

УДК 620.9

ЭФФЕКТИВНЫЕ ПОДХОДЫ К ПОДДЕРЖКЕ ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКИ И ВИЭ В РОССИИ

Ткачев П.П., Старший диспетчер, Центр мониторинга качества ресурсов

Есин Е.В., Руководитель группы, Сыктывкарские тепловые сети

Черепанов С.С., Руководитель отделения, управление по работе с ключевыми клиентами

Худанина А.А., Руководитель участка, Теплоинспекция

Бурмистрова Д.В., Главный эксперт по инвестиционным соглашениям, Управление развития активов

Публичное акционерное общество «Т Плюс»

г. Москва

Аннотация:

В статье представлены результаты комплексного исследования, направленного на выработку эффективных подходов к поддержке инновационного развития теплоэнергетики и возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в России на горизонте до 2050 года. На основе анализа текущего состояния, характеризующегося критическим износом теплосетей (60%), высокими потерями тепловой энергии (свыше 30%) и низкой долей ВИЭ в теплогенерации, разработана многоэтапная методика сценарного прогнозирования. Проведены отраслевые SWOT- и PESTEL-анализы, выявлены ключевые риски и возможности. В рамках сценарного анализа детально описаны три варианта развития: инновационный, консервативный и негативный. Для каждого сценария даны прогнозы ключевых параметров (доля ВИЭ в теплоснабжении, уровень цифровизации теплосетей, снижение потерь) и сформулированы адресные рекомендации для органов государственной власти и компаний отрасли. Особое внимание удалено мерам по интеграции ВИЭ в системы теплоснабжения, глубокой цифровизации и развитию новых технологий, таких как солнечные коллекторы, тепловые насосы и геотермальные системы.

Ключевые слова: Теплоэнергетика, возобновляемые источники энергии, централизованное теплоснабжение, инновационное развитие, сценарное прогнозирование, цифровизация, тепловые насосы, солнечные коллекторы, геотермальная энергия

1. Выбор темы исследования

1.1. Обоснование актуальности выбранной темы

Теплоэнергетика является одной из наиболее социально-значимых и в то же время проблемных отраслей российского ТЭК. Россия обладает крупнейшей в мире системой централизованного теплоснабжения (ЦТС) с протяженностью тепловых сетей 9,4 тыс. км в двухтрубном исчислении и установленной мощностью источников тепловой энергии 1,8 млрд Гкал/год. Однако эта система сталкивается с комплексом критических вызовов [8, 11].

Уровень износа теплосетей оценивается в 60%, при этом 40% котельных эксплуатируются более 30 лет. Это приводит к колossalным потерям тепловой энергии на уровне 30-40% в распределительных сетях, что в 2-3 раза превышает показатели развитых европейских стран. Острая ситуация усугубляется высокой долей устаревшей угольной генерации в теплоэнергетике, которая дает до 15% выбросов CO₂ от всего ТЭК, создавая значительную экологическую нагрузку в городах.

Низкий уровень цифровизации и автоматизации процессов, дефицит квалифицированных кадров и медленные темпы модернизации на фоне растущей конкуренции со стороны локальных решений (индивидуальные газовые котлы, тепловые насосы) создают риски для дальнейшей устойчивости всей системы ЦТС. В этих условиях интеграция ВИЭ в теплоэнергетику и внедрение инновационных подходов становится не просто вопросом эффективности, а императивом для сохранения надежного и доступного теплоснабжения миллионов россиян.

1.2. Описание методики построения прогноза по выбранной теме до 2050 года

Для построения надежной прогнозной модели развития теплоэнергетики и ВИЭ до 2050 года была разработана и применена многоэтапная методика, адаптированная под специфику отрасли.

Этап 1. Базовые положения исследования. Определены объект (теплоэнергетика и ВИЭ России), цель (формирование сценариев инновационного развития), горизонт планирования (2025–2050 гг.) и ключевые задачи, включая анализ технологий (тепловые насосы, солнечные коллекторы, геотермальные системы, биоТЭЦ) и оценку их экономической эффективности.

Этап 2. Конкурентный анализ технологических решений. Проведено изучение наилучших доступных технологий для теплогенерации, успешных международных практик (например, опыт Дании и Германии по интеграции ВИЭ в ЦТС) и опыта ведущих российских компаний.

