

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 338.012

JEL O13

DOI 10.26425/2658-3445-2026-9-2-104-117

РАЗРАБОТКА ОПТИМИЗАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ПО ПОИСКУ НАИБОЛЕЕ ЭФФЕКТИВНОГО ИСТОЧНИКА ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ С ЦЕЛЬЮ ДОСТИЖЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ



Ссылка на статью

Гибадуллин Артур Артурович

Канд. экон. наук, доц. каф. экономики в энергетике и промышленности¹,
ведущий научный сотрудник Института исследований международных экономических отношений²
ORCID: 0000-0003-1890-5492
E-mail: 11117899@mail.ru

¹ Национальный исследовательский университет «МЭИ», г. Москва, Россия² Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации, г. Москва, Россия**АННОТАЦИЯ**

В статье анализируется состояние теплоэнергетического комплекса Российской Федерации (далее — РФ, Россия), определяются проблемы, которые существуют в отрасли и предлагаются мероприятия позволяющие повысить устойчивое функционирование и развитие комплекса. Целью настоящего исследования является оценка состояния теплоэнергетического комплекса России и формирование мероприятий, обеспечивающих его устойчивое функционирование и развитие.

Проведенный теоретический анализ научных трудов показал, что исследователи приходят к выводу о необходимости повышения эффективности функционирования теплоэнергетики и предлагают различные подходы для решения этой проблемы. Аналитический анализ выявил, что производственное оборудование не используется на полную мощность. Следовательно, организации не могут покрыть расходы, связанные с модернизацией и обновлением мощностей. В исследовании проанализирована зависимость между объемами инвестиций и количеством аварий, в результате чего сделан следующий вывод: увеличение инвестиций несущественным образом сокращает количество аварий.

По результатам проведенного эмпирического исследования сформированы факторы, влияющие на устойчивое функционирование и развитие. В исследовании предложена оптимизационная модель по поиску наиболее эффективного источника тепловой энергии, в которой представлена целевая функция и определены ограничения. По результатам проведенного исследования сделаны соответствующие выводы.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

Теплоэнергетический комплекс, аварии, инвестиции, устойчивое функционирование, устойчивое развитие, факторы, оптимизационная модель, тепловая энергия

**ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ**

01.04.2026

**ДОРАБОТАНА**

20.05.2026

**ПРИНЯТА К ПУБЛИКАЦИИ**

25.05.2026

**КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ**

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

**ФИНАНСИРОВАНИЕ**

Исследование выполнено без спонсорской поддержки

**ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ**

Гибадуллин А.А. Разработка оптимизационной модели по поиску наиболее эффективного источника тепловой энергии с целью достижения устойчивости // E-Management. 2026. Т. 9, № 2. С. 104–117.



Статья доступна по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)

© Гибадуллин А.А., 2026.

SCIENTIFIC ARTICLE

DEVELOPMENT OF AN OPTIMIZATION MODEL TO FIND THE MOST EFFICIENT SOURCE OF THERMAL ENERGY IN ORDER TO ACHIEVE SUSTAINABILITY


[Link to the article](#)

Artur A. Gibadullin

Cand. Sci. (Econ.), Associate Professor at the Department of Energy and Industrial Economics¹,

Leading Researcher, Institute for International Economic Relations²

ORCID: 0000-0003-1890-5492

E-mail: 11117899@mail.ru

¹ National Research University MPEI, Moscow, Russia

² Financial University under the Government of the Russian Federation, Moscow, Russia

ABSTRACT

This article analyzes the current state of the Russian thermal power complex, identifies existing problems in the industry, and proposes measures to improve its sustainable operation and development. The purpose of this study is to assess the current state of the Russian thermal power complex and develop measures to ensure its sustainable operation and development.

A theoretical analysis of scientific papers revealed that researchers are concluding that it is necessary to improve the efficiency of the thermal power industry and are proposing various approaches to addressing this issue. An analytical analysis revealed that production equipment is not being utilized to its full capacity, and, consequently, organizations are unable to cover the costs associated with modernization and capacity upgrades. The study analyzed the relationship between investment volumes and the number of accidents, concluding that increased investment does not significantly reduce the number of accidents. Based on the empirical study, factors influencing sustainable operation and development were identified.

The study proposed an optimization model for finding the most efficient thermal energy source, which presented an objective function and identified constraints. The study drew the following conclusions.

KEYWORDS

Thermal power complex, accidents, investments, sustainable operation, sustainable development, factors, optimization model, efficiency, thermal energy



RECEIVED

01.04.2026



REVISED

20.05.2026



ACCEPTED

25.05.2026



CONFLICT OF INTEREST

The authors declare that there is no conflict of interest



FINANCING

The study was carried out without sponsorship



FOR CITATION

Gibadullin A.A. (2026) Development of an optimization model to find the most efficient source of thermal energy in order to achieve sustainability. E-Management, vol. 9, no. 2, pp. 104–117. DOI: 10.26425/2658-3445-2026-9-2-104-117



This is an open access article under the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)

© Gibadullin A.A., 2026.

ВВЕДЕНИЕ / INTRODUCTION

В последние десятилетия актуализируются и выходят на новый виток развития вопросы перестройки отдельных сфер деятельности и отраслей промышленности. Это связано с низкими показателями эффективности функционирования производственных объектов, высоким уровнем износа мощностей, отсутствием необходимых инновационных решений, низкой инвестиционной привлекательностью и другими структурными проблемами экономики. Государство, в лице различных министерств, принимает программы развития, направленные на повышение технико-технологической устойчивости и организационно-управленческих условий, направленных не только на повышение эффективности отдельных технологических процессов, но и на выполнение социально значимых функций. На сегодняшний день принято большое количество нормативно-правовой базы, концепций и программ развития на государственном и корпоративном уровне. Однако предложенные мероприятия не реализуются по различным причинам. Именно поэтому актуальными являются исследования, направленные на решение отраслевых проблем и содержащие условия по минимизации вложений, и перехода на инновационные решения.

Сегодня к системообразующим отраслям экономики можно отнести большое количество видов экономической деятельности, которые обеспечивают население продуктами питания и прочими услугами. Необходимо выделить одну из сфер деятельности с целью ее оценки и поиска возможной трансформации. Речь идет об энергетическом комплексе Российской Федерации (далее — РФ, Россия). На сегодняшний день он представляет важнейшую стратегическую и системообразующую отрасль народного хозяйства, устойчивое функционирование которого влияет на все жизнеобеспечивающие и экономические процессы. В этой связи, актуализируются вопросы, связанные с необходимостью изучения и оценки условий функционирования энергетики, определения потенциальных факторов, негативно влияющих на энергетический комплекс и поиск механизмов достижения устойчивого развития отрасли в долгосрочной перспективе.

Развитие энергетического комплекса России берет свое начало еще с 20-х годов прошлого века, когда отрасль только зарождалась, и происходил поиск наиболее эффективных и рациональных способов получения электрической и тепловой энергии. Активное развитие энергетики приходится на 60–80-е гг. прошлого века, когда были сформированы государственные планы по развитию отрасли, определены основные источники потребления электрической и тепловой энергии и построены электрические станции, учитывающие особенности местности и объемов потребления. В этот период сформировалась российская энергетика, которая сейчас функционирует на территории России. Нужно отметить, что в годы активного строительства и бурного экономического развития России было необходимо больше энергии, чем сегодня, поэтому электрические станции строились с учетом этих потребностей.

