

**Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ЭКОНОМИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

На правах рукописи

БЕРЕЗИНА Мария Юрьевна

**ЭКОНОМИКО-ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ МЕХАНИЗМ ПОВЫШЕНИЯ
ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ИНЖЕНЕРНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ
ИНФРАСТРУКТУРЫ ГОРОДА**

Специальность 5.2.3 - Региональная и отраслевая экономика
(экономика строительства и операций с недвижимостью)

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени кандидата экономических наук

Научный руководитель:
доктор экономических наук, профессор
Чекалин Вадим Сергеевич

Санкт-Петербург – 2024

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
ГЛАВА 1. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ИНЖЕНЕРНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ЖКХ ГОРОДА.....	10
1.1. Современный город в системе социально-экономического развития региона.....	10
1.2. Содержание политики энергосбережения и повышения энергоэффективности города.....	17
1.3. Проблемы повышения энергоэффективности инженерно-энергетической инфраструктуры города.....	32
1.4. Зарубежный опыт повышения энергоэффективности инженерно-энергетической инфраструктуры города.....	59
ГЛАВА 2. МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ИНЖЕНЕРНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ЖКХ ГОРОДА.....	81
2.1. Развитие системы управления повышением энергоэффективности инженерно-энергетической инфраструктуры.....	81
2.2. Формирование экономико-организационного механизма повышения энергоэффективности инженерно-энергетической инфраструктуры.....	90
2.3. Моделирование процессов повышения энергоэффективности инженерно-энергетической инфраструктуры.....	97
ГЛАВА 3. РАЗРАБОТКА ПРОЕКТА ПРОГРАММЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ЖКХ ГОРОДА (НА ПРИМЕРЕ Г. САНКТ-ПЕТЕРБУРГА).....	120
3.1. Техничко-экономическое обоснование проекта программы повышения энергоэффективности системы теплоснабжения г. Санкт-Петербурга.....	120
3.2. Методы повышения энергоэффективности системы теплоснабжения г. Санкт-Петербурга.....	132
3.3. Особенности оценки социально-экономической эффективности проекта программы повышения энергоэффективности системы теплоснабжения г. Санкт-Петербурга.....	140
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	150
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	154

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность исследования. Активный рост исследований, проводимых во второй половине XX века и начале XXI столетия, направлен на изучение процесса развития современных городов и городских агломераций. Это, в первую очередь, связано со стремительным ростом численности населения и с повышением роли мегаполисов в мировой хозяйственной системе. При этом важнейшим жизнеобеспечивающим элементом современного города является инженерно-энергетическая инфраструктура, которая входит в состав системы жилищно-коммунального хозяйства (далее - ЖКХ).

Инженерно-энергетический комплекс обеспечивает жизненно необходимые потребности конкретных предприятий, организаций, населения и города в энергии. Системы инженерно-энергетической инфраструктуры данного комплекса, входящие в состав ЖКХ, обеспечивают город электрической и тепловой энергией, природным газом и другими энергоносителями. Но, при этом, имеют место значительные потери в процессе производства, передачи и потребления тепловой и электрической энергии, которые не должны превышать допустимого показателя в 5-7%, но фактически они достигают 20-25% [133]. В результате нерационально расходуются ограниченные ресурсы, а также существенно растут платежи потребителей за коммунальные услуги, что, в суммарном приросте, составило более 26% за последние два года [125].

Отсюда следует, что актуальность данной темы диссертации определяется необходимостью разработки обоснованной политики энергосбережения и повышения энергетической эффективности инженерно-энергетической инфраструктуры города.

Степень разработанности научной проблемы. Исследования в области развития инженерно-энергетической инфраструктуры опираются на теоретические и методологические труды российских и зарубежных ученых, целью которых стало изучение подходов к повышению энергетической эффективности городских инженерно-энергетических объектов.

Проблемам развития городов, в результате процесса урбанизации, посвящены труды отечественных ученых Борисюка Н.К., Видищевой Е.В., Глазычева В.Л., Карпова С.П., Крылова Ю.А., Лебедевой М.

Содержание политики энергосбережения и повышения энергетической эффективности городов находит свое отражение в трудах Балдина В.Ю., Данилова В.Я., Ерастова А.Е., Ефремова В.В., Маркмана Г.З., Чемезова А.В., Шамаровой Н.А., Щелокова Я.М., Яхиной Е.Р.

Внедрению механизмов энергосбережения и повышения энергоэффективности на объектах инженерно-энергетической инфраструктуры в жилищно-коммунальной сфере города посвящены труды Асаул В.В., Астафьева С.А., Березина А.О., Голиковой Г.А., Горбачева А.Н., Запольской И.Н., Кощеева В.А., Кузовлевой И.А., Ларионовой Ю.В., Любарской М.А., Николихиной С.А., Романовой А.И., Синельниковой В.Н., Федосеева И.В., Чекалина В.С., Юденко М.Н.

Среди зарубежных авторов, активно уделявших внимание вопросам развития городов и городских агломераций, можно выделить Броделя Ф., Готтмана Ж., Корбаха М., Крандаля Р., Мамфорда Л., Пуга Д., Рида Г., Холла П.

Вопросами развития инженерно-энергетической инфраструктуры, а также повышением энергетической эффективности ее функционирования, занимались зарубежные ученые такие, как Ванг С., Ким Е., Копиэлло С., Кураби Х., Нам Т., Розенфельд Х., Спайсер З.

Анализ приведенных работ указанных авторов позволяет утверждать, что несмотря на широкий круг проведенных работ по данной тематике, не в полной мере рассмотрен экономико-организационный механизм управления политикой энергосбережения инженерно-энергетической инфраструктуры города, что определяет необходимость дальнейших исследований по данной проблематике. В настоящее время актуальными остаются задачи проведения исследований в части установления зависимости между успешностью реализации политики энергоэффективности и уровнем развития ЖКХ города, рассмотрения зарубежного опыта проведения политики повышения энергоэффективности инженерно-

энергетической инфраструктуры города и обоснования возможности применения имеющихся разработок в российских условиях.

Целью диссертационного исследования является разработка механизма повышения энергоэффективности объектов инженерно-энергетической инфраструктуры ЖКХ города.

Задачи исследования:

1) Обосновать содержание, состав, структурные элементы и схему функционирования экономико-организационного механизма повышения энергоэффективности инженерно-энергетической инфраструктуры города;

2) Выявить факторы и проблемы, влияющие на успешное проведение политики энергосбережения и повышения энергоэффективности инженерно-энергетической инфраструктуры ряда отечественных городов;

3) Разработать концепцию цифровых инструментов, позволяющих учесть особенности функционирования и взаимодействия различных субъектов инженерно-энергетической инфраструктуры города;

4) Сформировать методический инструментарий инвестиционной политики в сфере повышения энергоэффективности инженерно-энергетической инфраструктуры города;

5) Предложить вариант проекта программы повышения энергоэффективности объектов теплоэнергетики города (на примере г. Санкт-Петербурга).

Объект исследования – инженерно-энергетическая инфраструктура ЖКХ города.

Предмет исследования – организационно-экономические отношения, возникающие в процессе управления повышением энергетической эффективности объектов инженерно-энергетической инфраструктуры ЖКХ города.

Теоретической основой исследования послужили труды отечественных и зарубежных ученых в области функционирования инженерно-энергетического комплекса города и применения энергосберегающих и энергоэффективных технологий в ЖКХ.

Методологические исследования базируется на общенаучных методах и принципах, правилах и нормах, включая методы системного анализа, сравнительного анализа и синтеза, обобщения, методов имитационного моделирования и других.

Информационной базой исследования послужили законодательные и нормативные акты Российской Федерации; официальные данные Федеральной службы государственной статистики РФ; годовые отчеты исполнительных органов государственной власти РФ и субъектов РФ; материалы, размещенные в сети Интернет на сайтах российских и зарубежных организаций; публикации отечественных и зарубежных авторов в научных изданиях и периодической печати; материалы научных конференций, симпозиумов и семинаров.

Научная новизна заключается в разработке механизма реализации потенциала энергосбережения и повышения энергоэффективности на объектах инженерно-энергетической инфраструктуры ЖКХ города.

Наиболее существенные результаты исследования, обладающие научной новизной и полученные лично соискателем:

1. Разработана трехконтурная информационная модель управления повышением энергоэффективности инженерно-энергетической инфраструктуры ЖКХ города, которая обеспечивает взаимосвязь энергоэффективных технологий с объектами инженерно-энергетического комплекса города; на базе предлагаемой модели разработан концепт реализации виртуального вычислительно-моделирующего комплекса, направленного на повышение эффективности использования нововведений, внедряемых на объектах инженерно-энергетической инфраструктуры города, на всех стадиях жизненного цикла.

2. Предложен экономико-организационный механизм повышения энергоэффективности объектов инженерно-энергетической инфраструктуры ЖКХ города, обеспечивающий повышение эффективности использования энергетических ресурсов, а также деятельность органов управления и бизнеса по выработке энергоэффективных мероприятий на основе оптимизации энергопотребления.

3. Разработана модель оптимального распределения инвестиций в мероприятия по повышению энергоэффективности инженерно-энергетической инфраструктуры ЖКХ города на базе инструментария линейного программирования, позволяющая рационально распределять инвестиции между энергоэффективными мероприятиями с учетом минимизации срока их реализации.

4. Предложена модель рационального распределения энергетических ресурсов между объектами инженерно-энергетической инфраструктуры ЖКХ города при заданных параметрах, использование которой позволит обеспечить рациональное распределение энергии по отраслям ЖКХ города, а также существенно снизить потери энергоресурсов и обеспечить сбалансированность функционирования инженерно-энергетической инфраструктуры в процессе генерации и потребления энергии.

5. Разработан проект программы повышения энергоэффективности системы теплоснабжения г. Санкт-Петербурга, суть которого заключается в создании комплекса энергосберегающих мероприятий в теплоэнергетическом секторе города на базе предложенного автором перечня целевых показателей, а также параметров оценки энергообеспечения, позволяющих оптимизировать распределение энергоресурсов между объектами генерации и территориальными зонами города.

Теоретическая значимость исследования заключается в развитии теоретических и методических подходов в области повышения энергетической эффективности объектов инженерно-энергетической инфраструктуры ЖКХ города с учётом интересов как производителей, так и конечных потребителей энергетических ресурсов. Диссертация выполнена в рамках исследований, проводимых научной школой профессора В.С. Чекалина «Управление городом и городским хозяйством на инновационной основе».

Практическая значимость исследования заключается в том, что предложенные методические подходы могут быть использованы государственными и муниципальными органами власти, а также предприятиями жилищно-коммунального комплекса для повышения энергоэффективности и

надёжности функционирования инженерно-энергетической инфраструктуры города. Положения диссертации использованы в учебном процессе для студентов бакалавриата и магистратуры по дисциплинам «Управление энергоэффективностью и ресурсосбережением» и «Стратегия развития территорий». Отдельные научные результаты диссертационного исследования внедрены в деятельность ГУП «Топливо-энергетический комплекс Санкт-Петербурга» (ГУП «ТЭК СПб»), что подтверждается соответствующей справкой о внедрении.

Апробация результатов исследования проведена в форме докладов, выступлений в рамках проведения ряда международных, национальных, научно-практических конференций, научных сессий в том числе на: V Научно-практической конференции с международным участием «Управление рисками в экономике: проблемы и решения» (ноябрь 2019 г., Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I), XV Международной научно-практической конференции «Современный менеджмент: проблемы и перспективы» (апрель 2020 г., Санкт-Петербургский государственный экономический университет), III Национальной научно-практической конференции «Теория и практика управления государственными функциями и услугами. Тарифное регулирование» (ноябрь 2020 г., Санкт-Петербургский государственный экономический университет), XVI Международной научно-практической конференции «Современный менеджмент: проблемы и перспективы» (апрель 2021 г., Санкт-Петербургский государственный экономический университет), Научной сессии профессорско-преподавательского состава, научных работников и аспирантов «Актуальные вопросы развития современной науки: теория и практика» по итогам НИР за 2020 год (май 2021 г., Санкт-Петербургский государственный экономический университет), IV Национальной научно-практической конференции «Теория и практика управления государственными функциями и услугами. Тарифное регулирование» (ноябрь 2021 г., Санкт-Петербургский государственный экономический университет), V Национальной научно-практической конференции «Теория и практика управления

государственными функциями и услугами. Тарифное регулирование» (ноябрь 2022 г., Санкт-Петербургский государственный экономический университет).

Основные результаты диссертации использованы при участии автора в выполнении исследований в рамках написания инициативной научно-исследовательской работы по теме «Экономико-организационные основы управления инженерно-энергетической инфраструктурой крупного города в условиях развития «умных» технологий», 2020 г. (Рег.№ НИОКТР АААА-А20-120021490012-0).