Этап 3. Сценарное моделирование. На основе идентифицированных трендов и факторов были разработаны три альтернативных сценария развития с фокусом на скорость модернизации теплосетей, темпы внедрения ВИЭ и уровень цифровизации.

Этап 4. Оценка и минимизация рисков. Для каждого сценария выявлены ключевые отраслевые угрозы (рост аварийности, рост тарифов, сопротивление потребителей), разработаны механизмы их снижения.

Этап 5. Оценка эффективности. Выполнен расчет показателей эффективности (снижение потерь, сокращение выбросов, снижение себестоимости тепловой энергии).

Этап 6. Экспертная оценка и корректировка. Проведено анкетирование свыше 200 отраслевых экспертов (специалисты теплоснабжающих организаций, проектировщики,

представители региональных властей). Сценарии были уточнены с учетом региональной специфики и ресурсных ограничений.

Этап 7. Формирование рекомендаций. Разработана дорожная карта внедрения для инновационного сценария, определены контрольные точки для мониторинга.

Основными преимуществами данного подхода являются комплексность, гибкость и научная обоснованность, достигаемая за счет сочетания аналитических методов с экспертными оценками.

1.3. Перечень и характеристика сценариев развития

В рамках исследования разработаны три сценария развития теплоэнергетики и ВИЭ в России.

Негативный (пессимистический) сценарий предполагает сохранение текущих негативных тенденций. Темпы модернизации теплосетей – менее 1% в год, инвестиции в НИОКР для отрасли минимальны. Доля ВИЭ в теплогенерации не превышает 1-2%. Потери в сетях сохраняются на уровне 30-40%.

Консервативный (базовый) сценарий предполагает реализацию текущих госпрограмм в запланированных объемах. Темпы модернизации теплосетей – 1-2% в год. Доля ВИЭ в теплогенерации достигает 5-7% к 2050 году за счет точечного внедрения биоТЭЦ и солнечных коллекторов в южных регионах. Потери в сетях снижаются до 20-25%.

Инновационный (позитивный) сценарий предусматривает технологический прорыв и системную модернизацию. Темпы модернизации теплосетей – 3-5% в год с применением «умных» технологий. Доля ВИЭ в теплогенерации достигает 15-20% к 2050 году за счет массового внедрения тепловых насосов, геотермальных систем, солнечных коллекторов и биоТЭЦ. Потери в сетях снижаются до 10-15%.

Для наглядности характеристики факторов сведены в табл. 1.

Табл. 1. Факторы, учитываемые при построении прогноза

№ п/п	Наименование фактора	Негативный сценарий	Консервативный сценарий	Позитивный сценарий
1	Доля ВИЭ в теплогенерации к 2050 г., %	1-2	5-7	15-20
2	Среднегодовые темпы модернизации теплосетей, %	< 1	1-2	3-5
3	Уровень потерь в теплосетях к 2050 г., %	30-40	20-25	10-15
4	Уровень цифровизации систем теплоснабжения к 2050 г., %	< 20	40-50	> 70
5	Снижение выбросов CO2 от теплоэнергетики к 2050 г., %	0	15-20	40-50

1.4. Проведение SWOT и PESTEL анализов развития сценария по выбранной теме

Для комплексной оценки текущего состояния и внешней среды проведены SWOT- и PESTEL-анализы.

Сильные стороны: Наличие развитой инфраструктуры ЦТС; значительный потенциал использования низкопотенциального тепла (геотермальные воды, сбросное тепло промышленности); растущий интерес крупных энергокомпаний («Росатом», «Фортум») к проектам ВИЭ в теплоэнергетике; государственная поддержка (ДПМ ВИЭ, программы модернизации).

Слабые стороны: Критический износ теплосетей (60%); высокая доля устаревшего оборудования котельных; низкая рентабельность многих теплоснабжающих организаций, ограничивающая инвестиции; отсутствие стандартов для подключения ВИЭ к теплосетям; сезонность спроса на тепло.

Возможности: Снижение стоимости технологий ВИЭ (тепловые насосы, солнечные коллекторы); потенциал использования биомассы и ТКО для генерации тепла; развитие нормативной базы для «зеленого» тепла; растущий спрос на энергоэффективные и экологичные решения со стороны потребителей.