На сегодняшний день, произошли кардинальные изменения, как в общеэкономическом смысле, так и в системной перестройке промышленности, среди которых стоит выделить следующее:

- изменение структуры экономики и отказ от капиталоемких производств;
- снижение объемов производства промышленной продукции;
- сокращение потребления природных ресурсов и стремление заменить их возобновляемым сырьем;
- изменение экологических требований со стороны государства и мирового сообщества;
- технологическая перестройка процесса производства энергии.

Все эти изменения негативно сказались на энергетическом комплексе. В том числе, это связано с существенным сокращением потребления тепловой энергии со стороны промышленных предприятий, в связи с изменением технологического процесса и повышением энергетической эффективности в экономике, жилищной сфере, промышленности и других областях.

Стоит отметить, что построенные еще в советские годы производственные мощности теплоэнергетики, сегодня не используются на полную мощность. Следовательно, это негативно влияет на экономическую составляющую теплоэнергетики за счет существенного снижения доходов компаний и производственной деятельности. Наблюдающийся тренд на инновационное развитие промышленных производств и перестройки экономики свидетельствует о дальнейшем сокращении потребления тепловой энергии, что негативно влияет на инвестиционную привлекательность отрасли и затрудняет проведение эффективных программ по модернизации и обновлению производственных мощностей. Исследования, направленные на оценку состояния теплоэнергетического комплекса, определение проблем и перспектив устойчивого развития являются на сегодняшний день актуальными и необходимыми.

Проблемами устойчивого функционирования и развития занимаются различные государственные учреждения, генерирующие сетевые компании энергетики, научно-исследовательские организации, профессиональные сообщества и различные инфраструктурные организации. Среди ученых следует выделить Е.В. Сухарева, Е.М. Лисина,

Е.Ю. Камчатову, Н.Н. Шеломенцеву, О.В. Грушину, Д. Е. Морковкина, Е. Л. Логинову, Е. П. Грабчак, Г.Н. Узакова, Е.Е. Крыленко, Н.Г. Любимову, В.Я. Афанасьева и др.. В своих работах они рассматривают процессы стратегического развития энергетики с учетом структурных изменений, а также планирование производственного процесса, оценку экономической эффективности, управление энергетикой в сложнопрогнозируемых условиях и технико-технологическое развитие. Темы повышения эффективности, устойчивости, живучести, надежности, бесперебойности и развития энергетического комплекса представлены в различных отчетах и докладах Министерства энергетики России. Настоящее исследование является дополнением и расширением существующих научно-практических подходов для решения сложных и непрогнозируемых проблем, которые обнажились в отрасли в последнее время.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ / MATERIALS AND METHODS

Целью настоящего исследования является оценка состояния теплоэнергетического комплекса России и формирование мероприятий, обеспечивающих устойчивое развитие. Для достижения поставленной цели, необходимо выполнить следующее:

- проанализировать текущее состояние теплоэнергетического комплекса;
- выявить факторы, влияющие на устойчивое функционирование и развитие теплоэнергетического комплекса;
- разработать модель, направленную на достижение устойчивости теплоэнергетического комплекса.

Для проведения объективной оценки о техническом и экономическом состоянии теплоэнергетического комплекса использованы данные Министерства энергетики России, отчеты Российского энергетического агентства Минэнерго России, информация с сайта Системного оператора Единой энергетической системы России, различных профессиональных и научных сообществ, ассоциаций и некоммерческих организаций.

Для достижения поставленной цели в работе использованы методы теоретического познания, которые позволили определить терминологию устойчивости и факторов, влияющих на устойчивость. Эмпирические подходы, включающие наблюдение, индукцию и дедукцию, проверку и оценку, позволили провести комплексный анализ текущего состояния теплоэнергетического комплекса и представить взаимосвязь между факторами. Благодаря методу формализации автор представил комплекс в более упрощенном виде, что поспособствовало выявлению существующих проблем. Системный подход помог рассмотреть теплоэнергетику во взаимосвязи с электроэнергетическим комплексом, а также определить его зависимость от внешних составляющих, которые влияют на комплекс в целом.

Научной новизной настоящего исследования является анализ текущего состояния теплоэнергетического комплекса с точки зрения аварийной ситуации на источниках производства тепла, распределении и передачи энергии, который показывает, что в отрасли наблюдаются высокие объемы аварий на всем теплоэнергетическом оборудовании. Представленные в работе зависимости между авариями на объектах энергетики и объемами инвестиций отражают их прямую зависимость, то есть, чем больше инвестиций направляется в отрасли, тем меньше наблюдается аварий в производственном комплексе. В сетевом комплексе такой тренд наблюдается только в последние три года. Предложены факторы, влияющие на устойчивое функционирование и развитие теплоэнергетического комплекса, которые, по мнению автора, негативно влияют на возможность стабильной оперативной деятельности и стратегического развития. Разработана модель по поиску наиболее эффективного источника тепла, позволяющая определить возможные источники теплоснабжения, пути передачи и распределения тепловой энергии. Отметим, что модель носит исключительно теоретический характер.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ / THEORETICAL ANALYSIS

Проблемы повышения эффективности производственного процесса в различных отраслях народного хозяйства постоянно актуализируются. Одни авторы предлагают механизмы, связанные с техническим перевооружением, другие — рассматривают данный вопрос с точки зрения повышения эффективности управления, а третьи говорят о необходимости перестройки модели отрасли или непосредственного участия государства в этих вопросах. Рассмотрим подробно мнения различных авторов по вопросам устойчивости теплоэнергетического комплекса.

Понятие устойчивости исследуется во многих научных сферах деятельности: экономике, механике, авиации, мореплавании, энергетике и др. В данном исследовании это понятие целесообразно рассмотреть для энергетического комплекса. Оно понимается, как устойчивая работа или функционирование объектов в заданных режимах. В свою очередь, под устойчивым функционированием следует понимать надежное и бесперебойное снабжение потребителей электрической и тепловой энергии, а устойчивое развитие рассматривается в контексте экологии, экономики и социальной сферы. Производство энергии всегда происходит за счет влияния на экологию, потребителем является

социальная сфера, и надежность теплоснабжения влияет на комфортное проживание людей и их жизни, а для экономики это взаимосвязь различных экономических процессов с технической и технологической составляющей для достижения развития объекта.

Г. Н. Узаков считает, что для обеспечения надежного и бесперебойного теплоснабжения необходимо использовать автономные системы (Г.Н. Узаков, Х.А. Давланов, Б.М. Тошмаматов, Б.И. Камолов, 2023). Автор отмечает, что устойчивость может быть достигнута за счет использования возобновляемых источников энергии в вопросах обеспечения горячей водой отдельных потребителей, а тепловая энергия также может аккумулироваться за счет солнечной энергетики. Безусловно, такой подход может быть применен в реальной жизни, но исключительно в регионах с большим количеством солнечных дней и хорошей солнечной радиацией.

Е. П. Грабчак и Е. Л. Логинов отмечают, что достижение устойчивости теплоэнергетики возможно за счет модернизации теплоэнергетического комплекса, постоянного мониторинга объектов энергетики и качественной подготовки к осенне-зимнему периоду (Е.П. Грабчак, Е.Л. Логинов, 2019, A. Bugaev, E. Grabchak, V. Grigoriev, E. Loginov, 2021). Данный подход является наиболее актуальным, но стоит отметить, что модернизация требует больших капитальных вложений, а в отрасли отсутствуют такие финансовые ресурсы.