Публикации результатов исследования (количество и объем в печатных листах). По результатам исследования опубликовано 15 научных работ общим объемом 9,35 п.л. (вклад автора 7,41 п.л.), из них 5 публикаций в рецензируемых научных изданиях, входящих в перечень ВАК Министерства науки и высшего образования РФ, объемом 1,82 п.л. (вклад автора 1,31 п.л.) и 1 монография объемом 8 п.л. (вклад автора 4 п.л.).

Структура исследования обусловлена целью и задачами работы и включает: введение, три главы, состоящие из десяти параграфов, заключение, список использованных источников.

Область исследования соответствует требованиям паспорта научной специальности: Данное диссертационное исследование выполнено в соответствии с Паспортом научной специальности «5.2.3 - Региональная и отраслевая экономика», направление исследования – п.6 «Экономика строительства и операций с недвижимостью»: п.п. 6.6 Экономика сферы ЖКХ. Теоретические и методологические основы экономики и управления жилищным фондом и жилищно-коммунальным хозяйством».

ГЛАВА 1. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ИНЖЕНЕРНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ЖКХ ГОРОДА

1.1. Современный город в системе социально-экономического развития региона

Активный рост интересов ряда исследователей, во второй половине XX века и начале XXI столетия, адресуется к тенденциям развития современных городов и городских агломераций. Данный факт обусловлен, в первую очередь, стремительным увеличением численности городского населения и количества городских поселений, что приводит к изменению роли мегаполисов в обеспечении функционирования мировой хозяйственной системы. Исторически сложилось, что города являются неотъемлемой частью жизнедеятельности общества. На различных этапах своего развития они отражают ступени эволюции цивилизации, подчиняясь закономерностям и законам природы, а также течению общественного прогресса [53]. Явление урбанизации и связанные с ней процессы трансформации городской культуры и городской среды создали предпосылки для становления и развития новых форм хозяйствования, в том числе посредством формирования рыночных отношений. В этой связи обостряется интерес представителей различных естественнонаучных, технических и гуманитарных научных дисциплин к особенностям развития городов как способа сосредоточения и сохранения социально-экономического, демографического, интеллектуального и культурного потенциала общества.

Формирование городского образа жизни происходило неотрывно от эволюции человеческой цивилизации. Специфика эволюционного развития городов обуславливается высокой концентрацией трудового и финансового потенциала человеческого сообщества на географически ограниченной территории. В городах становится возможной реализация концепции разделения труда, которая приводит к расселению масс и, соответственно, к преобразованию форм и методов управления, осуществляемых на уровне государственной и муниципальной власти. Основной принцип организации государственного управления учитывает волеизъявление

городского населения, стремящегося к подъему уровня жизни, одновременно обязывая соответствующие структуры, отвечающие за ресурсную базу, обеспечивать стабильное функционирование и развитие городской среды.

Особую значимость города имеют и для России. По данным Росстата в 2022 году в России насчитывалось 1117 городов, которые подразделяются по группам, в зависимости от численности населения. В настоящее время в России насчитывается 16 городов-миллионников, два из которых являются главными и крупными мегаполисами страны – Москва и Санкт-Петербург. Прочие города-миллионники, это Новосибирск, сохранивший своё третье место, растущие Екатеринбург и Казань, Нижний Новгород, Челябинск, Красноярск, Самара, Уфа, Ростов-на-Дону, Омск, Краснодар, Воронеж, Волгоград, Пермь [127]. В стране 21 город с населением от 500 тыс. до 1 млн. жителей. Из них к потенциальным городам-миллионникам допустимо отнести город Саратов за счет присоединения к нему соседнего Энгельса, а также быстрорастущую Тюмень [127]. С населением от 300 до 500 тыс. жителей, согласно переписи населения, в России 31 город. Растут и, вероятно, в ближайшие годы преодолют отметку в 500 тыс. жителей Чебоксары, Калининград, Сочи. Другие точки роста – Подольск Московской области, Сургут в ХМАО-Югре, Якутск. К «сжимающимся» городам. Для которых характерно снижение численности жителей можно отнести Иваново и Архангельск [127]. Среди городов с численностью населения от 200 до 300 тыс. наибольший прирост жителей зафиксирован в некоторых городах Московской области, а также в Благовещенске и Энгельсе Саратовской области. Более чем на 10% сократилось население в Мурманске и Петрозаводске. Среди городов с населением от 100 до 200 тыс. по относительному приросту лидируют подмосковные города – Домодедово, Видное, Красногорск. Наиболее значительное сокращение населения в городах данной группы – в Орске Оренбургской области и Северодвинске Архангельской области [127].

Текущая глобальная тенденция свидетельствует о массовом расширении городских территорий, причем этот рост фактически вызван численным ростом населения и миграцией в крупные города и мегаполисы из сельской местности, а

также малых и средних городов. Можно согласиться с мнениями Л.В. Иваненко, В.Б. Тасеева, Н.Л. Великанова, В.А. Наумова, С.И. Корягина, М.А. Рамазанова, что урбанизация рассматривается как следствие современного явления глобализации, имеющего как социальные, так и экономические аспекты, представляющие собой миграционный процесс организации населения в городских районах, которые считаются центрами прогресса, которые предлагают более качественные и разнообразные условия жизнедеятельности [27; 40; 63].

На рисунке 1.1 представлены данные по уровню урбанизации в России за последние 10 лет.

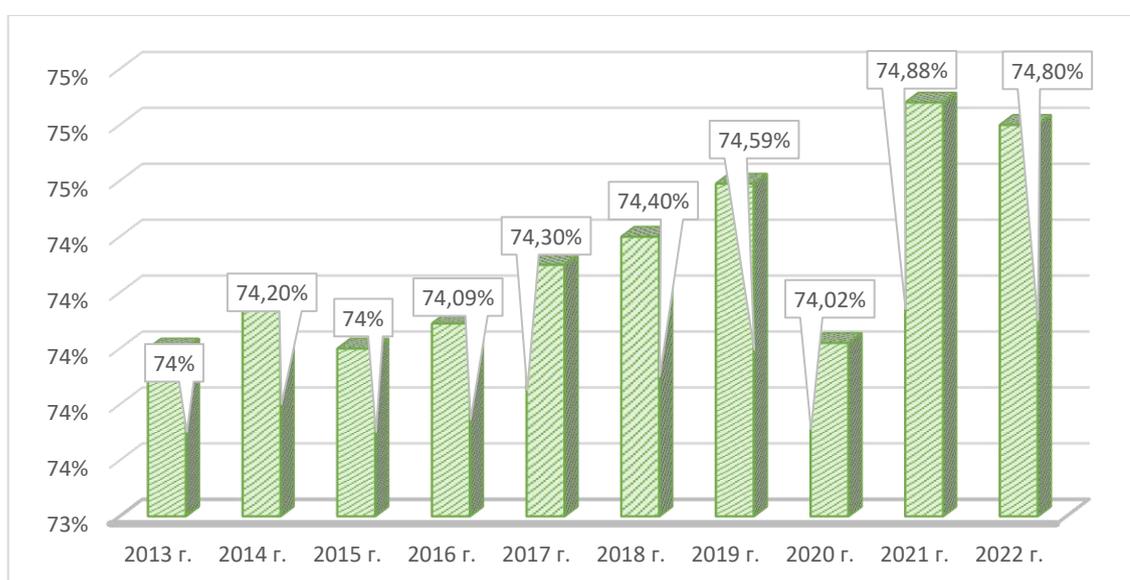


Рисунок 1.1 – Динамика урбанизации в России за последние 10 лет
[составлено автором по материалам [144;145]]

Анализируя выше представленную диаграмму, следует отметить, что, в целом, показатели урбанизации в России имеют тенденцию к росту, но его темпы довольно низкие. Наибольший спад в динамике прослеживается в 2020 г., что связано с влиянием пандемии COVID-19, когда часть населения, в период локдауна, временно мигрировала из городов в сельскую местность.

Если рассматривать уровень урбанизации в федеральных округах страны, то ситуация в 2022 году выглядит следующим образом (рисунок 1.2).

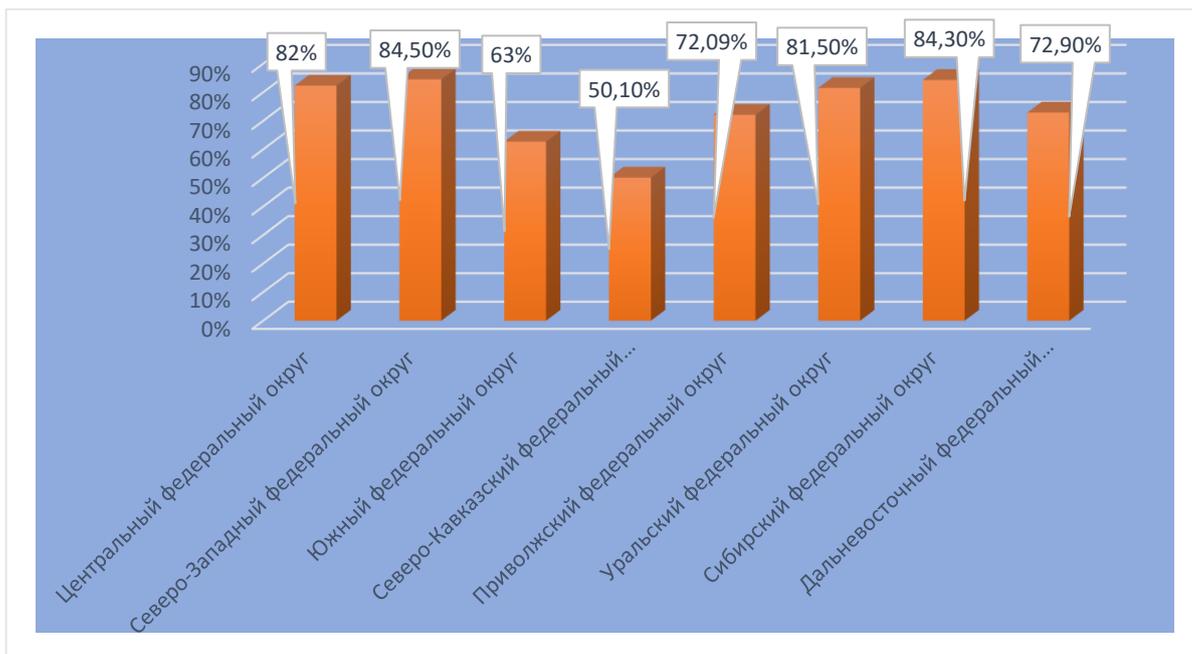


Рисунок 1.2 – Уровень урбанизации в федеральных округах РФ по состоянию на 2022 год [составлено автором по материалам [144; 145]]

Данная диаграмма свидетельствует о том, что наибольший процент урбанизированных регионов преобладает в Северо-Западном, Сибирском, Центральном и Уральском федеральном округах (свыше 80%). Свыше 70% показатель урбанизации наблюдается в Дальневосточном и Приволжском федеральных округах. Минимум в рейтинге занимают Южный и Северо-Кавказский федеральные округа с показателями 63% и 50,1% соответственно.

Учитывая вышеперечисленные статистические данные, целесообразно сравнить данный показатель нашей страны с уровнем урбанизации в зарубежных государствах (таблица 1.1).

Таблица 1.1 – Уровень урбанизации зарубежных стран [составлено автором по материалам [144]]

Наименование государства	Уровень урбанизации (%)
Гонконг, Кувейт, Монако, Науру, Сингапур	100
Катар	99,1
Бельгия	98

Продолжение таблицы 1.1

Сан-Марино, Уругвай, Мальта, Исландия, Израиль, Аргентина, Япония, Нидерланды, Иордания, Люксембург	97-91
Габон, Бахрейн, Ливан, Венесуэла, Андорра, Дания, Чили, Швеция, Бразилия, Новая Зеландия, ОАЭ, Австралия, Финляндия, Оман, Саудовская Аравия, Великобритания, Багамские о-ва, США, Норвегия, Южная Корея, Канада, Доминиканская Республика, Колумбия, Франция, Испания, Мексика, Ливия	89,4-80
Палау, Коста-Рика, Греция, Республика Беларусь	79,9-78,6
Россия	74,8
Украина, Эстония	69,4-68,8
Государства азиатско-тихоокеанского региона и экваториальной Африки	20%

Как свидетельствует таблица, лидерами по доле городского населения является блок государств таких небольших стран, как Гонконг, Кувейт, Монако, Науру, Сингапур (100%). Далее идут Катар с показателем 99,1% и Бельгия 98%. Показатель урбанизации нашей страны составляет 74,8%. В нижней части рейтинга находятся страны азиатско-тихоокеанского региона и экваториальной Африки – тут уровень урбанизации не превышает 20%. Таким образом Россия относится к урбанизированным странам.

