структурой валовой добавленной стоимости (рисунок 10).

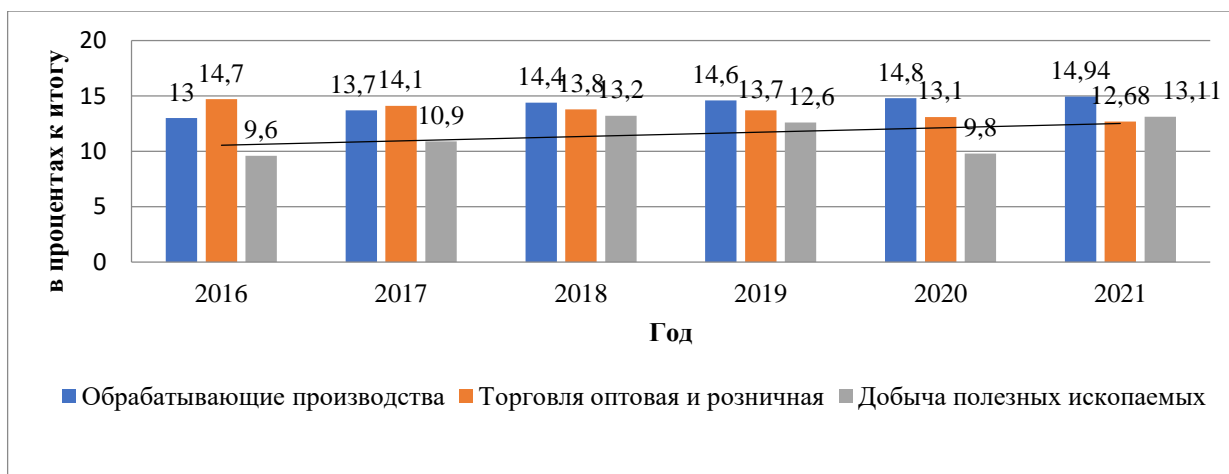


Рисунок 1.10 – Структура валовой добавленной стоимости по отраслям экономики. Источник: составлено автором на основании [110]

Как видно из рисунка 1.10 наибольший вклад в валовую добавленную стоимость (ВДС) вносят обрабатывающая промышленность и торговля, на долю сектора «добыча полезных ископаемых» в структуре ВДС приходится 13%. Спад в 2020 г. обусловлен пандемией COVID-19, но в 2021 г. горнодобывающая промышленность обеспечила 12,8% валовой добавленной

стоимости в основных ценах (11,5% ВВП в рыночных ценах) [24]. Поэтому следует отметить небольшой, но стабильный рост доли этого сектора.

В то же время экономика РФ остается еще достаточно энергоемкой. Несмотря на существующие тенденции к повышению энергоэффективности, ее уровень еще отстает от среднемировых показателей (рисунок 1.11).

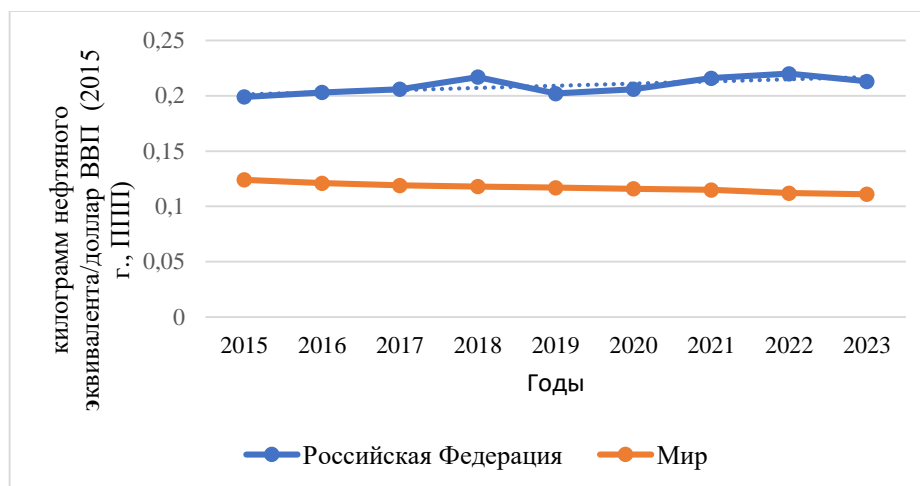


Рисунок 1.11 – Динамика энергоемкости ВВП в мире и в Российской Федерации в 2015–2023 гг.

Источник: составлено автором на основе [78]

Согласно прогнозу Министерства экономического развития РФ, в рамках правительственной программы по повышению энергоэффективности поставлена цель - снизить энергоемкость российской экономики на 35% к 2035 году за счет внедрения энергоэффективных технологий на этапах производства, передачи и потребления энергии [94].

В 2022 году общее потребление топлива и энергоресурсов в стране составило 1028 миллионов тонн условного топлива. Сектора с наибольшим потреблением первичной энергии включают «Электроэнергетику и производство тепловой энергии» (27,6%), «Обрабатывающую промышленность» (19,6%), «Население» (17,1%) и «Транспорт» (16,1%) (рисунок 1.12).

Изменение энергоемкости, вызванное технологическими факторами, является основным показателем, используемым для отслеживания реализации политики по повышению энергоэффективности. В 2021 году рост потребления энергии за счет таких факторов составил 2,8 миллиона тонн условного топлива, а энергоемкость ВВП увеличилась только на 0,3%. За последние шесть лет такой эффект был отмечен только в 2016 году. В период с 2015 по 2021 годы энергоемкость ВВП снизилась на 4,2% за счет технологических факторов (в среднем на 0,7% в год), в то время как сама энергоемкость ВВП за этот же период выросла на 3,4%. Следовательно, можно говорить об умеренном прогрессе в снижении энергоемкости.

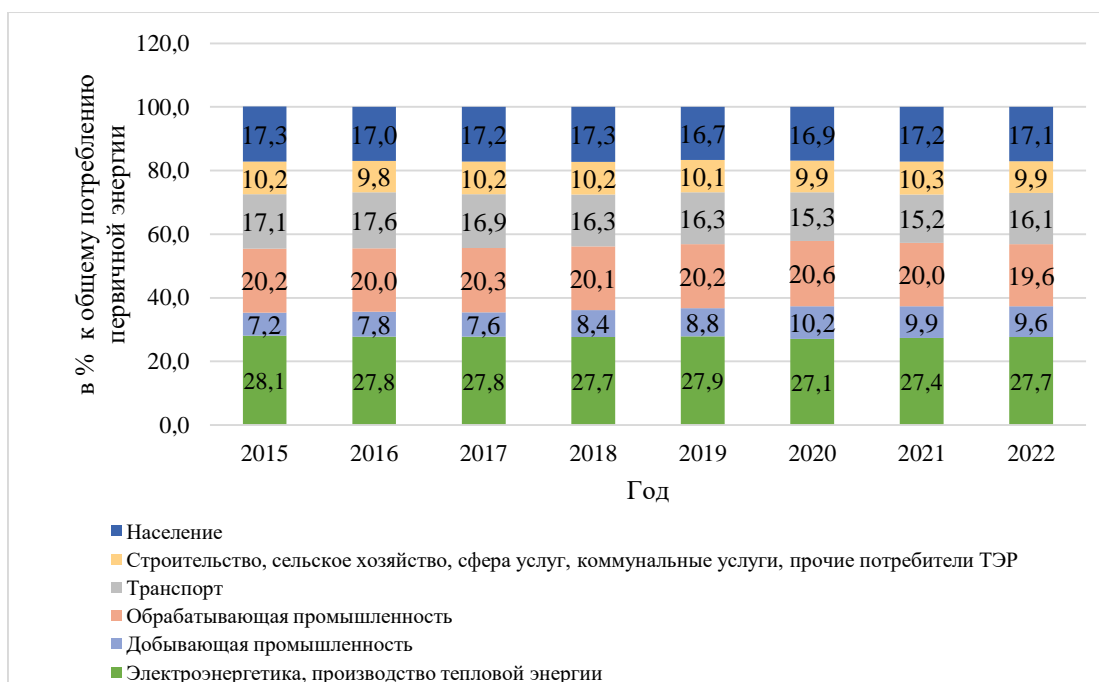


Рисунок 1.12 – Изменение структуры потребления первичной энергии. Источник: составлено автором на основании данных [26]

Высокая энергоёмкость ВВП России может быть обусловлена рядом объективных причин:

1. На большинстве территорий Российской Федерации сложились суровые природно-климатические условия, что требует значительных расходов электроэнергии на отопление и освещение. По оценкам экспертов, на территории России продолжительность отопительного периода (количество дней со среднесуточной температурой воздуха ниже 8 градусов), составляет 100-350 дней, при этом в северной части, составляющей 67% территорий государства, значение данного показателя равно 225-350 дней [8, 119].

2. Неравномерность пространственного размещения и концентрации объектов энергопотребления и энергоисточников. В настоящее время основные запасы минерально-сырьевых и топливно-энергетических ресурсов сконцентрированы в северных и северо-восточных регионах РФ (более 90% топливно-энергетических ресурсов). Основная часть железных рудников находится в европейской части страны, а предприятия по добыче цветных металлов – в восточной [44].

3. В структуре российской экономики на долю предприятий тяжелой промышленности (добывающего и перерабатывающего секторов) приходится около 30% ВВП РФ. У подобных предприятий очень высокая энергоёмкость, если сравнивать данные сферы с предприятиями сферы услуг [112].

4. Неэффективность использования энергетических и других ресурсов вследствие старения основных производственных фондов и технологий [217].

Горные предприятия, являясь значительными потребителями энергии, испытывают особое влияние факторов макросреды, формирующих основные тренды, определяющие направления повышения энергетической эффективности для всех хозяйствующих субъектов.

Для выявления этих факторов в работе применен PESTEL - анализ рассматриваются основные тенденции, сформировавшиеся под влиянием различных факторов макросреды, включающих политические, экономические, социальные, технологические, экологические и правовые.

К выявленным *политическим факторам* относятся:

1. Политика Правительства РФ (Распоряжение Правительства РФ от 9 июня 2020 г. № 1523-р «Об Энергетической стратегии РФ на период до 2035 г.» [147] сформулированная в программе развития и реализации мероприятий по снижению потребления энергоресурсов и повышению энергоэффективности в различных секторах экономики России.

2. Налоговые льготы энергоэффективным объектам [7] способствуют переходу предприятий к энергоэффективному производству.

3. Антироссийские энергетические санкции в отношении крупных энергетических компаний [97].

4. Государственная поддержка в области энергосбережения, в частности постановление Правительства РФ от 09.09.2023 N 1473 «Об утверждении комплексной государственной программы Российской Федерации «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности» [92].

5. Поддержка президентом инициативы о запрете бесплатного перехода на собственные генерирующие мощности [108]. Переход на свои генераторы приводит к росту объема выпадающих доходов и недополученной выручки для компаний, поставляющих электроэнергию, а для оставшихся потребителей — к росту тарифов.

К *экономическим факторам* следует отнести:

1. Рост цен на электроэнергию энергии (за период 2017-2022 гг. цена на электрическую энергию в среднем выросла на 28%) [5] может стимулировать компании и потребителей сокращать потребление энергии и искать способы повышения энергоэффективности, но также увеличивает риски введения новых технологий.

2. Рост ВВП России на 2,8% в 2024 году [67] вероятно приведет к увеличению спроса на энергию, так как экономическая активность возрастет. Однако, если этот рост будет сопровождаться внедрением современных технологий и повышением энергоэффективности, то это может снизить энергоемкость экономики.

3. Рост инфляции до 8,59% и высокая ключевая ставка ЦБ (16%) [45] сдерживают инвестиции в экономику, и приводит к увеличению стоимости энергоносителей и других ресурсов.

К социальным факторам можно отнести:

1. Повышение роли потребителей (населения, предприятий) в сфере энергетики [39]. На сегодняшний день потребитель является «пассивным» участником рынка электроэнергии, но может стать активным «просьюмером», имеющим конкретные цели и потребности по управлению энергопотреблением, что позитивно скажется на энергоэффективности.

2. Дефицит потенциальной рабочей силы на фоне увеличившейся потребности в высококвалифицированных работниках [19].

3. Политика повышения энергоэффективности [130] позволяет повысить имидж компании и доверие стейкхолдеров за счет повышения энергоэффективности производства.

Технологические факторы, влияющие на повышение энергоэффективности в России:

1. Устаревание технологий производства энергии [217]. Главная причина — это естественный физический износ оборудования и инфраструктуры, что приводит к потерям энергии и увеличению затрат.

2. Резкое удорожание импортных составляющих в оборудовании, что связано с санкциями [114] и с увеличением стоимости валют.

3. Появление более современных и технологий производства энергии из альтернативных источников.

4. Применение энергоэффективных строительных технологий, обеспечивающих лучшую теплоизоляцию и вентиляцию зданий и сооружений, что позволяет снизить потребление энергии и операционные затраты [30].

5. Внедрение информационных систем управления энергоэффективностью [121]. Внедрение систем управления энергопотреблением в промышленности и коммерческом секторе позволяет контролировать и оптимизировать использование энергии в реальном времени, что приводит к сокращению избыточного потребления.

6. Повышение энергоэффективности в транспортном секторе. Продвижение электромобилей, электробусов и разработка других технологий, направленных на снижение выбросов транспортных средств и повышение энергоэффективности, способствуют снижению энергозатрат в транспортном секторе.

7. Развитие распределенной энергетики, включающей в себя малые генерирующие установки и малые генерирующие комплексы, функционирующие на основе традиционных или возобновляемых источниках энергии (ВИЭ) [11, 179].

Повышение энергоэффективности также определяется позицией и отношением к экологической проблеме экономически развитых стран, политика которых обуславливает общемировые тренды (например, экологическая политика стран ЕС послужила основой для постановки целей и задач в области охраны окружающей среды и обеспечения экологической безопасности на долгосрочный период). Например, 12 декабря 2015 года на 21-й Конференции Сторон Рамочной конвенции ООН об изменении климата в Париже было принято новое международное соглашение по климату (Парижское соглашение), по условиям которого странам необходимо к 2050 г. в половину снизить глобальные выбросы по отношению к уровню 1990 г., а к концу XXI века - сократить до нуля [105]. Это сформировало тенденцию к всеобщей декарбонизации, а государственная поддержка и субсидирование возобновляемых источников энергии способствовала созданию благоприятных условий для их внедрения.

Среди правовых факторов можно выделить:

1. Действие Федерального закона «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» от 23.11.2009, устанавливающего правовую основу для разработки и внедрения мер по энергосбережению и повышению энергоэффективности в различных секторах экономики [138].

2. Наличие доступа к единому информационному, нормативно-правовому и нормативно-техническому полю энергетики, например к федеральному закону «Об электроэнергетике», что облегчает переход к более энергоэффективному производству [137].

3. Сертификация в области энергоснабжения по ГОСТу Р 58289-2018 [23].

Таким образом, при планировании повышения энергоэффективности горного предприятия важно учитывать ряд факторов, которые могут повлиять на успешность этого процесса.

В таблице 1.2 представлена группировка факторов по отношению к горному предприятию и характеру их влияния на процесс повышения энергоэффективности.

Таблица 1.2 – Влияние факторов PESTEL – анализа на энергоэффективность горных предприятий. Источник: составлено автором

Внешние факторы (факторы макросреды)		
Фактор	Характер влияния	
	Положительное	Отрицательное
Рост цен на энергоносители	Стимулирование перехода к альтернативным источникам энергии	Рост затрат на энергоресурсы
Государственное регулирование и стандарты	Стимулирование разработки энергоэффективных мер	Рост вынужденных инвестиций

Продолжение таблицы 1.2

Технологический прогресс	Стимулирование внедрения инновационных технологий	Рост инвестиционных расходов
Ухудшение геополитической обстановки	Стимулирование отечественных разработок	Ограничение доступа к новейшим энергоэффективным технологиям
Природно-климатические условия	Возможность использования ВИЭ	Рост энергозатрат в сложных условиях
Структура энергетического рынка	Возможность диверсификации источников и повышения гибкости	Зависимость от цен на электроэнергию
Тарифная политика и ценовая зона	Снижение операционных расходов предприятия	Увеличение затрат на энергию
Внутренние факторы (факторы бизнес-среды)		
Энергетическая инфраструктура	Модернизация инфраструктуры и оборудования с применением энергосберегающих технологий	Дополнительные энергетические потери вследствие устаревания оборудования
Наличие источников инвестиции	Возможность реализации проектов повышения энергоэффективности	Уменьшение возможностей внедрения энергоэффективных технологий
Возможность контроля над потреблением	Устранение потерь энергии и сокращение энергопотребления	Ошибки при оценке необходимого энергопотребления и избыточные расходы
Способ отработки (подземный или открытый)	Диверсификация источников энергии	Дополнительные энергозатраты для обеспечения безопасности ведения горных работ
Производственная структура	Возможность повышения энергоэффективности в инфраструктуре, зданиях, транспорте и т.д.	Сложная структура требует большего контроля над энергопотреблением
Организационный фактор (энергетический менеджмент и энергоаудит)	Сокращение энергетической составляющей в общей структуре затрат предприятия	Возможные изменения в производственных процессах, требующих адаптации
Региональные и местные факторы	Налоговые льготы и субсидии от местных властей могут снизить затраты на энергоэффективные меры	Региональные законы и ужесточение нормативов ведет к росту инвестиционных затрат

Кроме того, в процессе исследования, для выявления статистической взаимосвязи между показателем энергоемкости ВВП и различными факторами, с применением инструментария R-project, была построена модель множественной регрессии, позволяющая анализировать влияние выявленных факторов (потери энергии, доля энергии, производимой за счет углеродосодержащих источников, объемы выбросов CO₂, численность населения, объем ВВП и объемы первичной используемой энергии) на показатель энергоемкости на национальном уровне для экономически развитых и развивающихся стран (21 страна), с наибольшей объемом

производства электроэнергии. В результате анализа полученных результатов установлено, что наибольший вклад в энергоёмкость национальных экономик вносят экстенсивные факторы: использование первичной энергии, объёмы выбросов CO₂, объёмы ВВП, а также потери и структура производимой энергии [192]. Полученные результаты представлены в Приложении Б.

1.3 Основные направления повышения энергоэффективности горных предприятий с учетом анализа лучших практик

В современных условиях все больше предприятий осознают необходимость внедрения энергосберегающих технологий и сокращения потерь энергоресурсов для достижения устойчивого развития и снижения негативного воздействия на окружающую среду. Лучшие практики в этой области включают широкий спектр инновационных решений, которые позволяют предприятиям эффективно использовать энергию, сокращать потери и диверсифицировать источники энергоресурсов.

В работах [142] и [106] подробно рассмотрены способы и средства роста эффективности использования энергии на действующих горных предприятиях. При этом отсутствуют конкретные предложения, касающиеся оценки экономической выгоды от возможного применения представленных методов.

В исследовании [46] предлагаются инженерные решения, позволяющие снизить уровень высших гармоник, что также может касаться использования полупроводниковых преобразователей с присутствующим активным выпрямителем, позволяющих уменьшить потери энергии.

В статье [123] представлен перспективный метод увеличения эффективности использования энергии в горной промышленности путем использования нестандартных источников возобновляемой энергии и комбинированных устройств для хранения энергии.

В работе [139] достаточно подробно выполнен анализ возможностей использования частотно регулируемых электроприводов в разных сферах экономики. При этом подчёркивается важность степени энергоэффективности и энергосбережения в случае перехода к возможному инновационному обеспечению действующего производства необходимой энергией.

Повышение энергоэффективности в горной промышленности обеспечивается проектами по широкому спектру направлений: улавливание отработанного тепла, распределённая генерация [207], управление спросом на электроэнергию [98], получение энергии из побочных продуктов и др. [185].

По данным SchneiderElectric [213] в процессе производимой добычи угля и металлических руд потенциал снижения энергопотребления может достигать 17% и 21%. В случае добычи железной руды открытым способом потенциал снижения энергоёмкости может составлять 40%.

Потенциал роста энергоэффективности в современной горнодобывающей промышленности в оценивается в размере 10% от осуществляемого общего потребления [175].

Как отмечают некоторые зарубежные авторы, большим потенциалом обладают проекты включения возобновляемых и нетрадиционных источников энергии в энергобаланс горных предприятий, удаленных от централизованных источников, например, внедрение гибридных энергетических систем [155, 195].

Другим актуальным направлением повышения энергоэффективности на горных предприятиях является внедрение систем хранения энергии [152, 167, 190], позволяющих смягчить непостоянство выработки электроэнергии из возобновляемых источников [216], а также обеспечить гибкость энергетической системы.

Высокой эффективностью могут обладать проекты, основанные на цифровых технологиях [170, 182, 207]. Например, применение искусственной нейронной сети для прогнозирования расхода топлива самосвалами на открытых горных работах позволяет снизить потребление топлива, что в свою очередь влияет на общую энергоемкость компании [211].

В работах [182, 207] предлагается использование интеллектуальных счетчиков для мониторинга и контроля использования энергии, что в свою очередь отвечает стандартам энергетического менеджмента ISO 50001.

Некоторые горнодобывающие предприятия используют тепло от генераторов для поддержания тепла в зданиях [185].

Канадские горнодобывающие компании внедряют автоматизированную систему ventilation on demand (VOD) для подземных работ, позволяющую снизить общее потребление энергии [61].

В работе [155] изложены результаты исследования, обосновывающие взаимосвязь между навыками и практикой операторов на погрузочно-разгрузочных работах и энергоэффективностью, что повышает значение образовательных программ.

В меднодобывающей промышленности Чили для решения водных и энергетических проблем установлено, что использование морской воды и возобновляемых источников энергии являются доминирующими инициативами, реализуемыми компаниями [184, 196].

Одним из направлений повышения энергоэффективности является повышение надежности горного оборудования предприятия [188]. В качестве примера можно привести оптимизацию процесса технического обслуживания для снижения поломок и простоев оборудования на медном руднике Сунгун [191].

В исследовании [176] представлены результаты оценки экономического эффекта, полученного от повышения производительности технологического оборудования горно-

обогачительного комбината в результате внедрения расчетных научно обоснованных норм энергопотребления и оптимизации режима загрузки технологического оборудования.

В статье [68] рассмотрены основные механические воздействия внешнего характера, с помощью которых определяются возможные дефекты в электроприводе используемого самосвала. Авторы дают практические рекомендации по росту надёжности функционирования отдельных расположенных узлов электропривода. Авторские рекомендации позволяют снизить затраты энергии на добычу и последующую транспортировку полезного ископаемого.

Исследования процесса плавки алюмосиликатного сырья (В.Ю.Бажин и др.) [87] направлены на создание алгоритма управления технологическим процессом, позволяющего повысить энергоэффективность установок.

В статье [193] также подробно рассмотрена кибернетическая модель управления существующим спросом на необходимую электроэнергию, причём в качестве примера используется главная вентиляторная установка. Для реализации модели используется платформа Интернета вещей, что способствует своевременному определению затрат на электроэнергию при работе вышеуказанной установки.

Российские горные компании также реализуют проекты различного масштаба, связанные с повышением энергоэффективности.

В контексте существующих трендов на декарбонизацию компании исследуют и внедряют меры по повышению энергоэффективности для повышения операционной эффективности [86]. В некоторых случаях существуют дополнительные синергетические выгоды, возникающие в результате реализации проектов по энергоэффективности, сверх стандартной экономии затрат на энергию [205].

Например, в шахтных инженерных системах, включая системы охлаждения, рециркуляции воды, системы сжатого воздуха и вентиляции, было реализовано множество вариантов управления энергопотреблением [185]. Некоторые варианты предусматривают повышение интенсивности использования оборудования, для контроля профиля нагрузки и оптимизации этого процесса [214]. Другие варианты предусматривают замену старого, неэффективного оборудования новым, для повышения энергоэффективности технологических процессов [180]. К сожалению, во многих случаях экономический эффект от полученного комплекса технологических, экологических, организационных и др. результатов проектов, не определялся.

Зарубежные страны обладают обширным опытом в области увеличения энергоэффективности и этот опыт охватывает разнообразные приоритетные области и

направления деятельности. Анализ практик зарубежного опыта представлен в Приложении В, таблица В.1.

Анализ лучших практик в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности в России позволяет использовать отечественный опыт, извлекать экономическую пользу и ускорять развитие энергосберегающих технологий для более эффективного использования ресурсов и снижения негативного воздействия на окружающую среду. Данный анализ представлен в таблице Приложении В, таблица В.2 .

Анализ специфики горного предприятия, факторов и условий повышения энергетической эффективности, отечественного и зарубежного опыта внедрения проектов на горных предприятиях позволил выделить следующие основные направления повышения энергоэффективности на горных предприятиях (рисунок 1.13):

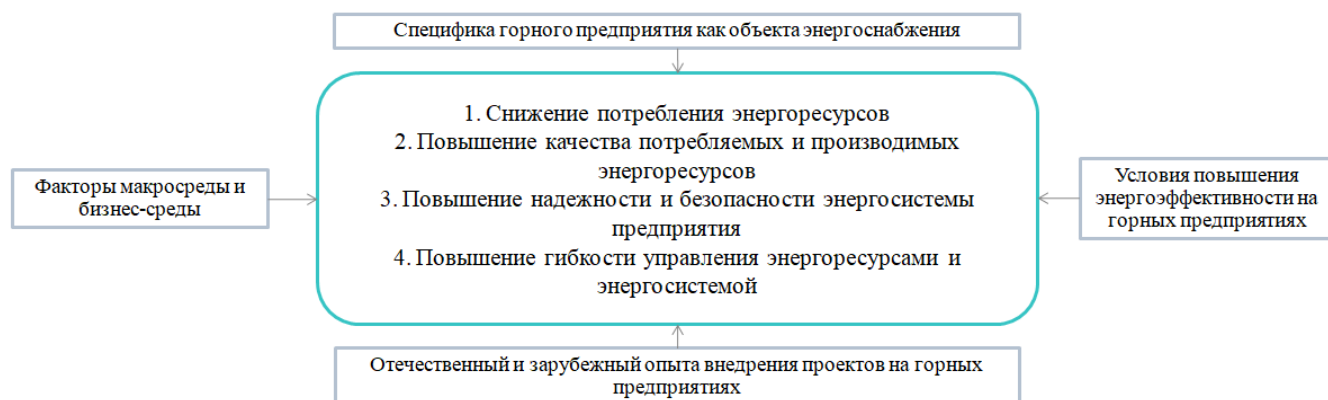


Рисунок 1.13 – Основные направления повышения энергоэффективности на горных предприятиях. Источник: составлено автором

1. Снижение потребления энергоресурсов:

а) экстенсивное энергосбережение - количественное уменьшение потребления энергии без значительного технологического обновления;

б) интенсивное энергосбережение - модернизация технологий, обновление оборудования и повышение эффективности существующих процессов.

2. Повышение качества используемых энергоресурсов:

а) улучшение качества источника энергии (первичные энергоресурсы)

б) повышение эффективности преобразования энергии (вторичные энергоресурсы)

3. Повышение надежности и безопасности энергосистемы предприятия: модернизация и замена устаревших систем и сетей; обновление и ремонт инфраструктуры для снижения риска аварий и поломок, обеспечение бесперебойного энергоснабжения.

4. Повышение гибкости управления энергоресурсами и энергосистемой: внедрение систем умного управления зданиями (BMS) и энергетического мониторинга; участие в программах управления спросом и внедрение технологий, позволяющих быстро переключаться

между различными источниками энергии и масштабировать энергопотребление в зависимости от текущего спроса и условий рынка.

1.4 Выводы по главе 1

1. Выявлены специфические особенности (признаки) горных предприятий: сложность и непрерывность производственного процесса, высокий уровень механизации, особые условия труда (природно-климатические и горно-геологические), содержание объектов социальной инфраструктуры, сложность системы энергоснабжения, высокие энергозатраты на обеспечение производственных процессов, которые проявляются в повышенных требованиях к непрерывности энергоснабжения предприятий, обеспечению безопасных условий труда (недопущение перерывов в энергоснабжении систем вентиляции, водоотлива, освещения и пр.), в необходимости создания надежных систем энергоснабжения для непрерывного обеспечения энергоресурсами производственной и социальной инфраструктуры, использования более доступных источников ввиду высокой энергоемкости производственных процессов и операций.

2. Установлено, что повышение энергоэффективности горных предприятий может быть осуществимо или ограничено проявлением внешних и внутренних факторов: внешние - рост цен на энергоносители, государственное регулирование и стандарты, технологический прогресс, ухудшение геополитической обстановки, природно-климатические условия, структура энергетического рынка, тарифная политика и ценовая зона; внутренние - энергетическая инфраструктура, инвестиции и финансы, возможность контроля над потреблением, способ отработки (подземный или открытый), производственная структура, организационный фактор (энергетический менеджмент и энергоаудит), региональные и местные факторы.

Отечественный и зарубежный опыт свидетельствует об успешной реализации разномасштабных проектов в горной промышленности. При этом основные направления, в большей степени, связаны с повышением надежности и безопасности энергетических систем предприятий.

3. На основе выявленной специфики горных предприятий, анализа условий и факторов их энергоэффективности определены основные направления повышения энергоэффективности на горных предприятиях: снижение потребления энергоресурсов, повышение качества энергоресурсов, повышение надежности и безопасности энергосистемы предприятия, повышение гибкости управления энергоресурсами и энергосистемой.

ГЛАВА 2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

2.1 Формирование и развитие концепций энергоэффективности

В формировании концепции энергоэффективности можно выделить несколько этапов, в период с середины XX века по настоящее время.

Наиболее значимые меры по оптимизации энергопотребления были предприняты в XX веке (хотя еще в эпоху Античности начались первые шаги в этом направлении, когда энергия ветра и воды использовалась вместо физического труда.), и связаны были с необходимостью экономии ресурсов в ходе восстановления экономики разных стран после Второй Мировой войны.

Первый кризис в энергетике в 1973 году оказал значительное влияние на энергоснабжение и повышение энергоэффективности. В тот период страны ОПЕК приняли решение о нефтяном эмбарго, в результате которого выросли цены на нефть и производимые нефтепродукты. Это повлияло на страны с развитой промышленностью, отличающиеся значительными объемами потребления энергетических ресурсов. В первую очередь к ним относятся США, а затем страны Азии и Европы [52].

Нефтяной кризис способствовал пересмотру приоритетов в развитии энергетике многих стран и установил тренд на уменьшение использования углеводородного топлива. Применение данных мер для экономии энергии в развитых странах обусловило снижение энергоемкости валового национального продукта, в среднем на 15% [131].

На этом рассматриваемом этапе возможно выделение следующих направлений повышения энергоэффективности экономики с помощью примеров опыта некоторых экономически развитых стран [131]:

1. Внедрение государственного регулирования потребления энергии и разработка политики эффективного энергосбережения на примере Франции и Японии.

2. Изменение рассматриваемой структуры энергетического баланса, при котором отмечается рост доли угля и природного газа, в основном используемого в Японии, Франции и США.

3. Процесс развития ядерной энергетике, рассмотрение возможности получения энергии из нетрадиционных источников. Примером в этом случае становятся Франция и Япония.

4. Появление законодательства, эффективно регулирующего сферу энергоснабжения и повышения энергоэффективности.

В 1976 году в ФРГ была проведена разработка закона, затронувшего сферу энергоснабжения. Именно в этой стране потенциал для энергосбережения является тесно связанным с потребляемыми тепловыми энергоресурсами, что стало основой для разработки соответствующего закона. Практически к трети потребляемой энергии здесь относится отопление и обеспечение жителей горячим водоснабжением. С помощью принятого закона стало возможно регулирование наиболее важных направлений сферы энергосбережения [149]:

1. Улучшение важнейших энергосберегающих характеристик используемых отопительных систем.
2. Использование качественной теплоизоляции зданий в целях значительного сокращения теплопотерь.
3. Работа с новыми методами расчёта оплаты за отопление, что становится стимулом для эффективного использования тепла.

В 1978 году на территории Дании был представлен первый долгосрочный план, коснувшийся сферы энергетики. В 1979 году начали предоставляться субсидии на энергосбережение [131].

Из вышесказанного становится понятно то, что главный фактор для развития энергоснабжения в XX веке заключался в снижении затрат на энергоресурсы при растущих ценах на энергоносители.