Е.Е. Крыленко отмечает, что реализация концепции устойчивого развития возможна за счет активного государственного участия, на основе разработки стратегий, программ, технических положений и других нормативно-правовых актов. При этом важной составной частью является взаимодействие государства и энергетических компаний по стратегическим вопросам развития отрасли (Е.Е. Крыленко, 2021).

Е.В. Сухарева рассматривает теплоэнергетический комплекс, как единую организационную систему и предлагает подходы, которые включают, как технологические направления, так и управленческие (Е.В. Сухарева, 2021). Основой ее работы является разработка системы планирования хозяйственной деятельности, включающая взаимодействие бизнес-единиц в отдельном энергетическом объекте или отрасли в целом. Возникает необходимость в поиске наиболее эффективных мощностей и их полной загрузке, консервации недозагруженного оборудования. Предлагаются мероприятия по модернизации и обновлению производственных мощностей. Рассматриваются вопросы перехода на цифровые технологии, перестройки отрасли на рыночный механизм функционирования и снижения воздействия на экологию.

Е.Ю. Камчатова в своих исследованиях основывается на необходимости проведения политики по энергоэффективности и энергосбережению, а, именно, оптимизацию работы тепловых сетей с целью сокращения потерь и потребления тепловой энергии (Е.Ю. Камчатова, 2018). Кроме этого, она предлагает различные федеральные и региональные проекты, направленные на оценку расположения источников тепла и поиска инфраструктуры для снижения потерь при передаче энергии. Также выделяется необходимость модернизации производственных мощностей и ликвидации изношенных и неэффективных объектов.

Н.Г. Любимова и В.Я. Афанасьев рассматривают теплоэнергетический комплекс с призмы управления и экономики (Н.Г. Любимова, В.Я. Афанасьев, Е.О. Громыко, А.Г. Закревская, 2025). В своих исследованиях они анализируют комплекс с точки зрения централизованного теплоснабжения. В результате делается вывод о низких показателях конкурентоспособности подобной системы. Отмечается существенная перестройка отрасли за последние несколько десятилетий, т.к. произошел отказ промышленных потребителей в потреблении тепловой энергии. Вследствие этого теплоэлектростанции, построенные в советские времена по когенерационному режиму, фактически не могут эффективно работать, поскольку требуют постоянного производства тепла для выработки электрической энергии. По мнению авторов, на сегодняшний день в теплоэнергетическом комплексе существуют также и управленческие проблемы, что фактически снижает эффективность объектов энергетики и отрасли в целом. Рассматривается ряд направлений позволяющих решить эти проблемы за счет введения конкуренции в теплоэнергетике, разработки единой стратегии развития теплоснабжающего комплекса на региональном уровне, пересмотру системы затрат при когенерации и модернизации производственных мощностей.

Е.М. Лисин в своих исследованиях также придерживается мнения о необходимости повышения конкурентоспособности теплоэлектроцентрали (далее — ТЭЦ), в связи с тем, что в нынешних условиях станции не заинтересованы в повышении эффективности производства, технологической модернизации, в том числе по вопросам комбинированной выработки энергии (С.С. Белобородов, А.А. Дудолин, Е.М. Лисин, В.О. Киндра, 2021). Автор уделяет отдельное внимание необходимости технико-технологической перестройки мощностей для выбора наиболее экономичного режима функционирования, оптимизации производственных единиц и поиска альтернативных вариантов производства тепловой энергии.

Другие авторы полагают, что повышение устойчивого функционирования и развития теплоэнергетического комплекса необходимо осуществлять за счет создания конкуренции в теплоэнергетике (Н.Н. Шеломенцева, О.В. Грушина, 2025). Участие в конкурентном рынке заставит производителей повышать энергетическую эффективность, надежность, бесперебойность и безопасность генерирующих мощностей, а также искать новые механизмы в области реализации политики по модернизации и обновлению производственных мощностей. В целом, такой подход может быть реализован, однако, нужно учитывать опыт электроэнергетического комплекса, где за счет создания конкурентного рынка задуманные планы так и не были достигнуты.

Существует большое количество мнений по вопросам обеспечения устойчивого функционирования теплоэнергетического комплекса. Отметим, что отдельные авторы предлагают технологическую модернизацию по получению тепловой энергии из возобновляемых источников энергии, которые могут быть реализованы в южных районах России. При этом часть авторов предлагает технологическую модернизацию и проведение политики по энергоэффективности с целью снижения потребления тепловой энергии и потерь в сетях при ее передаче и распределении. Однако часть авторов говорят о неэффективности теплоэнергетического комплекса в рыночных условиях и предлагают реализовать различные механизмы по повышению ее конкурентоспособности. Нужно понимать, что в начале 2000-х гг. с подобными проблемами сталкивался электроэнергетический комплекс. Эти проблемы заключались в неэффективном управлении объектами энергетики государственными или полугосударственными организациями. В связи, с чем предложено реформировать отрасль, выделив конкурентные и монопольные виды деятельности. Спустя длительное время, можно с уверенностью говорить о том, что намеченные планы, связанные с повышением инвестиционной привлекательности генерирующих мощностей, не были достигнуты.

Сегодня генерирующие компании формально участвуют в рынке электрической энергии и находятся в частной собственности, однако масштабные обновления производственных мощностей или нового строительства так и не происходят. В этой связи, автор настоящего исследования приходит к выводу, что создание рынка тепловой энергии с разделением на конкурентные и монопольные виды деятельности, может привести к таким же последствиям, как и в электроэнергетике. Большое количество частных генерирующих компаний будут функционировать, но они не будут выполнять минимальные требования по обновлению и модернизации производственных мощностей. На сегодняшний день в теплоэнергетическом комплексе уже существует большое количество муниципальных и частных компаний в области распределения тепловой энергии, что не всегда положительно сказывается на обеспечении бесперебойности теплоснабжения потребителей.