Города являются центрами изменений, находящимися во взаимосвязи с демографическим и экономическим ростом. P. Ancláes и другие делают акцент на процесс урбанизации, которая усиливает давление на ресурсы, окружающую среду и ее экосистемы [107].

Различные аспекты проблематики развития и совершенствования современных городов были рассмотрены в многочисленных трудах отечественных и зарубежных ученых. Например, понятие «мегаполис», используемое для обозначения как крупных городов, так и протяженных агломерационных образований, является одним из наиболее общих и широко употребляемых в специальной литературе. Происхождение этого понятия связывают с работами Л. Мамфорда [103] и Ж. Готмана [99]. Рациональной организации управления

городами России и сферой ЖКХ, включая повышение энергоэффективности инженерно-энергетической инфраструктуры, как неотъемлемой части успешного функционирования, посвящены работы Астафьева С.А. [17;18;19], Березина А.О. [22], Борисюка Н.К. [24], Видищевой Е.В. [28], Крылова Ю.А. [43], Кошечева В.А. [44;45], Кузовлевой И.А. [46;47], Ларионовой Ю.В. [49;50;51;52], Любарской М.А. [83], Николихиной С.А. [58], Романовой А.И. [65;66;67], Чекалина В.С. [89], а также в диссертационном исследовании профессора М. Корбаха из Германии (г. Берлин) [96].

Изучение феномена города осуществлялось с различных точек зрения; вместе с тем основополагающее значение, в данном случае, приобретают работы Ж. Готмана [99]. Благодаря его трудам анализ городских агломераций, как содержательной структуры мировой системы хозяйствования, прочно закрепился в научном знании, оказав существенное воздействие на становление урбанистики.

Понятийный аппарат научной литературы по урбанистике оперирует большим количеством терминов, обозначающих крупные городские поселения: мегагород (megacity), метроплекс (metroplex), метрополис (metropolis), глобальный (крупный) город (global city), мировой город (world city), городская агломерация (urban agglomeration), конурбация (conurbation), глобальный городской регион (global city region) [149;157].

Ряд вышеуказанных терминов – к примеру, мегаполис и метрополис – вступает в синонимичные отношения, описывая одни и те же сущностные черты урбанизации; в ряде же других (например, глобальный и мировой город) подчеркивается содержательное отличие в подходе к определению сущности изучаемого явления. В этой связи наиболее общим термином можно считать понятие «мегаполис», отражающее пространственный подход к пониманию характеристик урбанистического образования. Мегаполисом, с точки зрения занимаемой территории, называется большой город либо совокупность городов, образующих агломерацию. Содержание основных терминов, используемых для обозначения урбанизированных образований, приведены в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Взаимозависимость отдельных понятий, используемых для обозначения урбанизированных образований [составлено автором]

<i>Мегаполис</i> – большой, значительный город	<i>Мегаполис</i> – урбанизированный регион, в состав которого входят несколько городов и их пересекающиеся окраины
<i>Мегагород (megacity)</i> – мегаполис; город с населением 1 млн. чел. и более [101;157]	<i>Метроплекс (metroplex)</i> – обширная агломерация, охватывающая несколько городов и их окраины [158]
<i>Метрополис (metropolis)</i> – главный или столичный город страны, региона, штата. Город, рассматриваемый как центр определенной деятельности [102]	<i>Городская агломерация (urban agglomeration)</i> – компактное расположение, группировка поселений, объединенных не только в пространственном смысле, но и обладающих развитыми производственными, культурными, рекреационными связями [149]
<i>Мировой город</i> – крупный город с непропорционально высоким значением в сфере мировой политики, хозяйства, культуры и искусства [100]	<i>Конурбация (conurbation)</i> – территория городской застройки, на которой проживает большое количество людей, формируемая из территорий небольших городов, растущих и соединяющих друг с другом [102]
<i>Глобальный (крупный) город</i> – город, занимающий стратегически важное положение в мировой экономике за счет аккумуляции функций управления и контроля, различных видов ресурсов, предоставляющий услуги в высокоспециализированных сферах наднационального значения, имеющий наиболее интернационализированную экономику и социальную структуру [110]	<i>Глобальный городской регион (global city region)</i> – сосредоточение городских поселений, обширная урбанизированная территория с прилегающими окраинами различной протяженности, чьи внутренние экономические и политические проблемы сложным образом влияют на развитие наднациональных отношений [98]

В вышеуказанной таблице представлены наиболее детальные определения, а также взаимозависимость отдельных понятий, используемых для обозначения урбанизированных образований.

Содержательно новый подход к определению урбанистических образований предложил П. Холл. Он утвердил в урбанистике понятие «мировой город», которое отражает не только пространственную характеристику данного явления (совокупность территорий, сформированных в процессе исторической эволюции), но и его роль в процессах международного характера [100]. Научно-практические работы Ф. Броделя [25] и Г. Рида [109] посвящены анализу городов, выполняющих интернациональные экономические функции.

В настоящее время, изучению различных подходов в развитии и функционировании городов посвящены работы Асаул В.В. [15], Плахотник А.В. [60], Турабова В.И. [77], Файзиева Р.М. [80], Фенина О.М. [82], Челноковой О.Ю. [84]. В этих работах рассматривается функциональная трансформация мегаполисов в отношении их воздействия на систему мировой экономики, которая актуализирует необходимость подробного изучения городов с точки зрения особенностей их экономического и территориального развития, а также с позиций специфического для городской среды способа эволюции.

Во многих научных исследованиях город характеризуется как целостное системное образование. В то же время методология постановки целей и прогнозирования результатов использования городских ресурсов остается недостаточно разработанной. В этой связи остаются открытыми такие вопросы, как управление устойчивым развитием городов и городской инфраструктурой, в особенности инженерной, так как большинство городских территорий обладает пространственными, экономическими, производственными, культурными и рекреационными связями, а также прилегающими окраинами различной степени протяженности.

Помимо этого, для устойчивого развития современных городов необходимо обоснованное проведение политики энергосбережения и повышения энергетической эффективности.

1.2. Содержание политики энергосбережения и повышения энергоэффективности города

Формирование современной стратегии развития отечественной экономики осуществляется с учетом следующих содержательных особенностей:

- во-первых, наблюдается существенное противоречие между ростом производительности топливно-энергетического сектора и реализацией модели традиционного пути развития, приводящее к образованию затормаживающих барьеров в области экономики, экологии, технологического обеспечения;

- во-вторых, выявляется низкая эффективность использования энергетических ресурсов в производственной сфере, проявляющееся в перерасходе топливного сырья при обеспечении функционирования производственной, транспортной, коммерческой областей [31].

Вопросы энергосбережения предполагают пересмотр существующего теоретического подхода к определению способов использования и экономии энергии с учетом ее включенности в систему факторов производства. В этой связи актуализируется роль побудительных экономических стимулов, описанных еще А. Смитом: к ним автор относит стремление потребителя, производителя и экономической системы в целом к получению наибольшей выгоды при минимальных издержках, что обеспечивается, в том числе, путем оптимизации использования ресурсной базы [72]. Данные стимулы действуют только в конкурентной экономической среде, поэтому реализация их функций в условиях централизованной экономики посредством внедрения соответствующих регуляторов оказывается невозможным. Соответственно для административно-плановой экономической системы характерна тенденция к экстенсивному развитию производства, способствующему закреплению ресурсо расточительного способа хозяйствования. Данная тенденция была характерна для советской экономики, но во многом сохранилась и в современных Российских условиях.

Основными причинами такой ситуации являются:

- отсутствие в существующей системе хозяйствования методов экономного способа потребления энергии на всех этапах экономической деятельности;
- относительная дешевизна энергетических ресурсов в совокупности с реализацией затратного метода ценообразования;
- несовершенство управленческой системы, регламентирующей энергетический сектор экономики, с точки зрения ее воздействия на процесс использования энергосберегающих методов производства;
- недостаточность мотивации для перевода экономики на путь эффективного использования энергии;

- незаинтересованность федеральных, региональных и муниципальных властей во внедрении механизмов политики энергосбережения.

Вопросы энергосбережения и повышения энергетической эффективности включены в перечень приоритетных задач научно-технологического развития Российской Федерации, регламентированных соответствующим президентским указом. Правовое регулирование данного вопроса на территории России осуществляется согласно Федеральному закону от 23.11.2009 г. №261-ФЗ «Об энергосбережении и повышении энергетической и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации», который определяет энергосбережение как реализацию организационных, правовых, технических, технологических, экономических и иных мер, направленных на сокращение используемых энергетических ресурсов при сохранении соответствующего полезного эффекта от их использования (в том числе объема произведенной продукции, выполненных работ, оказанных услуг) [1]. При этом энергосбережение (экономия энергии) представляет собой реализацию правовых, организационных, научных, производственных, технических и экономических мер, направленных на эффективное (рациональное) использование (и экономное расходование) топливно-энергетических ресурсов и на вовлечение в хозяйственный оборот возобновляемых источников энергии [85].

Энергетическая эффективность - характеристики, отражающие отношение полезного эффекта от использования энергетических ресурсов к их затратам, произведенным в целях достижения эффекта, применительно к продукции, технологическому процессу, юридическому лицу, индивидуальному предпринимателю [1]. Энергоэффективность предполагает достижение экономически оправданной эффективности использования топливно-энергетических ресурсов с учетом специфики технологического развития и требований к обеспечению сохранности экологии [85;90].

Ресурсосбережение предусматривает экономное использование ресурсов, нацеленное на удовлетворение возрастающих ресурсных потребностей национального хозяйства [140].

Удовлетворение потребностей населения и национальной экономики в энергетических ресурсах предполагает разработку долгосрочной энергетической политики. Она должна ориентироваться на внедрение таких механизмов энергетического потребления, которые обеспечивают экономический рост и подъем уровня жизни. Степень эффективности экономической политики определяется комплексным и системным характером реализуемых методов формирования энергоэффективного производства, что предполагает включение в данное направление властных и коммерческих структур на федеральном, региональном и местном уровнях.

Осуществление политик энергосбережения и повышения энергетической эффективности на общефедеральном уровне предусматривает создание единой законодательной базы, регламентирующей способы функционирования топливно-энергетического сектора и связанной с ним инфраструктуры. На уровне федерации государство может закрепить единообразный подход к формированию тарифных планов на продажу и закупку энергоресурсов, а также обеспечить становление благоприятного инвестиционного климата для привлечения в энергетику дополнительных источников финансирования. При этом федеральная власть должна стимулировать инициативность производителей в области внедрения энергосберегающих методов производства путем государственной поддержки проектов, связанных с обеспечением энергосбережения и повышения энергетической эффективности [33]. С позиций уровня власти субъектов РФ, необходимо активное внедрение энергоэффективных мероприятий и проектов в рамках действия региональных Программ и подпрограмм в данной области. Анализ действующих нормативных документов, в данной сфере, показывает, что зачастую, итоги выполнения поставленных задач являются очень формальными, поэтому политика энергосбережения по внедрению энергоэффективных предложений проводится не в полной мере. Министерством экономического развития РФ разработан комплексный план мероприятий по повышению энергоэффективности экономики России, который включает в себя следующие отраслевые блоки и сектора, которые представлены в таблице 1.3.