Угрозы: Конкуренция с дешевым природным газом; риски снижения инвестиций из-за экономической нестабильности; административные барьеры при согласовании проектов; климатические изменения, влияющие на продолжительность отопительного периода.

PESTEL-анализ показал, что ключевыми политическими факторами являются государственные программы модернизации и климатическая повестка. Среди экономических факторов – высокая капиталоемкость модернизации и зависимость от тарифного регулирования. Социальный фактор – растущее внимание населения к экологии и качеству услуг. Технологический фактор – развитие интеллектуальных систем управления теплоснабжением. Экологический фактор – давление в связи с выбросами от угольных котельных. Правовой фактор – необходимость адаптации законодательства для стимулирования «зеленого» тепла.

1.5. Иные варианты анализа сценария развития будущего и отдельных факторов по выбранной теме

Для оценки перспективных технологий (например, высокотемпературных тепловых насосов, систем аккумулирования тепловой энергии) применялась методология BRL (Technology Readiness Level, Business Readiness Level, Regulatory Readiness Level), которая показала, что основным барьером для многих решений является не технологическая, а регуляторная и коммерческая готовность. В качестве институционального решения предлагается создание Отраслевого центра компетенций по теплоэнергетике и ВИЭ на базе одного из ведущих энергетических ВУЗов для координации НИОКР, разработки стандартов и подготовки кадров.

2. Тенденции развития будущего по теме исследования

2.1. Общая характеристика и описание прогнозируемых тенденций развития энергетики

В среднесрочной и долгосрочной перспективе развитие теплоэнергетики будет определяться тремя взаимосвязанными трендами: декарбонизацией, цифровизацией и децентрализацией.

- **Декарбонизация.** Глобальный тренд на снижение углеродного следа будет оказывать растущее давление на традиционную теплоэнергетику, стимулируя переход с угля и мазута на газ, биомассу и прямое использование ВИЭ. В России этот тренд усиливается в рамках реализации Энергетической стратегии до 2050 года [11].

- Цифровизация.** Внедрение цифровых двойников тепловых сетей, интеллектуальных систем учета и управления нагрузкой позволит оптимизировать режимы работы, сократить потери и повысить надежность. Глубокая цифровизация – ключевой инструмент повышения эффективности изношенной инфраструктуры.

- Децентрализация.** Наблюдается рост доли малой и распределенной генерации тепла, включая крышные солнечные коллекторы, индивидуальные тепловые насосы и биогазовые установки. Это создает как вызовы для ЦТС в виде «ухода» перспективных потребителей, так и возможности для создания гибридных систем.

2.2. Исследование внешних (общемировых) факторов и тенденций

Ключевые глобальные тенденции, влияющие на отрасль:

- Развитие технологий ВИЭ для теплоснабжения.** В мире наблюдается быстрый прогресс в области эффективности и снижения стоимости солнечных коллекторов, геотермальных тепловых насосов и технологий сжигания биомассы. Мировой рынок солнечного тепла демонстрирует устойчивый рост, особенно в Китае и Европе [19].

- Ужесточение экологических стандартов.** Введение трансграничного углеродного регулирования (СВАМ) в ЕС и других странах косвенно влияет и на теплоэнергетику, повышая стоимость продукции энергоемких производств, что стимулирует их переходить на «зеленое» тепло [11].

- Государственная поддержка.** Во многих странах действуют программы субсидий и налоговых льгот для проектов по использованию ВИЭ в теплоснабжении, что ускоряет их внедрение.

2.3. Тенденции технологического развития отраслей экономики России по теме

Развитие теплоэнергетики и ВИЭ тесно связано с другими секторами:

- IT-сектор:** Разработка российского ПО для управления теплоснабжением, платформ для предиктивного анализа аварий в теплосетях.

- Машиностроение:** Локализация производства тепловых насосов, солнечных коллекторов и оборудования для биоТЭЦ.

- АПК и ЖКХ:** Использование отходов агропромышленного комплекса и твердых коммунальных отходов (ТКО) для генерации тепла.

- Химическая промышленность:** Разработка новых материалов для тепловой изоляции труб.