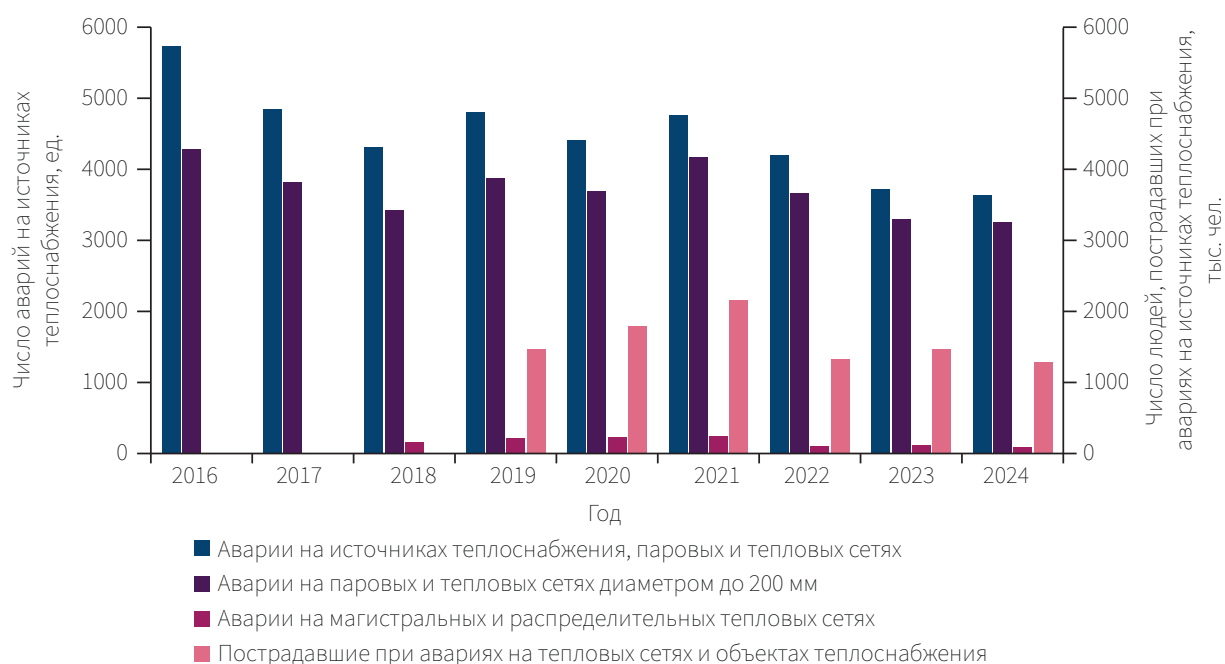
Таким образом, можно сделать следующий вывод: исследователи предлагают различные подходы по вопросам повышения эффективности функционирования теплоэнергетических объектов, но стоит понимать, что реформы не всегда положительно сказываются на отрасли промышленности, а иногда государству в ручном режиме приходится настраивать условия функционирования и развития.

ЭМПИРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ / EMPIRICAL ANALYSIS

На сегодняшний день, энергетический комплекс, созданный еще в советские годы, функционирует по правилам и принципам, заложенным на этапе строительства. Исходя из наблюдений, в отрасли не происходит структурных технико-технологических изменений, которые направлены на решение базовых вопросов устойчивого функционирования энергетики. Однако происходят организационные изменения, не всегда приводящие к поставленной цели и дезинтегрирующие выстроенную интегрированную систему энергетического комплекса. Отметим, что на сегодняшний день производство тепловой энергии происходит на тепловых электростанциях (а также на котельных), которые были построены возле потребителей тепла. Дезинтеграция теплоэнергетического комплекса привела к тому, что на 2023 г. насчитывалось около 18,79 тыс. организаций, осуществляющих производство и передачу тепловой энергии. При этом 3632 организаций находились в государственной собственности, 10004 — в муниципальной собственности, 4597 и 556 предприятий — в частной и прочей собственности соответственно. Однако более половины производственных мощностей принадлежат частным компаниям, примерно 3 % приходится на прочую собственность, около 18 % — на муниципальную, и около 10 % — на государственную собственность¹. Дезинтеграция привела к образованию большого количества маленьких компаний, что повлекло за собой невозможность централизованного и эффективного управления данной отраслью, а, следовательно, и к проблемам, с которыми сталкивается теплоэнергетический комплекс.

¹ Ежегодный аналитический отчет «Отчет о состоянии теплоэнергетики и централизованного теплоснабжения в Российской Федерации в 2024 году». Режим доступа: <https://rosenergo.gov.ru/report-tc/2024/> (дата обращения: 27.03.2026).

Рассмотрим показатели, связанные с количеством аварий на источниках теплоснабжения, а также на паровых и тепловых сетях. Определим зависимость между объемами инвестиций в теплоснабжение и количеством аварий. Рассмотрим число аварий на источниках теплоснабжения, паровых и тепловых сетях (рис. 1).



Составлено автором по материалам источника² / *Compiled by the authors on the materials of the source*²

Рис. 1. Число аварий на источниках теплоснабжения, паровых и тепловых сетях, единиц

Fig. 1. Number of accidents at heat supply sources, steam and heating networks, units

Исходя из рис. 1 видно, что количество аварий на различных объектах теплового комплекса постоянно изменяется, но за последние четыре года наблюдается тренд к снижению аварий. В 2024 г. число аварий на источниках теплоснабжения, паровых и тепловых сетях составило 3645 тыс., а пик приходился на 2021 г. Отметим, что, несмотря на тренд снижения объемов аварий данное значение все еще достаточно высокое. Аварии на источниках теплоснабжения не всегда приводят к недопоставке тепловой энергии потребителям, т.к. станции и котельные могут использовать резервные мощности для производства энергии, но не все из них обладают подобным потенциалом.

В 2024 г. количество аварий на магистральных и распределительных тепловых сетях составило 91 случай, однако до 2021 г. данный показатель только повышался. Нужно отметить, что магистральные и распределительные сети больше централизованы, они принадлежат государственным или около государственным учреждениям и выполняют функции по передаче энергии от теплового источника до пункта распределения. Аварии на любых тепловых сетях приводят к нарушению теплоснабжения потребителей. Из-за их небольшого количества мы видим, что данные сети поддерживаются в рабочем состоянии.

Изучая динамику изменения аварий на паровых и тепловых сетях диаметром до 200 мм можно сказать, что наблюдается тенденция к падению подобных случаев. Количество аварий имеет изменяющийся тренд. В 2016 г. и 2021 г. количество аварий на таких сетях превышало 4 тыс., в другие годы этот показатель всегда был больше 3200 тыс. аварий в год. Все это свидетельствует о том, что большое количество потребителей оставались без тепловой энергии.

Проанализировав динамику тренда числа людей, пострадавших при авариях на тепловых сетях и объектах теплоснабжения, можно говорить о том, что в 2021 г. был максимум недопоставки тепловой энергии, когда этот показатель превышал 2 млн человек. В 2024 г. показатель составил около 1,3 млн человек. Несмотря на его снижение, это свидетельствует о глобальных проблемах в теплоэнергетическом комплексе.

² Ежегодный аналитический отчет «Отчет о состоянии теплоэнергетики и централизованного теплоснабжения в Российской Федерации в 2024 году». Режим доступа: <https://rosenergo.gov.ru/report-tc/2024/> (дата обращения: 27.03.2026).

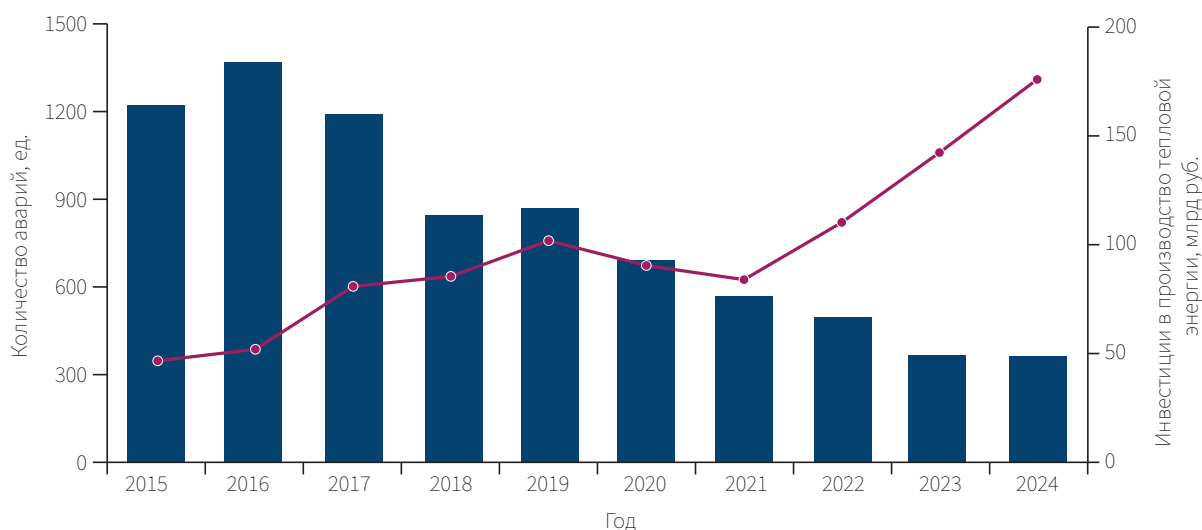
Подобная ситуация складывается из-за различных причин. Выделим те из них, которые негативно влияют на аварийный фонд в теплоэнергетике.