Таблица 1.3 – Перечень мероприятий комплексного плана по повышению энергетической эффективности экономики России [составлено автором по материалам [91]]

Наименование отраслевого блока/сектора	Перечень мероприятий	Планируемые результаты
Электро-теплоэнергетика и	<ul style="list-style-type: none"> • Внедрение парогазовых и газотурбинных технологий; • модернизация крупных ГРЭС; • увеличение доли когенерации; • изменение региональных и муниципальных схем теплоснабжения 	<ul style="list-style-type: none"> • Достижение высокой энергоэффективности и снижения общей энергоемкости (до 20%) на объектах электро- и теплоэнергетики; • государственная поддержка модернизации систем теплоснабжения, а также выдача заемных средств на льготных основаниях; • внедрение оптимизационной схемы использования тепловых сетей с целью снижения затрат на их содержание
Жилищный социальный сектор и	<ul style="list-style-type: none"> • Проведение энергоэффективных капитальных ремонтов многоквартирных домов; • запрет на использование не энергоэффективного оборудования и технологий при новом строительстве; • обязательное информирование сторон о классе энергоэффективности недвижимости при осуществлении сделки купли-продажи; • переход на 100%-й приборный учет потребляемых ресурсов; • дистанционный сбор показаний приборов учета; • снятие ограничений для развития энергосервисной деятельности 	<ul style="list-style-type: none"> • Стимулирование спроса на энергоэффективное жилье путем дифференцирования ставки налога на имущество и выдачи ипотечных кредитов на льготных основаниях; • создание интеллектуальных сетей учета потребления энергоресурсов в соответствии с концепцией цифровизации экономики; • аннулирование лицензий УК, не обеспечивающих выполнение законодательных требований в области энергосбережения и повышения энергоэффективности
Транспортная инфраструктура	<ul style="list-style-type: none"> • Интенсивное обновление парка транспортных средств для бюджетных учреждений; • модернизация пассажирского транспорта в городах 	Запуск Программы «Утилизация» для коммерческого и грузового транспорта

В качестве подкрепления к внедрению указанных мероприятий, на законодательном уровне, разработаны и вступили в действие ряд нормативно-правовых актов в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности:

- Постановление Правительства РФ от 09.09.2023 г. №1473 «Об утверждении комплексной государственной программы РФ «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности» [6];

- Постановление Правительства РФ от 19.06.2020 г. № 890 «О порядке предоставления доступа к минимальному набору функций интеллектуальных систем учета электрической энергии (мощности)» [2], которое устанавливает общие принципы предоставления доступа к минимальному набору функций интеллектуальной системы учета электрической энергии (мощности). По всем приборам учета электрической энергии, вводимым в эксплуатацию с 1 января 2022 г., для целей коммерческого учета электрической энергии на розничных рынках и предоставления коммунальных услуг по электроснабжению, сетевая организация обеспечивает безвозмездное предоставление возможности использования функций интеллектуальной системы учета субъектам электроэнергетики и конечным потребителям электроэнергии.

- Постановление Правительства РФ от 29.06.2020 г. № 950 «О внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации по вопросам совершенствования организации учета электрической энергии» [3] конкретизирует права гарантирующих поставщиков, собственников многоквартирных домов, управляющих компаний в отношении индивидуальных приборов учета.

- Распоряжение Правительства РФ от 09.06.2020 г. № 1523-р «Об утверждении Энергетической стратегии РФ на период до 2035 г.» [7], в рамках которого утверждена Энергетическая стратегия России до 2035 года, предусматривающая повышение уровня газификации регионов, увеличение производства энергоносителей, экспорта продукции ТЭК и инвестиций в отрасль,

развитие мощностей по производству сжиженного природного газа, снижение негативного влияния ТЭК на экологию и окружающую среду.

- Распоряжение Правительства РФ от 18.04.2020 г. № 1081-р «О внесении изменений в распоряжение Правительства РФ от 08.01.2009 г. №1 –р» [8] предусматривает изменение целевых показателей использования возобновляемых источников энергии на период до 2024 г.

- Письмо Минэкономразвития РФ от 18.03.2020 г. № Д05и-8492 «О порядке предоставления деклараций о потреблении энергетических ресурсов» [9] обращает внимание на проведение работ по обновлению версии ГИС «Энергоэффективность» с целью актуализации и обновления ряда показателей.

В настоящее время, приоритетной целью государственной политики в области энергосбережения и повышения энергоэффективности является снижение энергоемкости ВВП РФ на 35% к 2035 году [6;23].

Со стороны производителей, действующих в рамках топливно-энергетического сектора, стремление к укреплению энергоэффективной экономической модели должно проявляться в форме внедрения инновационных энергоэффективных способов производства и поставки электро- и теплоэнергии. Согласно открытым данным, из установленной мощности существующих энергоблоков России почти 70% приходится на тепловые электростанции (ТЭС) и 63,7% в структуре производства электроэнергии. В структуре установленной мощности ТЭС по технологиям выработки теплоносителя 78,1% - составляют паросиловые турбины; 16% - парогазовые; 5,2% - газовые и 0,7% - прочие [34]. В настоящее время необходим переход на энергосберегающие и энергоэффективные способы выработки тепла, например, используя технологии, синхронизированные с возобновляемыми источниками энергии (ВИЭ) и т.п.

На уровне потребителей полезность энергоэффективного производства заключается в возможности экономии потребляемых энергоресурсов, при сохранении качества предоставления коммунальных услуг. Данная тенденция обеспечивается сокращенными размерами издержек при реализации

энергосберегающих мероприятий, нежели чем при увеличении объемов энергетического производства [128].

Говоря, непосредственно, об энергосбережении и повышении энергоэффективности современных городов, следует сделать упор на развитие города в разрезе «умных» энергоэффективных технологий – так как данный тренд вошел в одно из приоритетных направлений Концепции устойчивого развития мировых городов с учетом экологических характеристик.

Внедрение «умных» энергоэффективных технологий для городов, с целью их дальнейшего устойчивого развития, базируется на интеллектуализации городских систем: инженерно-энергетической, транспортной, коммунальной, информации и связи, жилых и общественных зданий, а также социальной (система предоставления государственных и муниципальных услуг населению).

В настоящее время, трендами в развитии городов и мегаполисов должны стать следующие элементы, такие как: интеллектуальность, синхронизированная с одновременным повышением эффективности (в т.ч., в части обмена информацией, технологий, высокого уровня контроля всех систем); устойчивое развитие, которое обеспечивает снижение энергоемкости экономики и выбросов CO₂ в атмосферу, эффективное управление издержками, снижение необходимости крупно инвестировать в собственную инфраструктуру; комфорт в обеспечении жизнедеятельности (повышение качества жизни и конкурентоспособности, привлечение новых «умов» и специалистов и т.п.) [38].

Для формирования подходов к интеллектуализации города предлагается его рассмотрение в разрезе внедрения «умных» технологий, в том числе, направленных на повышение энергоэффективности функционирования различных городских систем (рисунок 1.3).

На данный момент, обращаясь к мировой практике, такие технологии уже не только существуют, но и активно внедряются в ряде зарубежных городов и мегаполисах, давая достаточно положительные и эффективные результаты. Более подробно материал по зарубежному опыту использования энергоэффективных технологий в городах рассмотрен в разделе 1.4 диссертации.



Рисунок 1.3 – Концепция «умного» энергоэффективного города («Smart City») [составлено автором по материалам [35]]

В соответствии с рис. 1.3 развитие современного города сводится к задаче интеллектуализации и внедрению «умных» энергоэффективных технологий в представленных городских системах, чтобы в дальнейшем обеспечить целостную картину устойчивого развития и функционирования. Применение существующих технологий, направленных на повышение энергоэффективности, позволит решить важные экономические и социальные проблемы функционирования и развития города.

В соответствии со Стратегией развития строительной отрасли и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации на период до 2030 с прогнозом до 2035 года, цифровизация и внедрение цифровых инструментов являются передовыми технологиями достижения стратегических целей и приоритетных национальных задач. Целевым ориентиром мероприятий цифровой трансформации

являются формирование и развитие цифровой системы управления жизненным циклом объектов ЖКХ, отвечающей современным отраслевым вызовам [5]. В настоящее время, «цифровая зрелость» систем коммунальной инфраструктуры и энергетики находится на достаточно низком уровне, поэтому для достижения лучших результатов повышения энергоэффективности и цифровизации, поддержки инновационной активности и экологической безопасности, рекомендуется создание информационной модели управления повышением энергоэффективности инженерно-энергетической инфраструктуры ЖКХ. Отличительной особенностью данной модели является наличие трехконтурной структуры, включающей в себя: *организационно-цифровой контур* (обработка и обмен больших массивов данных (Big Data)); *контур управления производственно-хозяйственной деятельностью* (контроль и учет применяемых энергоэффективных технологий); *контур взаимодействия инженерно-энергетической инфраструктуры с внешней средой*.

Предлагаемая модель базируется на обработке и обмене больших массивов данных (Big Data), а также на симбиозе IT и энергоэффективных технологий с объектами инженерно-энергетической инфраструктуры, что позволяет учитывать интересы всех субъектов коммунальной инфраструктуры и энергетики: предприятий инженерно-энергетического комплекса (ИЭК), органов государственной власти и местного самоуправления (МСУ), предприятий градостроительного комплекса, государственных информационных систем ЖКХ (ГИС ЖКХ), управляющих компаний (УК) и ТСЖ, населения и пр.

Данная трехконтурная информационная модель представлена на рисунке 1.4.

На этапе внедрения данной модели предлагается руководствоваться следующими основополагающими принципами: эмерджентность – приобретение новых свойств метасистемы инженерно-энергетической инфраструктуры, не присущие отдельным моноэлементам, управляемость процессов энерго- и водоснабжения города, тесная взаимосвязь субъектов функционирования инженерно-энергетической инфраструктуры в рамках единой стратегии,

распределённая ответственность за обеспечение безопасности и бесперебойного функционирования между структурными элементами метасистемы [35].

Внедрение данной модели может обеспечить повышение энергоэффективности с учетом развития сетей связи и коммуникаций, а также привлечь органы государственной власти и МСУ, предприятия ИЭК, предприятия градостроительного комплекса, население, УК, ТСЖ и прочих участников к решению данного вопроса.

Обозначенные контуры предлагаемой информационной модели содержат в себе следующие потоки информации:

- контур 1 (K1) – поток информации, получаемой от участников взаимодействия 1,2,3,4,5.
- контур 2 (K2) – поток информации, получаемой от участников взаимодействия 2,4,5.
- контур 3 (K3) – поток информации, получаемой от участников взаимодействия 1,3.

Раскрывая содержание представленной информационной модели, необходимо отметить, что центр обработки массива данных (Big Data) формируется за счет информации, получаемой от участников модели во взаимоотношениях с объектами инженерно-энергетической инфраструктуры ЖКХ:

1. взаимодействие органов государственной власти и МСУ с объектами ИЭИ ЖКХ: предоставление информации для государственных информационных систем (ГИС ТЭК; ГИС ЖКХ), выполнение требований законодательства (индикаторы, показатели целевых программ и т.д.), отраслевые схемы (показатели мощности, протяженности, состояния сетей и т.д.);

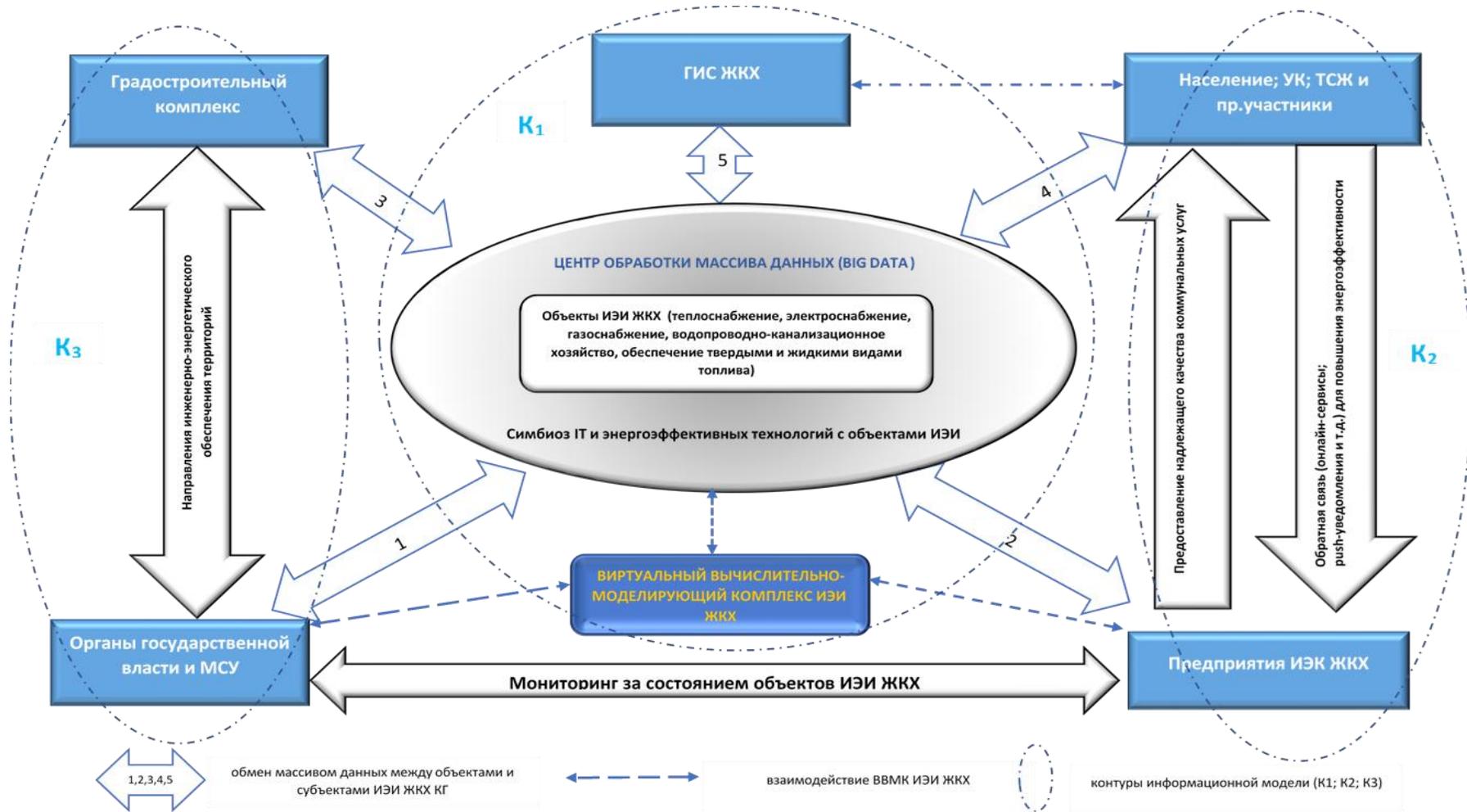


Рисунок 1.4 – Трехконтурная информационная модель управления повышением энергоэффективности инженерно-энергетической инфраструктуры ЖКХ города [разработана автором]