В отличие от экономически развитых стран, экономика СССР не была затронута мировым энергетическим кризисом 1973 года. В виду преимущества – наличия богатых нефтяных месторождений, страна даже укрепила свои позиции на международном нефтяном рынке. Кризис способствовал увеличению экспорта нефти из Советского Союза, и нефть стала основным экспортным товаром страны [150].

Единственными конкретными мерами, предпринятыми в области энергосбережения, было принятие директив, нацеленных на наиболее энергоёмкие отрасли. Однако выполнение директивных планов составляло лишь 60–70% от запланированных показателей из-за отсутствия государственных стимулов для сокращения потребления энергии [103]. Разработанный план по снижению энергоёмкости не выполнялся из-за следующих существующих ограничений:

1. Небольшие финансовые затраты на энергию в общей рассматриваемой стоимости предлагаемой продукции. При этом отсутствовала экономическая мотивация для непосредственных сотрудников в сфере энергосбережения.
2. Недостаточная мотивация сотрудников на достижение положительных результатов в области сокращения энергопотребления.
3. Ограниченный контроль и учёт потребления энергоресурсов.

В научной литературе отмечается, что основной причиной неэффективного использования энергоресурсов явилась государственная политика в области цен на топливно-энергетические ресурсы [56].

В СССР была применена практика искусственного занижения цен на топливно-энергетические ресурсы на протяжении длительного времени, хотя реальные издержки на производство энергии и топлива значительно превышали установленные цены. Например, цены на уголь были занижены в 2,5-3 раза, а цены на нефтепродукты и газ занижались в 2-2,5 раза. [52]

В результате воздействия данных факторов энергоёмкость российской экономики этого периода превышала показатели развитых стран в два-три раза [141].

Международный опыт подтверждает влияние динамики цен на достижения в области энергосбережения. Именно изменение цен позволило США сэкономить приблизительно 70% энергоресурсов.

В Японии, Швейцарии и других странах развитие энергосберегающей политики произошло в 1980 годах из-за отказа государства регулировать цены на энергоресурсы и решении использовать для этого разные рыночные механизмы [113].

В период с 1982 по 1986 годы на территории Дании, Бельгии и Франции применяются новые тарифные системы, что привело к серьёзному снижению потребительской нагрузки в определённые пиковые периоды. Эффект усиливался из-за широкой дифференциации представленных тарифов. Например, при зимнем пике тарифы возрастают в 20 раз, а летом опускаются ниже среднегодовых уровней [6].

Возрастание роли экологии в энергосбережении стало особенно заметным в последние десятилетия, что нашло отражение в международных соглашениях и национальных политиках. Одним из ключевых событий в этом контексте стало подписание Киотского протокола 11 декабря 1997 года, который вступил в силу 16 февраля 2005 года. Заключенный международный договор стал обязательством для индустриально развитых стран выполнить значительное сокращение выбросов парниковых газов. Это был стимул для начала разработки и внедрения новейших энергосберегающих технологий. Эффективной глобальной борьбе с изменением климата способствовали:

- сфокусированность на экологии;
- стимулирование использования инноваций в сфере возобновляемых энергетических источников;
- рост энергоэффективности;
- тренд к снижению углеродного следа.

В период «перестройки», в 80-90-х годов в СССР энергосбережение стало основным направлением для повышения энергоэффективности, что отчасти связано с ориентацией на западные модели развития экономики. Этот процесс включал комплекс мер, направленных на более рациональное использование ресурсов. Особенно важным стало решение, принятое в 1986 году. В результате него ресурсосбережение должно было стать основой важнейшего социального и экономического развития страны, что позволяло бы удовлетворять растущие потребности народного хозяйства [71].

Цель данного решения заключалась в обеспечении 80% роста существующих потребностей в топливно-энергетических и других ресурсах с помощью экономии [71].

Достижение этой цели предусматривалось за счет рационального использования ресурсов, сокращения потерь, вовлечения в оборот вторичных ресурсов и образующиеся побочных продуктов.

При рассмотрении результатов проведенных мероприятий по ресурсосбережению учитывалась только физическая экономия разных ресурсов, но не принимались во внимание новейшие технологии, которые увеличивали эффективность самого процесса.

Это приводило только к поверхностному рассмотрению политики снабжения потребителей необходимыми ресурсами, причём какие-либо серьёзные улучшения в сфере энергоэффективности отсутствовали [131].

Политика энергоснабжения, на момент распада СССР, привела экономику страны к отставанию (по показателям энергоёмкости) от развитых стран более чем на 20 лет [52].

Проводимые экономические реформы при падении уровня производства товаров и жизни населения не смогли решить проблемы и только вызвали рост энергоёмкости. Основными причинами такой ситуации стали:

1. Растущее количество неплатежей из-за увеличения цен на разные виды энергоносителей, что привело к возникновению массовых задолженностей.
2. Снижение загрузки производства и уменьшение эффективности использования энергоресурсов действующими предприятиями и потребителями.
3. Отсутствие необходимого количества финансов, позволяющих успешно реализовать мероприятия по энергосбережению и заменить оборудование, которое использовалось в течение многих десятилетий [58].

В рассматриваемый период с 1993 по 1997 годы государством предпринимались неоднократные попытки создать условия для реализации политики энергоснабжения. К таким действиям относились:

1. Работа с целевой программой «Топливо и энергия» в 1993 году и появление в ней специальной подпрограммы, получившей название «Энергосбережение» [90].

2. Принятие в 1995 году специального постановления «О принятии неотложных мер по энергосбережению». Результатом стало оснащение многочисленных потребителей и действующих предприятий новейшими устройствами контроля и учёта потребляемых энергетических ресурсов[91].

3. Открытие региональных центров энергоэффективности и фондов энергосбережения, что позволяет проводить мероприятия в этой сфере на местных уровнях [131].

4. Пересмотр и последующий выпуск совершенно новых государственных стандартов и строительных норм и правил, учитывающих использование разных видов энергетических ресурсов [115].

В 1996 году ФЗ № 28-ФЗ «Об энергосбережении» привёл к началу нового этапа развития энергосбережения на территории России. В этом документе были определены основные направления политики государства в этой сфере. В законе присутствовал ряд важнейших ключевых понятий. Например, используемое понятие «энергосбережение» позволяет определить разные нормы, с помощью которых контролируется использование энергоресурсов и возобновляемых источников энергии. К ним относятся солнце и вода, ветер, тепло поверхности Земли и т.д. [138].

При рассмотрении представленного закона «Об энергосбережении» произошло определение важнейших действий государственной политики в сфере энергосбережения:

1. Контроль со стороны государства за использование разных видов энергетических ресурсов.

2. Сертификация оборудования, с помощью которого происходит потребление энергии и топлива.

Реализация разработанного ФЗ «Об энергосбережении» стала возможной благодаря появлению пакета разных нормативно-правовых актов. К примеру, среди них присутствует федеральная программа от 1998 года, которая называется «Энергосбережение России» и являлась действующей до окончания 2005 года. В соответствии с ней определяются разные цели энергосбережения [72]:

- стимулирование развития конкуренции на рассматриваемом рынке топлива и энергии;
- создание условий, в которых должна развиваться конкурентная среда;
- повышение экономического интереса непосредственных субъектов хозяйственной деятельности в сферу энергосбережения;
- поддержка независимых производителей разных видов энергетических ресурсов;
- стимулирование многочисленных потребителей энергоресурсов в социальной сфере.

В начале 1990-х годов благодаря нормативно-правовым основам началось постепенное долгосрочное развитие политики энергосбережения. Препятствием стал недостаток

финансирования разработанных энергосберегающих мероприятий, причём это не позволило реализовать многие проекты.

С начала 2000-х годов энергоэффективность стала важным элементом концепции «устойчивого развития», которая получила широкое признание после публикации доклада «Наше общее будущее» Мировой комиссией по окружающей среде и развитию в 1987 году. В рамках этой концепции предполагается, что современное общество должно развиваться, учитывая интересы будущих поколений [72].

В дальнейшем на действующих предприятиях серьёзное внимание уделялось разным техническим и управленческим методам повышения энергетической эффективности, совместно образующим систему энергетического менеджмента - разработанного комплекса мероприятий, повышающего эффективность производства и рационального использования разных видов энергоресурсов [6].

В 2011 году действующая Международная организация по стандартизации выпустила на основе используемых стандартов ISO 9000 серию стандартов ISO 50001:2011 «Системы энергетического менеджмента. Требования и руководство по применению». Представленные стандарты являются тесно связанными с действующими стандартами рассматриваемого экологического менеджмента ISO 14000.

В рассматриваемых стандартах энергетического менеджмента присутствуют основные требования к действующим организациям [14]:

- проведение разработки и принятие политики для значительного повышения энергоэффективности;
- определение конкретных целей и поставленных задач с принятием во внимание интересов существующей политики;
- проведение анализа результатов от мероприятий, напрямую касающихся повышения эффективности использования энергоресурсов;
- непрерывный процесс улучшения энергетического менеджмента.

Тестирование представленных разработанных стандартов позволило получить положительные результаты. В середине 2011 года директор службы глобальной энергетики Кен Хэмилтон представил доклад о результатах тестирования стандартов компанией Dow Chemicals, которые показали сокращение энергопотребления компанией на 17,2%. [14].

С 2003 по 2006 годы в Российской Федерации происходила реформа в сфере электроэнергетики, которая предусматривала:

- разделение на естественные монополии в сфере передачи электроэнергии и оперативного управления;

— разделение на конкурентные отрасли, к примеру, генерация, сбыт, сервис и проведение ремонта [135].

Происходящий переход от государственного регулирования цен на используемые энергоресурсы к созданию эффективного рыночного механизма стал инструментом для повышения энергоэффективности экономики.

В результате проведенных реформ в энергетической отрасли, кроме установления рыночных отношений, произошло привлечение частных и иностранных инвестиций, что создало возможности для компаний осуществлять проекты по энергосбережению и повышению энергетической эффективности собственными силами.

В 2009 году был принят новый Федеральный Закон № 261-ФЗ «Об энергосбережении и повышении энергетической эффективности», который отличается от предыдущего закона, принятого в 1996 году. В новом законе, помимо понятия энергосбережения, вводится также понятие энергетической эффективности, которая определяется как соотношение полезного эффекта к объему энергетических ресурсов, затраченных на его достижение [138].

Начиная с введения законов, направленных на повышение энергоэффективности, Россия сделала значительные шаги в направлении развития гибкой энергосистемы, способной эффективно адаптироваться к изменяющимся условиям и потребностям: увеличению доли возобновляемых источников энергии, развитию энергосберегающих технологий, улучшению энергетической инфраструктуры и внедрению инновационных решений.

Важным этапом реализации политики энергосбережения стало принятие в 2009 году Энергетической стратегии РФ до 2030 года [73]. Однако в процессе реализации задач, определенных энергетической стратегией, был выявлен ряд проблем в достижении целевых показателей. К наиболее существенным проблемам отнесены: сокращение потенциала структурного перераспределения (снижения количества потребляемой энергии относительно имеющегося полезного эффекта); дефицит инвестиций в энергосберегающие технологии; низкая мотивация потребителей к повышению энергоэффективности [74].

В качестве причин этих проблем можно выделить:

1. Существенное отставание развития электроэнергетики от темпов экономического роста, положенных в основу Энергетической стратегии на основании Концепции долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2020 года [125].

2. Первая причина также обусловила вторую: вместо возможного дефицита генерирующих мощностей, электроэнергетическая отрасль столкнулась с проблемой избытка мощностей и необходимостью разработки механизмов по выведению неэффективной генерации с рынка электроэнергии и мощности.

3. Введение в период 2014–2018 гг. против России целого ряда пакетов ограничений («санкций») выявило проблему преобладания импорта в потреблении российской энергетикой технологий, оборудования, комплектующих, материалов и программного обеспечения [33].

Одним из важных этапов развития концепции энергоэффективности в РФ является принятие в 2009 «Климатической доктрины РФ» (обновлена в 2023 г.) - важного стратегического документа, определяющего основные направления государственной политики Российской Федерации в области адаптации к изменениям климата и смягчения их последствий. В новой редакции доктрины поставлена цель - достичь углеродной нейтральности к 2060 году.

Принятая в 2020 году Энергетическая стратегия РФ до 2035 определила новый вектор в повышении энергетической эффективности, предполагающий, в том числе, применение рыночных механизмов [147].

Подготовленная Энергетическая стратегия России до 2035 года содержит стратегические направления развития важнейшего энергетического сектора нашей страны: диверсификация источников энергии, более широкое применение ВИЭ, повышение энергетической эффективности, обновление энергетической инфраструктуры и обеспечение необходимой энергетической безопасности.

Энергетической стратегией Российской Федерации на период до 2035 года, утвержденной распоряжением Правительства Российской Федерации от 09.06.2020 № 1523-р, в комплекс ключевых мер, обеспечивающих решение задачи электроэнергетики, включено внедрение механизма управления спросом (DSR) на электроэнергию [41].

В перечень мер, направленных на развитие рыночных механизмов и усиление роли потребителей на рынках электрической энергии (мощности) и системных услуг, включена также - разработка рыночных механизмов, стимулирующих потребителей к активному участию в формировании розничного рынка электрической энергии (управление спросом посредством участия в регулировании графика нагрузки), с применением, в том числе технологии хранения и аккумулирования электрической энергии [157, 158] и ее воспроизводства.

Неравномерная нагрузка вызывает проблемы избыточного капиталоемкого строительства пиковых электростанций и электрических сетей, нагрузку на противоаварийное управление энергосистемой и их физический износ. Целью управления спросом на электроэнергию является выравнивание ежедневного потребления электроэнергии путем переноса потребления электроэнергии с пиковых часов работы электроэнергетических систем на другое время или стимулирование спроса в провалах графика энергосистемы. Управление спросом снижает цены на электроэнергию на оптовом рынке, что в свою очередь приводит к снижению цен на розничном рынке, а в долгосрочной перспективе позволяет избежать строительства новых

электростанций и сетей для покрытия пиковых нагрузок. Таким образом снижаются показатели физического износа и затраты на поддержание эффективной работы энергосистем.

Идея, что «сторона спроса» играет активную роль в управлении и обслуживании энергосистем, все более принимается во внимание при разработке политики в области энергетики в зарубежных странах, а управление спросом на энергию рассматривается как способ удовлетворения потребностей в улучшении системного управления, повышения энергетической безопасности и надежности энергосистемы, сокращения расходов на энергетическую инфраструктуру, снижения цен на энергоресурсы и воздействия на окружающую среду [159, 164].

В ряде зарубежных официальных [160, 168] и научных источников [153], управление спросом связывают, прежде всего, с финансовым стимулированием, позволяющим вызвать «реакцию спроса» в виде изменения (снижения) потребления электроэнергии конечным потребителем в часы пиковой нагрузки, в результате чего происходит ее более рациональное распределение. Торрити и др. [219] определяют DSR как широкий спектр действий потребителя электроэнергии в ответ на определенные условия в системе электроснабжения (такие как перегрузка сети в период пиковой нагрузки или высокие цены). Р. Лутандер и др. [199] уточняют, что эти действия потребителя являются откликами на поступающий из сети «сигнал».

При этом, под «действиями потребителя» понимаются различные возможные применяемые потребителями меры, начиная от изменения привычек (для бытовых пользователей) и заканчивая инвестициями в автоматизированные «умные технологии», а под «сигналом» - любая форма оповещения потребителя о необходимости снижения потребления электроэнергии.

Такой подход направлен на повышение активности и осведомленности потребителей, а также – на формирование профессиональных потребителей («просьюмеров») [197, 215, 221], способствующих позитивным изменениям именно в структуре потребления электроэнергии и соответствует задачам экономного потребления (при дефиците собственных энергоресурсов), характерных для большинства западных стран.

Как показывают результаты различных научных исследований, для условий России основная проблема, которая может быть решена с помощью DSR – это управление нагрузкой, а управление спросом рассматривается многими исследователями в контексте определения Гительмана Л.Д. и др. как «инициативная форма экономического взаимодействия энергоснабжающих организаций с потребителями, обеспечивающая взаимовыгодное регулирование объемов и режимов электропотребления» [17, с. 84], также позволяющая достигать гибкости энергосистемы посредством рационального распределения электроэнергии

и выравнивания нагрузки. Такой механизм также предусматривает взаимодействие энергоснабжающей компании и потребителей на добровольных и взаимовыгодных условиях [18].

Доказано, что эффект от применения механизма управления спросом может достигать нескольких десятков миллиардов рублей ежегодно, что ощутимо скажется на снижении тарифов для всех категорий потребителей в масштабах экономики страны [31].

На практике управление спросом в режиме реального времени и с высокой степенью детализации является сложной задачей, которую необходимо автоматизировать, чтобы сделать ее доступной для потребителей. Такому процессу способствует цифровая трансформация, предусматривающая систему экономических и социальных отношений, основанных на использовании цифровых технологий, качественно преобразующих экономику и энергетические рынки [186]. В последние годы с появлением цифровых интервальных счётчиков электроэнергии, развитием телекоммуникаций и «интеллектуальных сетей» («smart grid») появилась возможность повышения эластичности потребления путём целенаправленного воздействия на оборудование потребителя, когда это необходимо. Однако некоторые технологии, например хранение энергии, недостаточно развиты или имеют ограничения для внедрения [158].

В Российской Федерации с 2019 г. реализуется пилотный проект по управлению спросом розничных потребителей. Целью реализации пилотного проекта является отработка технологии управления спросом для последующей ее доработки и запуска целевой модели с учетом исправления выявленных на этапе пилотирования проблем и недоработок. [41]

Несмотря на то, что энергосбережение и управление спросом направлены на решение общей проблемы повышения энергоэффективности, как концепции, они опираются на разные принципы, имеют разные области применения и целевые задачи.

В таблице 2.1 представлено сравнение традиционного энергосбережения и механизма управления спросом как научных подходов к повышению энергоэффективности. В качестве основных признаков сравнения выбраны: основной принцип, объект и предмет управления, целевая задача, способы ее достижения и результаты применения, ограничения.

Традиционное энергосбережение (рациональное использование) и механизм управления спросом (как перспективный способ рационального потребления энергоресурсов) являются важными направлениями повышения энергоэффективности предприятий.

Таблица 2.1 – Сравнение подходов к повышению энергоэффективности: энергосбережения и управления спросом. Источник: составлено автором

Признак сравнения	Энергосбережение	Управление спросом
Основной принцип	Рациональное использование (ресурсосбережение)	Рациональное потребление и перераспределение энергоресурсов
Целевая задача	Снижение объемов потребления энергоресурсов без ухудшения результирующих показателей развития	Повышение устойчивости и гибкости энергосистемы
Объекты	Объемы потребляемых энергоресурсов	Регулируемая нагрузка
Область применения	Различные сектора экономики	Рынки электроэнергии
Основные участники процесса	Хозяйствующие субъекты (производители энергоресурсов), государственные, региональные и муниципальные структуры управления	Участники оптового и розничного рынка электроэнергии и мощности, включая конечных потребителей
Предмет	Экономические отношения, возникающие в процессе производства и потребления энергоресурсов	Экономические отношения, возникающие в процессе распределения и перераспределения нагрузки
Основные способы достижения целевой задачи	Внедрение энергосберегающих технологий и мероприятий технологического энергосбережения. Использование альтернативных (возобновляемых) источников энергии	Внедрение рыночных механизмов управления нагрузкой потребителем
Решаемые проблемы	Экономия объемов потребления энергоресурсов, замещение традиционных источников возобновляемыми	Снижение физического износа объектов энергосистемы Экономия мощностей Возможность устранения перекрестного финансирования Снижение тарифов Экономия инвестиций в строительство пиковых электростанций
Проблемы достижения целевой задачи (ограничения в применении)	Зависимость энергетики РФ от природного топлива Проблемы перекрестного финансирования Технологические ограничения	Специфика рынка электроэнергии и мощности Недостаточно развитая технология аккумулирования энергии Оппортунистическое поведение потребителей

Следует отметить, что механизм управления спросом также позволяет обеспечить условие гибкости потребления энергоресурсов.

Рациональное использование энергоресурсов предполагает повышение эффективности использования всех видов энергии, в том числе тепловой, электрической, топливной и т. д. Это достигается за счет внедрения энергосберегающих технологий, модернизации оборудования, оптимизации технологических процессов и т. д.

В таблице 2.2 обобщены основные этапы развития концепции энергосбережения и энергоэффективности.

Таблица 2.2 – Этапы развития концепции энергоэффективности. Источник: составлено автором

Период	Характеристика этапа и факторы, влияющие на развитие	Механизмы реализации
Мировой опыт		
1973 – конец 1980-х	Нефтяной кризис 1973. Необходимость в быстром снижении издержек при происходящем росте цен на разные виды энергоносителей	<ol style="list-style-type: none"> 1. Введение ограничений со стороны государства на энергопотребление. 2. Преобладание использования добываемого угля и газа в топливном балансе при сравнении этого процесса с нефтепродуктами. 3. Строительство мощных атомных электростанций, альтернативных и возобновляемых источников для получения энергии, что приведет к изменению структуры генерации.
1990-е – середина 2000-х	Возрастание важнейшей роли экологии в осуществляемом энергосбережении. Подписание заключенного Киотского протокола.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Внедрение разработанных рыночных механизмов ценообразования для рассматриваемых топливных ресурсов. 2. Введение подготовленных дифференцированных тарифов на энергию, благодаря которым возможно стимулирование энергосбережения. 3. Бережливое производство как новая концепция.
С середины 2000-х	Устойчивое развитие формируется как концепция. Энергоэффективность подлежит рассмотрению в виде условия устойчивого развития экономики и действующих предприятий.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Внедрение энергетического менеджмента с применением разработанных стандартов энергоэффективности. 2. Оказание поддержки со стороны государства программам энергосбережения и исследованиям в представленной сфере для стимулирования их эффективной реализации. 3. Ускоренное развитие разных видов возобновляемых источников энергии.
Россия		
1973 – начало 1990-х	Нефтяной кризис не смог повлиять на стоимость топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) в стране. Экспорт нефти растет. Государство контролировало цены на ТЭРы.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Установление подготовленных директив по снижению энергопотребления. 2. Применение разработанных мер по ресурсосбережению.

Продолжение таблицы 2.2

1996 – середина 2000-х	Распад СССР стал причиной распада экономики, происходящего при резком росте ее энергоемкости, падении темпов производства и снижении уровня жизни. Основная проблема заключалась в недостатке финансирования из-за ограниченных возможностей страны в привлечении необходимых частных инвестиций.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Создание необходимой законодательной базы по энергосбережению (Федеральный закон № 28). 2. Осуществление государственного контроля за использованием энергоресурсов и проведение сертификации оборудования. 3. Оказание государственной поддержки программам по энергосбережению. 4. Формирование необходимой конкурентной среды на энергетическом и топливном рынках.
С 2009 г. по 2015 г.	В процессе реформирования энергетики произошел переход к рыночной модели, что было подкреплено новым Федеральным законом № 261. Этот закон внес изменения, сместив акцент с понятия энергосбережения на понятие «энергетическая эффективность».	<ol style="list-style-type: none"> 1. Разработка и внедрение стандартов энергетического менеджмента, включая национальные стандарты. 2. Применение концепции бережливого производства для повышения энергоэффективности. 3. Осуществление перехода к рыночной модели в секторе энергетики. 4. Принятие нового законодательства, направленного на энергосбережение и повышение энергоэффективности.
С 2015 г. по настоящее время	Внедрение цифровых технологий и инноваций для оптимизации энергетических процессов и снижения потребления ресурсов, принятие Энергетической стратегии – 2035. Климатическая доктрина РФ	<ol style="list-style-type: none"> 1. Активное развитие ВИЭ 2. Внедрение цифровых систем и платформ для мониторинга и анализа энергопотребления, что позволяет компаниям и организациям более точно управлять энергетическими процессами и оптимизировать потребление. 3. Новый механизм взаимодействия потребителей энергии посредством применения концепции управления спросом на энергию

Анализ этапов развития концепций энергоэффективности как на мировом уровне, так и в России, позволяет сделать вывод, что повышение энергоэффективности требует интеграции разнообразных подходов и технологий. Важно отметить, что успех в этой области зависит не только от внедрения передовых технических решений, но и от политического регулирования, а также экономических стимулов. На сегодняшний день повышение энергоэффективности рассматривается как один из способов достижения целей устойчивого развития.

2.2 Устойчивое развитие и «энергетическая трилемма» как концептуальные основы повышения энергоэффективности горных предприятий

Рассмотренные концепции ресурсосбережения и повышения энергоэффективности предприятий взаимосвязаны и ориентированы на достижение устойчивого развития. Повышение энергоэффективности, как правило, влечет за собой более эффективное использование не только энергии, но и других ресурсов [9, 181]. Например, модернизация технологий и процессов может снизить потребление энергии, а также оптимизировать использование сырьевых материалов и воды.

В настоящее время, устойчивое развитие выступает в роли одной из основных концепций, оказывающих значительное влияние на основные направления развития, как мировой, так и национальных экономик [36, 128].

Устойчивое развитие представляет собой концептуальную модель, интегрирующую экологические, экономические и социальные компоненты в целях достижения гармоничного развития цивилизации, которое обеспечивает удовлетворение потребностей настоящего без ущерба для возможностей будущих поколений в удовлетворении своих потребностей. Исторически сложившееся понимание устойчивого развития начало складываться в 1970-х годах, но наибольшую известность и распространение оно получило после публикации доклада «Наше общее будущее» Всемирной комиссией ООН по окружающей среде и развитию в 1987 году, где было предложено его классическое определение [37].

Основные подходы к устойчивому развитию включают в себя экологическую, экономическую и социальную составляющие, каждая из которых вносит вклад в создание устойчивой системы развития общества. Экологический компонент акцентирует важность сохранения натуральных ресурсов и биоразнообразия. Экономический аспект сконцентрирован на инновациях, эффективности и создании экономики замкнутого цикла. Социальный компонент подчеркивает необходимость обеспечения равенства, справедливости и улучшения качества жизни.

В сфере устойчивого развития выделяются работы таких ученых, как Гро Харлем Брундтланд [140], которая внесла значительный вклад в популяризацию и формулировку концепции устойчивого развития через свою роль в подготовке доклада «Наше общее будущее». Джон Элкенгтон предложил концепцию тройного критерия, которая стала основой для многих современных подходов к устойчивому развитию, акцентируя внимание на экологической, экономической и социальной составляющих развития компаний [51]. Николас Стерн, автор «Обзор Стерна по экономике изменения климата», исследовал экономические аспекты изменения климата и подчеркнул важность срочных действий для предотвращения экологических и экономических катастроф [173].

Парижское соглашение по изменению климата в 2015 году и принятие Целей устойчивого развития (ЦУР) послужили поворотным моментом в стремлении мирового сообщества к устойчивому будущему общества. Оба соглашения имеют обязательную силу и требуют не только глубоких экономических и социальных преобразований, но и обязательств со стороны всех заинтересованных сторон: правительства, гражданского общества, науки и бизнеса [151]. Сакс и др. [209] предлагают шесть преобразований, необходимых для достижения ЦУР:

1. Образование и гендерное равенство.
2. Здоровье, благосостояние и демография.
3. Декарбонизация энергетики и устойчивая промышленность.
4. Устойчивое питание, земля, вода и океаны.
5. Устойчивые города и сообщества.
6. Цифровая революция для устойчивого развития.

Концепция устойчивого развития постоянно эволюционирует, объединяя новые научные данные и исследовательские подходы, способствующие глубокому пониманию сложных взаимодействий между экологическими, экономическими и социальными системами. В контексте многочисленных взаимосвязанных целей устойчивого развития возникает потребность в оценке достигнутого прогресса не только на государственном уровне.

В исследовании [40] отмечается, что в российском бизнес-сообществе наметилась тенденция к 5-летнему планированию своего стратегического развития, со встраиванием в него принципов и целей устойчивого развития. Российские компании в течение последних лет демонстрируют приверженность социально ответственной практике, целям устойчивого развития, что подтверждается официальными отчетами [161, 165], и формирует основу для принятия решений соответствующими заинтересованными сторонами.

Трехуровневая концептуальная модель устойчивого развития энергетики: государства, отраслей энергетики и предприятий энергетики предлагается в работе Шилец Е.С. [146]. Однако данная модель не учитывает предприятия других отраслей, который могут являться крупными потребителями энергетических ресурсов и имеют потенциал к повышению энергоэффективности.

Другие авторы предлагают иные взгляды на устойчивое развитие. Например, в исследовании Руджеро К.А. [203] отмечается необходимость рассматривать устойчивость как концепцию, отличную от концепции устойчивого развития, подчеркивая противоречия между ними. Спайсер В. утверждает, что устойчивое развитие является противоречивой концепцией из-за невозможности поддержания бесконечного экономического роста на ограниченной планете [218].

В настоящее время концепция устойчивого развития служит идеологической основой для многих сфер деятельности, учитывая их специфику. Например, концепция устойчивого бизнеса предполагает пересмотр и переосмысление продукции, процессов, сотрудничества и ресурсов компании для достижения более устойчивых результатов при сохранении прибыльности. [163]

В целом концепция устойчивого развития остается важнейшей основой для понимания взаимосвязи между экономическим развитием, социальным равенством и охраной окружающей среды. Практическое применение положений концепции устойчивого развития нашли отражение в Целях устойчивого развития (ЦУР), определенных документом «Повестка дня на период до 2030 года», утвержденной ООН в 2015 году. Документ содержит 17 ЦУР, направленных на решение основных проблем, связанных с социальными, экономическими и экологическими вопросами. При разработке мер, направленных на достижение этих целей, необходимо учитывать взаимосвязи между ними, для использования синергетического эффекта и гарантий успеха принимаемых решений [177, 187]. Например, ЦУР 7 - доступная и чистая энергия занимает центральное место в усилиях по искоренению бедности (ЦУР 1, ЦУР 2) и достижению прогресса по таким базовым вопросам, как здравоохранение (ЦУР 3), образование (ЦУР 4) или забота о биосфере (ЦУР 13, ЦУР 14, ЦУР 15).

В зарубежной практике действуют стандарты Global Reporting Initiative Environmental. Также применяются принципы ESG - подхода, при котором в процессе принятия инвестиционных и управленческих решений учитываются экологические, социальные аспекты и аспекты корпоративного управления. [208]

Многие крупные российские горные компании публикуют отчеты по устойчивому развитию, по достижению ЦУР.

Практически одновременно с принятием ЦУР Мировым Энергетическим Советом была предложена концепция «энергетической трилеммы» [189, 222]. «Энергетическая трилемма» (ЭТ) определяет формат нахождения баланса между надежностью, доступностью энергии и устойчивостью национальных энергосистем, и рассматривается как инструментарий их оценки [104] на основе показателя - индекс энергетической трилеммы, разработанный WEC и консалтинговой компанией «Oliver Wyman Group» [59]. Индекс служит для количественной оценки способности страны обеспечить энергетическую безопасность, энергетическую равноправность и экологическую устойчивость национальных энергетических систем с учетом социально-экономических и политических изменений.

Согласно (ЭТ) энергетическая безопасность означает способность страны обеспечить надежное удовлетворение текущего и будущего спроса на энергию.

Энергетическая равенство — это способность страны обеспечить доступ к недорогой энергии, как для бытового, так и для коммерческого использования. Экологическая

устойчивость характеристика способности энергетической системы страны снизить воздействие на окружающую среду.

«Энергетическая трилемма» может служить ориентиром для определения направлений повышения энергоэффективности компании.

Выявленная ранее специфика горных предприятий: необходимость обеспечения непрерывности производственных процессов, сложность технологических процессов и операций, жесткие требования к промышленной безопасности и охране труда, высокий уровень механизации работ, необходимость содержание инженерной и социальной инфраструктуры, наличие собственной энергетической инфраструктуры, возможность диверсификации источников энергии и применение гибридных технологий генерации, позволяют сформулировать для них принципы ЭТ:

– принцип «безопасность и надежность» предусматривает непрерывность подачи энергии, недопустимость отключения от энергоисточников, соблюдение норм и стандартов безопасности;

– принцип «энергетическое равенство»: реализация мер по оптимизации энергопотребления между объектами инженерной и социальной инфраструктуры, входящих в имущественный комплекс горного предприятия, а также источников энергии;

– принцип «экологическая устойчивость»: разработка и внедрение технологий и процессов, направленных на снижение выбросов парниковых газов, токсичных веществ и других загрязнений в окружающую среду, рациональное использование энергии в производственных процессах, публичная отчетность и коммуникация об экологических инициативах.