1. Повышенный срок эксплуатации тепловых сетей. В 2024 г. примерно 50 % магистральных тепловых сетей эксплуатировались более 30 лет.

2. Сниженные объемы инвестиций в основной капитал в централизованном теплоснабжении. В 2024 г. объем инвестиций составил всего 320 млрд руб., что незначительно влияет на повышение устойчивости отрасли.

3. Большое количество организаций. В теплоэнергетике насчитывается около 19000 тыс. организаций, мощности которых находятся в государственной, муниципальной, частной и прочей собственности. Высокая доля сетей, нуждающихся в замене. Около 30 % тепловых сетей нуждаются в замене, а около 23,3 % являются ветхими сетями³.

Сопоставим динамику аварий на источниках тепловой энергии и инвестиций в производство тепла (рис. 2).



Составлено авторами по материалам источника⁴ / Compiled by the authors on the materials of the source⁴

Рис. 2. Сопоставительная динамика аварий на источниках тепловой энергии и инвестиций в производство тепла

Fig. 2. Comparative dynamics of thermal energy accidents and investments in heat production

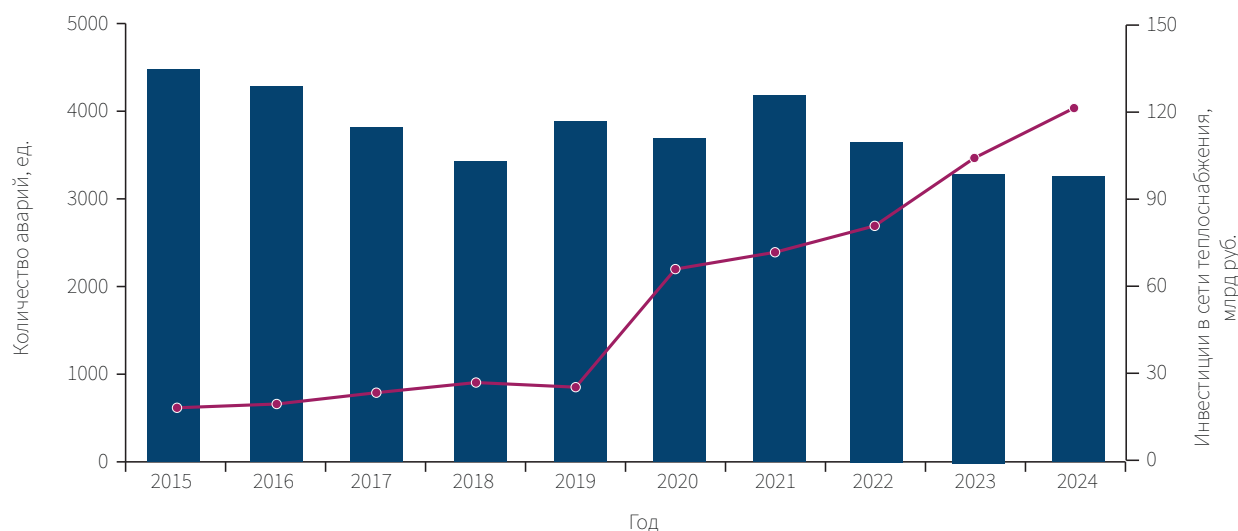
На рис. 2 видно количество аварий на источниках теплоснабжения (тепловых электрических станциях и котельных), а также объемы инвестиции в данные источники теплоснабжения. Отметим, что объемы инвестиций за рассматриваемый период увеличились более чем в три раза: в 2015 г. они составили 45,9 млрд руб., а в 2024 г. уже 175,5 млрд руб.. Однако если рассмотреть взаимосвязь данных показателей, видно, что количество аварий снижается при увеличении объема инвестиций. Далее рассмотрим и сопоставим динамику аварий на паровых и тепловых сетях теплоснабжения и инвестиций в сети теплоснабжения (рис. 3).

Исходя из рис. 3 видно, что наблюдается изменчивый тренд по количеству аварий на тепловых сетях, а объемы инвестиций, в целом, увеличиваются. Если сопоставить динамику аварий и инвестиций, можно сделать вывод, что увеличение инвестиций влияет на сокращение количества аварий. Если рассмотреть зависимость инвестиций от эксплуатируемого срока службы тепловых сетей, можно сказать, что ситуация не улучшается, а объем инвестиций слабо влияет на сокращение срока службы сетей.

Если рассмотреть общую зависимость влияния объема инвестиций на теплоэнергетический комплекс, можно сделать вывод, что отсутствуют существенные качественные и количественные изменения в теплоэнергетике, которые влияют на устойчивое функционирование и развитие.

³ Ежегодный аналитический отчет «Отчет о состоянии теплоэнергетики и централизованного теплоснабжения в Российской Федерации в 2024 году». Режим доступа: <https://rosenergo.gov.ru/report-tc/2024/> (дата обращения: 27.03.2026).

⁴ Там же.



Составлено авторами по материалам источника⁵/ *Compiled by the authors on the materials of the source⁵*

Рис. 3. Сопоставительная динамика аварий на паровых и тепловых сетях теплоснабжения и инвестиций в сети теплоснабжения

Fig. 3. Comparative dynamics of accidents on steam and heat supply networks and investments in the heat supply network translation

Проведенный анализ показал, что в теплоэнергетическом комплексе существует ряд проблем, которые в дальнейшем могут повлиять на надежное и бесперебойное теплоснабжение потребителей. В отрасли наблюдается изменение количества аварий на разных объектах, однако, нельзя сказать, что их количество существенно сокращается. Стоит отметить, что увеличение объемов инвестиций не всегда положительно влияет на снижение аварий, возможно, это возникает вследствие того, что одни компании инвестируют в основной капитал, а частные и прочие компании не всегда поддерживают мощности в эксплуатируемом состоянии.

ОБСУЖДЕНИЕ / DISCUSSION

Проанализированные показатели свидетельствуют о существенном ухудшении положения теплоэнергетического комплекса и необходимости поиска мероприятий, направленных на повышение устойчивости отрасли. Необходимо выделить две составляющие обеспечения устойчивости — устойчивое функционирование и устойчивое развитие. Устойчивое развитие будет рассматриваться, как надежность и бесперебойность работы оборудования, а устойчивое развитие будет включать в себя направления по долгосрочному развитию теплоэнергетики с целью повышения эффективности работы, модернизации производственных мощностей и стремлению к технической развитости и экономичности производства (А.А. Гибадуллин, 2025). Представим факторы, влияющие на устойчивое функционирование и развитие теплоэнергетического комплекса (табл. 1).