2. взаимодействие предприятий инженерно-энергетического комплекса с объектами ИЭИ ЖКХ: предоставление информации для паспортизации тепловых, электрических, газотранспортных сетей, а также сетей водоснабжения и водоотведения, гидравлические расчеты и оптимизация потерь в сетях, моделирование и локализация аварийных участков, ведение онлайн-журнала повреждений, интеграция с системой сбора телеметрии, цифровой анализ технико-экономических показателей работы инженерно-энергетическим систем, расчет резервов пропускной способности инженерных сетей;

3. взаимодействие градостроительного комплекса с объектами ИЭИ ЖКХ: сбор и обработка данных по геоинформации, описывающей пространственное расположение инженерно-энергетических объектов, территориальное планирование, информация по разрешенному использованию территорий и пятен застройки, информационное обеспечение по расчетам эффективных радиусов инженерных сетей;

4. взаимодействие населения, УК, ТСЖ и пр. участники с объектами ИЭИ ЖКХ: информационные показатели, характеризующие рост значимости обратной связи за счет интернет-обращений и push-уведомлений, краудсорсинга информации через специальные онлайн-сервисы и модули для улучшения управления коммунальной инфраструктурой и повышения энергоэффективности;

5. взаимодействие ГИС ЖКХ с объектами ИЭИ ЖКХ: получение информации о состоянии объектов ИЭИ ЖКХ, сведения о введенных мощностях и объектах генерации ресурсов, данные о состоянии расчетов, тарифах, сведения о программах энергосбережения и повышения энергоэффективности на объектах ИЭИ ЖКХ.

Говоря о результатах, следует отметить, что использование данной модели позволит:

- сократить энергопотребление и понизить энергоемкость инженерно-энергетической инфраструктуры в целом;

- снизить потери и улучшить показатели при передаче энергоресурсов конечному потребителю;
- существенно улучшить показатели загрязненности воздуха и общей экологической обстановки;
- повысить эффективность функционирования инженерно-энергетического комплекса;
- обеспечить доступность для участия граждан в управлении функционированием инженерно-энергетического комплекса города.

На базе трехконтурной информационной модели управления повышением энергоэффективности инженерно-энергетической инфраструктуры ЖКХ, предлагается к внедрению концепт реализации виртуального вычислительно-моделирующего комплекса ИЭИ ЖКХ (ВВМК ИЭИ ЖКХ), суть работы которого заключается в моделировании процесса повышения эффективности использования нового оборудования (материалов, технологий), внедряемых на объектах инженерно-энергетической инфраструктуры города на всех стадиях жизненного цикла (ЖЦ) (рисунок 1.5).



Рисунок 1.5 – Концепт виртуального вычислительно-моделирующего комплекса ИЭИ ЖКХ [составлено автором]

На основе собранных массивов данных (Big Data), с помощью ВВМК ИЭИ ЖКХ, можно спрогнозировать поведение всех инженерно-энергетических объектов на различных этапах жизненного цикла (например: функционирование и взаимодействие отдельных служб, скорость преодоления критических ситуаций, работа нового оборудования, прогнозирование аварий на участках сетей и т.д.).

Задачами внедрения такого комплекса являются [37]:

- совершенствование режимов эксплуатации объектов инженерно-энергетической инфраструктуры;
- выявление критических границ функционирования инженерно-энергетической инфраструктуры на основании различных алгоритмов и сценариев;
- подготовка и обучение персонала к реальным условиям функционирования инженерно-энергетических объектов;
- прогнозирование поведения инженерно-энергетической инфраструктуры на различных стадиях жизненного цикла оборудования и оценка эффективности функционирования.

Таким образом, данный виртуальный вычислительно-моделирующий комплекс, в перспективе, будет способствовать достижению важных эффектов, а именно: снижению экономических затрат на испытания новых технологических решений на объектах инженерно-энергетического комплекса, а также повышению качества их проектирования и разработки, снижению затрат на обучение персонала по управлению такими решениями. Кроме того, данный комплекс ориентирован на экономии затрат на разработку алгоритмов эффективного функционирования всех объектов инженерно-энергетической инфраструктуры в рамках выполнения технологических операций по внедрению следующих цифровых решений: виртуальный тренажер, виртуальный проектировщик и «цифровой двойник» объектов инженерно-энергетической инфраструктуры.

1.3. Проблемы повышения энергоэффективности инженерно-энергетической инфраструктуры города

В совершенствовании развития города особое место отводится управлению городской инфраструктурой, которая обеспечивает благоприятные условия жизнедеятельности населения и, соответственно, способствует повышению уровня жизни. В этой связи наиболее рациональной представляется система руководства городским хозяйством, основанная на системном программном подходе к организации инфраструктуры городской среды.

В крупных урбанистических образованиях под инфраструктурой понимается комплекс инженерных, дорожно-транспортных, социальных и других типов коммуникаций, функционально нацеленных на полномасштабную реализацию прав городского населения и обеспечение социально-экономического развития городской среды [122].

При общем подходе инфраструктура города представляется как система коммуникаций, деятельность которых обеспечивает стабильную работу и совершенствование структуры городского хозяйства, что необходимо для реализации прав населения. Модели организации городской инфраструктуры зависят от природно-географических особенностей городской локации и от потребностей сообщества в осуществлении определенного способа городской застройки. Современное урбанистическое образование требует от градостроителей не только решения вопросов обеспечения безопасности жизнедеятельности населения, но и грамотного подхода к обустройству дорожно-транспортных и коммунальных сетей, зонированию территорий, обеспечению экологической безопасности производства и др.

В настоящий момент инфраструктурный комплекс города выполняет задачу по стимулированию социального и экономического прогресса посредством развития производственных и социальных функций. Подобным образом осуществляется восстановление и взаимодействие между структурными элементами городского сообщества, что актуализирует

необходимость совершенствования старой и создания новой урбанистической инфраструктуры как приоритетного метода достижения устойчивых показателей развития городов России. На практике достижение указанной цели предполагает разработку общегосударственной концепции улучшения городской инфраструктуры; модернизацию системы инфраструктурного обустройства; создание благоприятного инвестиционного климата и, соответственно, привлечение новых источников финансирования.

Материально-технической базой инфраструктуры города является инженерная инфраструктура – понятие, возникшее в 70-х годах XX столетия в рамках перехода от планирования развития городов к планированию регионов и городских агломераций. Данный термин впервые ввел ученый А.А. Сегединов [69]. Он представил инженерную инфраструктуру как комплекс инженерных систем, обслуживающих потребности жилого фонда, транспортных сетей, промышленности и других объектов производственных сил, а также население городов, поселков и населенных пунктов тепло-, водо-, электро- и газоснабжением, водоотведением, средствами информатизации и связи, дорожно-транспортными коммуникациями, технологиями санитарной очистки природных и сточных вод, вывозом и утилизацией твердых коммунальных отходов (ТКО). Схематично инженерная инфраструктура города представлена на рисунке 1.6.



Рисунок 1.6 – Схема инженерной инфраструктуры города [составлено автором по материалам [69]]

Вместе с тем инженерная инфраструктура в большинстве городов страны не в полной мере соответствует требованиям, которые диктует существующая модель инновационного развития отечественной экономики, учитывающей социальные, энергосберегающие, экологические потребности современного сообщества. При этом наблюдается существенный разрыв между современными требованиями и действующим уровнем развития инфраструктуры российских городов, обусловленный:

- значительным износом инженерных коммуникаций (систем электро-, водо- и теплоснабжения) и повышением уровня их аварийности во многих городских агломерациях;
- несовершенством и неудовлетворительным состоянием дорожно-транспортных сетей;

- малоэффективным использованием подземного и надземного городского пространства – отсутствием достаточного количества многоуровневых и подземных парковок, надземных и подземных переходов;
- пренебрежением при обеспечении экологической безопасности в процессе функционирования объектов инфраструктуры;
- технологической отсталостью систем энергосбережения и повышения энергетической эффективности городской инфраструктуры и рядом других факторов.

Обнаружение указанных несовершенств городской инфраструктуры приводит к выявлению проблемы, связанной с недостаточным ресурсным, в том числе финансовым и технологическим обеспечением. Развитие инфраструктурной организации города требует привлечения значительных средств путем улучшения инвестиционного климата. Однако инвестирование в подобные проекты сталкивается с рядом препятствий, обусловленных недостаточной заинтересованностью венчурных компаний в финансировании проектов, находящихся на стадии разработки. В то же время государственные средства не инвестируются в локальные проекты, а средств регионального и муниципального бюджета оказывается недостаточно для полномасштабной модернизации инженерной инфраструктуры. При этом частные инвесторы вкладывают инвестиционный капитал преимущественно в краткосрочные проекты с возможностью быстрого получения прибыли. Вышеперечисленные барьеры существенно тормозят процесс трансформации инфраструктурной системы в городах, а их преодоление становится возможным только путем пересмотра действующей методологии регулирования данной сферы.

Жизнедеятельность города, в первую очередь, опирается на функционирование инженерно-энергетического комплекса, обеспечивающего удовлетворение потребностей населения, градообслуживающей и градообразующей сфер [79]. Деятельность инженерно-энергетической инфраструктуры направлена на поставку энергетических и топливных ресурсов, что определяет ее приоритетное положение в системе

коммуникаций, необходимых для бесперебойного функционирования городов.

Как указывает В.С. Чекалин, в структуру городского инженерно-энергетического комплекса входят коммуникации теплоснабжения, водоснабжения, электроснабжения, газоснабжения, системы поставки твердых и жидких видов топлива, канализационные сооружения [83]. Инженерно-энергетическая инфраструктура города схематично представлена на рисунке 1.7.

По мнению А.О. Березина инженерно-энергетическую инфраструктуру необходимо рассматривать путём интеграции с инструментарием концепции издержек жизненного цикла (ИЖЦ). Данный подход представляется актуальным и перспективным направлением в условиях развития цифровизации и цифровой трансформации [22].



Рисунок 1.7 – Схема инженерно-энергетической инфраструктуры города [составлено автором]

Специфика функционирования инженерно-энергетического комплекса заключается в жизненно-важном характере выполняемых им функций и, соответственно, безостановочной работе, в образовании естественных монополий (ЕМ), в неравномерности ресурсных поставок, зависящих от времени суток, годового сезона; в наличии избыточных мощностей (час-пик, сутки- максимум и т.п.) [78].

Основополагающая задача городского инженерно-энергетического комплекса – обеспечение бесперебойной поставки населению энергетических ресурсов, отвечающих требованиям качества и безопасности. Вместе с тем реализация названной функции в городах наталкивается на ряд препятствий, вызванных высокой плотностью застройки в результате концентрации большого числа сооружений на ограниченной территории городского поселения [83].

Проводимая экспертная оценка функционирования систем инженерно-энергетического комплекса, в ряде городов нашей страны, показала наличие значительного количества острых проблем, связанных, в том числе, с недостаточным энергосбережением, многие из которых имеют длинную историю и с течением времени обостряются. К их числу относятся: высокий физический износ генерирующих и трубопроводных систем, устаревание производственных мощностей (функциональный износ), чрезмерная сверхцентрализация, ведущая к значительным потерям ресурсов, высокий уровень монополизма, ограничивающий возможности конкуренции, наличие устаревших территориальных схем транспортировки ресурсов по территории города, недостаточный уровень профессионализма в управлении и др. Решение указанных задач предполагает модернизацию существующего программно-организационного подхода к регулированию деятельности инженерной инфраструктуры в городе и активном внедрении технологических нововведений.