Связь принципов ЭТ на уровне страны и промышленного предприятия, представлены в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Принципы энергетической трилеммы на различных уровнях. Источник: составлено автором

Принципы энергетической трилеммы	Страновой уровень	Уровень предприятия
Безопасность и надежность	<ul style="list-style-type: none"> • Разнообразие источников энергии • Диверсификация поставщиков энергии • Обеспечение высокой надежности энергетической инфраструктуры, включая электростанции, сети передачи и распределения. 	<ul style="list-style-type: none"> • Проведение регулярного технического обслуживания оборудования и систем • Применение различных источников энергии • Соблюдение норм и стандартов безопасности

Продолжение таблицы 2.3

	<ul style="list-style-type: none"> • Разработка планов и систем кризисного управления для быстрого реагирования на чрезвычайные ситуации. 	<ul style="list-style-type: none"> • Повышение доли систем накопления энергии в энергетической инфраструктуре.
Энергетическое равенство	<ul style="list-style-type: none"> • Гарантия равномерного доступа к энергии для всех слоев населения и регионов. • Развитие ценообразования, учитывающего социальные аспекты и снижающего неравенства в стоимости энергии. • Внедрение политики, направленной на сокращение социальных неравенств в области энергетики. • Обеспечение равного доступа к энергии даже в удаленных или труднодоступных районах. 	<ul style="list-style-type: none"> • Создание гибкой энергетической системы • Применение стандартов энергетического менеджмента • Внедрение систем интеллектуального учета для мониторинга и контроля потребления энергии • Повышение осведомленности и навыков сотрудников в области энергосбережения в целях рационализации потребления энергии
Экологическая устойчивость	<ul style="list-style-type: none"> • Проведение образовательных программ, направленных на повышение осведомленности об экологических проблемах. • Принятие экологических стандартов и сертификации, которые обязывают компании соблюдать экологические нормы и требования. • Предоставление финансовых и налоговых стимулов для разработки и внедрения зеленых технологий, способствующих устойчивости и снижению воздействия на окружающую среду. • Развитие и интеграция возобновляемых источников энергии, таких как солнечная, ветровая, гидроэнергетика, с целью снижения зависимости от традиционных источников, таких как уголь и нефть. • Модернизация и улучшение энергетической инфраструктуры для оптимизации передачи и распределения энергии. • Активное участие в международных инициативах по экологической устойчивости, обмен опытом и совместное решение глобальных экологических проблем. 	<ul style="list-style-type: none"> • Внедрение технологий направленных на снижение выбросов парниковых газов, токсичных веществ и других загрязнений в окружающую среду. • Интеграция возобновляемых источников энергии • Публичная отчетность и коммуникация о экологических инициативах • Инвестиции в исследования и разработки новых технологий и методов, способствующих более эффективному и экологически чистому производству.

Принципы «энергетической трилеммы» в совокупности с выделенными целевыми направлениями повышения энергоэффективности на горных предприятиях определяют основные критерии энергоэффективности: экономичность, экологичность, надежность и безопасность, гибкость.

Под экономичностью понимается способность предприятия использовать энергию или другие ресурсы максимально эффективно и с минимальными потерями. Данный критерий тесно связан с понятием «энергосбережение». Он может варьироваться в зависимости от конкретных условий деятельности предприятия. Согласно ГОСТ 31532–2012 показатели экономичности энергопотребления могут быть выражены в абсолютной или удельной форме. Абсолютная форма характеризует расход ТЭР в регламентированных условиях (режимах) работы. Удельная форма характеризует отношение расхода ТЭР к вырабатываемой или потребляемой энергии, произведенной продукции, или работе в регламентированных условиях (режимах) работы. В отчетах по устойчивому развитию крупных горных компаний применяются как абсолютные, так и относительные, выраженные в натуральной форме показатели.

Национальный проект «Экология», [65] который включает в себя Федеральный проект «Чистый воздух» [75], Цели устойчивого развития (ЦУР) – 12 «Ответственное потребление и производство», 13 «Борьба с изменениями климата», 15 «Сохранение экосистем суши» определяют критерий – экологичность.

Экологичность – это оценочная мера, определяющая степень негативного воздействия определенной технологии, продукции или процесса на окружающую среду. Аналогично показателям, характеризующим критерий экономичности, экологичность может измеряться абсолютными и относительными (в расчете на единицу продукции) показателями выбросов парниковых газов [129].

Энергетическая гибкость является относительно новым направлением, получившее развитие с введением новых европейских директив, таких как Директива ЕС 2018:2001, которая вводит концепцию коллективного самостоятельного потребления (статья 21) и создания сообществ по использованию возобновляемых источников энергии (статья 22), позволяя управлять своим спросом на энергию и производством в соответствии со своими потребностями. Гибкость характеризует степень, в которой энергосистема может регулировать спрос на электроэнергию или ее производство в ответ на ожидаемые и непредвиденные колебания. Также она может характеризоваться степенью использования накопителей энергии в общей энергосистеме предприятия [158].

Международное энергетическое агентство дает следующее определение: «Гибкость энергосистемы - это способность энергосистемы надежно и экономически эффективно

управлять изменчивостью и неопределенностью спроса и предложения во всех соответствующих временных масштабах» [212].

В соответствие с Федеральным законом об электроэнергетике одним из показателей энергоэффективности служит показатель надежности электроснабжения [47, 76, 132]. Он характеризуется снижением доли ущерба от перерывов электроснабжения в валовом внутреннем продукте. Надежность энергетической системы является комплексным свойством и определяется как способность энергосистемы выполнять функции по производству, передаче, распределению и снабжению потребителей электрической энергией в требуемом количестве и нормированного качества путем взаимодействия генерирующих установок, электрических сетей и электроустановок потребителей [117].

В целом Россия активно работает над созданием гибкой и энергоэффективной энергосистемы, которая отвечает современным требованиям экологической устойчивости, ресурсосбережения и надежности.

2.3 Развитие понятийного аппарата энергоэффективности как экономической категории

Согласно ФЗ от 23.11.2009 N 261-ФЗ (ред. от 14.07.2022) «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» энергосбережение – реализация организационных, правовых, технических, технологических, экономических и иных мер, направленных на уменьшение объема используемых энергетических ресурсов при сохранении соответствующего полезного эффекта от их использования (в том числе объема произведенной продукции, выполненных работ, оказанных услуг) (ст.2. п.3).

Из этого определения вытекает и понятие «энергетическая эффективность (энергоэффективность)» – характеристика, отражающая отношение полезного эффекта от использования энергетических ресурсов к затратам энергетических ресурсов, произведенным в целях получения такого эффекта, применительно к продукции, технологическому процессу, юридическому лицу, индивидуальному предпринимателю (ст.2 п.4).

Очевидно, что данные определения можно рассматривать не только как абсолютное и относительное выражение результата применительно к технологическому оборудованию (для которого определены Правила по определению классов энергетической эффективности по соотношению эффекта и затрат энергии) [138], но и применительно к таким системным понятиям как промышленное предприятие или национальная экономика.

В научной литературе, в качестве неотъемлемого атрибута энергоэффективности рассматривается категория «энергосбережение» [116], являющаяся также составляющей

единой концепции интенсивного ресурсосбережения, сформулированной еще в 90-е годы прошлого столетия.

В ряде исследований этого периода энергосбережение определяется, как правило, только в технологическом аспекте.

Например, в работе Степанова В. С. энергосбережение рассматривает как следствие повышения эффективности энергоиспользования [124, с. 10].

Копейкин Б. В., Смирнов Е. А. [48, с. 27] полагают, что энергосбережение должно быть нацелено на экономию топлива за счет экономии конкретных видов энергии по этапам ее переработки. Позднее, определения энергосбережения уже приводятся в более расширенных трактовках. Например, как «научно-обоснованный взгляд на проблему энергосбережения в теплотехнологиях» (Петин С. Н.) [85, с. 161], позволяющий устанавливать способы использования топливно-энергетических ресурсов, формировать программы инновационных мероприятий, стимулировать поиск энергосберегающей техники нового поколения и др.; в качестве «...системы правовых, организационных, научных, производственных, технических и экономических мер, направленных не только на эффективное использование первичных энергетических ресурсов, но и на вовлечение в хозяйственный оборот для снижения потребления органического топлива нетрадиционных и возобновляемых источников энергии» (Данилов О.Л., Костюченко П.А.) [28, с. 39]; как «...организационная, научная, практическая и информационная деятельность, направленная на эффективное использование энергетических ресурсов и реализуемая с применением технических, экономических и правовых методов» (Андрижиевский А.А.) [6, с. 10], что расширяют перечень инструментария достижения энергоэффективности.

С учётом этих определений можно сделать вывод о том, что энергосбережение, которое целью ставит уменьшение потребления энергии, представляет собой один из способов увеличения эффективности использования энергии. Путём внедрения мероприятий по энергосбережению удастся уменьшить потребление энергии, что способствует повышению эффективности использования энергии.

Трактовка энергоэффективности, как технологической характеристики энергосбережения имеет место в работе Матараса Е. В. и Олехновича Л. В., где авторы под энергосбережением понимают переход к энергоэффективным технологиям во всех отраслях (в первую очередь, энергоёмких) экономики и коммунально-бытовом секторе [60].

А.В. Чемезов, Е.Р. Яхина, Н.А. Шамарова разделяют два понятия – «энергоэффективность» и «энергосбережение». Под энергосбережением они также понимают «деятельность по реализации мероприятий экономического, организационного, технического, технологического, правового и экологического характера, направленных на снижение объема

потребляемых топливно-энергетических ресурсов при сохранении полезного эффекта от их использования». Энергетическая эффективность, по их мнению, это «реализация комплекса мероприятий экономического, организационного, технического, технологического, правового и экологического характера, направленного на увеличение полезного эффекта, приходящегося на единицу потребляемого топливно-энергетического ресурса» [144].

В работе Т.Г. Поспеловой дается следующее определение энергоэффективности - «характеристика социально-экономической, технической системы, технологического процесса, производственного оборудования, бытовых приборов и т. д., предполагающая максимальное использование ими эксергии (способности совершать работу) энергетических ресурсов. Энергоэффективность – результат процесса энергосбережения» [89].

По мнению В.В. Ефремова и Г.З. Маркмана энергоэффективность должна рассматриваться как технически возможное и экономически оправданное качество использования энергоресурсов и энергии при существующем уровне развития техники и технологий [35].

Давыдянц Д.Е., Жидков В.Е., Зубова Л.В. рассматривают энергоэффективность как «степень соответствия эффекта (конечного результата) конкретного вида деятельности примененным или потребленным энергоресурсам с учетом их энергосбережения на момент времени или за определенный период» [27, с. 3].

По мнению Фахрисламовой Е.И. и Чернова С.С. энергоэффективность означает «достижение определенного результата ... с использованием меньшего количества энергии, чем требуется обычно. Кто эффективно использует энергию, тот предотвращает злоупотребления ресурсами и охраняет окружающую среду» [136, с. 2].

Рейшахрит Е.И. определяет эффективность использования энергии (повышение энергоэффективности) как «состояние системы (использование энергетических ресурсов), при котором энергопотребление сводится к минимально возможному уровню для производства продукции без снижения ее качества» [101, с. 1].

М.М. Ислам и М. Хасануззаман рассматривают энергоэффективность как долю общей энергии, поступающей в оборудование или систему, которая расходуется на полезную работу, а не тратится в виде бесполезного тепла или иным образом. Она измеряет, сколько энергии используется любой системой или оборудованием для обеспечения требуемого уровня производительности [178].

Европейское агентство по охране окружающей среды определяет энергоэффективность как «использование меньшего количества энергии для получения того же объема продукции или производство большего объема продукции при тех же затратах энергии, а также минимизацию энергетических отходов» [169].

Обобщение определений понятия «энергоэффективность», приведенных выше, представлено в таблице 2.4.

Таблица 2.4 – Обобщение определений понятия «энергоэффективность». Источник: составлено автором

Авторы	Определение энергоэффективности
Матарас Е. В. Олехнович Л. В.	Энергоэффективность как <i>технологическая характеристика</i> энергосбережения.
А.В. Чемезов, Е.Р. Яхина, Н.А. Шамарова	<i>Комплекс мероприятий различного характера</i> , направленных на увеличение полезного эффекта.
Т.Г. Поспелова	<i>Характеристика</i> , предполагающая максимально <i>возможный эффект</i> от использования энергоресурсов.
В.В. Ефремов и Г.З. Маркман	Технически возможное и экономически оправданное <i>качество использования энергоресурсов и энергии</i> при существующем уровне развития техники и технологий.
Давыдянец Д.Е., Жидков В.Е., Зубова Л.В.	<i>Степень соответствия эффекта (конечного результата)</i> конкретного вида деятельности примененным или потребленным энергоресурсам с учетом их энергосбережения на момент времени или за определенный период.
Фахрисламова Е. И., Чернов С. С	<i>Достижение определенного результата</i> с использованием меньшего количества энергии.
Рейшахрит Е.И.	<i>Состояние системы</i> , при котором энергопотребление сводится к минимально возможному уровню для производства продукции без снижения ее качества.
М.М. Ислам и М. Хасануззаман	<i>Доля общей энергии</i> , поступающей в оборудование или систему, которая расходуется на <i>полезную работу</i> , а не тратится в виде бесполезного тепла или иным образом
Европейское агентство по охране окружающей среды	<i>Использование меньшего количества энергии</i> для получения того же объема продукции или производство большего объема продукции при тех же затратах энергии, а также минимизацию энергетических отходов

Несмотря на различия трактовок, рассмотренные определения можно свести к двум аспектам энергоэффективности:

- энергоэффективность – состояние системы (производственной, экономической);
- энергоэффективность – характеристика, соизмеряющая конечные результаты потребления энергоресурсов с их затратами.

Таким образом, обобщение подходов к определению энергоэффективности позволяет сделать вывод о том, что, как экономическая категория, она может рассматриваться в двух аспектах: как «состояние» экономической системы и как ее «способность» эффективно использовать энергоресурсы.

Кроме того, исследование показывает, что большая часть исследователей считает основным критерием энергоэффективности снижение энергоемкости продукции (предприятия, производства), а также - потребления (экономия) энергоресурсов, т. е. критерий экономичности.

С учетом положений «энергетической трилеммы» автором сформулированы следующие определения «энергоэффективности»:

1. Энергоэффективность - *состояние* предприятия (как экономической системы – ЭС), отвечающее критериям экономичности, экологичности, технологической надежности и безопасности и гибкости.

2. Энергоэффективность - *способность* предприятия (как ЭС) экономически эффективно использовать энергетические ресурсы для получения технологических, экологических и социальных результатов для достижения поставленных целей (ЦУР).

На рисунке 2.1 представлена концептуальная схема оценки достижения ЦУР предприятия путем реализации проектов повышения энергоэффективности с применением экономической категории «энергоэффективность».

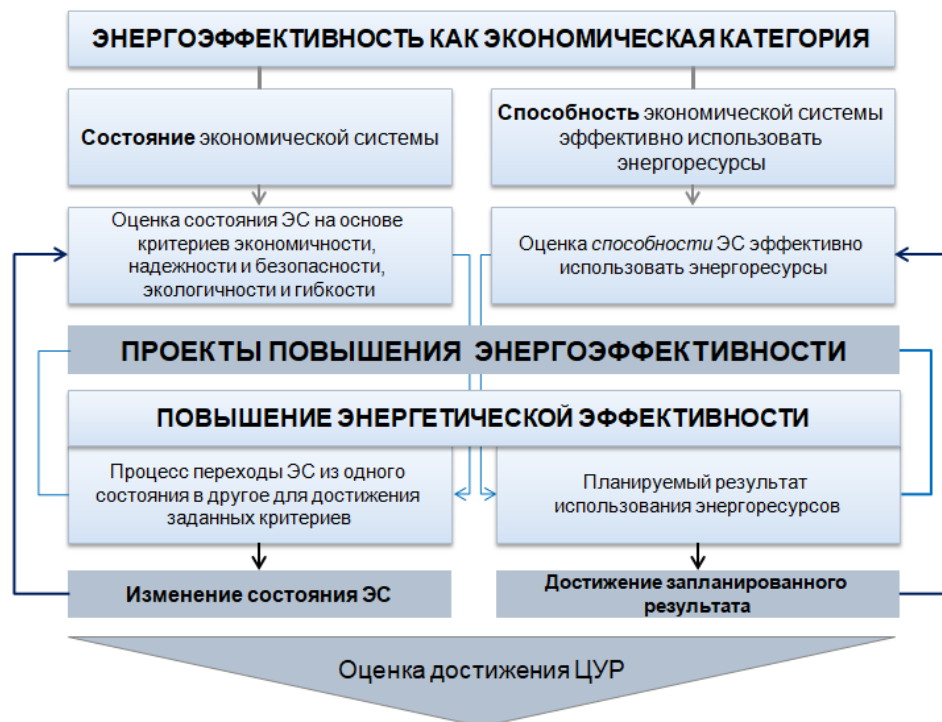


Рисунок 2.1 – Концептуальная схема оценки достижения ЦУР предприятия с применением

экономической категории «энергоэффективность». Источник: составлено автором

Энергоэффективность как способность экономически эффективно использовать энергоресурсы оценивается на основе динамики критериальных показателей [50] – индикаторов, являющихся числовым выражением установленных критериев.

Исходя из определений энергоэффективности следует, что повышение энергоэффективности можно рассматривать как процесс, в результате которого экономическая

система переходит из одного состояния в другое с наименьшими затратами энергоресурсов и как планируемые технологические, экологические и социальные результаты, позволяющие получить экономический эффект от использования энергоресурсов.

В то же время, с позиции системного подхода, процесс перехода системы из одного состояния в другое обеспечивается проектом; проектом является также план достижения определенного результата.

Поэтому под повышением энергоэффективности горного предприятия следует понимать процесс и результат реализации проектов, обеспечивающих достижение обоснованных критериев экономичности, экологичности, надежности и безопасности, гибкости, а также выраженных в стоимостной форме технологических, социальных и экологических результатов, характеризующих эффективность использования энергоресурсов.

2.4 Методические подходы к оценке энергоэффективности на различных уровнях оценки

Показатели оценки энергоэффективности применяются к разным уровням оценки. [126]: страновому, предприятия, производственного процесса, технологии.

Страновой уровень – отражает насколько эффективно страна использует энергетические ресурсы для производства товаров или услуг.

На уровне предприятия дается оценка энергоэффективности всего предприятия на основе анализа таких показателей, как общий расход энергии на предприятии, энергоэффективность предприятия, уровень энергосбережения.

Уровень производственного процесса предусматривает оценку энергоэффективности производственного процесса в целом. На этом уровне анализируются такие показатели, как суммарный расход энергии на производство продукции, энергоемкость продукции, доля энергии в себестоимости продукции.

Уровень технологии — это оценка энергоэффективности отдельных технологических процессов или установок. На этом уровне анализируются такие показатели, как удельный расход энергии на единицу продукции, коэффициент полезного действия оборудования, энергоемкость технологических процессов.

Объективность показателей оценки энергоэффективности определяет качество информационной базы, как для частных компаний, так и для государственных органов и других структур, участвующих в разработке энергетической политики, наилучшим образом отвечающей национальным и международным интересам, соответствующим Целям устойчивого развития.

Первые исследования, посвященные анализу корреляции между уровнем потребления энергии и величиной валового внутреннего продукта (ВВП) страны, были осуществлены

Чоджоем М.Х. В его фундаментальной работе «Энергосбережение в промышленности» были заложены основы для понимания того, как энергетические ресурсы влияют на экономическое развитие и промышленный рост. Чоджоем М.Х. было выдвинуто предположение, что существует прямая зависимость между количеством потребляемой энергии и объемом производимых товаров и услуг, что, в свою очередь, отражается на ВВП страны.

В 1992 году, в рамках проекта, поддерживаемого фондом ООН и в сотрудничестве с другими национальными энергетическими агентствами, Французское агентство по окружающей среде ADEME заложило основу для базы данных ODYSSEE. Её задачей было отслеживание прогресса в области энергоэффективности на национальном уровне. С тех пор эта база данных не только регулярно обновляется, но и значительно расширила свою сферу действия, охватывая более 30 европейских стран.

Опыт разных стран в области оценки энергоэффективности, позволяет выделить два основных подхода к оценке [127].

При первом подходе, мерой оценки энергоэффективности является результат, эффект. Например, экономия энергоресурсов или снижение потребления электроэнергии [38, 156]. Однако данный подход нельзя назвать корректным с экономической точки зрения, так как при оценке эффектов не учитываются понесенные затраты на достижение результата.

При использовании второго подхода необходимо соотносить экономические результаты, к которым относятся объемы выпуска продукции, ВВП и др. с энергетическими затратами, то есть, например, потреблением энергоресурсов, затратами на производство электроэнергии. Согласно международной статистике ООН и Всемирного банка, энергоэффективность рассчитывается как соотношение ВВП к потребленной энергии в единицах нефтяного эквивалента, которая была потреблена [107, 148]. Данные индикаторы энергоэффективности можно широко адаптировать к задачам, связанным с устойчивым развитием различных стран.

Индекс энергоэффективности (ЕЕИ), разработанный Американским советом по энергоэффективной экономике (АСЕЕЕ), ранжирует страны на основе их политики в области энергоэффективности и показателей в различных секторах, таких как здания, промышленность и транспорт. Индекс позволяет политикам определить области для улучшения и изучить передовой опыт других стран, что в конечном итоге будет способствовать повышению энергоэффективности и устойчивости во всем мире. Место в рейтинге рассчитывается по сумме баллов, набранных в каждой категории: расход энергии в строительстве, промышленности, транспортной сфере, а также показатель общенациональной энергоэффективности [183].

В Российской Федерации, в качестве индикатора энергетической эффективности большее распространение получил показатель *энергоёмкости*, считающийся наиболее универсальным для сравнения, и показывает отношение объема потребления первичной

энергии к ВВП. Показатель также является крайне распространенным в мировой практике и используется, например, Министерством энергетики США [5].

Оценка энергоемкости ВВП может производиться путем соизмерения показателей TPES (TES) - общее предложение первичной энергии и TFC – общее конечное потребление энергии, учитывающее потери энергоресурсов, к ВВП (рисунок 2.2).

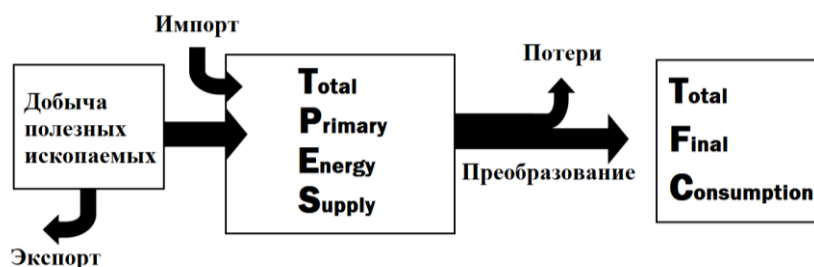


Рисунок 2.2 – Общее первичное энергоснабжение (первичная энергия) становится общим конечным потреблением (энергия конечного использования). Источник: составлено автором на основании [220]

Учет первичной энергии – это способ рассмотрения использования энергии с точки зрения природных ресурсов. Это энергия, используемая для производства вторичного топлива и выработки электроэнергии. Этот тип учета полезен для определения общего объема поставок первичной энергии (TES) страны и фокусируется на том, откуда поступает энергия.

Например, транспортная энергия составляет гораздо меньшую часть первичной энергии, чем энергия конечного потребления. Это связано с тем, что при преобразовании сырой нефти в транспортное топливо (бензин, дизельное топливо, керосин) теряется очень мало энергии. И наоборот, на электричество приходится примерно в три раза больше первичной энергии, чем энергии конечного потребления, потому что большинство электростанций имеют КПД около 33%. Это означает, что они должны сжечь топливо на 3000 МВт, чтобы создать 1000 МВт. Это значительно (в 3 раза) изменяет количество энергии, которая переходит в электричество [166].

Учет энергии конечного использования относится ко всей энергии, которая непосредственно потребляется в стране.

Наряду с показателем энергоемкости, в мировой практике широко применяется показатель *энергопотребление*, отражающий количество энергии, которая использовалась для производственных и бытовых нужд [83]. Различные ведомства по всему миру используют оценку энергопотребления [107, 148, 204].

Энергоемкость может использоваться как сравнительный показатель между странами, тогда как изменение энергопотребления, необходимое для увеличения ВВП в конкретной стране с течением времени, описывается как ее эластичность по энергии (процентное

изменение энергопотребления для достижения однопроцентного изменения национального ВВП).

Следует отметить, что при обоих подходах показатели оценки энергоэффективности являются обобщающими и результирующими, и не позволяющими установить влияние различных факторов, в первую очередь, экологических, технологических, природно-климатических и пр.

Опыт развитых стран показывает, что важными составляющими энергоэффективности являются: энергосбережение, снижение энергоемкости, сокращение зависимости страны от импортных энергоресурсов, диверсификация топливных источников, уменьшение выбросов в атмосферу углекислого газа, развитие сферы возобновляемых источников энергии для увеличения их доли в структуре энергоресурсов страны, а также повышение качества жизни населения [111].

В 2011 году российским специалистом И.А. Даниловым был предложен интегральный показатель энергетической эффективности - *уровень технологического развития*, определяемый как доля полезной электрической энергии от конечного потребления первичной энергии с учетом расхода на собственные нужды энергетического сектора и потерь, выраженная в процентах [88]. Данный показатель включается в таблицы показателей энергетической эффективности и рассчитывался на основе данных управления энергетической информацией США (EIA) (полезная электроэнергия пересчитывается по так называемому теоретическому (угольному) эквиваленту ~ 123 г/кВт·ч). Уровень технологического развития, наиболее адекватно отображает уровень развития стран с высоким уровнем ВВП на душу человека, поскольку является одновременным отражением и энергоемкости, и электроемкости ВВП [88].

На уровне предприятия государственные стандарты предусматривают использование следующих основных показателей энергетической эффективности [20, 21]:

- экономичность потребления топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) при использовании продукции по ее прямому назначению;
- энергетическая эффективность передачи (хранения) ТЭР для продукции и процессов;
- энергоемкость производства продукции для процессов.

Экономичность потребления топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) является многогранной характеристикой, отражающей степень эффективности использования данных ресурсов в процессе производства товаров и услуг. Она напрямую зависит от степени технологического развития применяемых процессов и качества конструкторских решений. Экономичность определяется через соотношение затраченного количества ТЭР к объему полученной продукции, выражая тем самым энергетическую эффективность производственного процесса. Улучшение данной характеристики достигается за счет оптимизации процессов,

внедрения инновационных технологий и повышения качества проектирования производства и производственных процессов, что ведет к снижению затрат на ТЭР и повышению общей конкурентоспособности продукции.

Показатели энергоэффективности потребления и передачи ТЭР определяются как нормативы потерь или использования энергетических ресурсов в установленных условиях работы с продукцией. Эти нормативы выражаются в форме процентного соотношения потерь или использования ресурсов к их объему. В процессе производства эти нормативы определяются либо как производственная, либо как полная (технологическая) энергоемкость продукции.

Основным показателем, выступающим в качестве оценки энергоэффективности компании, является энергоемкость продукции, которая показывает, какое количество энергии требуется для производства одной единицы продукции (2.1):

$$\mathcal{E}_e = \frac{Q_{\text{исп}}}{Q_{\text{п}}}, \quad (2.1)$$

где \mathcal{E}_e – энергоемкость продукции, (кВт·ч, т.у.т., КДж) на единицу продукции;

$Q_{\text{исп}}$ - суммарное количество энергии, использованное для производства всего объема продукции (кВт·ч, т.у.т., КДж);

$Q_{\text{п}}$ - количество произведенной продукции в течение отчетного периода, измеренное натуральных единицах.

Для различных видов энергетических ресурсов требуется применение специальных коэффициентов, чтобы перевести их в условные единицы топлива (т.у.т.) и в определенный объем энергии, получаемый при их использовании (например, КДж) (2.2):

$$\mathcal{E}_e = \frac{\sum_{i=1}^n N_e \times k_i}{Q_{\text{п}}}, \quad (2.2)$$

где N_e - количество используемого энергетического ресурса, в натуральных единицах (т., тыс. м³ и т. д.);

k_i - коэффициенты, для перевода фактические показатели расхода энергоресурсов в топливные единицы измерения (КДж, тонны условного топлива).

На сегодняшний день используются различные показатели оценки энергоэффективности на уровне производственного процесса и технологии [42]:

- КПД энергетической установки;
- КПИ энергии;
- для некоторых видов энергетических носителей устанавливается коэффициент полезного использования энергии;
- удельный (фактический) расход энергоносителя;

- удельные затраты энергоресурсов на единицу выпускаемой продукции и их составляющие по энергоносителям (электроэнергия, топливо, вода).

Ч.Холлом в конце XX века был предложен новый показатель - EROI (energy return on investment). Возврат инвестиций в энергию (EROI) представляет собой отношение поставленной энергии к затратам на энергию. В случае выработки электроэнергии EROI влечет за собой сравнение произведенной электроэнергии с количеством первичной энергии, используемой на этапах производства, транспортировки, строительства, эксплуатации, вывода из эксплуатации и других этапах жизненного цикла объекта [174].

В мировой практике предлагаются и другие методы оценки энергоэффективности:

- LROE (levelized revenue of electricity) - нормированный доход от электроэнергии - соотношение общего дохода за весь срок службы к общему выходу энергии за весь срок службы.

- LCOE (levelized cost of electricity) - нормированная стоимость электроэнергии LCOE энергогенерирующего актива можно рассматривать как среднюю общую стоимость строительства и эксплуатации актива на единицу общей электроэнергии, произведенной за предполагаемый срок службы.

- EPBT (energy payback time) - время окупаемости энергии - это количество времени, которое требуется энергетической установке для поставки необходимого количества энергии в течение ее жизненного цикла [198].

На отраслевом уровне применяются такие показатели как:

- EOI (energy efficiency operating indicator) — операционный показатель энергоэффективности — в качестве практического метода оценки энергоэффективности судов и выбросов CO₂ в окружающую среду, определяется как объем общих выбросов углерода за определенный период времени на единицу дохода в тонно-милях. [2].

- EEDI (energy efficiency design index) – индекс энергоэффективности - не имеющий обязательного характера механизм, позволяющий судоходной отрасли использовать новейшие технологии для проектирования коммерческих судов при условии, что они соответствуют требуемым уровням и параметрам энергоэффективности. EEDI устанавливает минимальный уровень энергоэффективности на миллию мощности для различных типов и размеров судов.

- NER (net energy ratio) - коэффициент полезной энергии – это соотношение между полезной энергией, содержащейся в том или ином виде топлива, и энергией, используемой для добычи и переработки топлива.

В контексте реализации проектов по повышению энергоэффективности на горных предприятиях, содержание показателей, характеризующих их эффективность, должно определяться исходя из целей и потенциальных результатов данных проектов.

В стандарте [22] рекомендуется применять в качестве показателей эффективности использования топливно-энергетических ресурсов: объем потребления энергоресурсов, коэффициент полезного действия (КПД), коэффициент полезного использования энергии, потери энергии, энергоемкость продукции. Также одним из показателей экономичности потребления являются потери энергии: разность между количеством подведенной (первичной) и потребляемой (полезной) энергии.

Важным направлением деятельности горных предприятий является минимизация экологического воздействия на окружающую среду [194], что может достигаться за счет снижения выбросов CO₂ и перехода на возобновляемые источники энергии [84].

В современных исследованиях акцентируется внимание на ряде показателей, важных для оценки эффективности и надежности энергетических систем и оборудования [61, 68, 87].

Вопросы выбора основных показателей надежности для различных объектов в достаточной мере проработаны и регламентируются в ГОСТ 27.003–90. Эти показатели включают в себя как технические аспекты (связанные с техническим состоянием оборудования), так и экономические аспекты (связанные с затратами и эффективностью). Среди них выделяют коэффициент готовности [210], среднюю наработку на отказ [201], указывающую на время безотказной работы до момента первого сбоя. Коэффициент готовности измеряет готовность системы к работе и ее способность обеспечивать энергией. Согласно ГОСТ Р 27.102-2021 коэффициент готовности — вероятность того, что в данный момент времени объект находится в работоспособном состоянии, кроме планируемых периодов, в течение которых применение объекта по назначению не предусматривается. Вероятность безотказной работы также является ключевым показателем, отражающим надежность системы в течение определенного времени [15]. Индекс надежности энергосистемы (ИНЭС) [49] определяет общую надежность энергосистемы предприятия, учитывая работу всех ее компонентов и рассчитывается как отношение действительно отпущенной электроэнергии к электроэнергии, требуемой потребителями.