Таблица 1. Факторы устойчивого функционирования и развития теплоэнергетического комплекса

Table 1. Factors of sustainable operation and development of the thermal energy complex

Факторы устойчивого функционирования	Факторы устойчивого развития
1. Уровень физического износа	1. Объемы инвестиций
2. Объемы аварий объектов энергетики	2. Объемы мощностей, принадлежащих разным собственникам
3. Доля сетей, нуждающихся в замене	3. Доля угля/газа в энергобалансе
4. Сроки эксплуатации	4. Объемы снижения расхода топлива

Составлено автором по материалам исследования / *Compiled by the authors based on the research materials*

⁵ Ежегодный аналитический отчет «Отчет о состоянии теплоэнергетики и централизованного теплоснабжения в Российской Федерации в 2024 году». Режим доступа: <https://rosenergo.gov.ru/report-tc/2024/> (дата обращения: 27.03.2026).

Рассмотрим подробно каждый из представленных факторов. Уровень физического износа оборудования связан с его длительной эксплуатацией. Мощности были введены в эксплуатацию еще в 60–80 гг. XX в., поэтому на сегодняшний день они физически и морально изношены. На протяжении последнего времени происходит поиск механизмов продления их срока службы. Министерство энергетики РФ разрабатывает новые методики по оценке возможности дальнейшей эксплуатации оборудования, при этом игнорируя такие показатели, как коэффициент износа или срок службы оборудования. Вопросы морального износа даже не рассматриваются и не анализируются.

1. Объемы аварий объектов энергетики также зависят от износа оборудования. При этом условия возникновения аварий могут быть разные, например, из-за ошибочных действий персонала или нарушение технологического процесса, но в основном, аварии происходят из-за устаревшего оборудования, которое сегодня используется в энергетике.

2. Доля сетей, нуждающихся в замене, напрямую зависит от износа. Автор отдельно выделяет данный фактор, поскольку кроме обновления сетей можно рассматривать вопросы по созданию новой системы теплоснабжения, например, прокладку тепловых сетей от более эффективных и надежных источников питания. Модернизация существующих сетей позволит решить ряд проблем с износом и авариями, поэтому данный фактор может косвенно или напрямую повлиять на другие факторы теплоэнергетической системы.

3. Срок эксплуатации существующего оборудования влияет на надежность и бесперебойность теплоснабжения. Если провести более детальный и подробный анализ, то можно с уверенностью сказать, что на сегодняшний день около 30 % магистральных и распределительных сетей эксплуатируются за пределами 40 лет. По оценкам разных научных и специализированных институтов — это их предельный срок эксплуатации. Такие сети могут эксплуатироваться дальше, однако все это снижает надежность и бесперебойность теплоснабжения в сложный отопительный период, когда перерыв в теплоснабжении негативно влияет на жизнедеятельность человека и экономические показатели предприятий.

4. Объемы инвестиций относятся к факторам устойчивого развития. В рамках отдельных направлений увеличение инвестиций снижает количество аварий. Инвестиции необходимо рассматривать в двух аспектах: поддержание оборудования в долгосрочном работоспособном состоянии и возможность осуществления модернизации и внедрения инноваций в производственный комплекс. Нужно учитывать, что не все компании вкладывают инвестиции в простое обновление производственных мощностей. Иногда они направлены на внедрение различных видов технических или организационных инноваций.

5. Объемы мощностей, принадлежащих разным собственникам, можно отнести к вопросам повышения эффективности производственного процесса. Скорее всего, мощности, находящиеся в государственной и муниципальной собственности, поддерживаются в работоспособном состоянии. Проводятся мероприятия по текущему и капитальному ремонту. Однако более половины производственных мощностей принадлежат частным и прочим компаниям, вследствие чего, происходит некое снижение эффективности их функционирования, становится невозможным провести необходимые ремонтные работы и со стороны собственников появляется низкая заинтересованность инвестирования финансовых ресурсов.

6. Доля угля/газа, используемого при производстве, влияет на экологию, общественное мнение и экономику. От топлива зависит уровень выбросов загрязняющих веществ в атмосферу. Растет общественное недовольство текущей экологической обстановкой вокруг станции или котельной. Возникает необходимость проведения модернизации и ухода от экологически грязного топлива при производстве энергии. Безусловно, стремление отказа от использования угля, как наиболее грязного топлива, и переход на газ или альтернативные источники энергии, влияет на развитие производственного комплекса. Объемы снижения расхода топлива — это один из важнейших факторов, влияющих на развитие, т.к. не существует глобальных механизмов по получению тепла из возобновляемых или альтернативных источников энергии, но снижение его потребления положительно влияет на экологию, общественное мнение и повышает экономическую эффективность производственного процесса.

Обоснование указанных факторов, влияющих на устойчивость теплоэнергетического комплекса, свидетельствует о необходимости разработки научно-практических рекомендаций по управлению данными факторами. С целью достижения устойчивого функционирования необходимо реализовать следующие мероприятия:

1) разработать методику объективной оценки технического и технологического состояния производственных мощностей, в которую необходимо включить экономические показатели: коэффициент износа и выбытия производственных мощностей, срок службы оборудования, удельный расход условного топлива при производстве тепловой энергии;

2) разработать механизмы стимулирующие частные теплоэнергетические компании проводить политику в области обновления производственных мощностей. Стимулирующие мероприятия могут быть связаны со снятием с этих компаний части нагрузки и передачи ее в другие компании. Сегодня коэффициент загрузки мощностей не превышает 40 % у тепловых станций и 25 % у котельных. Иными словами, передать нагрузку для удовлетворения нужд потребителей возможно. Однако необходимо предусмотреть инфраструктуру, которая будет это осуществлять;

3) обязать теплоэнергетические компании всех форм собственности ограничить использование устаревших и нуждающихся в замене тепловых сетей, а также установить предельный срок использования всех мощностей, с учетом существующих ГОСТов, СНиПов, правил технической эксплуатации тепловых энергоустановок и других нормативно-правовых документов.

Среди решений, направленных на устойчивое развитие, следует выделить:

- создание инвестиционной привлекательности теплоэнергетического комплекса за счет государственных мер и целенаправленной политики по модернизации отрасли. Необходимо разработать мероприятия по стимулированию компаний всех форм собственности, провести модернизацию мощностей и составить различные льготы для подобных компаний;

- возможность приобретения со стороны государственных или муниципальных компаний производственных мощностей, принадлежащих частным или иным компаниям, из-за которых осуществляется большое количество аварий, а срок эксплуатации данного оборудования превышает 40 лет, в следствие чего наблюдается высокий уровень износа;

- отказ от использования угля для производства тепловой энергии. Необходимо предусмотреть мероприятия позволяющие снизить расход топлива на производство тепловой энергии, а также рассмотреть возможность передачи нагрузки на более эффективные производственные мощности.