Также, стоит отметить, что функционирование объектов инженерно-энергетической инфраструктуры достаточно негативно сказывается на

экологической обстановке. В частности, несовершенные системы водопроводно-канализационного хозяйства, давно требующие модернизации, загрязняют окружающую среду и ухудшают экологию.

Как отмечают И.В. Федосеев и М.Н. Юденко, проблема неразвитости систем коммунальной инфраструктуры и энергетики состоит в существенном снижении темпов ввода инженерно-энергетических объектов, что не отвечает темпам роста жилищного строительства и развития производства в регионе [73; 81].

Согласно исследованию «Стратегическое управление энергоэффективностью в регионе», модель развития инженерно-энергетической инфраструктуры, предложенная В.В. Маркиным, должна опираться на модернизацию энергетического комплекса на всех системных уровнях посредством внедрения механизмов энергосбережения. Реализация данного подхода позволит снизить риск возникновения аварийной ситуации и повысит устойчивость коммунальных систем к воздействию негативных факторов [55].

В большинстве городов страны действующая система теплоснабжения не соответствует современным требованиям и не обеспечена специализированным энерго- и ресурсосберегающим оборудованием. В связи с этим, возникает ситуация, когда в зимний сезон прослеживается дефицит тепловой энергии, а в переходный период (осень-лето) – ее переизбыток. Большая часть инженерных систем для транспортировки и подачи тепла и горячего водоснабжения конечным потребителям нуждается в капитальном ремонте или полной замене, ввиду своей изношенности и наличия большого количества аварийных участков. Большинство потребителей тепла, на данный момент, не имеют индивидуальных приборов учета тепловой энергии, что приводит к тому, когда уровень оплаты не зависит от реальных объемов потребления. На рисунке 1.8 представлена общая структура платежей за коммунальные услуги в РФ.

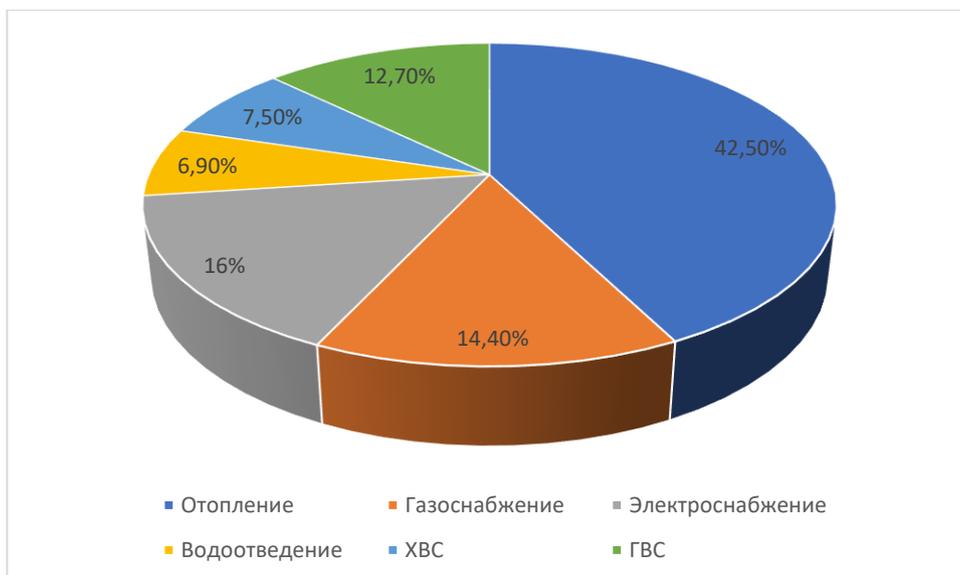


Рисунок 1.8- Структура платежей потребителями за коммунальные услуги в РФ [121]

Как видно из диаграммы, наибольший процент платежей по коммунальным услугам, у среднего жителя РФ, приходится за услуги отопления и, к сожалению, такая ситуация не способствует ни экономии энергоресурсов, ни финансовых ресурсов потребителей.

Проблемы имеются и в системах электроснабжения ряда городов России. Электрические сети и оборудование, имеющиеся на балансе энергокомпаний, достаточно изношены, устарели и нуждаются в реконструкции или полной замене.

В последние годы ряд существенных проблем обнаруживается в области функционирования систем водно-канализационного хозяйства. Их возникновение обуславливается затрудненностью проведения в городах, особенно крупных, ремонтных работ, направленных на восстановление систем водоснабжения, в связи с чем ускоряются процессы износа оборудования, уменьшается пропускная способность труб, ухудшается санитарно-гигиеническое состояние воды. Основным препятствием для осуществления капитального ремонта водопроводно-канализационных систем становятся его высокие издержки, вызванные дороговизной проведения работ по открытой

перекладке труб, в связи с чем приходится приостанавливать транспортное движение [57].

Значительную озабоченность вызывает также нерациональное использование в России газового топлива, удельное потребление которого в 2-3 раза превышает значения аналогичного показателя, фиксируемое в странах Западной Европы. Одной из причин расточительного потребления природного газа называется неэффективная регламентация отпуска ресурсов газа закупщикам, в том числе энергетикам. Пробелы наблюдаются и в действующем механизме коммерческого учета, приводящее к убыткам энергетического сектора в результате несбалансированного объема газовых поставок.

Особенности развития систем инженерно-энергетической инфраструктуры, а также проблемы повышения энергоэффективности на объектах инженерно-энергетического комплекса целесообразно рассмотреть на примере двух городов-мегаполисов: Санкт-Петербурга и Москвы.

Особенности развития систем инженерно-энергетической инфраструктуры г. Санкт-Петербурга

Жизнедеятельность инженерно-энергетического комплекса Санкт-Петербурга обеспечивается посредством функционирования объектов, представленных в таблице 1.4.

Таблица 1.4 - Сведения об объектах инженерно-энергетического комплекса Санкт-Петербурга [составлено автором по материалам Комитета по энергетике и инженерному обеспечению Администрации Санкт-Петербурга [142]]

№ п/п	Наименование объекта ИЭК	Ед. измерения	Кол-во	Примечание
1.	ТЭЦ	шт.	11	Находятся в ведении ПАО «ТГК-1»

Продолжение таблицы 1.4

2.	ТЭЦ	шт.	3	Ведомственные на балансе АО «Управляющая компания «ГСРЭнерго», АО «НПО ЦКТИ», ООО «Обуховоэнерго»
3.	ТЭЦ	шт.	1	На балансе АО «ИНТЕР РАО – Электрогенерация» филиал «Северо-Западная ТЭЦ»
4.	Котельные	шт.	609	Находятся на балансе: ГУП «ТЭК СПб» (454 ед.), ООО «Петербургтеплоэнерго» (108 ед.), ЗАО «Лентеплоснаб» (47 ед.)
5.	Ведомственные котельные	шт.	692	-
6.	Тепловые сети в однетрубном исчислении	км	7690	-
7.	Водопроводные сети	км	6755	-
8.	Канализационные сети	км	8119	-
9.	Газовые сети	км	7013	-
10.	Электрические сети	км	29 571	-
11.	Трансформаторные подстанции	шт.	10 600	-

В вышеуказанной таблице представлены статистические данные об объектах коммунальной инфраструктуры и энергетики г. Санкт-Петербурга.

На рисунке 1.9 представлены данные по степени износа основных фондов в некоторых системах и структурных элементах инженерно-энергетического комплекса г. Санкт-Петербурга по состоянию на 2022 г.



Рисунок 1.9 - Данные по степени износа в некоторых системах и структурных элементах инженерно-энергетического комплекса г. Санкт-Петербурга по состоянию на 2022 г. [составлено автором по материалам [13; 135]]

Как видно из вышеуказанного рисунка, наибольший технический и технологический износ составляют сети водоснабжения и водоотведения (порядка 71%), требуют модернизации изношенные сети теплоснабжения с показателем 29,5%, а также сети электроснабжения (27,5%).

Общий износ объектов коммунальной инфраструктуры и энергетики составил порядка 44,6% по состоянию на 2022 г. [13].

В соответствии с утвержденной региональной программой «Модернизация систем коммунальной инфраструктуры Санкт-Петербурга на период 2023-2027 годов» [11] планируется снизить аварийность и уменьшить общий износ объектов коммунальной инфраструктуры и энергетики города в среднем до 12,2% к 2027-му году. Более детальная информация представлена на рисунке 1.10.

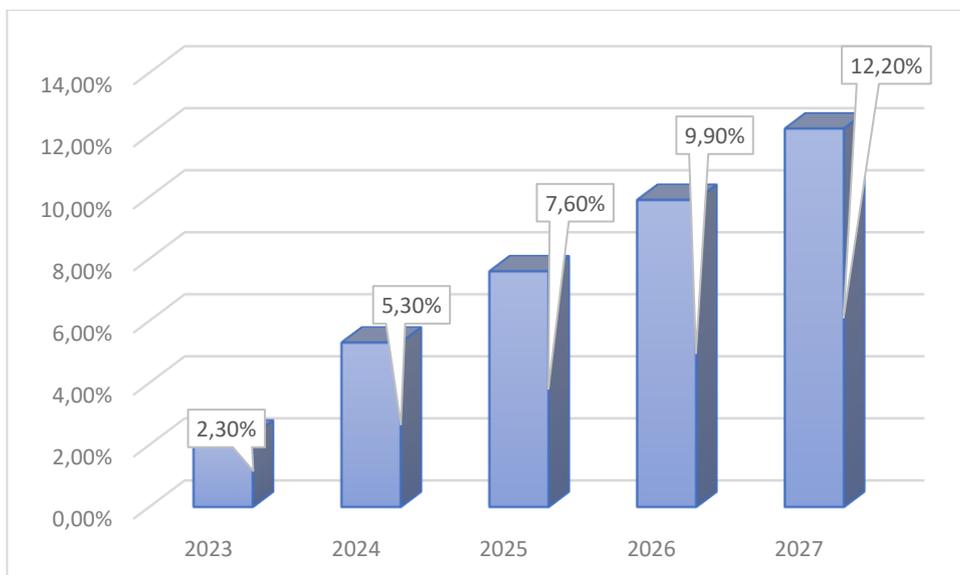


Рисунок 1.10 – Динамика снижения аварийности и степени износа объектов коммунальной инфраструктуры и энергетики на период с 2023-2027 гг. [составлено автором по материалам [11]]

Характеристика теплоснабжающего комплекса г. Санкт-Петербурга

Теплоснабжающий комплекс Санкт-Петербурга характеризуется высокой концентрацией тепловых и электрических нагрузок, большими единичными мощностями источников, протяженными тепловыми сетями с магистралями диаметром до 1400 мм. В Санкт-Петербурге приоритетное развитие получили системы централизованного теплоснабжения (СЦТ) на основе комбинированной выработки тепловой и электрической энергии на крупных теплоэлектростанциях (ТЭЦ). Из экономических соображений комбинированная выработка рассчитывалась на покрытие примерно половины максимальной тепловой нагрузки. Остальная нагрузка покрывалась пиковыми водогрейными котлами, установленными на ТЭЦ. Этапы развития комплекса отличаются необычным характером технических решений и формированием систем управления комплексом, сложившихся в течение многих десятилетий, что во многом было обусловлено географическим

положением города и уникальным характером застройки его исторических мест.

Зонирование петербургских теплоэнергетических систем предполагает выделение на территории города тринадцати тепловых районов. Разграничение технологических тепловых зон учитывает специфику городского ландшафта (водоемы, возвышенности) и дорожно-транспортной сети (наличие железнодорожных путей, кольцевой автодороги, транспортных магистралей).

К основным проблемам теплоэнергетического хозяйства города можно отнести:

- высокие потери при транспортировке тепловой энергии конечным потребителям из-за избыточной централизации;
- возможный дефицит генерирующих мощностей в ряде источников теплоснабжения;
- высокая степень износа тепловых сетей;
- низкий уровень мониторинга теплоснабжающего хозяйства в целом;
- отсутствие активной политики по повышению энергоэффективности.

В системах теплоснабжения инженерно-энергетического комплекса Санкт-Петербурга внедряются элементы энергосбережения и повышения энергетической эффективности. Основными среди них являются следующие [117]:

- внедрение метода когенерации¹, который позволяет удовлетворить растущий спрос на тепло и электроэнергию, повысить энергоэффективность производства тепловой и электрической энергии,

¹ Когенерация - технологии совместной выработки тепловой и электроэнергии на котельных предприятиях. Подразумевает выработку котельными наряду с основным продуктом – тепловой энергией – также и электроэнергию. Совместная выработка не только повышает надежность и экологичность работы объектов топливно-энергетического комплекса и экономит ресурсы, но в перспективе снизит себестоимость тепловой энергии.