Эти показатели позволяют комплексно оценить надежность энергосистемы предприятия. Оценка надежности энергосистемы является важной частью обеспечения эффективности и безопасности производственных процессов.

На сегодняшний день не разработаны общепринятые показатели для оценки гибкости энергосистемы предприятия, что представляет собой интерес для научного сообщества. Для оценки гибкости энергосистемы горного предприятия может использоваться такой показатель

как доля систем накопления электрической энергии (СНЭЭ) в общей установленной мощности энергосистемы [206].

Показатели энергоэффективности производства являются важным инструментом для оценки и улучшения производственных процессов, однако они имеют ряд недостатков и ограничений:

- точные измерения потребления энергии и других параметров могут быть сложными и требовать специализированного оборудования, навыков и знаний;
- отсутствие или неполнота данных о потреблении энергии на различных этапах производственного процесса;
- сбор и анализ данных могут занимать значительное время, что может привести к задержкам в принятии решений и реализации мер;
- различные подходы к измерению и оценке энергоэффективности могут привести к несопоставимым результатам, что затрудняет сравнение между различными предприятиями или отраслями;
- показатели энергоэффективности часто учитывают только энергетические аспекты и не всегда охватывают другие важные факторы, например, экологическое воздействие, экономическая эффективность или социальные аспекты;
- производственные процессы могут изменяться с течением времени и показатели энергоэффективности могут не успевать за этими изменениями, что снижает их актуальность;
- энергоэффективность может зависеть от множества внешних факторов, таких как климатические условия, колебания цен на энергоносители и доступность новых технологий, что усложняет объективную оценку.

Учитывая эти ограничения, важно применять комплексный подход к оценке энергоэффективности, который включает в себя не только количественные показатели, но и качественные оценки, а также учитывать широкий спектр факторов и условий.

Следует отметить отсутствие универсальных методик для оценки социальных и организационных результатов реализации данных проектов. Это обусловлено многообразием подходов к определению эффективности, спецификой отраслей и индивидуальными характеристиками предприятий. В результате, несмотря на признание важности комплексной оценки влияния проектов по повышению энергетической эффективности, в научной литературе пока не сформировался единый методологический инструментарий, позволяющий оценить социальные и организационные эффекты от их реализации.

Существующие подходы к экономической оценке часто не учитывают весь комплекс основных и дополнительных результатов, возникающих в результате реализации проектов по повышению энергоэффективности. Это касается как положительных результатов, таких как

снижение энергопотребления и уменьшение выбросов вредных веществ, так и возможных негативных последствий, включая высокие капитальные затраты и риск недостижения ожидаемых экономических, экологических и других выгод.

Методика чистого дисконтированного дохода (ЧДД) является важным инструментом для обоснования экономической целесообразности проектов, в том числе и в сфере повышения энергоэффективности на горных предприятиях. Она предполагает тщательный расчет всех параметров проекта, включая начальные инвестиции, операционные расходы, а также предполагаемые доходы, с учетом фактора времени и изменения стоимости денег. Этот подход позволяет не только оценить общую экономическую выгоду проекта, но и определить период его окупаемости.

В действующих «Методических рекомендациях по оценке эффективности инвестиционных проектов» [62] особое внимание уделяется комплексному учету всех возможных результатов реализации проектов по повышению энергетической эффективности. Это требует не только прогнозирования экономии от снижения энергопотребления, но и оценки экологической составляющей, условий труда и других социально значимых результатов, для оценки которых возможно применение методик: анализ затрат и выгод (Cost-Benefit Analysis, CBA) и анализ затрат и результативности (Cost-Effectiveness Analysis, CEA).

Указанные методики позволяют расширить рамки анализа, включая в оценку не только будущую ожидаемую доходность, но и косвенные результаты различного характера: технологические, экологические, социальные т.д. Важно отметить, что выбор конкретной методики оценки должен учитывать специфику проекта, его цели и ожидаемые результаты, а также доступность и достоверность необходимых данных для анализа.

Проблема оценки актуальна также из-за многообразия проектов в сфере энергоэффективности, которые могут отличаться по масштабу, целям и условиям реализации. Кроме того, существующие методики зачастую не учитывают необходимость соответствия проектов глобальным целям устойчивого развития (ЦУР) и принципам «энергетической трилеммы» [59]. Как указывается в некоторых научных источниках, общая экономическая выгода промышленных проектов по повышению энергоэффективности часто занижается из-за отсутствия оценки сопутствующих различных результатов [171, 200].

Отдельное внимание следует уделять небольшим проектам, которые не всегда напрямую связаны с экономией энергоресурсов, но играют значительную роль в повышении надежности энергооборудования и энергетической системы в целом. Экономический результат таких проектов не всегда очевиден, что выдвигает на первый план необходимость совершенствования методик их оценки.

В связи с вышеизложенным, становится очевидной необходимость совершенствования методических подходов к экономической оценке проектов повышения энергоэффективности на горных предприятиях. Это позволит не только учесть широкий спектр факторов, влияющих на результативность проектов, но и обеспечить их соответствие экономическим, экологическим и социальным критериям устойчивого развития.

2.5 Выводы по главе 2

1. В процессе исследования выделены этапы развития концепции энергоэффективности, которая формировалась как отклик на экономические, социальные, экологические проблемы (энергетические кризисы, проблемы загрязнения, изменения климата и др.) в тесной связи с развитием технологий, экологических потребностей общества, механизмов и новых форм регулирования производства и потребления энергоресурсов.

2. Установлено, что с принятием мировым сообществом Целей устойчивого развития и «энергетической трилеммы» энергоэффективность стала пониматься гораздо шире: не только как экстенсивное сокращение потребления энергоресурсов, но и как цель, которую можно достигать путем внедрения гибких механизмов, повышения качества энергоресурсов и оптимизации технологических процессов.

3. Сформулированы принципы «энергетической трилеммы» для горных предприятий:

- принцип «безопасность и надежность» предусматривает непрерывность подачи энергии, недопустимость отключения от энергоисточников, соблюдение норм и стандартов безопасности;

- принцип «энергетическое равенство»: реализация мер по оптимизации энергопотребления между объектами инженерной и социальной инфраструктуры, входящих в имущественный комплекс горного предприятия, а также источников энергии;

- принцип «экологическая устойчивость»: разработка и внедрение технологий и процессов, направленных на снижение выбросов парниковых газов, токсичных веществ и других загрязнений в окружающую среду, рациональное использование энергии в производственных процессах, публичная отчетность и коммуникация об экологических инициативах.

3. На основе анализа и обобщения научных взглядов на энергетическую эффективность дано авторское определение энергоэффективности как экономической категории, характеризующей, с одной стороны, состояние экономической системы, отвечающее определенным критериям (экономичность, надежность и безопасность, экологичность, гибкость), так и ее способность экономически эффективно использовать энергоресурсы. Повышение экономической эффективности определено как процесс перехода экономической системы из одного состояния в другое с наименьшими энергозатратами и как ожидаемый,

планируемый результат эффективного использования энергоресурсов, обеспечиваемый за счет реализации проектов.

4. Рассмотрены методики оценки, применяемые на различных уровнях, которые могут быть применены для оценки состояния и способности предприятия, как экономической системы, к повышению энергоэффективности. Рассмотренные критерии включают в себя как количественные, так и качественные параметры. Однако данные показатели, связанные с этими критериями, имеют ограничения и недостатки: сложность измерений, недостаточность данных, временные задержки в сборе и анализе, ограниченность в охвате факторов (часто учитывают только энергетические аспекты и не всегда охватывают другие важные факторы, такие как экономическая эффективность), динамическая природа производственных процессов.

ГЛАВА 3 РАЗРАБОТКА И АПРОБАЦИЯ МЕТОДИЧЕСКОГО ПОДХОДА К КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКЕ ПРОЕКТОВ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ НА ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

3.1 Основные этапы формирования методического подхода к оценке проектов повышения энергоэффективности в целях устойчивого развития

Методический подход предполагает установление логической связи между целями устойчивого развития горной компании, целями, результатами и экономической эффективностью проектов, связанных с повышением энергоэффективности горного предприятия.

Общая схема методического подхода представлена на рисунке 3.1 и включает несколько этапов.

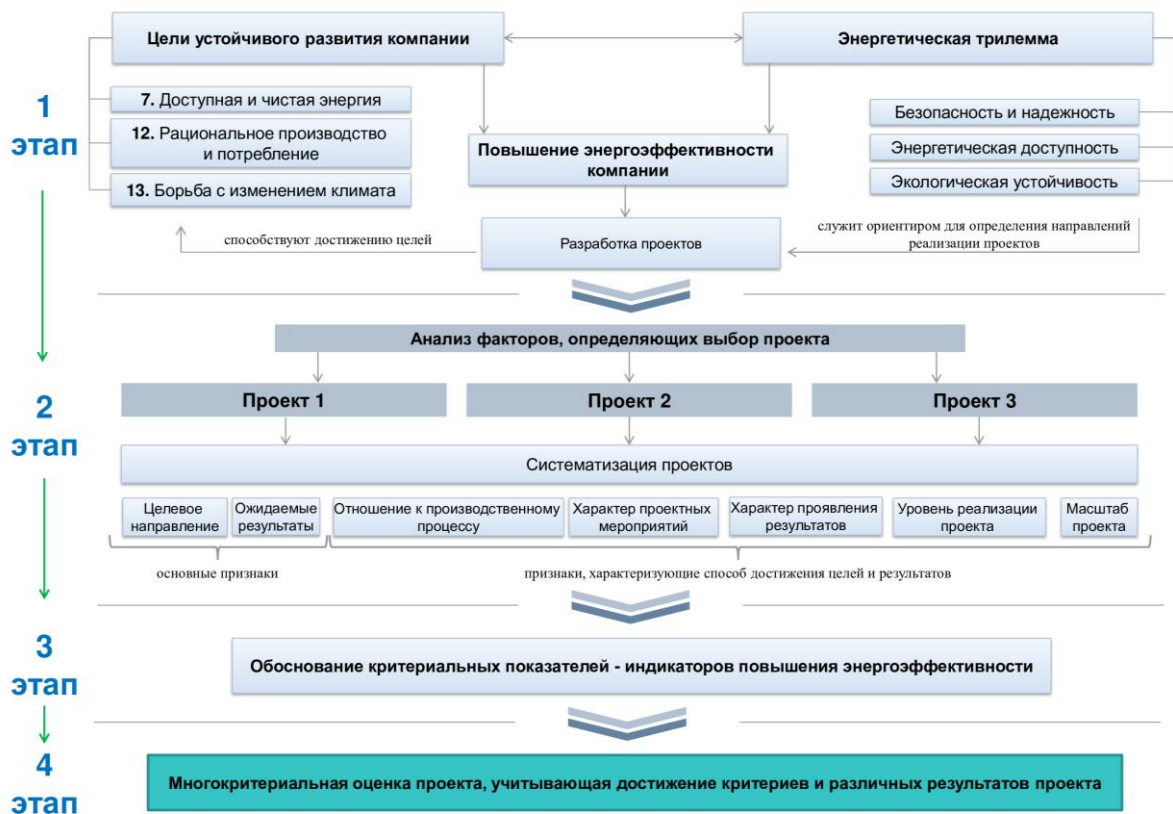


Рисунок 3.1 – Методический подход к оценке проектов. Источник: составлено автором

На первом этапе устанавливаются целевые ориентиры повышения энергоэффективности горной компании, обусловленные тремя взаимосвязанными аспектами: основные цели УР в области энергоэффективности («доступная и чистая энергия», «рациональное производство и потребление», «борьба с изменениями климата»), принципы ЭТ и способ повышения (реализация проектов). Затем разрабатывается набор проектов.

На втором этапе анализируются факторы микро- и микросреды, а также систематизируются разработанные проекты, направленные на повышение энергоэффективности горных предприятий ввиду их многообразия. Исходя из систематизации проектов, выбирается конкретный набор показателей и методики их расчета.

На третьем этапе устанавливаются критериальные показатели - индикаторы, характеризующие критерии экономичность, экологичность, надежность и безопасность и гибкость. В качестве критериальных показателей оценки применяется абсолютный прирост, в % каждого показателя, выраженного в натуральных единицах измерения, и характеризующий ожидаемую динамику в результате реализации проекта.

На четвертом этапе выполняется многокритериальная оценка проекта, позволяющая учесть максимальный «вклад» проекта повышения энергоэффективности в достижение поставленных целей и экономическую оценку результатов проектов.

При такой оценке исходим из того, что проект повышения энергоэффективности считается экономически эффективным, если:

1) проект соответствует одному из критериев достижения ЦУР (достаточное условие), т.е. вносит «вклад» в достижение указанных целей. В качестве оценочных показателей принимаются показатели - индикаторы, характеризующие степень достижения ЦУР, устанавливаемых компанией (отношение фактически достигнутого результата к установленному). Учитывая, что в работе введены дополнительные критерии гибкость и надежность, которые не включены в отчеты компаний, предлагается оценивать положительную динамику показателей, характеризующих данные критерии;

2) при экономической оценке проекта, требующего инвестиций, обеспечивается положительный чистый дисконтированный доход (NPV) (положительное значение – необходимое, но не достаточное условие), при этом должны быть максимально учтены все дополнительные результаты проекта (технологические, экологические, социальные, организационные).

В качестве основных результатов выступают технологические (технические), экологические, социальные и организационные. Для оценки результатов используются стандартные или общеизвестные показатели (модели расчета), позволяющие их квантифицировать в соответствии с определенными параметрами, специфичными для каждого вида результата. Выполняется монетизация ожидаемых результатов на основе предложенных моделей их экономической оценки, учитывающих экономию ресурсов предприятия (энергетических, времени, и др.) и возможное увеличение объемов производства. Таким образом, неэкономические результаты получают стоимостную оценку.

Процедура оценки результатов соответствует одному из принципов общеизвестных «Методических рекомендаций по оценке эффективности инвестиционных проектов», рекомендованной ЮНИДО – «максимальный учет всех результатов проекта», как основных, так и дополнительных.

3.2 Обоснование признаков систематизации проектов повышения энергоэффективности

При большом разнообразии проектов выбор и оценка наиболее перспективных, отвечающих ЦУР горной компании, определяет необходимость их упорядочения, систематизации.

Например, российскими специалистами В.Д. Шапиро [55], А.С. Царьков [143], П.С. Гейзлер и О.В. Завьялова [16] была разработана единая классификация инвестиционных проектов по следующим признакам: область приложения, метод реализации, длительность и др. с выделением классов, типов и видов проектов.

Классификацию проектов посредством дихотомии (видоизмененному признаку) предлагается в работе [10]. Автором выделяются проекты капиталоемкие и обычные, с быстрой отдачей и с длительной отсрочкой отдачи, федерального, регионального, местного и внутрифирменного значения, взаимосвязанные и независимые, альтернативные и безальтернативные, и др.

В работе [162] утверждается, что полная классификация проектов невозможна из-за многочисленных атрибутов, которые могли бы использоваться для определения классов. Это приводит к отсутствию общепринятой основы классификации проектов из-за их уникальности и различий с точки зрения размера, времени, инвестиций, сложности и технологического содержания. Автор классифицирует проекты в зависимости от их размера, сложности и риска.

Однако важно отметить, что в процессе систематизации необходимо принимать во внимание ряд специфических особенностей, обусловленных целевыми направлениями и результатами, присущими именно проектам, направленным на повышение энергоэффективности.

Исходя из анализа проектов и направлений их реализации, представленных в 1 главе п.1.3. можно выделить следующие основные признаки систематизации: целевое направление, ожидаемые результаты, отношение к производственному процессу, характер проектных мероприятий, уровень проявления результатов, масштаб (таблица 3.1).

В предложенной систематизации проектов выбор признака «целевое направление» (*предложен автором*) обусловлен глобальными задачами, которые решаются при реализации проектов, направленных на повышение энергоэффективности.

Таблица 3.1 – Систематизация проектов повышения энергетической эффективности. Источник: составлено автором

Признаки систематизации проектов	Группы проектов	Подгруппы
Целевое направление	снижение потребления энергоресурсов	экстенсивное энергосбережение
		интенсивное энергосбережение
	повышение качества потребляемых и производимых энергоресурсов	улучшение качества источника энергии
		повышение эффективности преобразования энергии
	повышение надежности и безопасности энергосистемы предприятия	
	повышение гибкости управления энергоресурсами и энергосистемой	
Ожидаемые результаты	технологические	
	экологические	
	экономические	
	социальные	
	организационные	
Отношение к производственному процессу	в основном производстве	
	во вспомогательном производстве	
	в обслуживающих процессах	
	в логистических и транспортных операциях	
Характер проектных мероприятий	организационные	
	технологические	
	технические	
	экономические	
Характер проявления результатов	основной результат	
	дополнительный результат	
	комплексный результат	
Уровень реализации проекта	технологический процесс	
	производственный процесс	
	предприятие	
	компания	
Масштаб проекта	малые	
	средние	
	крупные	

При этом достижение цели «снижение потребления энергоресурсов» может обеспечиваться как за счет внедрения новых технологий (интенсивное энергосбережение), так и путем организационных преобразований (экстенсивное энергосбережение). Цель «повышение качества потребляемых и производимых энергоресурсов» предусматривает повышение качества источников (первичные энергоресурсы) и более эффективное преобразование энергии (вторичные энергоресурсы). Цель «повышение надёжности и безопасности энергосистемы

предприятия» обусловлена стремлением минимизировать риски аварий, сбоев в подаче энергии и потенциальных несчастных случаев, а также обеспечить бесперебойную и эффективную работу всех систем предприятия. Цель «повышение гибкости управления энергоресурсами и энергосистемой» предполагает участие в программах управления спросом и внедрение технологий, позволяющих быстро переключаться между различными источниками энергии для масштабирования энергопотребления в зависимости от текущего спроса и условий рынка.

Признак «ожидаемые результаты» (*предложен автором*) позволяет выделить и обобщить возможные результаты проектов, имеющих различные цели.

Признак «отношение к производственному процессу» (*предложен автором*) проекта обусловлен необходимостью определить его роль и место в производственной системе компании. Это помогает определить, как проект будет влиять на основные и вспомогательные процессы, планировать ресурсы, оптимизировать рабочие процессы и обеспечить наилучшее использование производственных мощностей.

Признак «характер проектных мероприятий» (*предложен автором*) определяет типы действий, требуемых для реализации проекта. Этот признак помогает определить, какие ресурсы, навыки и подходы потребуются для успешной реализации проекта, обеспечивая его целенаправленное и эффективное управление: организационные - изменение управленческих процессов, оптимизация работы персонала, внедрение системы мотивации за снижение энергопотребления, обучение и повышение квалификации сотрудников; технологические - внедрение новых или усовершенствование существующих технологий; технические - улучшение тепло- и электроснабжения, внедрение систем автоматизации и управления энергопотреблением, систем обнаружения дефектов и т.д.; экономические - изменение структуры расходов и формирование более эффективной экономической модели использования энергоресурсов.

Признак «характер проявления результатов» (*предложен автором*) проекта классифицирует результаты на основе их влияния на энергоэффективность: с основными результатами - напрямую влияют на уровень энергоэффективности; с дополнительными результатами - не имеют прямого воздействия на энергоэффективность, но способствуют созданию условий для ее повышения; с комплексными результатами - одновременно оказывают влияние как непосредственные, так и сопутствующие результаты на уровень энергоэффективности.

Признак «уровень реализации проекта» отражает сферу применения, на которой проект осуществляется, варьируя от разработки отдельных технологий, настройки производственных процессов, до создания или модернизации целых предприятий. Этот признак помогает

определить, на каком уровне происходит внедрение проектных решений - от конкретных инноваций до комплексного развития компании.

Признак проекта «масштаб» обусловлен объемом работ, продолжительностью исполнения, величиной инвестиций, степенью влияния на организацию или общество и сложностью задач.

Таким образом, систематизация проектов повышения энергетической эффективности в компаниях минерально-сырьевого обеспечивает глубокое понимание их многообразия и специфики, что необходимо для ряда задач. Она позволяет обоснованно подходить к выбору показателей для оценки результативности данных проектов, исходя из их целей, масштабов и характеристик. Это важно для оценки эффективности инвестиций и для определения степени достижения поставленных задач.

Кроме того, систематизация способствует паспортизации проектов, что включает в себя формирование стандартизированных описаний каждого проекта. Это облегчает процесс идентификации, сравнения и выбора проектов для реализации, а также упрощает обмен знаниями и опытом между заинтересованными сторонами.

Также систематизация может способствовать оптимизации распределения ресурсов, поскольку позволяет выявлять наиболее перспективные направления для инвестирования на основе анализа прошлых и текущих проектов. Это помогает предприятиям концентрировать усилия и средства на тех проектах, которые обещают наибольшую отдачу или наиболее значимое воздействие на производственный процесс и энергетическую эффективность.

Наконец, систематизация улучшает понимание взаимосвязей между различными проектами, позволяя выявлять синергетические эффекты и потенциальные конфликты, что способствует более эффективному планированию и управлению проектами повышения энергетической эффективности на предприятии.

3.3 Методика многокритериальной оценки проектов повышения энергоэффективности

Целью методики является система оценки, которая позволяет интегрировать и сбалансировать различные критерии, важные для повышения энергоэффективности горных предприятий.

Предлагаемая методика многокритериальной оценки проектов направлена на интеграцию четырех ключевых критериев: экономичность, экологичность, надежность и безопасность, гибкость. Каждый из этих критериев играет важную роль в обеспечении эффективного функционирования горных предприятий в целом, а также их энергосистемы.

Методика предполагает использование двухуровневой модели оценки проектов повышения энергоэффективности (рисунок 3.2). В работе предлагается все показатели разбить на 2 уровня:

1. Критерий первого уровня – степень достижения целей проекта в соответствии с ЦУР и ЭТ. Показатели первого уровня- индикаторы, характеризующие данный критерий.

2. Критерии и показатели, характеризующие результаты и экономические результаты проектов, применяемые для оценки его экономической эффективности.

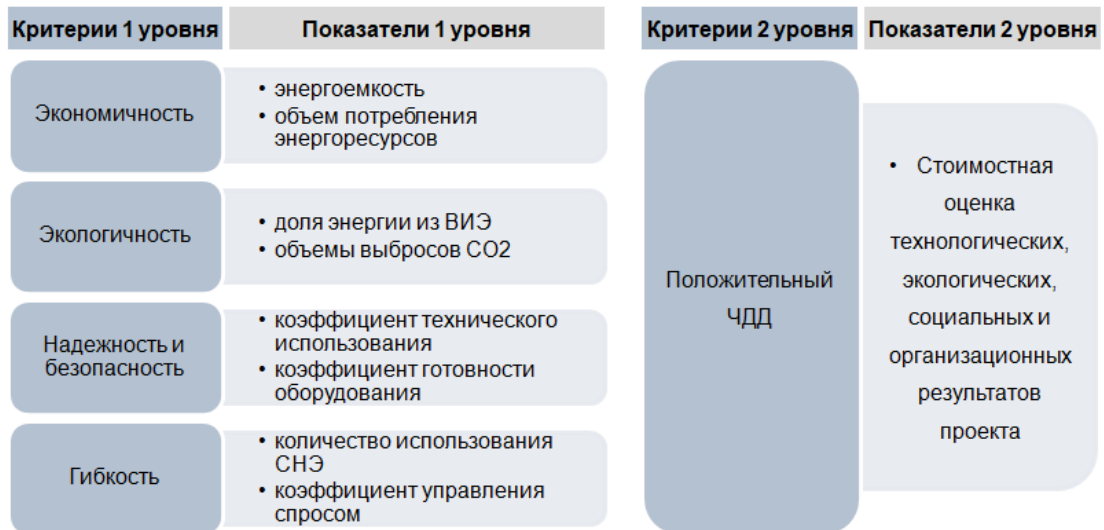


Рисунок 3.2 – Двухуровневая система показателей оценки проектов повышения энергоэффективности. Источник: составлено автором

Выбор показателей для оценки проектов повышения энергоэффективности определяется:

- целями в области ЦУР, которые ставит перед собой компания;
- уровнем решаемых задач (технический, технологический, производственный, предприятия в целом, уровень компании);
- конкретного способа достижения поставленных целей;
- развитием методического аппарата оценки проектов.

Методика предполагает последовательность определенных шагов (рисунок 3.3):

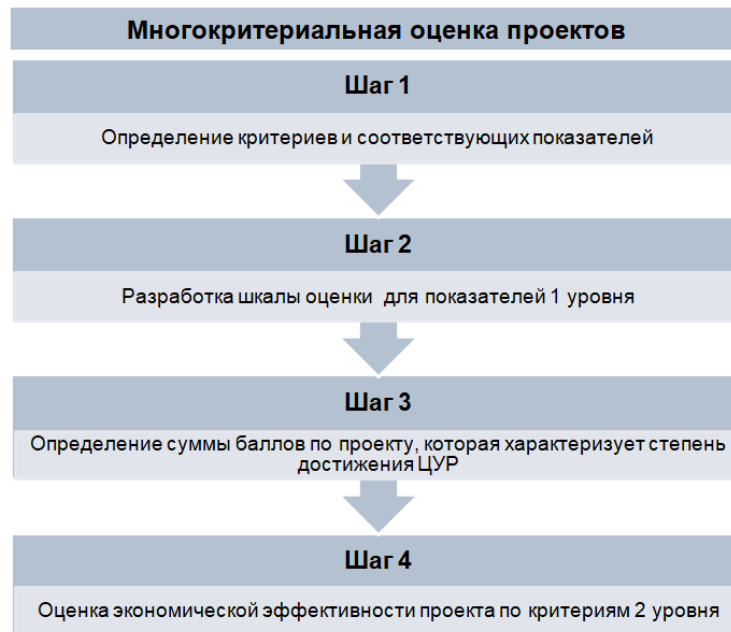


Рисунок 3.3 – Методика многокритериальной оценки проектов повышения энергоэффективности. Источник: составлено автором

Шаг 1. Определение критериев и соответствующих показателей.

Выбор показателей в соответствии с условиями деятельности компании.

С учетом результатов выполненного анализа научной литературы, а также отчетности по устойчивому развитию крупных компаний, предлагается в качестве показателей - индикаторов, характеризующих достижение ЦУР в результате реализации проекта по четырем критериям, применять следующие показатели:

1) для оценки по критерию «экономичность»:

а) энергоемкость продукции - индикатор определяется как отношение снижения энергоемкости, достигаемого за счет реализации проекта к установленному в соответствии с ЦУР;

б) объем потребления энергоресурсов – индикатор определяется снижением объемов потребления энергоресурсов при сохранении текущего показателя энергоэффективности или его улучшения.

2) для оценки по критерию «экологичность»:

а) доля энергии, получаемой из возобновляемых источников - индикатор определяется как рост доли к установленному в соответствии с ЦУР;

б) снижение объемов выбросов CO₂, а также вредных выбросов.

3) для оценки по критерию «надежность и безопасность»:

а) коэффициент технического использования – индикатор определяется как повышение коэффициента;

б) коэффициент готовности - индикатор определяется как повышение коэффициента готовности оборудования.

4) для оценки по критерию «гибкость» (*предложены автором*):

а) коэффициент использования СНЭ - индикатор определяется как рост;

б) коэффициент управления спросом – способность системы управлять спросом для балансирования генерации и потребления.

В таблице 3.2 представлены рекомендуемые показатели в формализованном виде.

Таблица 3.2 – Показатели оценки критериев. Источник: составлено автором

Критерий	Показатель	Формула	Примечания
Экономичность	Энергоемкость продукции	$\mathcal{E}_{\text{пр}} = \frac{\sum W_j}{G_{\text{пр}}}$	W_j - потребление ТЭР j-вида, приведенных к условным единицам, т.у.т. $G_{\text{пр}}$ - количество выпущенной продукции, руб.
	Объем потребления энергоресурсов	$\sum W_j$	
Экологичность	Доля энергии из ВИЭ	$E = \frac{E_{\text{RES}}}{E}$	E_{RES} – энергия из низкоуглеродных источников, Дж E – общий объем энергии, Дж
	Объемов выбросов CO_2	$V_{\text{CO}_2} = V_{\text{CO}_{21}} - V_{\text{CO}_{22}}$	$V_{\text{CO}_{21}}$ - объем выбросов CO_2 без применения технологии, тонн $V_{\text{CO}_{22}}$ - объем выбросов CO_2 с применением технологии, тонн
Надежность и безопасность	Коэффициент технического использования	$P(t) = \frac{t}{T}$	t – количество часов безотказной работы оборудования, ч. T – режимный фонд рабочего времени всего энергооборудования и установок за год, ч.
	Коэффициент готовности оборудования	$K_g = \frac{t_w}{t_w + t_p}$	t_w – время исправной работы, ч t_p – время вынужденного простоя, ч
Гибкость	Коэффициент использования СНЭ	$d = \frac{t_{\text{ESS}}}{24} \times 100\%$	t_{ESS} – количество часов получения энергии из СНЭ, час

Продолжение таблицы 3.2

	Коэффициент управления спросом	$R_d = \frac{\sum P_{reduced}}{\sum P_{total}} \times 100\%$	$P_{reduced}$ – мощность, уменьшаемая по запросу, Вт P_{total} - общая мощность, Вт
--	--------------------------------	--	--

Шаг 2. Разработка шкалы для показателей 1 уровня.

Для оценки положительной динамики показателей применяется 10-балльная шкала. Поскольку изменение показателя, характеризующего вклад проекта в достижение ЦУР, зависит от технических (технологических, организационных) возможностей и условий реализации самого проекта, а также логики построения показателя-индикатора, «ценность» одного балла для каждого показателя будет своя.

Например, переход на безуглеродные источники энергии позволят на 100% снизить объемы выбросов CO₂, в то же время, как показывают результаты анализа практики внедрения энергоэффективных проектов, потенциал снижения энергоемкости на горных предприятиях может достигать 40%. Поэтому «ценность» 1 балла в первом случае определяется в интервале 0-10; во втором 0-4.

Разработанная таблица балльной оценки критериев 1 уровня представлена ниже.

Таблица 3.3 – Показатели балльной оценки критериев 1 уровня. Источник: составлено автором

Критерии оценки проекта	Показатели	Диапазон изменения показателя	Шкала показателя, балл
1	2	3	4
Экономичность	Энергоемкость	0 – 40%	0-4% – 1 20-24% – 6 4-8% – 2 24-28% – 7 8-12% – 3 28-32% – 8 12-16% – 4 32-36% – 9 16-20% – 5 36-40% – 10
	Объем потребления энергоресурсов	0 – 30%	0-3% – 1 15-18% – 6 3-6% – 2 18-21% – 7 6-9% – 3 21-24% – 8 9-12% – 4 24-27% – 9 12-15% – 5 27-30% – 10
Экологичность	Доля энергии из ВИЭ	0 – 10%	0% – 1 6% – 6 2% – 2 7% – 7 3% – 3 8% – 8 4% – 4 9% – 9 5% – 5 10% – 10

Продолжение таблицы 3.3

	Объемы выбросов CO ₂	0 – 100%	0-10% – 1 10-20% – 2 20-30% – 3 30-40% – 4 40-50% – 5	50-60% – 6 60-70% – 7 70-80% – 8 80-90% – 9 90-100% – 10
Надежность	Коэффициент технического использования	0 – 100%	0-10% – 1 10-20% – 2 20-30% – 3 30-40% – 4 40-50% – 5	50-60% – 6 60-70% – 7 70-80% – 8 80-90% – 9 90-100% – 10
	Коэффициент готовности	0 – 100%	0-10% – 1 10-20% – 2 20-30% – 3 30-40% – 4 40-50% – 5	50-60% – 6 60-70% – 7 70-80% – 8 80-90% – 9 90-100% – 10
Гибкость	Коэффициент использования СНЭ	0 – 40%	0-4% – 1 4-8% – 2 8-12% – 3 12-16% – 4 16-20% – 5	20-24% – 6 24-28% – 7 28-32% – 8 32-36% – 9 36-40% – 10
	Коэффициент управления спросом	0 – 10%	0% – 1 2% – 2 3% – 3 4% – 4 5% – 5	6% – 6 7% – 7 8% – 8 9% – 9 10% – 10

Шаг 3. Определяется сумма баллов по проекту, которая характеризует степень достижения ЦУР.