Предложенные мероприятия носят рамочный характер, определяющий перспективные направления для достижения устойчивого функционирования и развития теплоэнергетического комплекса. Каждое мероприятие должно быть реализовано с учетом множества условий и ограничений теплоэнергетического комплекса. Эти мероприятия должны быть направлены на стимулирование отдельных компаний к началу программ по обновлению производственных мощностей, и модернизацию других компаний с дальнейшей возможностью получения новых потребителей. Данное направление требует создание некой конкуренции в теплоэнергетике. Тем не менее, после возникновения конкуренции, к чему сейчас стремится теплоэнергетический комплекс, ставится вопрос: «как определить наиболее эффективные мощности».

С учетом полученных в результате анализа данных, можно сделать вывод, что потребителю тепловой энергии необходимо будет определять наиболее эффективные источники, обеспечивающие устойчивое теплоснабжение, надежность и бесперебойность. Для поиска наиболее эффективного источника получения тепловой энергии представляется интересным построить оптимизационную модель с целью его определения (А.А. Гибадуллин, 2025). Определим основные параметры ограничений (табл. 2).

Таблица 2. Основные параметры ограничений

Table 2. Basic Limitations Settings

Параметр	Ограничения			
	Удельный расход условного топлива	Износ оборудования	Срок службы	Ежегодное количество аварий
Источник 1	x_1	y_1	z_1	k_1
Источник 2	x_2	y_2	z_2	k_2
Источник 3	x_3	y_3	z_3	k_3
Источник N	x_N	y_N	z_N	k_N

Составлено автором по материалам исследования / Compiled by the authors based on the research materials

Удельный расход условного топлива — это фактически показатель энергетической эффективности, который отражает, насколько эффективно используется топливо при производстве тепловой энергии. Введем первое ограничение, связанное с удельным расходом условного топлива (1):

$$\frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_N}{N} \leq 168 \text{ кг.у.т./Гкал} \quad (1)$$

Определим, что тепловую энергию можно получать с разных источников, но удельный расход условного топлива не должен превышать 168 кг.у.т./Гкал.

Исходя из настоящего исследования, степень износа оборудования достаточно высока. Необходимо предложить ограничения по износу оборудования (2):

$$y_1, y_2, y_3, \dots, y_N \leq 50 \% \quad (2)$$

Установим, что степень износа оборудования не должна превышать 50 %.

Далее введем ограничения по сроку службы оборудования, как было ранее выявлено в исследовании. Нормативный срок эксплуатации составляет около 40 лет, а примерно половина оборудования эксплуатируется уже более 30 лет (3):

$$z_1, z_2, z_3, \dots, z_N \leq 40 \text{ лет} \quad (3)$$

Ограничим возможности использования оборудования в пределах его нормативного срока службы (40 лет).

Следующим показателем является количество аварий, которых в год не должно быть более одной (4):

$$k_1, k_2, k_3, \dots, k_N \leq 1 \text{ авария} \quad (4)$$

По каждому параметру введены необходимые ограничения. Чем ниже эти показатели, тем лучше, то есть наша целевая функция должна стремиться к минимуму.

В итоге получим следующую математическую модель (5):

$$\left\{ \begin{array}{l} F = \sum_{i=1}^N x \cdot y \cdot z \cdot k \rightarrow \min \\ \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_N}{N} \leq 168 \text{ кг.у.т./Гкал} \\ y_1, y_2, y_3, \dots, y_N \leq 50 \% \\ z_1, z_2, z_3, \dots, z_N \leq 40 \text{ лет} \\ k_1, k_2, k_3, \dots, k_N \leq 1 \text{ авария} \end{array} \right. \quad (5)$$

Поскольку данная модель имеет линейный вид, ее можно решить при помощи линейного программирования и определить наиболее эффективный источник получения тепловой энергии (А.А. Гибадуллин, 2025).

Таким образом, предложенные мероприятия не являются исчерпывающими, однако, на сегодняшний день в силу снижения надежности и бесперебойности функционирования теплоэнергетического комплекса, ограниченности финансовых ресурсов у компаний и государства, повышенного количества аварий и износа оборудования, данные мероприятия позволяют решить хотя бы часть проблем, которые образовались в отрасли.

НАПРАВЛЕНИЯ ДАЛЬНЕЙШИХ ИССЛЕДОВАНИЙ / DIRECTIONS FOR FURTHER RESEARCH

Предложенная выше модель может быть реализована в условиях, связанных с присоединением потенциальных источников тепла к общей сети и возможности передачи тепловой энергии на определенные расстояния. Потребители тепловой энергии могут выбрать ее производителя. Данная оптимизационная модель является продолжением теоретических изысканий авторов, которые предлагают создание рынка тепловой энергии, с целью повышения конкурентоспособности предприятий и перехода на эффективную модель функционирования теплоэнергетических компаний. Автор настоящего исследования предполагает, что данная модель будет существовать в текущих условиях теплоэнергетического комплекса, а ее задачей станет обеспечение надежного и бесперебойного теплоснабжения потребителей и снижение объемов недопоставки энергии, как населению, так и промышленным предприятиям.

Отдельное направление дальнейших исследований является рассмотрение вопросов создания рынка тепловой энергии с учетом опыта существующих исследований, функционирования рынка электрической энергии и общих вопросов развития различных сфер деятельности в рыночной экономике. В рамках данных работ можно рассмотреть

вопросы разделение конкурентных и монопольных видов экономической деятельности, условия и принципы функционирования рынка, модели рынка, вопросы ценообразования на тепловую энергию, функции управления государства в рыночных условиях теплоэнергетического комплекса. Отдельным направлением рассмотрения могут быть финансовые проблемы, возможности создания инвестиционной привлекательности отрасли, переход на цифровые технологии и платформенные решения.

В рамках дальнейших исследований автор видит необходимым создание информационно-математической модели для моделирования процесса передачи тепловой энергии от наиболее эффективного источника тепла. Также не менее важна настройка этого процесса с учетом существующих технико-технологических и экономических ограничений теплоэнергетического комплекса.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ / CONCLUSION

По результатам проведенного исследования выявлено, что строительство теплоэнергетического комплекса осуществлялось еще в 60–80-е гг. XX в. За длительный период времени произошли структурные изменения в экономике, сократились объемы потребления тепловой энергии со стороны промышленных предприятий, вследствие чего снизились объемы производства тепловой энергии. Однако экономика России не была перестроена под новые потребности общества и промышленных предприятий. В теплоэнергетическом комплексе продолжают функционировать те же самые производственные мощности, с таким же технологическим циклом, который был создан в период повышенного потребления тепловой энергии.

Проведенный теоретический анализ научных работ по вопросам развития теплоэнергетического комплекса показал, автором изучены и предложены возможные пути развития отрасли, основанные на необходимости модернизации производственных мощностей, отказа от использования неэффективных объектов и перестройки комплекса под рыночные условия. Сформулирован следующий вывод: все авторы отмечают необходимость изменений в теплоэнергетическом комплексе с целью сохранения его экономической эффективности, технологической устойчивости и бесперебойности функционирования в долгосрочной перспективе.