снизить вредное воздействие на окружающую среду и улучшить экологическую обстановку;

- замена тепловых сетей с использованием коррозионностойких материалов. При перекладке магистральных теплопроводов применяются стальные трубы в пенополиуретановой изоляции с системой оперативно-дистанционного контроля увлажнения. При обновлении внутриквартальных сетей - трубопроводы из сшитого полиэтилена и нержавеющей стали;

- внедрение автоматизации и диспетчеризации на объектах теплоснабжения. Постепенное создание пультов управления объектами производственных филиалов – тепловых сетей и энергоисточников. Итогом реализации проекта должно стать объединение котельных, ЦТП и теплосетей в целостную систему. Данные с пультов филиалов будут выведены на головной пункт управления ГУП «ТЭК СПб», который соединен с геоинформационной системой Санкт-Петербурга.

Характеристика водопроводно-канализационного хозяйства г. Санкт-Петербурга

Водоснабжение г. Санкт-Петербурга обеспечивает ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга», который снабжает питьевой водой население города, а также предприятия и организации, функционирующие на его территории. Деятельность предприятия заключается в заборе, последующей очистке и транспортировке воды. Главной артерией по водоснабжению является река Нева, из которой забирается порядка 98% воды, проходящей очистку на наиболее крупных и значимых водопроводных станциях города [116].

Система водоснабжения Санкт-Петербурга – это комплекс взаимосвязанных инженерных сооружений, обеспечивающих бесперебойную подачу потребителям питьевой воды. В состав комплекса входят 10 водопроводных станций, 188 «повысительных» насосных станций, сеть трубопроводов, два завода по производству гипохлорита натрия для очистки и обеззараживания воды.

Говоря о проблемах в сфере централизованного водоснабжения города, стоит отметить следующее:

- порядка 38,5% сетей водоснабжения находятся в изношенном и ветхом состоянии и требуют замены;
- средний уровень качества воды в трубопроводах разводящей сети;
- расточительное отношение потребителей к водопользованию.

Для повышения качества питьевой воды, а также надежного и бесперебойного водоснабжения, планируется провести работы по реконструкции основных водопроводных станций, а также построить несколько новых. Важнейшей задачей является, также, внедрение проекта энергосбережения и повышения энергетической эффективности на ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга». В частности, для каждой зоны водоснабжения необходимо создать систему учета количества воды, выполнить модернизацию коммерческих узлов учета расхода воды у всех абонентов, с обеспечением автоматической передачи данных. Это позволит в режиме реального времени получать информацию о водопотреблении абонентов и подачи в зону водоснабжения. Появится возможность в режиме «online» отслеживать выход из строя приборов учета или возможное вмешательство абонента в работу узла учета, автоматически анализировать состояние сетей, динамику изменения расхода, определять наличие утечек на сетях водоснабжения, с целью оперативного устранения и ремонта.

В городе существует две основных схемы в системе водоотведения [116]:

- централизованная общесплавная и раздельная хозяйственно-бытовая система водоотведения города;
- централизованная раздельная дождевая система водоотведения.

Оптимизация процессов утилизации осадка сточных вод в Санкт-Петербурге стала возможной благодаря введению уникальной системы сжигания осадков, реализованной на трех городских предприятиях – Центральной и Северной станциях аэрации и на Юго-Западных очистных сооружениях. Для сжигания осадка печи

разогревают до 870°C, в результате чего выделяется количество тепла, достаточное для удовлетворения энергетических нужд мегаполиса. Функционирование системы сжигания осадков позволяет эффективно реализовать механизмы энергосбережения. Негативное воздействие на экологию существенно нивелировано благодаря трехступенчатой очистке дымовых газов.

Характеристика системы электроснабжения г. Санкт-Петербурга

Электроснабжение города осуществляется энергетической системой Санкт-Петербурга и Ленинградской области, которая представляет из себя единое технологическое пространство, включающее совокупность объектов по производству электрической энергии, объектов электросетевого хозяйства и энергопринимающих устройств потребителей. Крупнейшими субъектами электроэнергетики, осуществляющими производство электрической энергии на территории Санкт-Петербурга, являются: ПАО «Территориальная генерирующая компания №1» (ПАО «ТГК-1»), ПАО «Россети Ленэнерго».

К основным проблемам в данной сфере можно отнести:

- высокий уровень износа электросетевого оборудования и сооружений;
- потери электроэнергии при ее передаче;
- недостаточные темпы консолидации электросетевого комплекса;
- стабильный объем перекрестного субсидирования;
- возможная нехватка генерирующих мощностей в новых районах комплексной жилой застройки.

К преимущественным направлениям развития петербургского электроснабжения можно отнести следующие:

- обеспечение надежного электроснабжения объектов жилищного фонда, объектов социальной, транспортной, дорожной, коммунальной инфраструктуры, объектов промышленного назначения и т.д.;
- обеспечение согласованного развития электрических сетей с техническим перевооружением и расширением действующих ТЭЦ;

- ввод в эксплуатацию высокоэффективного оборудования, обладающего энергосберегающими характеристиками;
- постоянное строительство и ввод в эксплуатацию новых опорных ЛЭП, особенно на территориях комплексной жилой застройки;
- постепенный перевод субъектов электроснабжения на автоматизированные системы учета и контроля за использованием энергоресурсов как для поставщиков, так и для потребителей;
- переход на систему дифференцированных тарифов для потребителей.

Характеристика системы газоснабжения г. Санкт-Петербурга

Газораспределительная система Санкт-Петербурга представляет собой имущественный производственный комплекс, состоящий из организационно и экономически взаимосвязанных объектов, предназначенных для транспортировки и подачи природного газа потребителям, расположенным на территории Санкт-Петербурга. Транспортировка и подача природного газа в Санкт-Петербург осуществляется по системе магистральных газопроводов через 16 газораспределительных станций высокого давления по многоступенчатой системе распределительных газопроводов высокого, среднего и низкого давления, а также через две газораспределительные станции, обеспечивающие газоснабжение Северной ТЭЦ и Северо-Западной ТЭЦ. Природный газ является основным видом топлива для энергетики Санкт-Петербурга, его объем в топливном балансе Санкт-Петербурга составляет 99%. Все основные энергоисточники Санкт-Петербурга переведены на природный газ, как самый экологически чистый вид топлива. Поставка природного газа на ГРС осуществляется ООО «Газпром трансгаз Санкт-Петербург». Строительство и реконструкцию ГРС выполняет ООО «Газпром инвест». Ресурсоснабжающими организациями, осуществляющими поставку природного газа потребителям Санкт-

Петербурга, являются ООО «Газпром межрегионгаз Санкт-Петербург», ПАО «НОВАТЭК».

В целях повышения надежности услуг газоснабжения для потребителей города и своевременной модернизации газораспределительной системы за счет средств бюджета Санкт-Петербурга и внебюджетных источников целесообразно осуществлять мероприятия по реконструкции ГРП и системы газопроводов высокого, среднего и низкого давления. Реконструкция объектов газораспределительной системы Санкт-Петербурга за счет внебюджетных источников финансирования должна осуществляться в рамках инвестиционных программ газораспределительной организации Санкт-Петербурга ГРО «ПетербургГаз» с объемом финансирования более 500 млн.руб. ежегодно [115].

В целом, энергетический сектор города демонстрирует устойчивое функционирование и наличие потенциала для структурной модернизации, но, наряду с этим, имеется ряд недостатков, связанных с повышенным уровнем износа оборудования, приводящим к увеличению объема затрат на поддержание бесперебойной работы систем коммунальной инфраструктуры и энергетики.

Особенности развития систем инженерно-энергетической инфраструктуры г. Москвы

Московская энергосистема является крупнейшей в России и включает в себя следующие объекты, представленные в таблице 1.5.

Таблица 1.5 - Сведения об объектах инженерно-энергетического комплекса г. Москвы (по состоянию на конец 2021 г.) [составлено автором по материалам [10]]

№ п/п	Наименование объекта ИЭК	Ед. измерения	Кол-во	Примечание
1.	ТЭЦ	шт.	13	Находятся в ведении ПАО «Мосэнерго»

Продолжение таблицы 1.5

2.	ГТЭС «Терешково»	шт.	1	Отдельно осуществляют энергоснабжение делового центра «Москва-Сити» и прилегающих к нему территорий
	ТЭС «Международная»	шт.	1	
3.	Районные тепловые станции	шт.	21	-
4.	Квартальные тепловые станции	шт.	9	-
5.	Гидроэлектростанции	шт.	3	Сходненская, Карамашевская, Перервинская
6.	Электростанции при мусоросжигательных заводах и на очистных сооружениях	шт.	6	-
7.	Тепловые сети в одноконтурном исчислении	км	17 197	-
8.	Водопроводные сети	км	13 103	-
9.	Уличные сети дождевой канализации	км	8000	-
11.	Газовые сети	км	10 706	-
12.	Электрические сети	км	103 142	Включают все классы напряжения

В вышеуказанной таблице представлены статистические данные об объектах коммунальной инфраструктуры и энергетики г. Москвы.

На рисунке 1.11 представлены данные по степени износа основных фондов объектов коммунальной инфраструктуры и энергетики г. Москвы по состоянию на 2022 г.

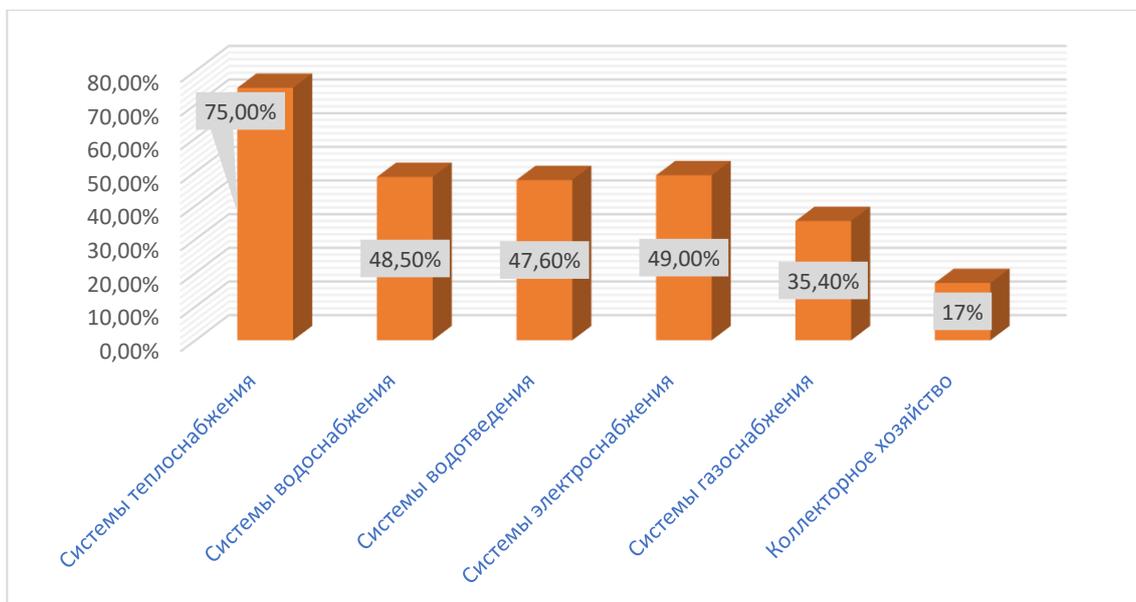


Рисунок 1.11 - Данные по степени износа основных фондов объектов коммунальной инфраструктуры и энергетики г. Москвы по состоянию на 2022 г. [составлено автором по материалам [12; 112]]

Как следует из вышеуказанного рисунка, наибольший технический и технологический износ составляют сети теплоснабжения (75%), требуют модернизации изношенные сети водоснабжения и водоотведения (свыше 40% износа), сети электро- и газоснабжения с показателями 49% и 35,4% соответственно, а также коллекторное хозяйство города (17% износа).

Характеристика системы теплоснабжения г. Москва

Хозяйство московского теплоэнергетического комплекса обеспечивает бесперебойную, экологичную, надежную поставку теплоносителя потребителям: горожанам и промышленности. По оценкам экспертов и прочей статистической информации, за последние 5 лет, в Москве не зарегистрировано недопустимых ограничений подачи тепла.

В целом, система столичного теплоснабжения характеризуется высокой долей когенерационной выработки и значительной степенью централизации. Потребители тепловой энергии не испытывают недостатка в данном ресурсе,

поскольку объем поставляемых ресурсов тепла значительно превышает показатель расхода даже в условиях максимальной нагрузки [10].