2.4. Тенденции развития энергетической отрасли в России по теме

Внутренние тенденции до 2050 года:

- Модернизация и «озеленение» котельных:** Замена угольных котельных на газовые, биотопливные и гибридные (газ + солнечные коллекторы).

- Развитие солнечного тепла:** Активное внедрение солнечных коллекторов для горячего водоснабжения и подпитки теплосетей в южных регионах (Крым, Ставрополье, Краснодарский край).

- Рост популярности тепловых насосов:** Использование тепловых насосов для отопления отдельных зданий и кварталов, особенно с использованием низкопотенциального тепла земли, сточных вод.

- Использование геотермальной энергии:** Развитие геотермального теплоснабжения на Камчатке, Курилах и в других регионах с высоким потенциалом.

- **Цифровизация теплоснабжения:** Внедрение «умных» тепловых сетей с датчиками и автоматикой, позволяющих динамически управлять параметрами теплоносителя.

2.5. Риски развития экономики и энергетики в России по выбранной теме

Выделены ключевые риски, препятствующие инновационному развитию:

- **Технологические:** Зависимость от импорта критических компонентов для тепловых насосов и солнечных коллекторов; неготовность сетей к интеграции нестабильной генерации от ВИЭ.
- **Экономические:** Высокая первоначальная стоимость оборудования ВИЭ; ограниченность средств у теплоснабжающих организаций; риски изменения тарифной политики.
- **Регуляторные:** Недостаточная проработанность законодательной базы для «зеленого» тепла; сложности с подключением объектов ВИЭ к тепловым сетям.
- **Социальные:** Неготовность потребителей к переходу на новые технологии; потенциальный рост тарифов в краткосрочной перспективе при модернизации.

2.6. Не менее 3-х (трех) кейсов отдельных организаций отрасли

Проанализированы успешные кейсы внедрения инновационных технологий, иллюстрирующие потенциал и направления развития.

Кейс 1. Солнечная электростанция в Чеченской Республике с применением трекерной системы

ГК "Хевел" ввела в эксплуатацию в Ачхой-Мартановском районе Чечни солнечную электростанцию с применением трекерной системы слежения за движением Солнца. Ключевой особенностью проекта стало использование российских гетероструктурных модулей производства завода "Хевел" в Новочебоксарске. На станции установлено около 30 тыс. солнечных модулей, проложено свыше 90 км кабельных линий [3].

Положительные эффекты:

- Трекерная система увеличивает выработку электроэнергии на 20-25% по сравнению с традиционными статическими системами
- Ежегодное снижение выбросов CO₂ на 4,5 тыс. тонн
- Демонстрация возможности эффективной работы солнечной генерации в горной местности

Кейс 2. Плавучая атомная теплоэлектростанция "Академик Ломоносов"

ГК "Росатом" реализовала проект плавучей атомной теплоэлектростанции (ПАТЭС) в г. Певек Чукотского автономного округа. Станция имеет два энергоблока с реакторами КЛТ-40С электрической мощностью 70 МВт и тепловой мощностью 50 Гкал/ч. Подключение к энергосети Чукотки состоялось в декабре 2019 года, а в июне 2020 года началась подача тепловой энергии в сеть города Певек [2].

Положительные эффекты:

- Выработка свыше 900 млн кВт*ч электроэнергии и почти 300 тыс. Гкал тепла
- Снижение объемов поставок угля в 4 раза (с 75 тыс. т до 17,5 тыс. т)
- Сокращение парниковых газов примерно на 390 тыс. тонн
- Многоцелевое применение: помимо генерации энергии, возможность теплоснабжения и орошения воды

Кейс 3. Внедрение бережливого производства на предприятиях ГК "РусГидро"

Группа компаний "РусГидро" внедрила системы бережливого производства на своих предприятиях, используя методологии 5S, карты потока создания ценности, диаграммы "спагетти" и визуализацию рабочих мест [10].

Положительные эффекты:

- Сокращение продолжительности реконструкции гидроагрегата №2 Майнской ГЭС с 330 до 270 дней
- Сокращение проведения среднего ремонта газотурбинной установки на Якутской ГРЭС-1 с 54 до нормативных 45 дней
 - Увеличение выпуска металлоконструкций с 2800 до 3177 тонн в год
 -
 - Оптимизация процессов проведения работ и увеличение рационально используемых производственных площадей

Представленные кейсы демонстрируют успешный опыт реализации технологических решений в области теплоэнергетики и ВИЭ в России, показывая потенциал для масштабирования данных практик в других регионах страны.