Шаг 4. Оценка экономической эффективности проекта по критериям 2 уровня. Основным критерием оценки проектов является положительное значение чистого дисконтированного дохода.

Оценка экономической эффективности проектов предполагает применение традиционной методики оценки эффективности инвестиционных проектов с расчетом NPV (3.1):

$$\sum_t^T \text{ЧДД}_t = \sum_{t=0}^T \frac{E_t \cdot (1 - H_n) + A_t + L_t}{(1 + i)^t} - \sum_{t=0}^T K_t > 0, \quad (3.1)$$

где ЧДД_t – чистый дисконтированный доход в момент времени t;

E_t – экономический эффект в момент времени t;

T – расчетный период;

i – ставка дисконтирования;

A_t – амортизация в момент времени t;

L_t – ликвидационная стоимость в момент времени t ;

H_{π} – ставка еалого на прибыль в долях;

K_t – объем инвестиций в проект в момент времени t .

Модель оценки экономического эффекта проекта представляет собой разность между текущими комплексными экономическими результатами и затратами на их достижение (3.2):

$$E_t = R_{et_t} + R_{ee_t} + R_{es_t} + R_{eo_t} - \sum_{m=1}^M C_{m_t}, \quad (3.2)$$

где E_t – экономический эффект от реализации проекта в момент времени t ;

R_{et_t} – экономическая оценка технологического результата;

R_{ee_t} – экономическая оценка экологического результата;

R_{es_t} – экономическая оценка социального результата;

R_{eo_t} – экономическая оценка организационного результата;

$\sum_{m=1}^M C_{m_t}$ – суммарные текущие затраты по проекту, связанные с получением различных результатов. В общем виде эти затраты могут включать:

- аренду производственных мощностей и оборудования;
- расходы на обслуживание оборудования и техники;
- плату за использование лицензий, патентов или других интеллектуальных прав;
- операционные налоги и обязательные платежи, которые не связаны с финансовой деятельностью;
- расходы на повышение квалификации сотрудников;
- затраты на премирование энергосберегающего поведения и т.д.

Надежность энергетических систем является ключевым фактором, определяющим способность сети поддерживать непрерывное и качественное энергоснабжение потребителей в условиях возрастающих энергетических потребностей и потенциальных внешних воздействий. Повышение надежности, следовательно, напрямую коррелирует с уровнем энергетической безопасности.

Коэффициент полезного действия (КПД) отражает эффективность преобразования, передачи и использования энергии. Повышение КПД через внедрение инновационных технологий и модернизацию существующих систем способствует увеличению объемов производства энергии.

Системы накопления электрической энергии играют важную роль в повышении гибкости и адаптивности энергетических систем, позволяя более эффективно управлять

энергоресурсами, сглаживать пики потребления и интегрировать возобновляемые источники энергии.

Таким образом, оценка технологического результата проектов по повышению энергоэффективности в контексте «энергетической трилеммы» подразумевает многоаспектный анализ, учитывающий взаимосвязь между различными показателями.

В результате данного анализа оценка технологического результата может производиться посредством расчета следующих показателей [69]:

1. коэффициент готовности (системы, оборудования) (3.3)

$$K_g = \frac{t_w}{t_w + t_p} \quad (3.3)$$

В результате повышение коэффициента готовности оборудования происходит увеличение объемов производства продукции за счет снижения времени простоев (3.4):

$$R_{et}^1 = \Delta t_p \cdot Q_p \cdot C_p, \quad (3.4)$$

где t_w – время исправной работы, ч

Δt_p – сокращение времени простоя, ч

Q_p – объем производства продукции, ед. пр.

C_p – себестоимость единицы продукции, руб/ед.

2. средняя наработка на отказ (3.5)

$$MTBF = \frac{\sum_1^m t_i}{m} \quad (3.5)$$

Увеличение средней наработки на отказ позволяет увеличить объемы производства продукции за счет увеличения времени работы оборудования (3.6):

$$R_{et}^2 = \Delta t_i \cdot Q_p \cdot C_p, \quad (3.6)$$

где Δt_i – увеличение продолжительности работы оборудования до наступления отказа i , ч.

m — число отказов, ед.

Q_p – объем производства продукции, ед. пр.

C_p – себестоимость единицы продукции, руб/ед.

3. вероятность безотказной работы (3.7)

$$P(t) = \frac{N_0 - n(t)}{N_0} \quad (3.7)$$

Повышение вероятности безотказной работы оборудования приводит к снижению затрат на ремонт оборудования за счет сокращения числа отказов оборудования (3.8):

$$R_{et}^3 = \Delta n(t) \cdot C_r, \quad (3.8)$$

где N_0 – количество наблюдаемых объектов, которые в процессе эксплуатации могут отказывать, ед.

$\Delta n(t)$ – сокращение числа объектов, отказавших к моменту t , ед

C_r – затраты на ремонт оборудования в результате отказа, руб/м

4. увеличение срока службы дизель-генераторной установки (ДГУ) (3.9)

$$\Delta T = T_2 - T_1 \quad (3.9)$$

Экономия затрат происходит за счет снижения амортизационных платежей (3.10):

$$R_{ee}^4 = \Delta A = A_1 - A_2, \quad (3.10)$$

где T_1 – нормативный срок службы без применения технологии, ч.

T_2 – нормативный срок службы с применением технологии, ч.

A_1 – амортизационные отчисления без применения технологии, руб.

A_2 – амортизационные отчисления с применением технологии, руб.

5. коэффициент полезного действия (КПД) преобразования энергетического потенциала первичного энергоносителя в электрическую энергию (3.11)

$$\eta = \frac{E}{q} \quad (3.11)$$

Повышение коэффициента полезного действия энергоустановки позволяет увеличить объем производства электроэнергии (3.12):

$$R_{et}^5 = \Delta E \cdot C_E, \quad (3.12)$$

где ΔE – увеличение объема производства электроэнергии, Дж

C_E – себестоимость производства электроэнергии, руб/Дж

q – объем потребления первичной энергии, Дж

6. доля систем накопления электрической энергии (СНЭЭ) в установленной мощности энергосистемы (3.13)

$$d = \frac{P_{ESS}}{P_{total}} \quad (3.13)$$

Увеличение доли накопления электроэнергии приводит к снижению платы за потребление электроэнергии в часы пиковых нагрузок (3.14):

$$R_{et}^6 = \Delta d \cdot Q_E \cdot \left(P_{peak} - \frac{P_{off-peak}}{0.8} \right), \quad (3.14)$$

где Δd – увеличение доли накопления энергии, Вт

P_{ESS} – мощность систем накопления энергии, Вт

P_{total} – общая мощность энергосистемы предприятия, Вт

Q_E – общий объем потребления электроэнергии, кВт

P_{peak} – цена электроэнергии в пиковый период, руб/кВт·ч

$P_{\text{off-peak}}$ – цена электроэнергии в непииковый период, руб/кВт·ч

0.8 – КПД накопителя энергии.

7. снижение расхода топлива ДГУ (3.15)

$$\Delta Q = Q_1 - Q_2 \quad (3.15)$$

В результате снижения расхода топлива происходит снижение затрат на топливо (3.16):

$$R_{\text{ee}}^7 = \Delta Q \cdot P_T, \quad (3.16)$$

где Q_1 – объем потребления топлива без применения технологии, л.

Q_2 – объем потребления топлива с применением технологией, л.

P_T – цена топлива, руб/л

8. снижение потерь электроэнергии (3.17)

$$\Delta E = E_1 - E_2 \quad (3.17)$$

В результате снижения потерь электроэнергии происходит снижение затрат на электроэнергию (3.18):

$$R_{\text{ee}}^8 = \Delta E \cdot P_{\text{kWh}}, \quad (3.18)$$

где E_1 – объем потребления электроэнергии без применения технологии, кВт·ч

E_2 – объем потребления электроэнергии с применением технологии, кВт·ч

P_{kWh} – цена электроэнергии за 1 киловатт-час, руб/кВт·ч

Согласно сценарию устойчивого развития МЭА, энергоэффективность является средством сокращения более 40% выбросов, необходимого к 2040 году [53, 154, 202]. В связи с этим экологический результат и его экономическая оценка является одним из аспектов проектов повышения энергетической эффективности и может включать в себя расчет следующих показателей:

1. снижение количества вредных выбросов при сжигании топлива двигателем ДГУ (3.19)

$$\Delta V_{\text{CO}_2} = V_{\text{CO}_2,1} - V_{\text{CO}_2,2} \quad (3.19)$$

Экономия затрат достигается путем снижения платы за выбросы (в странах, где плата предусмотрена) (3.20):

$$R_{\text{eec}}^9 = \Delta V_{\text{CO}_2} \cdot P_e, \quad (3.20)$$

где $V_{\text{CO}_2,1}$ - объем выбросов CO_2 без применения технологии, тонн

$V_{\text{CO}_2,2}$ - объем выбросов CO_2 с применением технологии, тонн

P_e - цена за выбросы, руб/тонн

2. доля возобновляемых источников в структуре потребления (3.21)

$$E = \frac{E_{\text{RES}}}{E} \quad (3.21)$$

Улучшение структуры потребляемых энергоисточников приводит к экономии (затратам) при использовании возобновляемых источников энергии (3.22):

$$R_{\text{еес}}^{10} = \pm P_{\text{RES}} \cdot \Delta Q_{\text{res}}, \quad (3.22)$$

где V_{RES} – энергия из низкоуглеродных источников, Дж

V – общий объем энергии, Дж

P_{RES} – цена возобновляемых источников энергии, руб/Дж

ΔQ_{res} – изменение объема возобновляемых ресурсов, Дж

Социальный результат реализации проектов по повышению энергетической эффективности проявляется в многоаспектных изменениях социальных структур и процессов, среди которых ключевое место занимает повышение уровня квалификации работников в данной области. Это явление можно рассматривать через призму социальной мобилизации и капитализации знаний, ведущих к росту профессиональной компетентности и, как следствие, к повышению производительности труда, что в свою очередь ведет к снижению затрат на заработную плату (3.23):

$$R_{\text{ес}}^{11} = \left(Z - \frac{Z \cdot i_z}{i_L} \right) \cdot Q_p, \quad (3.23)$$

где Z - затраты по статье «заработная плата» в текущем году в расчете на 1 руб. товарной продукции, руб

i_z - индекс заработной платы

i_L – индекс производительности труда

Q_p - выпуск продукции в плановом году в оптовых ценах предприятия, ед. пр.

Организационные результаты проектов, направленных на повышение энергетической эффективности, охватывают комплексное воздействие на структуру и функционирование компании, приводя к оптимизации ресурсного потребления. В контексте достигаемых результатов можно выделить следующие предлагаемые аспекты:

1. сокращение потерь рабочего времени работника: оптимизация процессов, которые напрямую влияет на сокращение непроизводительного времени и увеличение эффективности трудовых ресурсов.

Экономическая оценка данного результата (3.24):

$$R_{\text{ео}}^{12} = \Delta t \cdot Q_p \cdot C_p, \quad (3.24)$$

где Δt – количество рабочего времени, затраченного на производство продукции, чел.-ч.

Q_p – объем производства продукции, ед. пр./чел. – ч.

C_p – себестоимость единицы продукции, руб/ед.

2. сокращение неэффективных рабочих мест: например, путем внедрения гибких форм работы или повышения квалификации сотрудников для работы с новыми, более эффективными

технологиями. Таким образом, устраняются неэффективные рабочие места, что способствует снижению общих операционных расходов (3.25):

$$R_{eo}^{13} = \Delta n \cdot Z_w, \quad (3.25)$$

где Δn – количество сокращенных неэффективных рабочих мест

Z_w – средняя заработная плата на одного сокращенного работника, руб.

3. энергосберегающее поведение и активное участие в проектах по снижению энергопотребления: стимулирование сознательного отношения к использованию энергетических ресурсов, внедрение культуры экономии и поощрение инициатив по снижению энергопотребления приводят к формированию эффективной внутриорганизационной среды, ориентированной на устойчивое развитие и снижение затрат на подготовку персонала (3.26):

$$R_{eo}^{14} = \Delta N \cdot \Delta B \cdot P_{en}, \quad (3.26)$$

где N – количество человек, задействованных в организационных мерах, ед.

B – объем энергоресурсов, приходящихся на 1 работника, ед. изм./чел

P_{en} – цена энергоресурсов, руб/ед. изм.

Обобщенный комплекс показателей представлен в Приложении Г, таблица Г.1.

3.4 Апробация методического подхода на примере проектов повышения энергоэффективности предприятия «Албазино» АО «Полиметалл»

В качестве объекта внедрения проектов повышения энергоэффективности предлагается рассмотреть «Албазино».

Албазино, приобретенное компанией АО «Полиметалл» в 2006 году, — богатое месторождение упорного золота [80]. Сегодня Албазино включает в себя действующий карьер/рудник и флотационную фабрику, производительностью 1,6 млн тонн в год, введенную в эксплуатацию в 2011 г. Албазино — важная часть Амурского хаба: золоторудный концентрат, получаемый на флотационной фабрике, перевозится на Амурский гидromеталлургический комбинат для дальнейшей переработки в слитки доре.

Годовой объем переработки руды на предприятии Албазино в 2023 г. увеличен на 4%, до 1 843 тыс. т, что превышает проектную мощность. Снижение производства на 8% год к году, до 229 тыс. унций золотого эквивалента, связано с плановым истощением самого крупного карьера Анфиса с богатой рудой.

В контексте достижения целей устойчивого развития предприятие добилось следующих результатов [80]:

- 1) более 60% тепловой энергии получено с помощью системы рекуперации тепла.
- 2) 88% водопотребления приходится на повторно используемую и оборотную воду.
- 3) проведена реконструкция прудов-накопителей для улучшения очистки сточных вод.

Помимо масштаба предприятия, особенностей технологического процесса производства драгоценных металлов и рыночной конъюнктуры существенное влияние на потенциальные расходы оказывают и другие факторы: прямые операционные издержки, связанные с удаленностью отдельных цехов и участков, наличием и стоимостью энергии и инфраструктуры, специальными требованиями по охране окружающей среды и т.д. Данные факторы влияют на производственную себестоимость продукции Албазинского ГОКа: доля затрат на электроэнергию в структуре затрат на переработку руды составляет 46,14%.

В рамках настоящей диссертационной работы рассматривается планируемый проект по модернизации системы электроснабжения «Албазино» [95]: строительство воздушных линий электропередач (далее – ЛЭП) и трансформаторной подстанции (далее – ПС) с целью повышения энергоэффективности и рентабельности предприятия.

Этапы строительства ЛЭП включают:

- разработку трассы;
- проектирование;
- согласование подготовительного проекта;
- геодезические работы;
- монтаж.

В рамках настоящей работы укрупненные стоимостные показатели строительства в составе обоснования инвестиций выполнены по типовым схемам электрических соединений распределительных устройств.

Протяженность ЛЭП определена методом кратчайшего расстояния между начальной и конечной точкой с учетом особенностей рельефа местности Хабаровского края. Зоны планируемого размещения линейных объектов, а также объектов проектируемых в составе линейных объектов, устанавливаются на территории Российской Федерации, Хабаровского края, Солнечного муниципального района и муниципального района имени Полины Осипенко. Объект размещается на землях лесного фонда и землях запаса.

Общая характеристика объекта строительства представлена в таблице 3.4.

Таблица 3.4 – Общая характеристика проектируемого объекта. Источник: [95]

Наименование	Показатель
ВЛ 110 кВ Полиметалл - Албазино	
Линейный объект	-
Передаваемая мощность, МВт	48
Исполнение ВЛ	одноцепное
Количество цепей, шт	1
Протяженность трассы, км:	238

Продолжение таблицы 3.4

ПС 110 кВ Албазино	
Площадный объект	-
Площадь подстанции с учетом территории ДЭС в границах ограждения, м ²	5760
Площадь, занятая зданиями и сооружениями с учетом территории ДЭС в границах ограждения, м ²	2260
Площадь автомобильных дорог и площадок с учетом территории ДЭС в границах ограждения, м ²	426,2м.п. 1107,9м ²
Резервная площадь, м ²	отсутствует
Площадь, свободная от застройки, м ²	2190
Протяженность наружного ограждения подстанции	384

Исходные данные по проекту представлены в Приложении Д.

При проведении укрупненного стоимостного расчета капитальных затрат в основу были положены:

1. Проектно-сметная документация по инвестиционным проектам 35кВ-750кВ [133];
2. «Правила устройства электроустановок» 7-го издания [122];
3. «Нормы технологического проектирования подстанций переменного тока с высшим напряжением 35-750 кВ (НТП ПС)» (СТО 56947007-29.240.10.028-2009) от 13.04.2009 г. № 136 [70];
4. «Нормы технологического проектирования воздушных электропередачи напряжением 35-750 кВ» (СТО 56947007-29.240.55.016-2008). Утверждены Приказом ОАО «ФСК ЕЭС» от 24.10.2008г. № 460 [134];
5. «Схемы принципиальные электрические распределительных устройств подстанций 35-750 кВ. Типовые решения (СТО 56947007- 29.240.30.010-2008)». Утверждены Приказом ОАО «ФСК ЕЭС» от 20.12.2007г. №441 [102];
6. «Методические рекомендации по расчету норматива содержания службы заказчика-застройщика ОАО «ФСК утвержденные приказом ОАО «ФСК ЕЭС» от 05.08.2011г № 467 [63];
7. Цены на оборудование включают транспортные и заготовительно-складские расходы, а также расходы на комплектацию.

Для получения полной стоимости ПС к сумме стоимостных показателей ее основных элементов добавляют затраты, сопутствующие строительству, которые исчисляются от этой суммы и составляют:

- 8,5 - 9,0% - прочие работы и затраты. Максимальный показатель принимается для объектов, находящихся в удаленных труднодоступных регионах, не обеспеченных производственными ресурсами.

– 2,6 - 3,18% - содержание службы заказчика-застройщика, строительный контроль. Величина процентной нормы определяется стоимости строительства, согласно Методическим по расчету норматива затрат на содержание службы заказчика-застройщика ОАО «ФСК ЕЭС»;

– 7,5 - 8,5% - проектно-изыскательские работы и авторский надзор (при осуществлении нового строительства - 8%). Принимать в соответствии с методическими указаниями по применению справочников базовых цен на проектные работы в строительстве, утвержденные приказом Министерства регионального развития Российской Федерации от 29 декабря 2009 г. № 620

– 3% - непредвиденные затраты.

Укрупненный стоимостной расчет капитальных затрат на строительство проектируемого объекта представлен в таблице 3.5.

Таблица 3.5 – Укрупненный стоимостной расчет капитальных затрат проекта строительства электроэнергетического комплекса. Источник: составлено автором

Составляющие затрат	Величина затрат, тыс. руб
ВЛ 110 кВ Полиметалл - Албазино	
Строительно-монтажные работы	379499
Прочие затраты	37782
ПИР	30940
Итого стоимость строительства ВЛ 110 кВ Полиметалл - Албазино:	448221
ПС 110 кВ Албазино	
Строительно-монтажные работы	536422
Прочие затраты	53405
ПИР	43733
Итого стоимость строительства ПС 110 кВ Албазино:	633559
Общие затраты	
Проектно-изыскательские работы и авторский надзор (8%)	86542
Непредвиденные затраты (3%)	32453
Итого общих затрат:	118996
Итого стоимость строительства электроэнергетического комплекса:	1200776

В рамках настоящей работы при построении денежных потоков предлагаемого проекта автором были приняты следующие оговорки и допущения:

1. Годовой объем перерабатываемой руды на Албазинском ГОКе в прогнозируемом периоде 2024-2030 соответствуют объему переработки предприятия в 2022 году (не менее 1 840 тыс. т). В связи с окончанием производства в 2041, автором

прогнозируется снижение объемов переработки в период с 2031 по 2035 гг. на 5% ежегодно [4].

2. Автором принято допущение о величине совокупных и удельных эксплуатационных затрат на переработку: совокупные эксплуатационные затраты на переработку руды с применением ДЭС составляют 2 244 800 тыс. руб. в годовом выражении, с применением ЛЭП – 829 088 тыс. руб.; удельные затраты на переработку 1 т. руды с применением ДЭС составляют – 1220 руб/т, с применением ЛЭП – 451 руб/т.

3. Согласно ПБУ 6/01:20 [96] срок полезного использования объектов основных средств определяется организацией при принятии объекта к бухгалтерскому учету. Определение срока полезного использования объекта основных средств производится исходя из:

- ожидаемого срока использования этого объекта в соответствии с ожидаемой производительностью или мощностью;
- ожидаемого физического износа, зависящего от режима эксплуатации (количества смен), естественных условий и влияния агрессивной среды, системы проведения ремонта;
- нормативно-правовых и других ограничений использования этого объекта (например, срок аренды).

Автором принято допущение об отнесении объектов электроэнергетического комплекса в 6-ую амортизационную группу (комплекс энергоснабжения).

4. Ставка дисконтирования принимается равной 19%.

Окупаемость данного проекта представлена Приложении Е, таблица Е.1.

Таким образом, кумулятивный чистый дисконтированный доход от реализации и внедрения результатов проекта составляет 3 360 615 501 руб. в долгосрочном периоде планирования денежных потоков (12 лет) с учетом срока окупаемости 4 года.

Для повышения энергоэффективности данного предприятия автором предлагается дополнить данный проект: на территории Албазинского ГОК заменить энергообеспечение насосной станции с номинальной мощностью 100 кВт на ВИЭ.

Однако данные источники энергии характеризуются невозможностью выработки энергии круглосуточно. На сегодняшний день для покрытия необходимого спроса на энергию применяются дизель-генераторные установки. В рамках данного моделирования предлагается использовать систему накопления энергии совместно с ВИЭ.

Для обеспечения энергией насосной станции с мощностью 100 кВт требуются 2 ДГУ, которые работает с загрузкой 75%. В качестве примера выбрана модель АМПЕРОС АД-70-Т40 в кожухе [29]. В результате расчетов суточное потребление топлива составляет (3.27):

$$0,75 \cdot 20 \text{ л/ч} \cdot 2 \cdot 24 \text{ ч} = 720 \text{ л.} \quad (3.27)$$

Формула расчета 1 кВт/ч, выработанного ДГУ (3.28):

$$C_{\text{ДГУ}} = \frac{C_{\text{total}}}{E_{\text{ДГУ}}} = \frac{C_{\text{CAPEX}} + C_{\text{OPEX}} + C_{\text{топ}} \cdot Q_{\text{топ}}}{E_{\text{ДГУ}}}, \quad (3.28)$$

где C_{total} – общие затраты, руб

C_{CAPEX} – общие капитальные затраты, руб

C_{OPEX} – общие операционные затраты, руб

$C_{\text{топ}}$ – цена дизельного топлива, руб/л

$Q_{\text{топ}}$ – суточный объем топлива, потребляемый ДГУ, л

$E_{\text{ДГУ}}$ – общий объем выработанной электроэнергии ДГУ, кВт/ч

При расчетах допущены следующие допущения:

1) средняя наработка на отказ дизель-генераторной установки составляет 17520 ч. (2 года/730 дней)

2) цена на дизельное топливо установлена на уровне 65 руб/л

3) OPEX составляет 10% от CAPEX

Таким образом, цены электроэнергии, выработанной дизель-генераторной установкой составляет (3.29):

$$C_{\text{ДГУ}} = \frac{((2 \cdot 644498) + 10\%) + 65 \cdot 720 \cdot 730}{52,5 \cdot 2 \cdot 17520} = 19 \text{ руб/кВт} \quad (3.29)$$

В качестве аналога предлагается замена источника энергии на ветроэнергетическую установку, фотоэлектрическую панель и систему накопления энергии. Баланс энергетической системы для нахождения необходимых параметров и расчета стоимости общей энергоустановки (3.30):

$$\begin{cases} E_y = E_{\text{ст}} + E_{\text{СНЭ}} \\ E_{\text{ст}} = P_{\text{ст}} \cdot t_y \\ E_{\text{СНЭ}} = P_{\text{ст}} \cdot (24 - t_y) \end{cases}, \quad (3.30)$$

где E_y – энергия, получаемая при работе энергоустановки, кВт/ч

$E_{\text{ст}}$ – энергия, потребляемая насосной станцией, кВт/ч

$E_{\text{СНЭ}}$ – энергия, передаваемая системе накопления, кВт/ч

$P_{\text{ст}}$ – мощность насосной станции, кВт

t_y – время работы энергоустановки, ч

Энергию, получаемую при работе энергоустановки за сутки также, можно описать другим уравнением (3.31):

$$E_y = P_y \cdot t_y, \quad (3.31)$$

где P_y – мощность энергоустановки, кВт

В результате получается следующее соотношение (3.32):

$$P_y \cdot t_y = P_{ст} \cdot t_y + P_{ст} \cdot (24 - t_y) \quad (3.32)$$

Таким образом, необходимая мощность энергоустановки для обеспечения суточного потребления энергии насосной станцией (3.33):

$$P_y = \frac{24 \cdot P_{ст}}{t_y} \quad (3.33)$$

Для определения необходимой энергоемкости системы накопления необходимо принять тот факт, что часть энергии будет расходоваться на поддержание необходимых условий работы самого накопителя, в связи с чем необходимо предусмотреть резерв энергии в размере 30% (3.34):

$$E'_{снэ} = E_{снэ} + 30\% \quad (3.34)$$

Для определения необходимой мощности ветроэнергетической установки и фотоэлектрической панели необходимо соблюдать следующее равенство (3.35):

$$d_{вэу} + d_{сэс} = 1, \quad (3.35)$$

где $d_{вэу}$ – доля ветровой энергии в энергобалансе;

$d_{сэс}$ – доля солнечной энергии в энергобалансе.

Необходимая мощность ветроэнергетической установки определяется следующим образом (3.36):

$$P_{вэу} \cdot k_{вэу} = d_{вэу} \cdot E_y, \quad (3.36)$$

где $k_{вэу}$ – КИУМ ветроэнергетических установок (принимается за 0.75).

Таким образом, из соотношения получаем формулу расчета необходимой мощности ВЭУ (3.37):

$$P_{вэу} = \frac{d_{вэу} \cdot E_y}{k_{вэу}} \quad (3.37)$$

Необходимая мощность ветроэнергетической установки определяется следующим образом (3.38):

$$P_{сэс} \cdot k_{сэс} = d_{сэс} \cdot E_y, \quad (3.38)$$

где $k_{сэс}$ – КИУМ фотоэлектрической панели (принимается за 0.25).

Таким образом, из соотношения получаем формулу расчета необходимой мощности ВЭУ (3.39):

$$P_y = \frac{d_{сэс} \cdot E_y}{k_{сэс}} \quad (3.39)$$

При расчетах учитываются следующие условия:

1) энергетическая установка должна работать 16 часов, в течение которых она обеспечивает энергий насосную станцию, а также заряжает систему накопления энергии, которая будет поддерживать работу станции в течение последующих 8 часов;

2) инвестиционные затраты в 1 кВт генерирующей мощности для ветроэнергетической установки составляет 101 956 руб. [12]; для фотоэлектрической панели 85 000 руб. [93].

3) затраты в 1 кВт накопления энергии составляют 42 000 руб. [77].

Таким образом, можно рассчитать необходимые параметры:

1) мощность энергоустановки для обеспечения суточного потребления энергии насосной станцией (3.40):

$$P_y = \frac{24 \text{ ч} \cdot 100 \text{ кВт}}{16 \text{ ч}} = 150 \text{ кВт} \quad (3.40)$$

2) передаваемая энергия накопителю (3.41):

$$E_{\text{СНЭ}} = 100 \text{ кВт} \cdot (24 \text{ ч} - 16 \text{ ч}.) = 800 \text{ кВт} \cdot \text{ч} / \text{сут} \quad (3.41)$$

3) передаваемая энергия накопителю с учетом резерва энергии (3.42)

$$E'_{\text{СНЭ}} = 800 \text{ кВт} \cdot \text{ч} + 30\% = 1040 \text{ кВт} \cdot \text{ч} / \text{сут} \quad (3.42)$$

4) мощность ВЭУ (3.43)

$$P_{\text{ВЭУ}} = \frac{0,5 \cdot 150 \text{ кВт}}{0,75} = 100 \text{ кВт} \quad (3.43)$$

5) мощность СЭС (3.44)

$$P_{\text{СЭС}} = \frac{0,5 \cdot 150 \text{ кВт}}{0,25} = 300 \text{ кВт} \quad (3.44)$$

6) CAPEX (3.45)

$$\text{CAPEX} = P_{\text{ВЭУ}} \cdot C_{\text{ВЭУ}} + P_{\text{СЭС}} \cdot C_{\text{СЭС}} + E'_{\text{СНЭ}} \cdot C_{\text{СНЭ}} \quad (3.45)$$

$$\begin{aligned} \text{CAPEX} &= 100 \text{ кВт} \cdot 101\,956 \text{ руб.} + 300 \text{ кВт} \cdot 85\,000 \text{ руб.} + \\ &+ 1040 \text{ кВт} \cdot 42\,000 \text{ руб.} = 79\,375\,600 \text{ руб.} \end{aligned}$$

7) годовой экономический эффект заключается в сокращении затрат на энергию (3.46) и (3.47)

$$R_{\text{ec}} = \left(C_{\text{ДГУ}} - \frac{\text{CAPEX}_y}{8760 \text{ ч} \cdot 10 \text{ лет} \cdot (0,25 \cdot 300 + 0,75 \cdot 100)} \right) \cdot P_{\text{ст}} \cdot 8760 \quad (3.46)$$

$$R_{\text{ec}} = (19 \text{ руб.} - 3 \text{ руб.}) \cdot 100 \text{ кВт} \cdot 8760 \text{ ч} = 11\,388\,000 \text{ руб.} \quad (3.47)$$

При расчете срока окупаемости данного проекта допущены следующие допущения:

1) при расчете выручки учитывался ежегодный рост тарифов на электроэнергию в размере 5%

2) эксплуатационные расходы составляют 10% CAPEX

- 3) срок амортизации составляет 7 лет (5 группа, источники автономного электропитания)
- 4) налог на прибыль составляет 20%
- 5) ставка дисконтирования составляет 19%

Окупаемость данного проекта представлена в Приложении Е, таблица Е.2.

Таким образом, результаты моделирования показывают, что энергообеспечение некоторых производственных участков на отдаленных территориях дает значительный экономический эффект перед энергообеспечением с помощью дизель-генераторных установок.

В рассмотренных примерах оба проекта отвечают необходимому условию – положительный чистый дисконтированный доход. В соответствии с методическим подходом следующим этапом является многокритериальная оценка проектов.

На шаге 1 определены критерии и соответствующие им показатели (представлены в таблице 3.2, параграф 3.1).

На шаге 2 разработаны шкалы оценки для показателей 1 уровня. В отчете по устойчивому развитию компании «Полиметалл» установлены следующие цели:

- 1) снижение выбросов парников газов к 2035 году на 35%;
- 2) увеличение доли собственного производства электроэнергии за счет возобновляемых источников до 7% к 2025 году.

Исходя из этого установлены диапазоны изменения показателей, которые представлены в таблице 3.3.

Следует отметить, что на сегодняшний день в отчетах по устойчивому развитию отсутствуют разделы, посвященные целевым показателем по повышению надежности и гибкости.

Исходя из анализа научной литературы установлено, что на сегодняшний день показатели гибкости энергосистемы предприятия не разработаны. В связи с этим автором предложены собственные показатели для оценки данного критерия. Так как оба рассмотренных проекта не направлены на возможность участия в программах управления спросом, рассчитывается один показатель – количество часов получения энергии из системы накопления в пределах суток. Целевой показатель в этом случае установлен автором на уровне 10 ч.

Показатели надежности в данных примерах не рассчитываются.

На шаге 3 определены суммы баллов по проекту, которая характеризует степень достижения ЦУР. На шаге 4 проведена оценка экономической эффективности проекта по критериям 2 уровня. Обобщенная многокритериальная оценка проектов представлена в таблице 3.5 и 3.6.