В результате эмпирического анализа выявлено, что количество аварий на источниках теплоснабжения составляет примерно 500 и около 4000 тыс. на тепловых сетях. Доказано, что инвестиции в источники теплоснабжения и тепловые сети несущественным образом влияют на изменение ситуации по авариям. Также в исследовании приведены данные по срокам эксплуатации сетей, нуждающихся в замене, в результате чего выявлен существенный износ производственных мощностей. В работе предложены факторы, влияющие на устойчивое функционирование и развитие, которые целесообразно рассматривать в отдельности. Первые факторы определяют возможность надежной и бесперебойной работы производственных мощностей, а вторые — обеспечивают развитие теплоэнергетического комплекса в целом. По результатам предложенных факторов разработаны направления, которые включают в себя нормативно-правовые мероприятия, а также мероприятия экономического, организационного и управленческого характера. В завершении исследования предложена оптимизационная модель, которая позволяет определить наиболее эффективный источник тепловой энергии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Белобородов, С.С. Повышение системной эффективности ТЭЦ как фактор перехода к ресурсосберегающей и экологически безопасной энергетике / С. С. Белобородов, А. А. Дудолин, Е. М. Лисин, В. О. Киндра // Вестник Казанского государственного энергетического университета. — 2021. — Т. 13, № 3(51). — С. 135–145. — EDN KREBCD.
- Гибадуллин, А. А. Техничко-экономическая оценка теплоснабжающего комплекса России: проблемы и устойчивое развитие / А. А. Гибадуллин // Вестник Казанского государственного энергетического университета. — 2025. — Т. 17, № 1(65). — С. 119–130. — EDN TCWULD.
- Гибадуллин, А.А. Оценка устойчивости функционирования и развития теплоэнергетического комплекса Российской Федерации / А. А. Гибадуллин // Вестник Самарского государственного экономического университета. — 2025. — № 3(245). — С. 90–100. — EDN VPDAES.
- Грабчак, Е. П. Анализ и прогнозирование критических ситуаций в электро- и теплоэнергетике России на основе внедрения инновационных информационных сервисов / Е. П. Грабчак, Е. Л. Логинов // Инновационная деятельность. — 2019. — № 4(51). — С. 24–28. — EDN ZQYEAI.

- Камчатова, Е. Ю. Управление рисками генерирующих энергокомпаний / Е. Ю. Камчатова // Вестник университета. — 2018. — № 2. — С. 50–56. — DOI 10.26425/1816-4277-2018-2-50-56. — EDN YUPHVF.
- Крыленко, Е. Е. Роль технической политики в обеспечении устойчивого развития предприятия / Е. Е. Крыленко // Роль местного самоуправления в развитии государства на современном этапе: Материалы VI Международной научно-практической конференции, Москва, 22–23 апреля 2021 года. — Москва: Государственный университет управления, 2021. — С. 392–394. — EDN GFCOXY.
- Развитие инструментов и модели рынка тепла в России: Монография / Н. Г. Любимова, В. Я. Афанасьев, Е. О. Громыко, А. Г. Закревская. — Москва: Государственный университет управления, 2025. — С. 86. — ISBN 978-5-215-03855-0.
- Сухарева, Е. В. Подход к распределению комбинированных затрат ТЭЦ на основе фаз производства энергии / Е. В. Сухарева // Экономика и управление: проблемы, решения. — 2021. — Т. 5, № 12(120). — С. 41–44. — DOI 10.36871/ek.up.p.r.2021.12.05.007. — EDN KCSDGR.
- Шеломенцева, Н. Н. Моделирование устойчивости жилищно-строительного комплекса на основе организационно-экономического взаимодействия субъектов / Н. Н. Шеломенцева, О. В. Грушина // Управленческие науки. — 2025. — Т. 15, № 1. — С. 62–77. — DOI 10.26794/2304-022X-2025-15-1-62-77. — EDN DCEZVD.
- Узаков, Г.Н. Анализ гибридных систем отопления жилых зданий, использующие ВИЭ / Г. Н. Узаков, Х. А. Давланов, Б. М. Тошмаматов, Б. И. Камолов // Альтернативная энергетика. — 2023. — Т. 8, № 1. — С. 9–15. — EDN STULIU.
- Bugaev, A. Ensuring the security of cyber-physical systems in the energy sector in the context of the expansion of digital management services / A. Bugaev, E. Grabchak, V. Grigoriev, E. Loginov // CEUR Workshop Proceedings: Proceedings of the II International Scientific and Practical Conference “Information Technologies and Intelligent Decision-Making Systems” (ITIDMS-II-2021), Moscow, 2021. — Vol. 2922. — Aachen, Germany: M. Jeusfeld c/o Redaktion Sun SITE, Informatik V, RWTH Aachen, 2021. — P. 164–173. — EDN SMCFFV.

REFERENCES

- Beloborodov, S.S., Dudolin, A.A., Lisin, E.M., Kindra, V.O. (2021). Improving the system efficiency of thermal power plants as a factor in the transition to resource-saving and environmentally safe energy. *Bulletin of Kazan State Power Engineering University*, 3(51), 135–145. (In Russian).
- Bugaev, A., Grabchak, E., Grigoriev, V., Loginov, E. (2021). *Ensuring the security of cyber-physical systems in the energy sector in the context of the expansion of digital management services. CEUR Workshop Proceedings: Proceedings of the II International Scientific and Practical Conference “Information Technologies and Intelligent Decision-Making Systems” (ITIDMS-II-2021)*, Moscow, 2021. Aachen, Germany: M. Jeusfeld c/o Redaktion Sun SITE, Informatik V, RWTH Aachen, 2021.
- Gibadullin, A.A. (2025). Assessing the sustainability of operation and development of the heat and power complex of the Russian Federation. *Bulletin of Samara State Economic University*, 3(245), 90–100. (In Russian).
- Gibadullin, A.A. (2025). Technical and economic assessment of the heat supply complex in Russia: challenges and sustainable development. *Bulletin of Kazan State Power Engineering University*, 17(1), 119–130. (In Russian).
- Grabchak, E.P., Loginov, E.L. (2019). Analysis and forecasting of critical situations in the electric and heat power industry of Russia based on the implementation of innovative information services. *Innovative Activities*, 4(51), 24–28. (In Russian).
- Kamchatova, E.Yu. (2018). Risk management in power generation companies. *University Bulletin*, 2, 50–56. (In Russian). — <https://doi.org/10.26425/1816-4277-2018-2-50-56>
- Krylenko, E.E. (2021). *The role of technical policy in ensuring sustainable development of an enterprise*. Proceedings of the 6th International Scientific and Practical Conference “The Role of Local Self-Government in the Development of the State at the Present Stage”, 392–394. (In Russian).
- Lyubimova, N.G., Afanasyev, V.Ya., Gromyko, E.O., Zakrevskaya, A.G. (2025). *Development of tools and models for the heat market in Russia: a monograph*. Moscow: State University of Management. (In Russian).
- Shelomentseva, N.N., Grushina, O.V. (2025). Modelling the sustainability of the housing and construction complex based on organizational and economic interaction of actors. *Management Sciences*, 15(1), 62–77. (In Russian). <https://doi.org/10.26794/2304-022X-2025-15-1-62-77>
- Sukhareva, E.V. (2021). An approach to allocating combined costs of thermal power plants based on energy production phases. *Economics and Management: Problems and Solutions*, 12(120), 41–44. (In Russian). — <https://doi.org/10.36871/ek.up.p.r.2021.12.05.007>
- Uzakov, G.N., Davlanov, Kh.A., Toshmammatov, B.M., Kamolov, B.I. (2023). Analysis of hybrid heating systems for residential buildings using renewable energy sources. *Alternative Energy*, 1(8), 9–15. (In Russian).