2.7. Формирование перечня основных стратегических и тактических условий

Сформированы стратегические и тактические условия для устойчивого развития.

Стратегические условия: Формирование национальной программы «Зеленое тепло»; создание системы поддержки генерации тепла на основе ВИЭ (аналоги «зеленым» тарифам на электроэнергию); разработка долгосрочной стратегии модернизации теплосетей.

Тактические условия: Введение ускоренной амортизации для оборудования ВИЭ в теплоэнергетике; создание «регуляторных песочниц» для тестирования новых бизнес-моделей (например, «тепло-as-a-service»); разработка и внедрение отечественных стандартов для «умных» теплосетей и оборудования ВИЭ.

3. Сценарный анализ

3.1. Подробное описание каждого из разработанных сценариев развития будущего энергетики по выбранной теме

3.1.1. Инновационный / Позитивный сценарий

Оценка сценарных внешних и внутренних факторов: Благоприятная макроэкономическая ситуация, активная государственная поддержка, наличие долгосрочных программ финансирования, сформировавшийся рынок отечественных технологий для ВИЭ, высокий спрос на «зеленое» тепло со стороны потребителей.

Прогноз ключевых параметров развития отрасли:

- Доля ВИЭ в теплогенерации: 15-20% к 2050 году.
- Уровень потерь в теплосетях: снижение до 10-15% к 2050 году.
- Уровень цифровизации: >70% к 2050 году.

Снижение выбросов CO₂ от теплоэнергетики: 40-50% к 2050 году.

Рекомендации по формированию государственной энергетической политики:

Принятие Федерального закона «О поддержке использования ВИЭ в теплоснабжении»; введение целевых субсидий на установку солнечных коллекторов и тепловых насосов; создание фонда льготного кредитования модернизации теплосетей; включение показателей по «зеленому» теплу в стратегические документы регионов.

Рекомендации по формированию политики компаний отрасли: Активное инвестирование в НИОКР в области ВИЭ для тепла; разработка и внедрение программ по энергосервису; создание дочерних структур, специализирующихся на ВИЭ; переход к модели «провайдера энергоуслуг».

3.1.2. Консервативный / Базовый сценарий

Оценка сценарных внешних и внутренних факторов: Умеренные темпы экономического роста, реализация госпрограмм в урезанном объеме, сохранение зависимости от импорта оборудования.

Прогноз ключевых параметров развития отрасли:

- Доля ВИЭ в теплогенерации: 5-7% к 2050 году.
- Уровень потерь в теплосетях: снижение до 20-25% к 2050 году.
- Уровень цифровизации: 40-50% к 2050 году.

Рекомендации по формированию государственной энергетической политики:

Фокус на модернизации наиболее аварийных участков теплосетей; поддержка пилотных проектов ВИЭ в теплоэнергетике; развитие механизмов ГЧП.

Рекомендации по формированию политики компаний отрасли: Поэтапная замена устаревшего оборудования; внедрение систем коммерческого учета тепла; участие в отраслевых консорциумах для локализации оборудования.

3.1.3. Негативный / Пессимистичный сценарий

Оценка сценарных внешних и внутренних факторов: Экономическая стагнация, сокращение бюджетного финансирования, сохранение административных барьеров.

Прогноз ключевых параметров развития отрасли:

- Доля ВИЭ в теплогенерации: 1-2% к 2050 году.
- Уровень потерь в теплосетях: сохраняется на уровне 30-40%.
- Рост количества аварий в теплосетях.

Рекомендации по формированию государственной энергетической политики:

Принятие антикризисных мер по поддержке жизнеобеспечивающих теплоснабжающих организаций; упрощение процедур подключения к сетям.

Рекомендации по формированию политики компаний отрасли: Фокус на операционной эффективности и сокращении издержек; отложенный переход на новые технологии.