Таблица 3.6 – Результаты экономической оценки базового проекта повышения энергоэффективности на Албазинском ГОКе. Источник: составлено автором

Критерий	Показатель	Изменение показателя	Баллы показателя	Баллы критерия	Объем инвестиций, млрд. руб.	Кумулятивный ЧДД, млрд. руб.
Проект строительства электроэнергетического комплекса						
Экономичность	Энергоемкость	не изменяется	0	10	1, 2	3,3
	Объем потребления энергоресурсов	снижается на 66%	10			
Экологичность	Доля энергии из ВИЭ	не изменяется	0	10		
	Объемы выбросов CO ₂	объем выбросов в охвате 1 снижаются на 100%	10			
Надежность и безопасность	Коэффициент технического использования	не изменяется	0	0		
	Коэффициент готовности	не изменяется	0			
Гибкость	Доля СНЭ	не изменяется	0	0		
	Коэффициент управления спросом	не изменяется	0			
			Итого	20	1,2	3,3

Таблица 3.7 – Результаты экономической оценки дополненного проекта повышения энергоэффективности на Албазинском ГОКе. Источник: составлено автором

Критерий	Показатель	Изменение показателя	Баллы показателя	Баллы критерия	Объем инвестиций, млрд	Кумулятивный ЧДД, млрд. руб.
Проект строительства электроэнергетического комплекса, применения ВИЭ и СНЭ						
Экономичность	Энергоемкость	не изменяется	0	10	1,2 (базовый проект) 0,079 (дополнительный проект)	1,2 (базовый проект) 0,094 (дополнительный проект)
	Объем потребления энергоресурсов	снижается на 66%	10			
Экологичность	Доля энергии из ВИЭ	растет на 0.02%	1	11		
	Объемы выбросов CO ₂	объем выбросов в охвате 1 снижаются на 100%	10			
Надежность и безопасность	Коэффициент технического использования	не изменяется	0	0		
	Коэффициент готовности	не изменяется	0			
Гибкость	Доля СНЭ	растет на 33%	9	8		
	Коэффициент управления спросом	не изменяется	0			
			Итого	30	1,279	3,394

Исходя из этого можно сделать вывод, что комплексная реализация проектов может способствовать значительному увеличению вклада в достижение целей устойчивого развития. Это обусловлено синергетическим эффектом, возникающим при интеграции различных критериев проектов, что позволяет максимизировать эффективность использования ресурсов. При этом обеспечивается более целостный и координированный подход к решению задач устойчивого развития, что ведет к более ощутимым долговременным результатам. На рисунке 3.4 представлено сравнение достижения различных критериев.

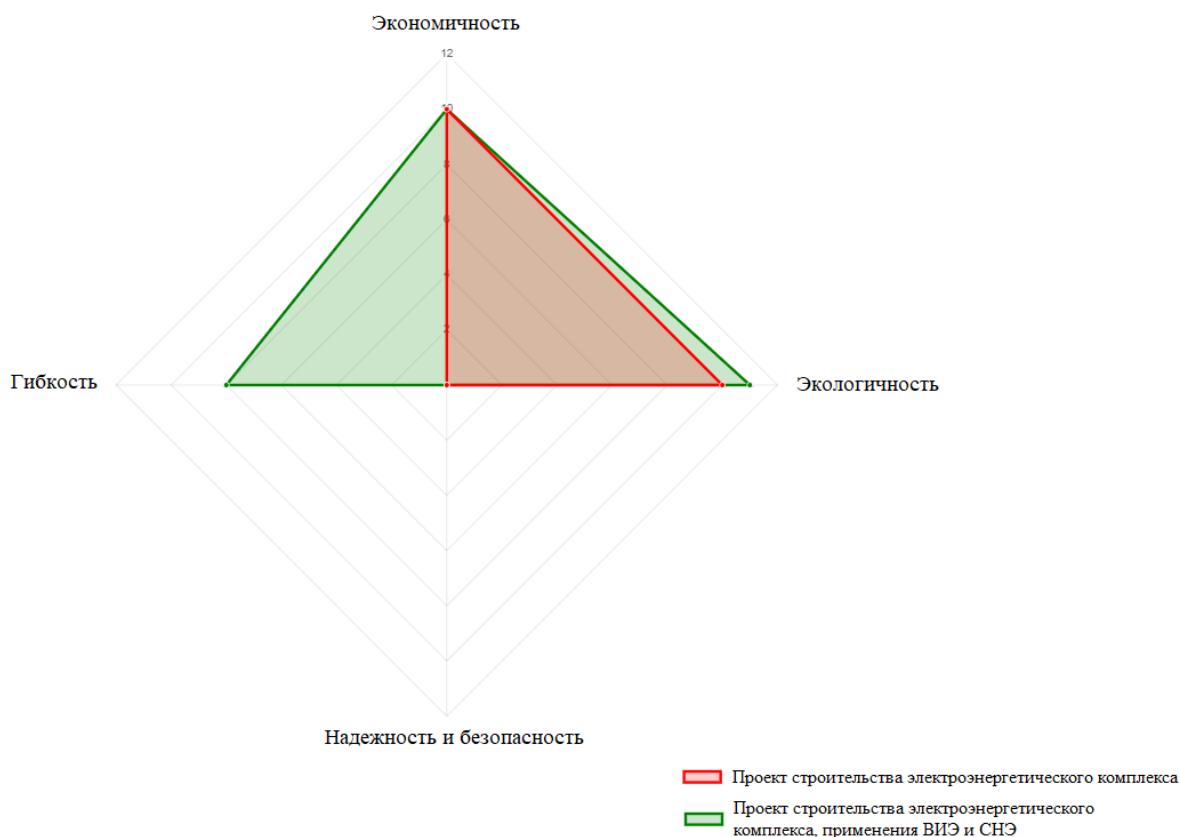


Рисунок 3.4 – Диаграмма достижения критериев в результате реализации проектов. Источник: составлено автором

Разработанная систематизация позволяет паспортизировать данные проекта для их учета (таблица 3.8 и 3.9).

Таблица 3.8 – Паспорт базового проекта. Источник: составлено автором

Признаки систематизации	Группы
Основная цель	интенсивное энергосбережение
Результаты	технологические: снижение потребления дизельного топлива экологические: снижение выбросов CO ₂
Отношение к производственному процессу	проекты, применяемые в основном производстве
Характер проектных мероприятий	технологические

Продолжение таблицы 3.8

Характер проявления результата	основной
Уровень реализации проекта	предприятие
Масштаб проекта	крупный

Таблица 3.9 – Паспорт дополнительного проекта. Источник: составлено автором

Признаки систематизации	Группы
Основная цель	повышение гибкости управления энергоресурсами и энергосистемой
Результаты	технологические: увеличение доли СНЭ в энергосистеме экологические: снижение выбросов CO ₂ , увеличение доли ВИЭ в энергосистеме
Отношение к производственному процессу	проекты, применяемые в основном производстве
Характер проектных мероприятий	технологические
Характер проявления результата	основной
Уровень реализации проекта	производственный процесс
Масштаб проекта	средний

Таким образом, применение данной методики к двум рассматриваемым проектам позволило провести их всесторонний анализ и объективное сравнение. В процессе анализа были учтены все четыре критерия, что обеспечило комплексный подход к оценке проектов.

Результаты сравнительного анализа показали, что второй проект набрал большее количество баллов в сумме по сравнению с первым проектом. Это свидетельствует о его предпочтительности по совокупности всех рассматриваемых критериев, при условии, что объем инвестиций не превысит запланированный бюджет. В частности, второй проект продемонстрировал более высокие показатели по критериям экологичности и гибкости, что позволяет считать его более эффективным и перспективным для реализации на горных предприятиях.

Рекомендация для дальнейших исследований заключается в продолжении разработки и совершенствования методик оценки энергоэффективности, а также в проведении дополнительных сравнительных анализов с целью выявления наиболее эффективных и устойчивых решений для горных предприятий. Это позволит обеспечить долгосрочное развитие отрасли с учетом современных требований к энергоэффективности и устойчивому развитию.

3.5 Выводы по главе 3

1. В результате выполненной работы предложен методический подход к оценке проектов повышения энергоэффективности, включающий 4 этапа оценки: выбор целевого направления реализации проектов, систематизация проектов, обоснование критериев и показателей

энергоэффективности, многокритериальная оценка проектов. Принцип «вклада» многокритериальной оценки предполагает, что каждый проект должен оцениваться не только по его экономической эффективности, но и по его вкладу в достижение целей устойчивого развития.

2. Признаки систематизации проектов дополнены авторскими: «целевое направление» обусловлен глобальными задачами, которые решаются при реализации проектов, направленных на повышение энергоэффективности; «ожидаемые результаты» позволяет выделить и обобщить возможные результаты проектов, имеющих различные цели; «отношение к производственному процессу» обусловлен необходимостью определить его роль и место в производственной системе компании; «характер проектных мероприятий» определяет типы действий, требуемых для реализации проекта; «характер проявления результатов» классифицирует результаты на основе их влияния на энергоэффективность.

3. Разработана методика многокритериальной оценки проектов повышения энергоэффективности на горных предприятиях, основанная на 4 критериях (экономичность, экологичность, надежность и безопасность, гибкость) и предполагающая следующую последовательность: определение критериев и соответствующих показателей, разработка шкалы для показателей 1 уровня, определение суммы баллов по проекту, которая характеризует степень достижения ЦУР, оценка экономической эффективности проекта по критериям 2 уровня.

Обоснованы показатели, характеризующие данные критерии, предложены авторские показатели оценки критерия «гибкость».

4. Выполнена апробация разработанной методики многокритериальной оценки на примере «Албазино», входящего в структуру АО «Полиметалл»: базовый проект получил в сумме 20 баллов при инвестициях в размере 1.2 млрд. руб., дополненный проект – 30 баллов при инвестициях в размере 1.279 млрд. руб. На основании проведенного анализа можно сделать заключение, что второй проект является предпочтительным и рекомендуется к реализации в целях повышения энергоэффективности и устойчивого развития горных предприятий.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация представляет собой научную работу, в которой предлагается решение актуальной научной задачи по обоснованию комплексной экономической оценки проектов повышения энергетической эффективности на основе монетизации нефинансовых выгод. По результатам выполнения диссертационной работы сделаны следующие выводы и рекомендации:

1. Установлено, что горные предприятия, как объекты энергопотребления имеют специфические особенности (признаки), среди которых можно выделить: сложность и непрерывность производственного процесса, высокий уровень механизации, особые условия труда, содержание объектов социальной инфраструктуры, сложность системы энергоснабжения, высокие энергозатраты на обеспечение производственных процессов.

2. Выявлено, что повышение энергоэффективности горных предприятий может быть осуществимо или ограничено в зависимости от взаимодействия множества внешних и внутренних факторов, определяющих степень адаптивности и устойчивости систем управления энергопотреблением и эффективность внедрения проектов.

3. Определены основные целевые направления повышения энергоэффективности на горных предприятиях: снижение потребления энергоресурсов, повышение качества энергоресурсов, повышение надежности и безопасности энергосистемы предприятия, повышение гибкости управления энергоресурсами и энергосистемой.

4. Дано авторское определение энергоэффективности как экономической категории на основании рассмотрения этапов развития концепции энергоэффективности, анализа существующих определений и принципов «энергетической трилеммы» для уровня предприятия.

5. Предложен методический подход к оценке проектов повышения энергоэффективности, основанный на систематизации проектов, сформированного комплекса показателей и расчетных моделей, который позволяет учесть различные результаты проектов (технологические, экологические, социальные, организационные) и разработанной методике многокритериальной оценки.

6. Выполнена апробация разработанной методике многокритериальной оценки на примере предприятия - «Албазинский ГОК», входящего в структуру АО «Полиметалл». Результаты оценки показали, что комплекс проектов с позиции достижения ЦУР предприятия, является более предпочтительным и при наличии источников финансирования может быть рекомендован к реализации.

Перспективами дальнейшего исследования может выступать совершенствование методике экономической оценки проектов повышения энергоэффективности, в частности, в расширении перечня показателей оценки технологических, экологических, социальных и организационных результатов внедрения проектов. Повышение надежности и безопасности,

гибкости энергосистемы являются современными направлениями повышения энергоэффективности горных предприятий, что требует разработки универсальных показателей оценки данных критериев.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абрамович, Б. Н. Выбор параметров ветродизельной установки для энергообеспечения минерально-сырьевого комплекса / Б. Н. Абрамович, А. А. Бельский // Записки Горного института. – 2012. – Т. 195. – С. 227-230.
2. Абрамович, Б. Н. Методы и средства обеспечения энергетической безопасности промышленных предприятий с непрерывным технологическим циклом / Б. Н. Абрамович, Сычев Ю.А. // Промышленная энергетика. – 2016. – № 10. – С. 18-22.
3. Абрамович, Б. Н. Фотоэлектрическая станция прямого преобразования для объектов минерально-сырьевого комплекса / Б. Н. Абрамович, Э. В. Яковлева // Записки Горного института. – 2012. – Т. 196. – С. 210-213.
4. Албазино / Текст : электронный. – URL: <https://www.polymetal.ru/assets/where-we-operate/albazino/#Reserves> (дата обращения: 03.10.2023).
5. Аналитический отчет. Российская электроэнергетика: 20 лет реформ. – URL: https://actek.group/russian_electric_power_industry/ (дата обращения: 03.08.2023). – Текст : электронный.
6. Андрижиевский, А. А. Энергосбережение и энергетический менеджмент: учеб. пособие для вузов / А. А. Андрижиевский, В. И. Володин. – Минск : Вышэйшая школа, 2005. – 294 с.
7. Баланс энергоресурсов Российской Федерации. – URL: https://rosstat.gov.ru/enterprise_industria (дата обращения: 13.06.2023). – Текст : электронный.
8. Баранов, С. В. Комплексные оценки регионов Севера по уровню социально-экономического развития / С. В. Баранов // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 6. – С. 429.
9. Башмаков, И. А. Повышение энергоэффективности и экономический рост / И. А. Башмаков // Вопросы экономики. – 2019. – № 10. – С. 32-63.
10. Бусыгин, А. В. Деловое проектирование и управление проектом : курс лекций / А. В. Бусыгин. – Москва : ФГУП Моск. тип., 2003. – 513 с.
11. Бык, Ф. Л. Особенности и перспективы развития распределенной энергетики в России / Ф. Л. Бык, П. В. Илюшин, Л. С. Мышкина // Известия высших учебных заведений. Электромеханика. – 2021. – Т. 64. – № 6. – С. 78-87.
12. Ветроэнергетический рынок России: потенциал развития новой экономики. – URL: <https://clck.ru/3BrDAk> (дата обращения: 05.10.2023). – Текст : электронный.
13. Виноградова, В.В. Направления развития рынка электроэнергии Российской Федерации в условиях цифровизации / В.В. Виноградова, С.М. Райхлин, М.А. Невская // Экономика и предпринимательство. – 2022. – С. 176–187. – DOI: 10.34925/EIP.2022.141.4.032

14. Влияние стандарта ISO 50001 на энергетический менеджмент на экономические показатели предприятия. – URL: <http://www.iso.org/iso/ru/home/standards/management-standards/iso50001.html> (дата обращения: 30.04.2023). – Текст : электронный.
15. Вышегородцева, Г. И. Практикум по основам надежности технических систем. Методические указания к выполнению практических работ и самостоятельной работы для студентов факультета инженерной механики / Г. И. Вышегородцева, В. Н. Агеева. – Москва : РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина, 2018. – 65 с.
16. Гейзлер, П. С. Управление проектами: учеб. пособие / П. С. Гейзлер, О. В. Завьялова. – Минск : БГЭУ, 2005. – 130 с.
17. Гительман, Л. Д. Управление спросом на электроэнергию: адаптация зарубежного опыта в России / Л. Д. Гительман, Б. Е. Ратников, М. В. Кожевников // Стратегические решения и риск-менеджмент. – 2014. – № 1. – С. 84-89.
18. Гительман, Л. Д. Управление спросом на энергию в регионе / Л. Д. Гительман, Б. Е. Ратников, М. В. Кожевников // Экономика региона. – 2013. – Т. 34. – № 2.
19. Голенкова, З. Т. Рынок труда в условиях санкций: потребность в профессиях / З. Т. Голенкова, И. М. Орехова // Россия реформирующаяся. – 2022. – № 21. – С. 230-247.
20. ГОСТ 27322-87. Энергобаланс промышленного предприятия. Общие положения. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200011413> (дата обращения: 26.07.2022). – Текст : электронный.
21. ГОСТ 31532-2012. Энергосбережение. Энергетическая эффективность. Состав показателей. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200102302> (дата обращения: 26.07.2022). – Текст : электронный.
22. ГОСТ 31607-2012. Энергосбережение. Нормативно-методическое обеспечение. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200102306> (дата обращения: 26.07.2022). – Текст : электронный.
23. ГОСТ Р 58289-2018. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200161603> (дата обращения: 13.02.2023). – Текст : электронный.
24. Государственный доклад о состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2021 году. – URL: <https://gd2021.data-geo.ru/> (дата обращения: 03.12.2022). – Текст : электронный.
25. Государственный доклад о состоянии энергосбережения и повышении энергетической эффективности в Российской Федерации за 2021 год. – URL: <https://clck.ru/3AyunS> (дата обращения: 16.02.2022). – Текст : электронный.
26. Государственный доклад о состоянии энергосбережения и повышении энергетической эффективности в Российской Федерации за 2022 год. – URL:

<https://clck.ru/3BoWKJ> (дата обращения: 21.12.2023). – Текст : электронный.

27. Давыдянц, Д. Е. К определению понятий «энергосбережение» и «энергоэффективность» / Д. Е. Давыдянц, В. Е. Жидков, Л. В. Зубова // *Фундаментальные исследования*. – 2014. – Т. 6. – № 9. – С. 1294-1296.

28. Данилов, О. Л. Практическое пособие по выбору и разработке энергосберегающих проектов / О. Л. Данилов, П. А. Костюченко. – Москва : Технопромстрой, 2006. – 668 с.

29. ДГУ «АМПЕРОС АД-70-Т40» в кожухе. – URL: <https://spb.all-generators.ru/products/diesel-generators/amperos/amperos-ad-70-t400-kozhuh/> (дата обращения: 05.10.2023). – Текст : электронный.

30. Девликамова, А. С. Энергоэффективные технологии в строительстве / А. С. Девликамова, К. А. Петулько // *Молодой ученый*. – 2016. – Т. 112. – № 8. – С. 1268-1271.

31. Дзюба, А. П. Модель комплексного ценозависимого управления спросом промышленных предприятий на электроэнергию и газ / А. П. Дзюба, И. А. Соловьева // *Известия Уральского государственного экономического университета*. – 2018. – Т. 19. – № 1. – С. 79-93.

32. Добыча полезных ископаемых в карьерах и разрезах. – URL: <https://hammermaster.ru/stati/dobycha-poleznykh-iskopaemykh-v-karerakh-i-razrezakh> (дата обращения: 07.09.2023). – Текст : электронный.

33. Доклад о реализации Энергетической стратегии России на период до 2030 года по итогам 2018 года. – URL: <https://minenergo.gov.ru/node/15357?ysclid=lays8s7j1w982283175> (дата обращения: 30.11.2022). – Текст : электронный.

34. Евсеенко, В. В. Электроснабжение и энергосбережение в АК «АЛРОСА» / В. В. Евсеенко, А. В. Юрченко, О. А. Юрченко // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. – 2003. – № 8. – С. 151-152.

35. Ефремов, В. В. «Энергосбережение» и «энергоэффективность»: уточнение понятий, система сбалансированных показателей энергоэффективности / В. В. Ефремов, Г. З. Маркман // *Известия ТПУ*. – 2007. – № 4.

36. Жаров, В. С. Количественная оценка уровня устойчивости промышленных предприятий как основы стратегического планирования и управления развитием / В. С. Жаров, А. А. Токаренко // *Друкерровский вестник*. – 2023. – № 5. – С. 37-47.

37. Жукова, Е. В. Основные тенденции развития ESG-повестки: обзор в России и в мире / Е. В. Жукова // *Вестник Российского экономического университета им. ГВ Плеханова*. – 2021. – Т. 18. – № 6 (120). – С. 68-82.

38. Запивалов, Н. П. Факторы устойчивого развития в нефтегазовых секторах России / Н. П. Запивалов, Г. И. Смирнов // *Проблемы устойчивого развития: иллюзии, реальность*,

прогноз. – 2002. – С. 124-130.

39. Из потребителей – в партнеры. – URL: <https://www.eprussia.ru/epr/278/4315508.html> (дата обращения: 24.03.2023). – Текст : электронный.

40. Измайлова, М. А. Устойчивое развитие как новая составляющая корпоративной социальной ответственности / М. А. Измайлова // МИР (Модернизация. Инновации. Развитие). – 2021. – Т. 12. – № 2. – С. 100-113.

41. Инфраструктурный центр EnergyNet. Управление спросом в электроэнергетике России: открывающиеся возможности. – URL: https://www.sosups.ru/fileadmin/files/company/markets/dr/publication/EnergyNet_2019.pdf (дата обращения: 27.04.2022). – Текст : электронный.

42. Исследование экономических показателей для оценки энергоэффективности промышленных предприятий с непрерывным характером производства / И. У. Рахмонов, М. К. У. Абдухалилов, Н. Н. У. Курбонов, Б. А. Узаков // Проблемы современной науки и образования. – 2024. – № 5 (192). – С. 10-14.

43. ИТС 16-2016 «Горнодобывающая промышленность. Общие процессы и методы». – URL: https://cbr.ru/hd_base/inf/ (дата обращения: 03.06.2024). – Текст : электронный.

44. Ключев, Н. Н. Актуальные изменения на промышленной карте России / Н. Н. Ключев // Известия Российской академии наук. Серия географическая. – 2020. – Т. 84. – № 5. – С. 660-673.

45. Ключевая ставка Банка России и инфляция / Текст : электронный. – URL: https://cbr.ru/hd_base/inf/ (дата обращения: 03.06.2024).

46. Козярук, А. Е. Искажение формы питающего напряжения в сетях электроснабжения при наличии полупроводниковых преобразователей / А. Е. Козярук // Горное оборудование и электромеханика. – 2011. – № 6. – С. 30-35.

47. Кононов, Ю. Д. Зависимость состава и значимости индикаторов энергетической безопасности от целей прогноза и рассматриваемой перспективы / Ю. Д. Кононов, Д. Ю. Кононов // Информационные и математические технологии в науке и управлении. – 2022. – № 2 (26). – С. 97-103.

48. Копейкин, Б. В. Эффективность энергосбережения: Опыт ПО «Невский завод» им. В. И. Ленина / Б. В. Копейкин, Е. А. Смирнов, Г. Л. Багиев. – Ленинград : Энергоатомиздат: Ленинградское отделение, 1985.

49. Короткевич, М. А. Оценка значения индекса надежности энергосистем / М. А. Короткевич // Наука – образованию, производству, экономике: материалы 13-й Международной научно-технической конференции. – 2015. – Т. 1. – С. 57.

50. Краснов, А. С. Оценка энергоэффективности систем теплоснабжения промышленных предприятий / А. С. Краснов, К. К. Ким // Известия Транссиба. – 2021. – Т. 47. – № 3.
51. Кружилин, А. П. Управленческая концепция «тройного критерия» в управлении малым бизнесом в условиях санкций / А. П. Кружилин // Теория и практика управления предпринимательскими структурами в современных условиях. – 2023. – С. 241-247.
52. Лисиенко, В. Г. Хрестоматия энергосбережения: справочное издание: в 2-х книгах. Книга 1. / В. Г. Лисиенко, Я. М. Щелоков, М. Г. Ладыгичев. – Москва : Теплотехник, 2005. – 688 с.
53. Лицзюань Чжан. Оценка чистых угольных технологий с применением технологии улавливания, утилизации и хранения углерода в угольной промышленности Китая / Лицзюань Чжан, Пономаренко Т. В., Сидоров Д. В. // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2024. – Т. 2. – С. 105-128.
54. Ляхомский, А. В. Энергетические показатели и критерии оценки энергоэффективности технологических процессов горного производства / А. В. Ляхомский, А. В. Пичуев, Е. Н. Перфильева // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2014. – № S1.
55. Мазур, И. И. Управление проектами: учеб. пособие для вузов / И. И. Мазур, В. Д. Шапиро, Н. Г. Ольдерогге. – Москва : ЗАО «Издательство «Экономика», 2001.
56. Макаров, А. А. Нуждается в совершенствовании / А. А. Макаров // Энергия: экономика, техника, экология. – 1987. – № 4. – С. 22-23.
57. Макарова, Л. М. Управленческий учет затрат на энергоресурсы / Л. М. Макарова, Е. Е. Родина // Форум. – 2019. – Т. 16. – № 1. – С. 162-168.
58. Малхозова, Ф. В. Начало радикальных экономических реформ в России. 1992-1993 гг. / Ф. В. Малхозова // Экономическая история: ежегодник. – 2022. – Т. 2021. – С. 390-432.
59. Мастепанов, А. М. The Energy Trilemma Index как оценка энергетической безопасности / А. М. Мастепанов, Б. М. Чигарев // Энергетическая политика. – 2020. – Т. 8. – № 150.
60. Матарас, Е. В. Реализация основных процессов энергосбережения в Республике Беларусь / Е. В. Матарас, Л. В. Олехнович // Студенческий Вестник. – 2007. – Т. 10.
61. Методические принципы оптимального управления воздухораспределением подземного рудника в системах «вентиляция по требованию» / Д. А. Стадник, Н. М. Стадник, Е. В. Лопушняк, Г. А. Кумсиев // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2022. – № 1. – С. 457-466.
62. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных

проектов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200005634> (дата обращения: 19.08.2023). – Текст : электронный.

63. Методические рекомендации по расчету норматива затрат на содержание службы заказчика-застройщика ОАО «ФСК ЕЭС». – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200100336> (дата обращения: 03.10.2023). – Текст : электронный.

64. Минерально-сырьевые ресурсы российского Севера / С. К. Кузнецов, И. Н. Бурцев, Н. Н. Тимонина, Д. С. Кузнецов // Известия Коми научного центра УРО РАН. – 2022. – Т. 54. – № 2.

65. Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации. Национальный проект «Экология». – URL: https://www.mnr.gov.ru/activity/np_ecology/ (дата обращения: 24.09.2022). – Текст : электронный.

66. Министерство экономического развития Российской Федерации. Государственный доклад о состоянии энергосбережения и повышении энергетической эффективности в Российской Федерации / Министерство экономического развития Российской Федерации. – Москва, 2021.

67. Минэкономразвития повысило прогноз роста ВВП РФ в 2024 году до 2,8%. – URL: <https://www.interfax.ru/business/957336> (дата обращения: 24.04.2024). – Текст : электронный.

68. Назарычев, А. Н. Исследование надежности тягового электропривода карьерных самосвалов на основе анализа отказов его функциональных узлов / А. Н. Назарычев, Г. В. Дяченко, Ю. А. Сычев // Записки Горного института. – 2023. – Т. 261. – С. 363-373.

69. Невская, М.А. Методические аспекты экономической оценки проектов повышения энергоэффективности на горных предприятиях / М.А. Невская, С.М. Райхлин // Экономика, предпринимательство и право. – 2024. – Том 14. – № 6. – DOI: 10.18334/epp.14.6.121003.

70. Нормы технологического проектирования подстанций переменного тока с высшим напряжением 35-750 кВ. – URL: https://www.consultant.ru/law/podborki/normy_tehnologicheskogo_proektirovaniya_podstancij_pere_mennogo_toka_s_vysshim_napryazheniem_35-750_kv/ (дата обращения: 03.10.2023). – Текст : электронный.

71. О коренном улучшении использования сырьевых, топливно-энергетических и других материальных ресурсов в 1986-1990 годах и в период до 2000 года / Текст : электронный. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/765706315> (дата обращения: 17.01.2022).

72. Об основных направлениях энергетической политики и структурной перестройки топливно-энергетического комплекса Российской Федерации на период до 2010 года. – URL:

<https://docs.cntd.ru/document/9011458> (дата обращения: 02.08.2022). – Текст : электронный.

73. Об утверждении Энергетической стратегии России на период до 2030 года. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/902187046> (дата обращения: 16.06.2022). – Текст : электронный.

74. Об утверждении Энергетической стратегии Российской Федерации на период до 2035 года. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/565068231> (дата обращения: 28.05.2022). – Текст : электронный.

75. Оводков, М. Управление воздухом: как предприятия снижают выбросы. – URL: <https://www.rbc.ru/opinions/society/11/07/2023/64ac24759a79470da2389a79> (дата обращения: 12.07.2023). – Текст : электронный.

76. Овсейчук, В. А. Экономически обоснованное нормирование надежности и качества электроснабжения потребителей в России / В. А. Овсейчук, И. В. Жежеленко // Электрификация транспорта. – 2015. – № 10.

77. ООО «Системы накопления энергии». Системы накопления электрической энергии. Подходы к оценке проектов. – URL: <https://clck.ru/3BrDRD> (дата обращения: 05.10.2023). – Текст : электронный.

78. Отчет аналитического агентства Enerdata 2023. – URL: <https://www.enerdata.net/> (дата обращения: 13.01.2023). – Текст : электронный.

79. Отчет о функционировании ЕЭС России в 2023 году. – URL: <https://www.soups.ru/functioning/tech-disc/tech-disc2024/tech-disc2024ups/> (дата обращения: 07.09.2023). – Текст : электронный.

80. Отчет об устойчивом развитии АО «Полиметалл». – URL: <https://www.polymetal.ru/> (дата обращения: 03.10.2023). – Текст : электронный.

81. Отчет об устойчивом развитии АО «РУСАЛ» за 2022 год. – URL: <https://rusal.ru/sustainability/report/> (дата обращения: 03.01.2023). – Текст : электронный.

82. Отчет об устойчивом развитии ПАО «Северсталь».

83. Павлова, Е. В. Цена на энергоресурсы и сырьевая модель экономики России / Е. В. Павлова, Г. И. Поветкин // Азимут научных исследований: экономика и управление. – 2016. – Т. 5. – № 2. – С. 199-203.

84. Перспективные направления декарбонизации промышленного производства с высокой составляющей углеродного следа в выпускаемой продукции / Неверов Е.Н., Короткий И.А., Коротких П.С., Голубева Н.С. // Ползуновский вестник. – 2022. – № 4. – С. 54-65.

85. Петин, С. Н. Концепция интенсивного энергосбережения – научная стратегия для энергосбережения производственного комплекса в Российской Федерации / С. Н. Петин // Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые

источники энергии: сборник материалов Всероссийской студенческой олимпиады, научно-практической конференции и выставки работ студентов, аспирантов и молодых ученых. – Екатеринбург, 2010.

86. Плотников, В. А. Новый облик мировой энергетики и экономическая безопасность России / В. А. Плотников, М. В. Рукинов // Известия высших учебных заведений. Серия: Экономика, финансы и управление производством. – 2020. – № 2 (44). – С. 39-43.

87. Повышение энергетической эффективности руднотермических печей при плавке алюмокремниевых сырья / В. Ю. Бажин, Я. В. Устинова, С. Н. Федоров, М. Э. Х. Шалаби // Записки Горного института. – 2023. – Т. 261. – С. 384-391.

88. Показатели энергетической эффективности. – URL: <https://www.eeseaec.org/pokazateli-energeticeskoj-effektivnosti> (дата обращения: 03.02.2023). – Текст : электронный.

89. Поспелова, Т. Г. Основы энергосбережения: учебник / Т. Г. Поспелова; ред. Государственный комитет Республики Беларусь по энергосбережению и энергонадзору. – Минск : Технопринт, 2000. – 351 с.

90. Постановление Правительства РФ от 06.12.1993 N 1265 (с изм. от 20.04.1995) "О Федеральной целевой программе «Топливо и энергия». – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_2822/ (дата обращения: 21.02.2023). – Текст : электронный.

91. Постановление Правительства РФ от 2 ноября 1995 г. N 1087 «О неотложных мерах по энергосбережению». – URL: <https://base.garant.ru/105269/> (дата обращения: 21.02.2023). – Текст : электронный.

92. Постановление Правительства РФ от 9 сентября 2023 г. N 1473 "Об утверждении комплексной государственной программы Российской Федерации «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности» / Текст : электронный. – URL: <https://base.garant.ru/407632842/> (дата обращения: 10.09.2023).