4. Заключение

Проведенное исследование демонстрирует, что будущее российской теплоэнергетики лежит на пути глубокой модернизации и интеграции с возобновляемыми источниками энергии. Преодоление системных вызовов – колоссальных потерь, износа инфраструктуры и экологической нагрузки – требует не эволюционного, а революционного подхода, основанного на трех столпах: цифровизации, декарбонизации и децентрализации.

Анализ сценарных условий позволил выделить четыре критические точки входа инноваций, реализация которых позволит перевести отрасль на траекторию опережающего развития в рамках инновационного сценария:

1. Создание комплексной нормативной базы для «зеленого» тепла. К 2027 году необходимо принять федеральный закон, который определит понятие «зеленого» тепла, установит цели для регионов и введет механизмы стимулирования (надбавки к тарифам, налоговые льготы, льготные кредиты). Это создаст предсказуемые условия для инвесторов.

2. Запуск национальной программы «Цифровая теплосеть». К 2030 году не менее 50% теплоснабжающих организаций в городах-миллионниках должны внедрить системы цифровых двойников и интеллектуального управления. Это позволит сократить эксплуатационные расходы на 15-20% и снизить потери на 10-15% уже к 2035 году.

3. Формирование отечественной технологической платформы для ВИЭ в теплоэнергетике. К 2030 году необходимо обеспечить локализацию производства ключевых компонентов на уровне не менее 60%. Это требует создания специализированных инжиниринговых центров и мер поддержки отечественных производителей.

4. Развитие кадрового потенциала. К 2030 году необходимо осуществить полномасштабный переход на дуальную модель образования по специальностям «Теплоэнергетика» и «ВИЭ», а также запустить программу переподготовки для действующих сотрудников теплоснабжающих организаций с фокусом на цифровые технологии и управление объектами ВИЭ.

В рамках инновационного сценария достижение следующих ключевых показателей результативности (КРП) является стратегически необходимым:

Доля ВИЭ в теплогенерации: 7% к 2035 году и 15% к 2050 году.

Снижение средних потерь в тепловых сетях: до 20% к 2035 году и до 12% к 2050 году.

Снижение выбросов CO₂ от теплоэнергетики: на 25% к 2035 году и на 45% к 2050 году (от уровня 2025 года).

Доля «умных» теплосетей: 40% к 2035 году и 70% к 2050 году.

Для реализации инновационного сценария необходима консолидация усилий государства, бизнеса, науки и образовательных учреждений. Ключевую роль должен сыграть предлагаемый Отраслевой центр компетенций по теплоэнергетике и ВИЭ. Успех будет

зависеть от способности создать гибкую, адаптивную и технологически ориентированную отрасль, способную обеспечить россиян надежным, доступным и экологически чистым теплом в условиях глобального энергетического перехода. Реализация предложенной стратегии позволит не только решить текущие проблемы, но и вывести российскую теплоэнергетику на лидирующие позиции в мире по уровню технологического развития и эффективности.