93. Правила проведения конкурсных отборов инвестиционных проектов по строительству (реконструкции, модернизации) генерирующих объектов, функционирующих на основе использования возобновляемых источников энергии. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_112537/f4f0c7e40589e1c9e5bc27a0bab50b8fd658fb/ (дата обращения: 05.10.2023). – Текст : электронный.

94. Правительство намерено снизить энергоёмкость российской экономики на 35% к 2035 году. – URL: https://www.economy.gov.ru/material/news/pravitelstvo_namereno_snizit_energoemkost_rossiyskoy_ekonomiki_na_35_k_2035_godu.htmlhttps://www.economy.gov.ru/material/news/pravitelstvo_namere

no_snizit_energoemkost_rossiyskoj_ekonomiki_na_35_k_2035_godu.html (дата обращения: 07.09.2023). – Текст : электронный.

95. Премьер - Энерго. Инжиниринговая компания. Документация по планировке территории для размещения объекта «Строительство ВЛ 110 кВ Полиметалл – Албазино с ПС 110 кВ Албазино». – URL: <https://solnechniyadm.khabkrai.ru/?menu=getfile&id=20562> (дата обращения: 03.10.2023). – Текст : электронный.

96. Приказ Минфина России от 30.03.2001 N 26н (ред. от 16.05.2016) «Об утверждении Положения по бухгалтерскому учету „Учет основных средств“ ПБУ 6/01». – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_31472/71350ef35fca8434a702b24b27e57b60e1162f1e/ (дата обращения: 05.10.2023). – Текст : электронный.

97. Пыхов, П. А. Топливо-энергетический комплекс России в условиях санкционных ограничений / П. А. Пыхов // Московский экономический журнал. – 2022. – № 12. – С. 147-162.

98. Райхлин, С.М. Управление спросом на электроэнергию как направление в развитии подходов к повышению энергоэффективности в России / С. М. Райхлин, М. А. Невская, В. В. Виноградова, М. М. Хайкин // Конкурентоспособность в глобальном мире: экономика, наука, технологии. – 2022. – № 12. – С. 240-245. – EDN YCPOPQ.

99. Рациональное использование вторичных минеральных ресурсов в условиях экологизации и внедрения наилучших доступных технологий / Ф. Д. Ларичкин, В. А. Кныш, М. А. Невская [и др.]. – Издательство ФИЦ КНЦ РАН, 2019.

100. РБК. Торговля сокращает профицит. ФТС раскрыла объем внешней торговли России в 2023 году. – URL: <https://customs.gov.ru/press/prensa-o-nas/document/506659> (дата обращения: 03.01.2024). – Текст : электронный.

101. Рейшахрит, Е. И. Особенности управления энергоэффективностью на предприятиях нефтеперерабатывающей отрасли / Е. И. Рейшахрит // Записки Горного института. – 2016. – Т. 219. – С. 490-497.

102. Рекомендации по применению типовых принципиальных электрических схем распределительных устройств подстанций 35 - 750 кВ. – URL: <https://www.rosseti.ru/upload/iblock/725/e1c1cqfzrmpyd15cg5dtrt9sorj4hiqb.pdf> (дата обращения: 03.10.2023). – Текст : электронный.

103. Ретроспектива развития системы ресурсосбережения. – URL: https://ozlib.com/1026327/ekonomika/retrospektiva_razvitiya_sistemy_resursosberezheniya (дата обращения: 16.01.2022). – Текст : электронный.

104. Решнёва, Е. А. Многокритериальный анализ направлений стратегического развития энергетического сектора / Е. А. Решнёва, Т. В. Пономаренко, У. А. П. Москера // Вестник евразийской науки. – 2020. – № 2. – С. 63-75.

105. Ровинская, Т. Л. Выход США из Парижского соглашения по климату и его возможные последствия / Т. Л. Ровинская // *Мировая экономика и международные отношения*. – 2020. – Т. 64. – № 4. – С. 106-118.

106. Рожков, А. А. Разработка экономико-математических моделей и алгоритмов формирования оптимальных планов инвестиций в энергосбережение на горных и промышленных предприятиях / А. А. Рожков, Карпенко М.С. // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. – 2014. – № 8. – С. 292-299.

107. Розенберг, Г. С. На пути к «Зеленой» экономике (Знакомься с докладом ЮНЕП к «РИО + 20») / Г. С. Розенберг, Г. Э. Кудинова // *Биосфера*. – 2012. – Т. 4. – № 3. – С. 245-250.

108. «Россети» предложили запретить бизнесу бесплатный уход на свои генераторы / Текст : электронный. – URL: <https://www.rbc.ru/business/03/10/2023/651bc73f9a79478d4a799c32> (дата обращения: 23.08.2023).

109. Российская электроэнергетика: 20 лет реформ. – URL: https://actek.group/russian_electric_power_industry/ (дата обращения: 12.09.2023). – Текст : электронный.

110. Российский статистический ежегодник 2023. – URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/210/document/12994> (дата обращения: 21.02.2024). – Текст : электронный.

111. Сабило, С. Энергоэффективный макроуровень / С. Сабило // *Вестник Белнефтехима*. – 2017. – Т. 133. – № 2. – С. 38-41.

112. Самарина, В. П. Внешнеэкономическая деятельность России на рынке черных металлов / В. П. Самарина // *Экономика в промышленности*. – 2012. – № 2. – С. 9-13.

113. Самойлов, М. В. Основы энергосбережения: учебное пособие для экономических специальностей вузов / М. В. Самойлов, В. В. Паневчик, А. Н. Ковалев. – Минск : БГЭУ, 2003. – 198 с.

114. Санкции в связи со вторжением России на Украину. – URL: <https://clck.ru/32tT7N> (дата обращения: 18.11.2023). – Текст : электронный.

115. Седаш, Т. Н. Повышение энергоэффективности российской экономики: инвестиционные и инновационные аспекты / Т. Н. Седаш // *Экономика. Налоги. Право*. – 2013. – № 3.

116. Сергеев, Н. Н. Методологические аспекты энергосбережения и повышения энергетической эффективности промышленных предприятий: монография. / Н. Н. Сергеев. – «Удмуртский университет», 2013.

117. Системный оператор ЕЭС. Надежность и живучесть энергосистемы. – URL: <https://www.so-ups.ru/functioning/tech-base/rza/rza-goals/rza-goals-rel/> (дата обращения:

27.05.2023). – Текст : электронный.

118. Системный оператор ЕЭС. Сводный отчет по ЕЭС России 2023. – URL: <https://clck.ru/3AyxXY> (дата обращения: 04.01.2023). – Текст : электронный.

119. Скуфьина, Т. П. Российская Арктика: фундаментальные проблемы социально-экономического развития и позиции исследований / Т. П. Скуфьина // Фундаментальные исследования. – 2012. – Т. 3. – № 11. – С. 790-793.

120. Совершенствование процесса обогащения и глубокой переработки полезных ископаемых / Е. Л. Карибжанова, М. М. Мисюра, Д. Ю. Савон, А. Е. Сафронов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2017. – № 12. – С. 161-169.

121. Сорокин, А. В. Информационные системы управления энергоэффективностью на микроуровне: мировой опыт и российская практика / А. В. Сорокин // Молодой ученый. – 2019. – Т. 289. – № 51. – С. 429-431.

122. Справочная информация: «Правила устройства электроустановок (ПУЭ)». – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_98464/ (дата обращения: 03.10.2023). – Текст : электронный.

123. Степаненко, В. П. Перспективы применения в горной промышленности нетрадиционных возобновляемых источников и комбинированных накопителей энергии / В. П. Степаненко // Горный информационно–аналитический бюллетень. – 2016. – № 10. – С. 93-104.

124. Степанов, В. С. Потенциал и резервы энергосбережения в промышленности / В. С. Степанов, Т. Б. Степанова; ред. Л. С. Хрилев. – Новосибирск : Наука. Сибирское отделение, 1990. – 245 с.

125. Тебекин, А. В. Проблемы стратегического планирования при определении процессов социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2030 года / А. В. Тебекин // Теоретическая экономика. – 2022. – № 3 (87). – С. 36-51.

126. Тиматков, В. В. Проблемы оценки энергоэффективности корпораций и технологий / В. В. Тиматков // Академия энергетики. – 2013. – № 3.

127. Тимонина, В. И. Энергосбережение и энергоэффективность как показатели достижения энергобезопасности в стране / В. И. Тимонина // Теоретическая экономика. – 2022. – Т. 1. – № 85.

128. Токарева, А. С. Энергоэффективность как базовый элемент концепции устойчивого развития в современной экономике / А. С. Токарева, М. Н. Лавров // Финансовые рынки и банки. – 2020. – Т. 6. – С. 36-38.

129. Токмакова, Е. Г. Концепт комплексного подхода к оценке экологической составляющей экономической безопасности: практическое применение по данным ПАО

«ГАЗПРОМ», ПАО «НК «РОСНЕФТЬ», ПАО «НК «ЛУКОЙЛ» / Е. Г. Токмакова, Ю. Н. Самопальникова, И. Я. Литвин // Экономическая безопасность. – 2024. – Т. 7. – № 2. – С. 345-366.

130. Тренд на энергоэффективность. Повышение энергоэффективности и энергосбережение для России – стратегическая необходимость. – URL: <https://ardexpert.ru/article/8693> (дата обращения: 24.03.2023). – Текст : электронный.

131. Тупикина, А. А. Развитие энергосбережения и повышения энергетической эффективности в России и за рубежом / А. А. Тупикина // Инфраструктурные отрасли экономики: проблемы и перспективы развития. – 2014. – № 4.

132. Указ Президента РФ от 13 мая 2019 г. N 216 «Об утверждении Доктрины энергетической безопасности Российской Федерации». – URL: <https://base.garant.ru/72240884/> (дата обращения: 03.07.2023). – Текст : электронный.

133. Укрупнённые стоимостные показатели линий электропередачи и подстанций напряжением 35-1150 кВ. – URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293734/4293734619.pdf> (дата обращения: 03.10.2023). – Текст : электронный.

134. Укрупненные стоимостные показатели линий электропередачи и подстанций напряжением 35 - 750 кВ. – URL: <https://standartgost.ru/g/pkey-14293734619> (дата обращения: 03.10.2023). – Текст : электронный.

135. Уринсон, Я. М. Реформирование российской электроэнергетики: результаты и нерешенные вопросы / Я. М. Уринсон, И. С. Кожуховский, И. С. Сорокин // Экономический журнал ВШЭ. – 2020. – Т. 24. – № 3. – С. 323-339.

136. Фахрисламова, Е. И. Энергоэффективность: общетеоретические аспекты / Е. И. Фахрисламова, С. С. Чернов // Бизнес. Образование. Право. Вестник Волгоградского института бизнеса. – 2015. – Т. 33. – № 4. – С. 231-235.

137. Федеральный закон «Об электроэнергетике». – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_41502/ (дата обращения: 16.05.2022). – Текст : электронный.

138. Федеральный закон «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности, и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» / Текст : электронный. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_93978/4e3d824c2ef71b1d93c747700aea500057f5535c/ (дата обращения: 05.01.2022).

139. Федоров, О. В. Частотно-регулируемый электропривод в экономике страны: монография / О. В. Федоров. – Москва : Издательский Дом «Инфра-М», 2011. – 142 с.

140. Харлем Брундтланд, Г. Наше общее будущее : доклад Международной комиссии

по окружающей среде и развитию (МКОСР): пер. с англ. / Г. Харлем Брундтланд; ред. А. Евтеева, Р. А. Перелета. – Москва : Прогресс, 1989.

141. Хохлов, А. В. Повышение энергоэффективности как драйвер роста ВВП России / А. В. Хохлов, С. Г. Васин // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Экономика и право. – 2021. – № 4. – С. 74-77.

142. Хушиев, С. М. Обзор методов повышения энергоэффективности электрических приводов / С. М. Хушиев // Энергосбережение и водоподготовка. – 2018. – № 5(115). – С. 37-46.

143. Царьков, А. С. Управление проектами: от идеи к документу: В графиках, таблицах, рисунках, примерах: Учебное пособие / А. С. Царьков. – 2-е изд.,. – Нижний Новгород : ГУ ВШЭ, 2007. – 308 с.

144. Чемезов, А. В. К вопросу определения понятия «энергоэффективность» / А. В. Чемезов, Е. Р. Яхина, Н. А. Шамарова // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2015. – № 10(105). – С. 258-262.

145. Шавина, Е. В. Возобновляемые источники энергии в портфеле проектов добывающих компаний / Е. В. Шавина, В. А. Прокофьев // Геоэкономика энергетики. – 2021. – Т. 13. – № 1. – С. 67-87.

146. Шилец, Е. С. Энергетическая трилемма - основа устойчивого развития топливно-энергетического комплекса / Е. С. Шилец, В. А. Кравченко, Т. В. Лукьяненко // Вестник Института экономических исследований. – 2017. – № 3(7). – С. 27-34.

147. Энергетическая стратегия Российской Федерации на период до 2035 года. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_354840/feb387ba6cb412e94e5c4fd72de0228c1a68af25/ (дата обращения: 07.02.2022). – Текст : электронный.

148. Энергоэффективность в России: скрытый резерв. – URL: http://www.cenef.ru/file/FINAL_EE_report_rus.pdf (дата обращения: 11.02.2024). – Текст : электронный.

149. Энергоэффективность экономики: стимулы и барьеры. – URL: <http://www.ibl.ru/konf/031209/8.html> (дата обращения: 07.01.2022). – Текст : электронный.

150. Яковлев, А. И. Нефтяной кризис 1973 г.: взгляд спустя полвека / А. И. Яковлев // Россия и мир: научный диалог. – 2024. – № 2. – С. 197-221.

151. A systematic method for assessing progress of achieving sustainable development goals: A case study of 15 countries / Y. Huan, T. Liang, H. Li, C. Zhang // Science of The Total Environment. – 2021. – Vol. 752. – P. 141875.

152. Akinyele, D. O. Review of energy storage technologies for sustainable power networks / D. O. Akinyele, R. K. Rayudu // Sustainable Energy Technologies and Assessments. – 2014. – Vol. 8. – P. 74-91.

153. Albadi, M. H. A summary of demand response in electricity markets / M. H. Albadi, E. F. El-Saadany // *Electric Power Systems Research*. – 2008. – Vol. 78. – № 11. – P. 1989-1996.
154. Analysis of the Influence of Macroeconomic Factors on the Sustainable Development of the Chinese Coal Industry / O. Marinina, M. Nevskaya, L. Zhang, C. T. Que. – 2021. – P. 631-638.
155. Awuah-Offei, K. Energy efficiency in mining: a review with emphasis on the role of operators in loading and hauling operations / K. Awuah-Offei // *Journal of Cleaner Production*. – 2016. – Vol. 117. – P. 89-97.
156. Baranov S.V. Stages of Control of Regional Development in Russia / Baranov S.V. // *Economic and Social Changes: Facts, Trends, Forecast*. – 2011. – Vol. 6. – P. 28-37.
157. Bardanov, A. I. Modeling the process of redistributing power consumption using energy storage system with various configurations to align the electrical loads schedule / A. I. Bardanov, O. S. Vasilkov, T. V. Pudkova // *Journal of Physics: Conference Series*. – 2021. – Vol. 1753. – № 1. – P. 012013.
158. Belsky, A. A. The Use of Hybrid Energy Storage Devices for Balancing the Electricity Load Profile of Enterprises / A. A. Belsky, A. N. Skamyin, O. S. Vasilkov // *Energetika. Proceedings of CIS higher education institutions and power engineering associations*. – 2020. – Vol. 63. – № 3. – P. 212-222.
159. Benefits and challenges of electrical demand response: A critical review / N. O'Connell, P. Pinson, H. Madsen, M. O'Malley // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. – 2014. – Vol. 39. – P. 686-699.
160. Benefits of Demand Response in Electricity Markets and Recommendations for Achieving Them: A Report to the United States Congress Pursuant to Section 1252 of the Energy Policy Act. – URL: https://www.energy.gov/sites/prod/files/oeprod/DocumentsandMedia/DOE_Benefits_of_Demand_Response_in_Electricity_Markets_and_Recommendations_for_Achieving_Them_Report_to_Congress (date accessed: 23.04.2022). – Text : electronic.
161. Cherepovitsyn, A. Approaches to Assessing the Strategic Sustainability of High-Risk Offshore Oil and Gas Projects / A. Cherepovitsyn, A. Tsvetkova, N. Komendantova // *Journal of Marine Science and Engineering*. – 2020. – Vol. 8. – № 12. – P. 995.
162. Classification of Construction Projects / M. Safa, A. Sabet, S. MacGillivray [et al.] // *International Journal of Civil, Environmental, Structural, Construction and Architectural Engineering*. – 2015. – Vol. 9. – № 6. – P. 625-633.
163. Daly, H. E. Sustainable Development—Definitions, Principles, Policies / H. E. Daly // *The Future of Sustainability*. – Dordrecht : Springer Netherlands, 2006. – P. 39-53.
164. Darby, S. J. Social implications of residential demand response in cool temperate

climates / S. J. Darby, E. McKenna // *Energy Policy*. – 2012. – Vol. 49. – P. 759-769.

165. Dmitrieva, D. Russian Arctic Mineral Resources Sustainable Development in the Context of Energy Transition, ESG Agenda and Geopolitical Tensions / D. Dmitrieva, V. Solovyova // *Energies*. – 2023. – Vol. 16. – № 13. – P. 5145.

166. End use energy. – URL: https://energyeducation.ca/encyclopedia/End_use_energy (date accessed: 20.04.2023). – Text : electronic.

167. Energy from closed mines: Underground energy storage and geothermal applications / J. Menéndez, A. Ordóñez, R. Álvarez, J. Loredo // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. – 2019. – Vol. 108. – P. 498-512.

168. European Commission. Incorporating demand side flexibility, in particular demand response, in electricity markets, 2013. – URL: https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/com_2013_public_intervention_swd07_en.pdf (date accessed: 17.04.2022). – Text : electronic.

169. European Environment Agency. Energy efficiency. – URL: <https://www.eea.europa.eu/en/topics/in-depth/energy-efficiency> (date accessed: 07.01.2024). – Text : electronic.

170. Forecasting planned electricity consumption for the united power system using machine learning / R. V Klyuev, A. D. Morgoeva, O. A. Gavrina [et al.] // *Journal of Mining Institute*. – 2023. – Vol. 261. – P. 392-402.

171. Freed, M. Non-energy benefits: Workhorse or unicorn of energy efficiency programs? / M. Freed, F. A. Felder // *The Electricity Journal*. – 2017. – Vol. 30. – № 1. – P. 43-46.

172. Gas and electricity prices during the “energy crisis” and beyond. – URL: <https://commonslibrary.parliament.uk/research-briefings/cbp-9714> (date accessed: 23.01.2022). – Text : electronic.

173. Gills, B. Economics and climate emergency / B. Gills, J. Morgan // *Globalizations*. – 2021. – Vol. 18. – № 7. – P. 1071-1086.

174. Hall, C. A. S. EROI of different fuels and the implications for society / C. A. S. Hall, J. G. Lambert, S. B. Balogh // *Energy Policy*. – 2014. – Vol. 64. – № 64. – P. 141-152.

175. How to ensure energy efficiency in mining. – URL: <https://www.miningmagazine.com/comminution/opinion/1353345/how-to-ensure-energyefficiency-in-mining> (date accessed: 29.08.2023). – Text : electronic.

176. Improving the Energy Efficiency of Technological Equipment at Mining Enterprises / R. Klyuev, I. Bosikov, O. Gavrina [et al.] // *Advances in Intelligent Systems and Computing*. – 2021. – Vol. 1258. – P. 262-271.

177. Interpretive Structural Analysis of Interrelationships of the Sustainable Development

Goals (SDGs) in Iran / K. Fartash, M. Khayatian, A. Ghorbani, A. Sadabadi // *International Journal of Sustainable Development and Planning*. – 2021. – Vol. 16. – № 1. – P. 155-163.

178. Islam, M. M. Introduction to energy and sustainable development / M. M. Islam, M. Hasanuzzaman // *Energy for Sustainable Development*. – Elsevier, 2020. – P. 1-18.

179. Karaeva, A. Review and Comparative Analysis of Renewable Energy Policies in the European Union, Russia and the United States / A. Karaeva, E. Magaril, H. H. Al-Kayiem // *International Journal of Energy Production and Management*. – 2023. – Vol. 8. – № 1. – P. 11-19.

180. Khalid, U. Novel approaches to quantify failure probability due to process variations in nano-scale CMOS logic / U. Khalid, A. Mastrandrea, M. Olivieri // *2014 29th International Conference on Microelectronics Proceedings - MIEL 2014*. – IEEE, 2014. – P. 371-374.

181. Kirsanova, N. Sustainable Development of Mining Regions in the Arctic Zone of the Russian Federation / N. Kirsanova, M. Nevskaya, **S. Raikhlin** // *Sustainability*. – 2024. – Vol. 16. – № 5. – P. 2060. – DOI: 10.3390/su16052060

182. Laayati, O. Smart energy management: Energy consumption metering, monitoring and prediction for mining industry / O. Laayati, M. Bouzi, A. Chebak // *2020 IEEE 2nd International Conference on Electronics, Control, Optimization and Computer Science (ICECOCS)*. – IEEE, 2020. – P. 1-5.

183. Labanca, N. Beyond energy efficiency and individual behaviours: policy insights from social practice theories / N. Labanca, P. Bertoldi // *Energy Policy*. – 2018. – Vol. 115. – P. 494-502.

184. Leiva González, J. Environmental Management Strategies in the Copper Mining Industry in Chile to Address Water and Energy Challenges—Review / J. Leiva González, I. Onederra // *Mining*. – 2022. – Vol. 2. – № 2. – P. 197-232.

185. Levesque, M. Energy and mining – the home truths / M. Levesque, D. Millar, J. Paraszczak // *Journal of Cleaner Production*. – 2014. – Vol. 84. – P. 233-255.

186. Litvinenko, V. S. Digital Economy as a Factor in the Technological Development of the Mineral Sector / V. S. Litvinenko // *Natural Resources Research*. – 2020. – Vol. 29. – № 3. – P. 1521-1541.

187. Lusseau, D. Income-based variation in Sustainable Development Goal interaction networks / D. Lusseau, F. Mancini // *Nature Sustainability*. – 2019. – Vol. 2. – № 3. – P. 242-247.

188. Malafeev, S. I. On improving the energy efficiency of electric mining excavators / S. I. Malafeev, S. S. Malafeev // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. – 2019. – Vol. 377. – № 1. – P. 012016.

189. Marti, L. Sustainable energy development analysis: Energy Trilemma / L. Marti, R. Puertas // *Sustainable Technology and Entrepreneurship*. – 2022. – Vol. 1. – № 1. – P. 100007.

190. Matos, C. R. Overview of Large-Scale Underground Energy Storage Technologies for

Integration of Renewable Energies and Criteria for Reservoir Identification / C. R. Matos, J. F. Carneiro, P. P. Silva // *Journal of Energy Storage*. – 2019. – Vol. 21. – P. 241-258.

191. Morad, A. M. Application of reliability-centered maintenance for productivity improvement of open pit mining equipment: Case study of Sungun Copper Mine / A. M. Morad, M. Pourgol-Mohammad, J. Sattarvand // *Journal of Central South University*. – 2014. – Vol. 21. – № 6. – P. 2372-2382.

192. Nevskaya, M. A Study of Factors Affecting National Energy Efficiency / M. Nevskaya, **S. Raikhlin**, V. Vinogradova,; V. Belyaev, M. Khaikin // *Energies*. – 2023. – Vol. 16. – № 13. – P. 5170. – DOI: 10.3390/en16135170

193. Nikolaev, A. Application of the cybernetic approach to price-dependent demand response for underground mining enterprise electricity consumption / A. Nikolaev, S. Vöth, A. Kychkin // *Journal of Mining Institute*. – 2023. – Vol. 261. – P. 403-414.

194. On mining negative environmental impact / V. I. Efimov, R. R. Minibaev, T. V. Korchagina, Y. A. Novikova // *Ugol'*. – 2017. – № 01. – P. 66-68.

195. Optimal synthesis of energy supply systems for remote open pit mines / M. Carvalho, A. Romero, G. Shields, D. L. Millar // *Applied Thermal Engineering*. – 2014. – Vol. 64. – № 1-2. – P. 315-330.

196. Organizational, Economic and Regulatory Aspects of Groundwater Resources Extraction by Individuals (Case of the Russian Federation) / E. Golovina, V. Khloponina, P. Tsiglianu, R. Zhu // *Resources*. – 2023. – Vol. 12. – № 8. – P. 89.

197. Palm, J. Sufficiency, change, and flexibility: Critically examining the energy consumption profiles of solar PV prosumers in Sweden / J. Palm, M. Eidskog, R. Luthander // *Energy Research & Social Science*. – 2018. – Vol. 39. – P. 12-18.

198. Palmer, G. An Exploration of Divergence in EPBT and EROI for Solar Photovoltaics / G. Palmer, J. Floyd // *BioPhysical Economics and Resource Quality*. – 2017. – Vol. 2. – № 4. – P. 15.

199. Photovoltaic self-consumption in buildings: A review / R. Luthander, J. Widén, D. Nilsson, J. Palm // *Applied Energy*. – 2015. – Vol. 142. – P. 80-94.

200. Productivity benefits of industrial energy efficiency measures / E. Worrell, J. A. Laitner, M. Ruth, H. Finman // *Energy*. – 2003. – Vol. 28. – № 11. – P. 1081-1098.

201. Reliability Testing of Wind Farm Devices Based on the Mean Time between Failures (MTBF) / S. Duer, M. Woźniak, J. Paś [et al.] // *Energies*. – 2023. – Vol. 16. – № 4. – P. 1659.

202. Romasheva, N. V. Sustainable development of the Russian Arctic region: environmental problems and ways to solve them / N. V. Romasheva, M. A. Babenko, L. A. Nikolaichuk // *Mining informational and analytical bulletin*. – 2022. – № 10-2. – P. 78-87.

203. Ruggerio, C. A. Sustainability and sustainable development: A review of principles and

definitions / C. A. Ruggerio // *Science of The Total Environment*. – 2021. – Vol. 786. – P. 147481.

204. Samarina, V. P. Comparative estimation of power efficiency of countries and world regions / V. P. Samarina, T. P. Skufina, S. V. Baranov // *Actual Problems of Economics*. – 2015. – Vol. 11. – № 173. – P. 127-136.

205. Selection of energy conservation projects through Financial Pinch Analysis / P. S. Roychoudhuri, V. Kazantzi, D. C. Y. Foo [et al.] // *Energy*. – 2017. – Vol. 138. – P. 602-615.

206. Senchilo, N. D. Method for Determining the Optimal Capacity of Energy Storage Systems with a Long-Term Forecast of Power Consumption / N. D. Senchilo, D. A. Ustinov // *Energies*. – 2021. – Vol. 14. – № 21. – P. 7098.

207. Senchilo, N. Improving the Energy Efficiency of Electricity Distribution in the Mining Industry Using Distributed Generation by Forecasting Energy Consumption Using Machine Learning / N. Senchilo, I. Babanova // *2020 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon)*. – IEEE, 2020. – P. 1-7.

208. Shaikh, I. Environmental, Social, And Governance (ESG) Practice And Firm Performance: an International Evidence / I. Shaikh // *Journal of Business Economics and Management*. – 2022. – Vol. 23. – № 1. – P. 218-237.

209. Six Transformations to achieve the Sustainable Development Goals / J. D. Sachs, G. Schmidt-Traub, M. Mazzucato [et al.] // *Nature Sustainability*. – 2019. – Vol. 2. – № 9. – P. 805-814.

210. Solomentsev, O. Radioelectronic equipment availability factor models / O. Solomentsev, M. Zaliskyi, O. Zuiev // *2013 Signal Processing Symposium (SPS)*. – IEEE, 2013. – P. 1-3.

211. Soofastaei, A. Improve Energy Efficiency in Surface Mines Using Artificial Intelligence / A. Soofastaei, M. Fouladgar // *Alternative Energies and Efficiency Evaluation*. – IntechOpen, 2022. – P. 32-49.

212. Status of power system transformation 2018: advanced power plant flexibility. – URL: <https://www.iea.org/reports/status-of-power-system-transformation-2018> (date accessed: 23.11.2022). – Text : electronic.

213. Steele, R. Identifying opportunities to reduce the consumption of energy across mining and mineral processing plants / R. Steele, D. Sterling // *SME Annual Meeting and Exhibit and CMA 113th National Western Mining Conference 2011*. – 2011. – P. 322-326.

214. Strbac, G. Demand side management: Benefits and challenges / G. Strbac // *Energy Policy*. – 2008. – Vol. 36. – № 12. – P. 4419-4426.

215. Strengers, Y. Smart Energy Technologies in Everyday Life. Smart Utopia? / Y. Strengers. – 1. – London : Palgrave Macmillan UK, 2013. – 204 p.

216. Technical and Economic Assessment of Energy Efficiency of Electrification of

Hydrocarbon Production Facilities in Underdeveloped Areas / O. Marinina, A. Nechitailo, G. Stroykov [et al.] // Sustainability. – 2023. – Vol. 15. – № 12. – P. 9614.

217. The influence of technological changes in energy efficiency on the infrastructure deterioration in the energy sector / M. Y. Shabalov, Y. L. Zhukovskiy, A. D. Buldysko [et al.]. – Text : electronic // Energy Reports. – 2021. – Vol. 7. – P. 2664-2680. – URL: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2352484721002717> (date accessed: 01.12.2021).

218. The sustainable development oxymoron: quantifying and modelling the incompatibility of sustainable development goals / V. Spaiser, S. Ranganathan, R. B. Swain, D. J. T. Sumpter // International Journal of Sustainable Development & World Ecology. – 2017. – Vol. 24. – № 6. – P. 457-470.

219. Torriti, J. Demand response experience in Europe: Policies, programmes and implementation / J. Torriti, M. G. Hassan, M. Leach // Energy. – 2010. – Vol. 35. – № 4. – P. 1575-1583.

220. Total final consumption. – URL: https://energyeducation.ca/encyclopedia/Total_final_consumption (date accessed: 20.04.2023). – Text : electronic.

221. Wittenberg, I. Solar policy and practice in Germany: How do residential households with solar panels use electricity? / I. Wittenberg, E. Matthies // Energy Research & Social Science. – 2016. – Vol. 21. – P. 199-211.

222. World Energy Trilemma. Time to get real - the case for sustainable energy investment. – URL: <https://www.worldenergy.org/assets/images/imported/2013/09/2013-Time-to-get-real-the-case-for-sustainable-energy-investment.pdf> (date accessed: 23.04.2023). – Text : electronic.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Акт внедрения

**ООО «СЗТ-ПРОИЗВОДСТВО»**

197198, СПб, ул. Ропшинская, д.1/32, лит. А. пом.8Н, 203/12/24
+7(812) 606-36-20, e-mail: info@sztin.ru, www.sztin.ru

Утверждаю

Заместитель генерального директора
ООО «СЗТ-ПРОИЗВОДСТВО»

Шульженко Алексей Александрович

Дата « 22 » мая 2024 г.**АКТ**

**о внедрении результатов
кандидатской диссертации**

**Райхлина Семена Максимовича соискателя ученой степени по научной специальности
5.2.3. Региональная и отраслевая экономика**

Рабочая комиссия в составе:

Председатель: заместитель генерального директора Шульженко Алексей Александрович;

Члены комиссии: директор по развитию Шилов Андрей Вячеславович, технический директор Парадовский Александр Александрович

составили настоящий акт о том, что результаты диссертации Райхлина Семена Максимовича на тему «Экономическая оценка проектов повышения энергоэффективности на горных предприятиях в целях устойчивого развития», представленной на соискание ученой степени кандидата наук по научной специальности 5.2.3 Региональная и отраслевая экономика, внедрены в 2024 году в производственной деятельности ООО «СЗТ-ПРОИЗВОДСТВО».

Внедрены следующие результаты:

- методика оценки комплексного экономического эффекта от достижения технологических, социальных, экологических и организационных результатов проекта;

- алгоритм выбора проектов повышения энергоэффективности, планируемых к внедрению на производстве.

Использование указанных результатов позволяет:

- повысить качество экономической оценки проектов повышения энергетической эффективности, внедряемых на предприятии ООО «СЗТ-ПРОИЗВОДСТВО»;

- внедрить паспортизацию проектов для их учета на предприятии;

- обеспечить рациональное использование инвестиционных ресурсов.

Председатель комиссии:

Заместитель генерального директора
ООО «СЗТ-ПРОИЗВОДСТВО»

А.А. Шульженко

Члены комиссии:

Директор по развитию
ООО «СЗТ-ПРОИЗВОДСТВО»

А.В. Шилов

Технический директор
ООО «СЗТ-ПРОИЗВОДСТВО»

А.А. Парадовский



ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ «СЗТ-ПРОИЗВОДСТВО»

Юридический адрес: 197198, СПб, ул. Ропшинская, д.1/32, лит. А. пом.8Н, 203/12/24

Адрес для корреспонденции: 188691, а/я 17, г. Кудрово, Всеволожский р-он, Ленинградской обл.

ИНН 7801510687 КПП 781301001

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Анализ факторов, влияющих на энергоёмкость национальной экономики

На рисунке Б.1 представлена корреляционная матрица, с выделенными значениями коэффициентов парной корреляции между факторами. Видно, что имеется сильная корреляционная связь между показателем энергоёмкости и потерями энергоресурсов, а также связь с углеродоемкостью ВВП. Во всех остальных случаях отмечается низкий уровень взаимосвязи.

	energo	losses_gdp	CO2_gdp_10_3	gdp_pers	CO2part	CO2	lossesMln	TFCMln	PopulMln	CO2_Mln	gdpMln	TESMln
losses_gdp	0.884											
CO2_gdp_10_3	0.904	0.920										
gdp_pers	-0.367	-0.311	-0.440									
CO2part	0.254	0.271	0.408	-0.020								
CO2	0.278	0.219	0.356	-0.135	0.138							
lossesMln	0.314	0.267	0.375	-0.118	0.111	0.996						
TFCMln	0.291	0.196	0.320	-0.059	0.092	0.976	0.980					
PopulMln	0.554	0.427	0.594	-0.450	-0.024	0.771	0.767					
CO2_Mln	0.123	0.225	0.116	0.757	0.380	0.073	0.101					
gdpMln	-0.001	-0.069	0.044	0.065	0.012	0.894	0.891					
TESMln	0.300	0.221	0.340	-0.080	0.099	0.987	0.991					

	TFCMln	PopulMln	CO2_Mln	gdpMln
losses_gdp				
CO2_gdp_10_3				
gdp_pers				
CO2part				
CO2				
lossesMln				
TFCMln				
PopulMln	0.721			
CO2_Mln	0.118	-0.255		
gdpMln	0.935	0.568	0.073	
TESMln	0.998	0.740	0.112	0.924

Рисунок Б.1 – Корреляционная матрица. Источник: составлено автором

На рисунке Б.2 отображены результирующие показатели и полученная модель множественной регрессии.

Таким образом, из всех выделенных факторов в модель, позволяющее оценить их влияние, включаются потери энергии, доля энергии, производимой за счет углеродосодержащих источников, объемы выбросов CO₂, численность населения, объем ВВП и объемы первичной используемой энергии.

Значения коэффициентов, показывают, как изменяется энергоёмкость при изменении фактора на единицу своего измерения. Например, при увеличении потерь энергии на 1 Дж/\$, энергоёмкость возрастет на $0,57 \cdot 10^6$ Дж/\$., При росте доля углеродосодержащих ресурсов, энергоёмкость вырастет на $2,8 \cdot 10^6$ Дж/\$.

```
summary(lm2)

##
## Call:
## lm(formula = energo ~ losses_gdp + CO2part + CO2 + PopulMln +
##      gdpMln + TESMln, data = df)
##
## Residuals:
##      Min       1Q   Median       3Q      Max
## -0.6930 -0.1918 -0.0711  0.1651  1.0690
##
## Coefficients:
##              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
## (Intercept) -0.4045287  0.7875398  -0.514 0.615499
## losses_gdp   0.5771423  0.1725967   3.344 0.004822 **
## CO2part     2.8000160  0.9731048   2.877 0.012173 *
## CO2         -0.0020357  0.0003891  -5.232 0.000127 ***
## PopulMln    0.0023477  0.0005281   4.445 0.000554 ***
## gdpMln     -0.2973256  0.0784785  -3.789 0.001995 **
## TESMln      0.1741326  0.0325982   5.342 0.000104 ***
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## Residual standard error: 0.4706 on 14 degrees of freedom
## Multiple R-squared:  0.9461 Adjusted R-squared:  0.923
## F-statistic: 40.96 on 6 and 14 DF, p-value: 4.314e-08

energo=-0.40+0.57* losses_gdp+2.80CO2part-0.02CO2+0.002Popul-0.29gdp+0.17TES

p-value(0.61)(0.005) (0.011) (0.001) (0.0005)(0.002)(0.0001)

plot_coefs(lm2, scale = TRUE)
```

Рисунок Б.2 – Модель множественной регрессии. Источник: составлено автором

Соответствующие p-value (показатель, свидетельствующий, что доверительные интервалы при оценке коэффициентов не содержат нуля), в скобках, указывают на значимость коэффициентов при любых разумных уровнях значимости. Значение коэффициента детерминации – 0,9461 и уровня p-value свидетельствуют о значимости уравнения в целом.

Коэффициенты регрессионной модели в стандартизированном масштабе, позволяющая ранжировать факторы по уровню влияния на энергоёмкость представлена на рисунке Б.3.

Выделенный фрагмент содержит значения коэффициентов при переменных, которые показывают, что в модели наиболее значимыми являются экстенсивные факторы: количество используемой первичной энергии, валовые выбросы CO₂, ВВП, численность населения, что в целом соответствует современной ситуации для стран, с наибольшим объемом генерирующих мощностей. Ранги факторов потерь энергоресурсов и доли углеродосодержащих энергоресурсов ниже.

	Est.	S.E.	t val.	p
(Intercept)	-0.00000	0.06055	-0.00000	1.00000
losses_gdp	0.36495	0.10914	3.34388	0.00482
CO2part	0.21412	0.07441	2.87740	0.01217
CO2	-2.66024	0.50850	-5.23157	0.00013
PopulMln	0.54487	0.12257	4.44533	0.00055
gdpMln	-1.01362	0.26754	-3.78862	0.00200
TESMln	3.35795	0.62862	5.34178	0.00010

Рисунок Б.3 – Коэффициенты регрессионной модели в стандартизированном масштабе.

Источник: составлено автором

Результаты апробации модели: коэффициент детерминации R^2 характеризует качество уравнения в целом, его величина равна 0,95, т.е. 95% вариации отклика объясняется включенными в модель факторами. При этом p-value имеет порядок 10^{-8} , что свидетельствует о значимости уравнения в целом

Абсолютные отклонение модельных данных от фактических представлены на рисунке Б.4.

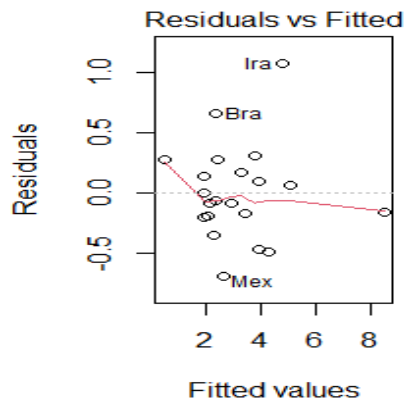


Рисунок Б.4 – Результаты апробации модели. Источник: составлено автором

Наибольшие отклонения модельных данных от фактических наблюдаются для экономик Ирана, Мексики и Бразилии. Это говорит о том, что факторами, имеющими решающее значение для энергоэффективности этих стран, являются некие факторы, которые не были учтены в модели, например, структура экономики (доля промышленного производства и непромышленных сфер), источники формирования ВВП, климатические условия, особенности логистики энергии и т.д. Для всех остальных стран, включая Россию, независимо от уровня их экономического развития, модель может быть применима.

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Лучшие практики повышения энергоэффективности

Таблица В.1 – Зарубежные практики повышения энергоэффективности на предприятии.

Источник: составлено автором

Компания	Практика	Эффект
SATECMA, производитель химической продукции	Были использованы более эффективные системы климат-контроля, светодиодные лампы в сочетании с более рациональным использованием естественного освещения, а также установлена фотоэлектрическая установка для выработки солнечной энергии	Снижение общего энергопотребления компании на 20%.
Британская химическая компания	Получение сертификата ISO 14001	Снижение энергопотребления более чем на 30%.
	Выявление и устранение утечек для повышения тепловой эффективности котлов	Значительное снижение счетов за газ и пар
Wacker Chemie AG	Использование высокоэффективной газопаротурбинной электростанции в режиме комбинированной выработки тепла и электроэнергии	Экономия в 421 000 МВт-ч обеспечивается за счет паровых процессов, а еще 44 000 МВт-ч - за счет отопления помещений и получения горячей воды
Подсектор прокатки стали в Индии	Внедрение новых цифровых технологий	Потребность в угле сократилась почти на 30 кг на тонну продукции
AMB Alloys Ltd., производитель и поставщик ферросплавов	Инвестиции в размере 842 тыс. евро в новый производственный комплекс	Снижение потребности в энергии примерно на 4,3 МВт-ч в год (что эквивалентно годовой экономии в 220 тыс. евро). Снижение выбросов CO ₂ на 1,7 т в год.
ООО «Лагодехаугогза»	Бесплатная техническая оценка проекта в рамках государственной программы технической и финансовой поддержки (Грузия) и инвестиции в размере 254 000 евро, которые были направлены на модернизацию устаревшего оборудования.	Объем производства был увеличен на 55%. Достигнута годовая экономия электроэнергии в размере 160 МВт-ч (что эквивалентно 10 000 евро)
Датская компания, занимающаяся производством сжиженных газов	Внедрена технология, объединяющая озонатор и песчаный фильтр, что позволило снизить температуру необходимой охлаждающей воды	Достигнуто снижение энергопотребления на 153 МВт-ч/год (что эквивалентно годовой экономии в размере 12 000 долл.)

Продолжение таблицы В.1

		Сократилось количество необходимых технологических реагентов, снизилась потребность в ингибиторах коррозии и антикоррозионных средствах, что означает дополнительную годовую экономию в размере 50 000, 12 000 и 20 000 долл. соответственно.
Фирозабад, кластер малых и средних предприятий стекольного сектора Индии	Практически на всех предприятиях кластера был установлен противоточный металлический рекуператор отработанного тепла	Ежегодная экономия энергии на 25-30%, что соответствует сроку окупаемости в 6 месяцев.
Druckerei Senser, полиграфическая компания в Германии	Установка специально разработанных энергосберегающих печатных машин	Снижение энергопотребления на 30%
	Установлена новая солнечная электростанция, которая	Выработка 25% необходимой электроэнергии
	Утепление крыши всего производственного помещения, чтобы свести к минимуму потери тепла Внедрение системы отвода отработанного тепла, выделяемого машинами в процессе печати, и использовать его в качестве источника отопления соседних помещений	Снижение потребности в тепловой энергии на 20%
Reunion Island Coffee Roasters (Оквилл, Канада)	Установка новых энергоэффективных светодиодных светильников и 6 датчиков присутствия, которые управляют работой системы освещения	Затраты на электроэнергию, связанные с освещением, сократились почти на 25%
	Установка 5 интеллектуальных термостатов для более эффективного управления температурой внутри здания	Поддержания более низкого уровня отопления, когда в здании никто не работает, т. е. снижение затрат на отопление
	Использование светоотражающей тонировки на окнах рабочих помещений	Снижение потребности в кондиционировании воздуха, особенно в теплое время года
	Установка энергоэффективной машины для обжарки всех сортов кофе	Снижение потребления энергии на 80%

Таблица В.2 – Отечественные практики повышения энергоэффективности на предприятии. Источник: составлен автором

Компания	Практика	Стоимость реализации	Описание проблемы	Сложности реализации	Использованное решение	Эффекты
Добывающая промышленность						
ООО «Разрез «Саяно-Партизанский»	Модернизация используемых обогревателей модульных зданий	71,2 млн руб.	Отсутствие соответствующего контроля за использованием обогревательных приборов.	-	Установка тепловых реле, проведение реконструкции цепей внутренней проводки построенных модульных зданий.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Снижение потребления электроэнергии. 2. Улучшение условий осуществляемого труда. 3. Большой срок эксплуатации нагревательных приборов.
АО «КТК» — филиал «Разрез «Виноградский»	Замена потолочных светильников в специальном ремонтном боксе АГБУ	322 тыс. руб.	Используемые светильники не могут обеспечить нормативное освещение рабочей зоны из-за морального устаревания, поэтому они часто выходят из строя. При внезапном отключении напряжения невозможно безопасное завершение проводимых ремонтных работ.	-	Производство и установка новых светодиодных светильников, оснащенных блоком аварийного питания.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Снижение потребления электроэнергии. 2. Повышение освещенности используемых рабочих мест. 3. Безопасное завершение работ при внезапном отключении сетевого напряжения. 4. Отсутствие необходимости в техническом обслуживании в течение пятилетнего периода.

Продолжение таблицы В.2

АО «Зарубежнефт»	Аренда действующих газопоршневых электростанций	230 млн руб.	Из-за отсутствия промышленной сети и выработки части электроэнергии на дизельных электростанциях (ДЭС) возникает проблема, которая касается потребления дизельного топлива.	Организация параллельной эксплуатации газопоршневых агрегатов (ГПА) в составе созданного единого энергоцентра.	Привлечение ГПА выбранной сторонней организации для необходимой выработки электроэнергии именно на собственном попутном газе.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Ввод в эксплуатацию ГПА привел к снижению потребления дизельного топлива и к выводу ДЭС в резерв. 2. Экономический эффект за 2020 год — 205 млн руб, плановая экономия за двухлетний период составила — 310 млн руб.
Обрабатывающая промышленность						
АО «ЕВРАЗ Нижнетагильский металлургический комбинат»	Реконструкция установленной доменной печи	998,37 млн руб.	Использование кинетической и потенциальной энергии доменного газа, попадающего на утилизацию. Доменный газ, который поступает с ДП-7 с избыточным давлением, очищался в комплексе мокрой газоочистки перед дальнейшим поступлением в расположенный магистральный газопровод.	-	Установка комплекса действующей газотурбинной расширительной станции (ГТРС).	<ol style="list-style-type: none"> 1. Благодаря выработке собственной электроэнергии произошло снижение закупки электроэнергии от внешних поставщиков на 96 млн кВт·ч в год.

Продолжение таблицы В.2

<p>ООО «БИАКСПЛ ЕН» Курский филиал</p>	<p>Техническое перевооружение действующей системы охлаждения используемых производственных линий.</p>	<p>27,8 млн руб.</p>	<p>Использование в целях охлаждения производственных линий специальных низкоэффективных чиллеров с установленными воздушными конденсаторами и градирен.</p>	<p>Проведение СМР и ПНР при непрерывном производственном цикле.</p>	<p>Воздушные конденсаторы двух используемых чиллеров и 4 градирни были заменены одной центральной градирней с установленной энергоэффективной насосной станцией.</p>	<p>1. Снижение потребления необходимой электроэнергии на 1752 тыс. кВт·ч/год (с достижением экономии около 7,53 млн руб./год).</p>
<p>ООО «ЛУКОЙЛ-Северо-Западнефте продукт»</p>	<p>Модернизация установленной системы освещения</p>	<p>8,8 млн руб.</p>	<p>Применение доступных неэффективных режимов и новейших источников освещения.</p>	<p>-</p>	<p>Установка светодиодного освещения. Управление используемым наружным освещением и подсветкой фриза происходит через специальный магнитный пускатель с фотореле.</p>	<p>1. Ежегодная достигнутая экономия электроэнергии — 524,92 тыс. кВт·ч. 2. Ежегодное сокращение финансовых расходов — 2,76 млн руб.</p>

Продолжение таблицы В.2

ООО «ЛУКОЙЛ-Пермнефтеоргсинтез»	Реконструкция действующих конденсатных станций с проведением замены электрических насосов на специальные насосы объемного вытеснения	35,6 млн руб.	Значительное снижение потребления энергоресурсов.	-	Монтаж узлов автоматического отвода образующегося конденсата, переобвязка используемых технологических теплообменников.	Сокращение потребления необходимого пара на 7818 Гкал/год.
АО «ЭПМ-НовЭЗ»	Рост энергоэффективности электроснабжения установленных двигателей дымососов печей цеха обжига электродной продукции действующего Новосибирского электродного завода	34 млн руб.	Низкая эффективность электроснабжения используемых двигателей дымососов печей цеха обжига разнообразной электродной продукции	Проект реализовался на действующем производстве без нарушения производственного цикла. Для выполнения работы использовались технологические окна в протекающем производственном процессе.	Установка преобразователей частоты на используемые двигатели дымососов печей цеха обжига производимой электродной продукции.	1. Прогнозная экономия финансовых расходов на оплату электроэнергии на электроснабжение двигателей дымососов используемых печей цеха обжига в данный момент составляет 50%, или 11 млн руб. ежегодно.

Продолжение таблицы В.2

АО «ЭПМ-НовЭЗ»	Рост энергоэффективности используемой системы внутреннего освещения цеха обжига производимой электродной продукции действующего Новосибирского электродного завода	22,3 млн руб.	Сниженная энергоэффективность используемой системы внутреннего освещения цеха обжига производимой электродной продукции.	Проект реализовался на действующем производстве без нарушения протекающего производственного цикла. Работы проводились в технологические окна в осуществляемом производственном процессе.	Замена старых светильников с имеющимися неэффективными ртутными и металлогалогенными лампами на современные светодиодные светильники в цехе обжига производимой электродной продукции.	1. Экономия расходов на оплату электроэнергии на электроснабжение используемых двигателей дымососов печей цеха обжига в результате составила 89,4%, или 14 млн руб. ежегодно.
----------------	--	---------------	--	---	--	---

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Комплекс показателей оценки различных результатов

Таблица Г.1 – Результаты проектов повышения энергетической эффективности и их оценка. Источник: составлено автором.

Возможные результаты проекта	Модели (показатели) оценки результатов проекта	Критерии оценки результата	Показатели экономической оценки результата	Примечание
1	2	3	4	5
Технологический	коэффициент готовности (системы, оборудования) [70] $K_g = \frac{t_w}{t_w + t_p}$	повышение коэффициента готовности оборудования	$R_{et}^1 = \Delta t_p \cdot Q_p \cdot C_p$ увеличение объемов производства продукции за счет снижения времени простоев	t_w – время исправной работы, ч Δt_p – сокращение времени простоя, ч Q_p – объем производства продукции, ед. пр. C_p – себестоимость единицы продукции, руб/ед.
	средняя наработка на отказ [71] $MTBF = \frac{\sum_1^m t_i}{m}$	увеличение средней наработки на отказ	$R_{et}^2 = \Delta t_i \cdot Q_p \cdot C_p$ увеличение объемов производства продукции за счет увеличения времени работы оборудования	Δt_i – увеличение продолжительности работы оборудования до наступления отказа i , ч. m – число отказов, ед. Q_p – объем производства продукции, ед. пр. C_p – себестоимость единицы продукции, руб/ед.
	вероятность безотказной работы [72] $P(t) = \frac{N_0 - n(t)}{N_0}$	повышение вероятности безотказной работы оборудования	$R_{et}^3 = \Delta n(t) \cdot C_r$ снижение затрат на ремонт оборудования за счет сокращения числа отказов оборудования	N_0 – количество наблюдаемых объектов, которые в процессе эксплуатации могут отказывать, ед. $\Delta n(t)$ – сокращение числа объектов, отказавших к моменту t , ед C_r – затраты на ремонт оборудования в результате отказа, руб/м

Продолжение таблицы Г.1

<p>увеличение срока службы дизель-генераторной установки (ДГУ) $\Delta T = T_2 - T_1$</p>	<p>$R_{ee}^4 = \Delta A = A_1 - A_2$ экономия за счет снижения амортизационных платежей</p>	<p>T_1 – нормативный срок службы без применения технологии, ч. T_2 – нормативный срок службы с применением технологии, ч. A_1 – амортизационные отчисления без применения технологии, руб. A_2 – амортизационные отчисления с применением технологии, руб.</p>	
<p>коэффициент полезного действия (КПД) преобразования энергетического потенциала первичного энергоносителя в электрическую энергию [73]</p> $\eta = \frac{E}{q}$	<p>повышение коэффициента полезного действия энергоустановки</p>	<p>$R_{et}^5 = \Delta E \cdot C_E$ увеличение объема производства электроэнергии экономия на энергоносителях</p>	<p>ΔE – экономия энергоносителя, Дж C_E – цена энергоносителя, руб/Дж q – объем потребления первичной энергии, Дж</p>
<p>доля систем накопления электрической энергии (СНЭЭ) в установленной мощности энергосистемы [74]</p> $d = \frac{P_{ESS}}{P_{total}}$	<p>увеличение доли накопления электроэнергии</p>	<p>$R_{et}^6 = \Delta d \cdot Q_E \cdot (P_{peak} - P_{off-peak})$ снижение платы за потребление электроэнергии в часы пиковых нагрузок</p>	<p>Δd – увеличение доли накопления энергии, Вт P_{ESS} – мощность систем накопления энергии, Вт P_{total} – общая мощность энергосистемы предприятия, Вт Q_E – общий объем потребления электроэнергии, кВт P_{peak} – цена электроэнергии в пиковый период, руб/кВт·ч $P_{off-peak}$ – цена электроэнергии в непиковый период, руб/кВт·ч</p>

Продолжение таблицы Г.1

	<p>снижение расхода топлива ДГУ</p> $\Delta Q = Q_1 - Q_2$		$R_{ee}^9 = \Delta Q \cdot P_T$ <p>снижение затрат на топлива</p>	<p>Q_1 – объем потребления топлива без применения технологии, л. Q_2 – объем потребления топлива с применением технологией, л. P_T – цена топлива, руб/л</p>
	<p>снижение потерь электроэнергии</p> $\Delta E = E_1 - E_2$		$R_{ee}^{10} = \Delta E \cdot P_{kWh}$ <p>снижение затрат на электроэнергию</p>	<p>E_1 – объем потребления электроэнергии без применения технологии, кВт·ч E_2 – объем потребления электроэнергии с применением технологии, кВт·ч P_{kWh} – цена электроэнергии за 1 киловатт-час, руб/кВт·ч</p>
Экологический	<p>снижение количества вредных выбросов при сжигании топлива двигателем ДГУ</p> $\Delta V_{CO_2} = V_{CO_2 1} - V_{CO_2 2}$		$R_{ees}^7 = \Delta V_{CO_2} \cdot P_e$ <p>снижение платы за выбросы</p>	<p>$V_{CO_2 1}$ – объем выбросов CO_2 без применения технологии, тонн $V_{CO_2 2}$ – объем выбросов CO_2 с применением технологии, тонн P_e – цена за выбросы, руб/тонн</p>
	<p>структура потребляемых энергоисточников за счет возобновляемых источников</p> $E = \frac{E_{RES}}{E}$	<p>улучшение структуры потребляемых энергоисточников</p>	$R_{ees}^8 = \pm P_{RES} \cdot \Delta Q_{res}$ <p>экономия (затраты) при использовании возобновляемых источников энергии</p>	<p>V_{RES} – энергия из низкоуглеродных источников, Дж V – общий объем энергии, Дж P_{RES} – цена возобновляемых источников энергии, руб/Дж ΔQ_{res} – изменение объема возобновляемых ресурсов, Дж</p>

Продолжение таблицы Г.1

Социальный	повышение уровня квалификации работников	$R_{es}^{11} = (Z - \frac{Z \cdot i_z}{i_L}) \cdot Q_p$ <p>снижение затрат за счет роста производительности труда</p>	<p>Z - затраты по статье «зароботная плата» в текущем году в расчете на 1 руб. товарной продукции, руб <i>i_z</i> - индекс заработной платы <i>i_L</i> - индекс производительности труда <i>Q_p</i> - выпуск продукции в плановом году в оптовых ценах предприятия, ед. пр.</p>
Организационный	сокращение потерь рабочего времени работника	$R_{eo}^{12} = \Delta t \cdot Q_p \cdot C_p$	<p>Δt – количество рабочего времени, затраченного на производство продукции, чел.-ч. <i>Q_p</i> – объем производства продукции, ед. пр./чел. – ч. <i>C_p</i> – себестоимость единицы продукции, руб/ед.</p>
	сокращение неэффективных рабочих мест	$R_{eo}^{13} = \Delta n \cdot Z_w$	<p>Δn – количество сокращенных неэффективных рабочих мест <i>Z_w</i> – средняя заработная плата на одного сокращенного работника, руб</p>
	энергосберегающее поведение и активное участие в проектах по снижению энергопотребления	$R_{eo}^{14} = \Delta N \cdot \Delta B \cdot P_{en}$ <p>снижение затрат на подготовку персонала</p>	<p><i>N</i> – количество человек, задействованных в организационных мерах, ед. <i>B</i> – объем энергоресурсов, приходящихся на 1 работника, ед. изм./чел <i>P_{en}</i> - цена энергоресурсов, руб/ед. изм.</p>

ПРИЛОЖЕНИЕ Д

Проект строительства электроэнергетического комплекса

Перечень конструктивных элементов и объектов капитального строительства, являющихся неотъемлемой технологической частью проектируемого линейного объекта:

Перечень конструктивных элементов:

а) опоры типа:

- 1У110-5 (анкерно-угловые);
- 1У110-5+5 (анкерно-угловые);
- 1У110-5+10 (анкерно-угловые);
- 1У110-3 (анкерно-угловые);
- 1У110-3+5 (анкерно-угловые);
- 1У110-3+10 (анкерно-угловые);
- 1У110-3+15 (анкерно-угловые);
- 1У220-3 (анкерно-угловые);
- 1У220-3+10 (анкерно-угловые);
- 1У330-2+15 (анкерно-угловые);
- ПГ35/110-9.110ТМ (промежуточные);
- ПГ35/110-9.110Т (промежуточные).

б) провод сечением 240 мм² типа АСПк 240/56-А1F/40SA

в) фундаменты типа:

Для анкерно-угловых опор – Фундамент из четырех свайных кустов по две сваи под каждую ногу, объединенные металлическим ростверком. Свая – металлическая труба Ø325 мм по ГОСТ 8732-78 толщина стенки 10 мм, марка стали 09Г2С-15 по ГОСТ 19281-2014. Устанавливается в предварительно пробуренные скважины Ø450 мм, глубина погружения – 10 м. Металлические ростверки – стальные балки Б35-4-24 по серии 3.407.-149.3 Стальные конструкции и детали ростверков – из стали С345-6 по ГОСТ 27772-2015 и 09Г2С-9 по ГОСТ 19281-2014, соединенные со свайей сварным швом. В основании сваи устраивается щебеночная подушка толщиной 200 мм, пазухи заполняются известково-песчаным раствором, внутренняя полость сваи заполняется песко-цементной смесью в отношении 3:1.

Для промежуточных опор – Фундамент из четырех металлических труб Ø325 мм объединенных стальным ростверком. Устанавливается в предварительно пробуренные скважины Ø450 мм, глубина погружения – 10 м. Свая – металлическая труба Ø325 по ГОСТ 8732-78, толщина стенки 10 мм, марка стали 09Г2С-15 по ГОСТ 19281-2014. Стальной ростверк заводской готовности из стали марки С345-6 по ГОСТ 27772-2015 и 09Г2С-9 по ГОСТ 19281-2014. В основании сваи устраивается щебеночная подушка толщиной 200 мм, пазухи

заполняются известково-песчаным раствором, внутренняя полость сваи заполняется песко-цементной смесью в отношении 3:1.

Антикоррозийная защита металлоконструкций фундаментов осуществляется в заводских условиях методом горячего цинкования по ГОСТ 9.307-89 с толщиной защитного покрытия не менее 100 мкм. Верхняя часть сваи (на 4 м от верхнего фланца) дополнительно покрывается органо-силикатной композицией ОС-12-03 по ТУ 84-725-78 в два слоя, толщина покрытия (по сухому слою) 100 мкм.

Применяемые в проекте типы конструктивных элементов ВЛ были выбраны исходя из класса напряжения, марки подвешиваемого провода на ВЛ, климатических условий и рельефа прохождения ВЛ.

ПРИЛОЖЕНИЕ Е

Расчет окупаемости проектов

Таблица Е.1 – Расчет окупаемости базового проекта. Источник: составлено автором

№ п/п	Наименование показателя	Ед. изм.	Период											
			2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
1	Год	-	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
2	Цена электроэнергии ЛЭП	руб/кВт-ч	6.7	7.04	7.39	7.76	8.14	8.55	8.98	9.43	9.90	10.39	10.91	11.46
3	Ставка дисконтирования	0.19												
4	Годовой объем перерабатываемой руды	млн т	1.84	1.84	1.84	1.84	1.84	1.84	1.84	1.75	16.6	15.8	15	14.2
5	Капитальные затраты	млн руб.	600.4	600.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	Затраты на переработку	млн руб.	2244.8	2244.8	829	870	914	959	1007.8	1005.3	1002.7	1000.2	997.7	995.2
6.1	<i>Совокупные затраты на переработку с применением ДЭС</i>	млн руб.	2244.8	2244.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6.1.1	<i>Удельные издержки на переработку с применением ДЭС</i>	руб/т	1220	1220	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6.2	<i>Совокупные затраты на переработку с применением ЛЭП</i>	руб	-	-	829	870.5	914	959.8	1007.8	1005.2	1002.7	1000.2	997.7	995.2
6.2.1	<i>Удельные затраты на переработку с применением ЛЭП</i>	руб/т	-	-	451	473	497	522	548	575	604	634	666	699

Продолжение таблицы Е.1

№ п/п	Наименование показателя	Ед. изм.	Период											
			2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
6.3	Совокупная экономия на издержках за счёт внедрения результатов проекта	млн руб.	-	-	1252.5	1219.3	1184.5	1147.9	1109.5	1021.8	938.5	859.4	784.5	713.3
6.3.1	Удельная экономия на издержках за счёт внедрения результатов проекта	руб/т	-	-	769	747	723	698	672	645	616	586	554	521
7	Амортизация объектов капитального строительства	млн руб.	0	0	120.08	120.08	120.08	120.08	120.08	120.08	120.08	120.08	120.08	120.08
9	Денежный поток	млн руб.	-600.6	-600.6	1372.3	1339.2	1304.4	1267.8	1229.4	1141.7	1058.4	979.3	904.3	833.1
10	Коэффициент дисконтирования	доли ед.	1.00	0.84	0.71	0.59	0.50	0.42	0.35	0.30	0.25	0.21	0.18	0.15
11	Чистый дисконтированный доход (ЧДД)	млн руб.	-600.6	-504.7	969.1	794.7	650.5	531.3	433	337.8	263.2	204.6	158.8	123
12	Кумулятивный ЧДД	млн руб.	-600.6	-1105.3	-1361.7	658.5	1309	1840.3	2273.2	2611	2874.2	3078.9	3237.7	3360.6

Таблица Е.2 – Расчет окупаемости дополнительного проекта. Источник: составлено автором.

Год	Выручка, млн руб.	Эксплуата- ционные расходы, млн руб.	Доход, млн руб.	Аморти- зация, млн руб.	Прибыль, млн руб.	Чистая прибыль, млн руб.	Денежный поток, млн руб.	Коэффициент дисконти- рования	Дисконти- рованный денежный поток, млн руб.	ЧДД, млн руб.
0	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-79.4
1	11.3	11.9	-0.52	11.3	10.8	8.7	20	0.840336134	20	-59.4
2	11.9	11.9	0.51	11.3	11.4	9.1	20.4	0.706164819	17.2	-42.2
3	12.5	11.9	0.64	11.3	12	9.6	20.9	0.593415814	14.8	-27.4
4	13.2	11.9	1.27	11.3	12.6	10.1	21.4	0.498668751	10.7	-16.7
5	13.8	11.9	1.94	11.3	13.3	10.6	22	0.419049371	9.2	-7.5
6	14.5	11.9	2.63	11.3	14	11.2	22.5	0.352142329	8	4
7	15.3	11.9	3.35	11.3	15	11.8	23.1	0.295917923	6.8	7.2
8	16	0.57	15.5	-	15.5	12.4	12.4	0.248670524	3.1	10.3
9	16.8	0.57	16.3	-	16.3	13	13	0.208966827	2.7	13
10	17.7	0.57	17.1	-	17.1	13.7	13.7	0.175602375	2.4	15.4