Список литературы

1. Анализ развития энергетической отрасли в России: основные игроки, проблемы, перспективы [Электронный ресурс] / DV-Consulting. — URL: <https://dv-consulting.ru/analiz-energeticheskoy-otrasli/> (дата обращения: 17.05.2025).
2. АСММ для теплоснабжения: перспективы в России [Электронный ресурс] // Росатом. — URL: <https://rosatom.ru/> (дата обращения: 26.04.2024).
3. В России появилась следящая за Солнцем электростанция [Электронный ресурс] // ИнфоТэк. — URL: [\(дата обращения 26.04.2025\)](#).
4. Зеленая энергия в России вскоре может стать дешевле традиционной [Электронный ресурс] // Ведомости. — URL: <https://www.vedomosti.ru/business/articles/2020/05/26/831097-zelenaya-energiya-v-rossii-vskore-mozhet-stat-deshevle-traditsionnoi> (дата обращения: 01.07.2025).
5. Минэнерго ожидает наращивания мощности энергосистем России до 300 ГВт к 2042 г. [Электронный ресурс] // Нефтегаз. — URL: <https://neftegaz.ru/news/gosreg/871713-minenergo-ozhidaet-narashchivaniya-moshchnosti-energosistem-rossii-do-300-gvt-k-2042-g/> (дата обращения: 15.04.2025).
6. Нефтяная скважина без ремонта и с экономией: как новая технология меняет добычу [Электронный ресурс] // Money Times. — URL: <https://www.moneymagazine.ru/news/rosneft-innovacia-skvazhiny/52171/> (дата обращения: 26.04.2024).
7. ОПЕК: нефть и газ будут занимать более 50% энергобаланса в ближайшие 25 лет [Электронный ресурс] // ТАСС. — URL: <https://tass.ru/ekonomika/24480863> (дата обращения: 10.07.2025).
8. Отчет о состоянии теплоэнергетики и централизованного теплоснабжения в Российской Федерации в 2021 году [Электронный ресурс] // Минэнерго России. — URL: https://minenergo.gov.ru/upload/iblock/166/Doklad_po_teplu_za_2021_god.pdf (дата обращения: 03.05.2025).
9. Предиктивные ремонты — обеспечение высокой доступности оборудования при снижении операционных затрат [Электронный ресурс] // SAP. — URL: https://assets.dms.sap.com/kz-sap-forum-astana/pdfs/4_plocharski_predictive_maintenance.pdf (дата обращения: 16.05.2025).
10. Разложили по полочкам: бережливое производство на предприятиях РусГидро. [Электронный ресурс] // РусГидро. — URL: <https://rusatom-overseas.com/ru/smr/> (дата обращения: 26.04.2024).
11. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 12.04.2025 № 908-р «Об утверждении Энергетической стратегии Российской Федерации на период до 2050 года» [Электронный ресурс] // Официальный интернет-портал Правительства России. — URL: LWYISENa10uBrrBoyLQqAAOj5eJYIA60.pdf (дата обращения: 15.04.2025).
12. Российский рынок цифровизации ТЭК [Электронный ресурс] // TAdviser. — URL: <https://www.tadviser.ru/> (дата обращения: 16.05.2025).
13. Рынок возобновляемой энергетики России: текущий статус и перспективы развития [Электронный ресурс] / Ассоциация развития возобновляемой энергетики. — М.: АРВЭ, 2024. — URL: https://rreda.ru/upload/iblock/c86/ck53fb9u065billscovlumxq02gqvkcx/202408_RREDA_annual_RES_report.pdf (дата обращения: 15.05.2025).

14. Статистические данные Ассоциации развития возобновляемой энергетики [Электронный ресурс] // АРВЭ. — URL: <https://rreda.ru/industry/statistics/> (дата обращения: 10.07.2025).
15. TAdviser: Big Data и AI Day 2025 [Электронный ресурс] // TAdviser. — URL: <https://www.tadviser.ru/> (дата обращения: 16.05.2025).
16. World Energy Outlook 2023 [Электронный ресурс] / International Energy Agency. — URL: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2023> (дата обращения: 01.06.2025).
17. Global Energy Perspective 2023 [Электронный ресурс] / McKinsey. — URL: <https://www.mckinsey.com/industries/oil-and-gas/our-insights/global-energy-perspective-2023#/> (дата обращения: 17.05.2025).
18. Hydrogen Insights 2024 [Электронный ресурс] // Hydrogen Council. — URL: <https://hydrogencouncil.com/en/hydrogen-insights-2024/> (дата обращения: 03.07.2025).
19. International Energy Agency «Renewables 2024» [Электронный ресурс] / International Energy Agency. — URL: <https://www.iea.org/reports/renewables-2024/global-overview> (дата обращения: 01.07.2025).
20. New Energy Outlook 2025: electricity demand to rise 75% by 2050 [Электронный ресурс] // Rinnovabili. — URL: <https://www.rinnovabili.net/business/utilities/new-energy-outlook-2025-electricity-demand-to-rise-75-by-2050/> (дата обращения: 01.07.2025).
21. BloombergNEF. Energy Transition Investment Trends 2024 [Электронный ресурс] / BloombergNEF. — London: BloombergNEF, 2024. — URL: <https://about.bnef.com/insights/clean-energy/global-clean-energy-investment-jumps-17-hits-1-8-trillion-in-2023-according-to-bloombergnef-report/> (дата обращения: 01.07.2025).
22. Carbon Market Watch [Электронный ресурс]. — URL: <https://carbonmarketwatch.org/> (дата обращения: 16.06.2025).