В то же время теплоэнергетический комплекс Москвы ощущает повышенное воздействие требований непрерывного безаварийного функционирования тепловых систем. К факторам возникновения данного явления можно отнести статус столицы и колоссальное количество потребителей, что обязывает осуществлять технологическую поддержку высокомошных тепловых магистралей. Наличие пространных жилых районов требует прокладки достаточно длинных трубопроводов в совокупности с ограниченностью радиуса транспортировки тепла крупными ТЭЦ и необходимостью постоянного ремонта оборудования, что обуславливает высокую стоимость поставок теплоэнергетических ресурсов в Москве.

Вместе с тем московские тепловые системы обнаруживают некоторые специфические проблемы организации бесперебойного теплоснабжения:

- изношенное состояние генерирующего оборудования энергетических источников, в составе которого эксплуатируется значительное количество устаревшего, выработавшего свой парковый и назначенный ресурс оборудования, подлежащего в перспективе замене или серьезной реконструкции с привлечением инвестиционных вложений;
- возможное отсутствие резервного (аварийного) топлива на некоторых действующих котельных;
- эксплуатация открытых систем теплоснабжения в ряде районов Зеленоградского, Восточного административных округов при действующих закрытых системах;
- наличие зон теплопотребления, в которых отсутствует сетевое резервирование (районы Южное, Северное Тушино, Строгино).

В настоящий момент программа модернизации системы теплоснабжения в Москве должна быть сосредоточена на развитии объектов московского теплового хозяйства посредством внедрения механизмов

эффективного использования энергии и капитала при одновременном восстановлении теплоснабжающей инфраструктуры, нацеленном на сокращение тепловых потерь и минимизацию дефектов тепловых сетей.

Характеристика системы газоснабжения г. Москвы

Москва практически полностью газифицирована. Исключения составляют лишь отдельные районы, не требующие газоснабжения (районы многоэтажной жилой застройки, оборудованные бытовыми электроплитами; природные территории), а также районы города с существующей малоэтажной и коттеджной застройкой, не подлежащие газификации.

Основные акценты в развитии газоснабжающего и газораспределительного хозяйства Москвы связаны с:

- ускоренной модернизацией газораспределительной сети за счет перекладки и реконструкции элементов системы с целью минимизации количества объектов, находящихся в эксплуатации сверх нормативного срока;
- строительством новых газопроводов и ГРП для повышения надежности подачи газа на крупные объекты энергетики;
- ликвидацией проблемных зон и участков на территории 12 административных округов за счет увеличения пропускной способности заузженных участков сети и строительства дополнительных источников подачи газа.

В перспективе намечается формирование единой системы транспортировки газа по территории московских административных округов и устранение проблемных аспектов системного характера в газоснабжении.

Характеристика водопроводно-канализационного хозяйства и системы технического водоснабжения г. Москвы

Система водоотведения города Москвы является отдельной и обеспечивает прием хозяйственно-бытовых и производственных стоковых вод, а также талых вод, образующихся в результате плавления снежной массы на снегоплавильных пунктах. Система водоотведения состоит из канализационной сети, включающей дворовые сети канализации, самотечные

коллекторы и каналы, канализационные насосные станции с напорными трубопроводами, и обеспечивает сбор и передачу сточных вод на очистные сооружения. Очистка таких вод осуществляется на Курьяновских, Люберецких, Южно-Бутовский и Зеленоградских очистных сооружениях с применением технологии ультрафиолетового обеззараживания.

В целях обеспечения качества очистки сточных вод по нормативным показателям ведется реконструкция и модернизация канализационных объектов, осуществляемая с применением наилучших доступных технологий удаления биогенных элементов и ультрафиолетового обеззараживания очищенных сточных вод. Также проводится работа по реконструкции очистных сооружений для последующего увеличения их производительности и пропускной мощности.

Характеристика системы электроснабжения г. Москвы

Московская энергосистема является самой крупной на территории Российской Федерации. Московская энергосистема имеет внешние электрические связи с Костромской, Тверской, Ярославской, Рязанской, Владимирской, Смоленской, Калужской и Тульской энергосистемами. На территории города Москвы осуществляют деятельность более 11 генерирующих компаний, с характерным преобладанием тепловой генерации. ПАО «Мосэнерго» является крупнейшей генерирующей компанией Московского региона, а также самой крупной территориальной генерирующей компанией в России.

Отличительной характеристикой московской энергосистемы является разнообразие применяемых технологий генерации тепловой и электрической энергии от традиционных циклов ТЭЦ до газотурбинных установок (ГТУ) и теплофикационных парогазовых установок (ПГУ). Помимо традиционных ТЭС, на территории города действуют малые гидроэлектростанции: Сходненская, Карамышевская и Перервинская. Все они находятся на балансе ФГБУ «Канал имени Москвы». Также функционируют электростанции при

мусоросжигательных заводах, электростанции на очистных сооружениях АО «Мосводоканал».

Общая протяженность всех линий электропередачи (ЛЭП) по всем классам напряжения составляет 10,1 тыс. км.

Основными проблемами в сфере московского электроснабжения являются:

- высокая концентрация электрических нагрузок на один квадратный километр города;
- потери электроэнергии при ее генерации, передаче и потреблении;
- возможная нехватка генерирующих мощностей в новых районах комплексной жилой застройки.

Коммунальная энергетическая инфраструктура Москвы является наиболее совершенной в качественном и количественном отношении. В то же время московские энергетические системы испытывают эксплуатационные трудности, вызванные естественным устареванием и высокой степенью износа оборудования. Негативное воздействие на энергетический сектор также оказывает расширение городской территории за счет вхождения в состав агломерации новых населенных пунктов, в связи с чем актуализируется необходимость модернизации устаревших энергетических систем, существующих в данных поселениях.

Проведённый анализ функционирования инженерно-энергетического комплекса Санкт-Петербурга и Москвы позволяет выявить наиболее характерные черты данных комплексов в крупнейших городах-мегаполисах страны.

В таблице 1.6 представлены сводные результаты SWOT-анализа функционирования инженерно-энергетического комплекса Санкт-Петербурга и Москвы.

Таблица 1.6 - SWOT-анализ функционирования инженерно-энергетического комплекса г. Санкт-Петербурга и г. Москвы

S	Сильные стороны	W	Слабые стороны
	<ul style="list-style-type: none"> • Стабильный спрос на услуги инженерно-энергетического комплекса, обусловленный их высокой значимостью для городской инфраструктуры; • Трехступенчатая очистка дымовых газов; • Широкий диапазон применения наилучших доступных технологий (НДТ) на объектах инженерно-энергетического комплекса; • Нарастание объема технических и технологических инноваций, научных разработок в данной сфере; • Введение системы дифференцированных тарифов на оплату электроэнергии конечными потребителями 		<ul style="list-style-type: none"> • Высокий уровень износа основных производственных фондов (в основном системы теплоснабжения, водоснабжения и водоотведения); • Высокие потери энергоресурсов вследствие эксплуатации устаревшего технологического оборудования, а также существенной централизации на объектах теплоснабжающего хозяйства; • Возможный дефицит генерирующих мощностей в ряде источников теплоснабжения; • Расточительное водопользование; • Стабильный объем перекрестного субсидирования на объектах электроэнергетики; • Недофинансирование ряда объектов инженерно-энергетического комплекса по действующим тарифам; • Возможная нехватка генерирующих мощностей электроснабжения в новых районах комплексной жилой застройки; • Отсутствие активной политики внедрения механизмов энергосбережения и повышения энергоэффективности
O	Возможности	T	Угрозы
	<ul style="list-style-type: none"> • Внедрение автоматизации и диспетчеризации на объектах теплоснабжения; 		<ul style="list-style-type: none"> • Увеличение количества аварий на объектах коммунальной инфраструктуры и энергетики, обусловленных высоким износом основных фондов;

- Замена тепловых сетей с использованием коррозионностойких материалов;
- Внедрение online систем для контроля за водопотреблением;
- Развитие электрических сетей с техническим перевооружением и расширением действующих ТЭЦ;
- Постепенный перевод субъектов электроснабжения на автоматизированные системы учета и контроля за использованием энергоресурсов как для поставщиков, так и для потребителей;
- Строительство новых газопроводов и ГРП для повышения надежности подачи газа на крупные объекты энергетики;
- Повышение эффективности системы управления, в т. ч. путём снижения уровня централизации;
- Повышение энергоэффективности на объектах инженерно-энергетического комплекса путем внедрения элементов цифровизации и цифровой трансформации (информационные модели, виртуальные комплексы, цифровые «двойники» и т.п.);
- Внедрение параметров оценки энергообеспечения для устранения дефицита генерирующих мощностей и выравнивания баланса производства и потребления энергетических ресурсов

- Нарастание задолженности перед ресурсоснабжающими организациями вследствие роста тарифов и уровня инфляции;
- Снижение качества предоставления коммунальных услуг населению при постоянно растущих тарифах

Анализируя таблицу 1.6, стоит отметить, что в функционировании инженерно-энергетического комплекса как Санкт-Петербурга, так и Москвы, наблюдается достаточное количество слабых сторон и угроз, связанных, в первую очередь, с уровнем износа сетей (в основном системы теплоснабжения, водоснабжения и водоотведения), возможным дефицитом генерирующих мощностей, недофинансированием ряда объектов инженерно-энергетического комплекса по действующим тарифам, отсутствием активной политики внедрения энергосбережения и повышения энергетической эффективности на объектах инженерно-энергетического комплекса, увеличением количества аварий и нарастанием задолженности перед ресурсоснабжающими организациями вследствие роста тарифов и уровня инфляции, что приводит к недовольству конечных потребителей качеством предоставления коммунальных услуг. Однако, имеются сильные стороны и возможности, которые связаны со стабильным спросом на услуги инженерно-энергетического комплекса, обусловленные их высокой значимостью для городской инфраструктуры.

Таким образом, в рамках изучения специфики и особенностей функционирования инженерно-энергетического комплекса, на примере российских городов-мегаполисов, был выявлен ряд проблем и недостатков, которые тормозят и ухудшают полноценную и бесперебойную работу объектов коммунальной инфраструктуры и энергетики. Однако, существует потенциал для дальнейшего развития и модернизации инженерно-энергетической инфраструктуры на основе внедрения методических подходов экономико-организационного аппарата, технических и инновационно-цифровых разработок, базирующихся на принципах энергосбережения и повышения энергоэффективности таких объектов.

1.4. Зарубежный опыт повышения энергоэффективности инженерно-энергетической инфраструктуры города

Вопросы энергосбережения и повышения энергоэффективности имеют высокую актуальность в ряде зарубежных стран, особенно в тех, где существенно ограничены, либо отсутствуют собственные запасы энергетических ресурсов. Специфика выбора государств обусловлена, в первую очередь, схожими природно-климатическими характеристиками, а также достаточно высоким уровнем развития и опыта использования энергосберегающих и энергоэффективных технологий и решений.

Всерьез задуматься о повышении энергоэффективности экономики Германии заставил нефтяной кризис 1973 г. И уже в 1976 г. был утвержден Закон об энергосбережении (Energieeinsparungsgesetz, EnEG) [154], позднее появилось предписание о тепловой изоляции, определившее минимальные стандарты энергетической эффективности вновь построенных зданий. В 2002 г. главный нормативный акт энергосберегающей политики Германии (Energieeinsparverordnung, EnEV) был скорректирован и актуализирован с консолидацией на ранее упомянутые предписания. С начала 2016 года вышла в свет новая редакция документа EnEV, ужесточившая стандарты энергоэффективности в соответствии с Директивой Евросоюза от 2010 года [154]. В декабре 2014 г. правительство Германии приняло Национальный план мероприятий в области энергоэффективности (Nationalen Aktionsplan Energieeffizienz, NAPE). Данный документ объединяет в себе комплекс мер по энергосбережению и повышению энергетической эффективности, затрагивающий все отрасли экономики.

Одной из важных целей правительства является обеспечение к 2050 г. климатической нейтральности зданий и систем коммунальной инфраструктуры. Данные объекты планируется полностью оснастить фотоэлектрическими панелями, аккумуляторными батареями, тепловыми насосами, интеллектуальными устройствами управления (Smart Buildings) и

интеллектуальными системами учета за потреблением ресурсов (Smart Metering).

Законодательная стратегия по внедрению интеллектуального учета электрической энергии опубликована в Германии в ноябре 2015 г. Она предусматривает оснащение порядка 72% населения страны «умными» приборами контроля за потреблением электроэнергии [137]. Пошаговый переход начался уже с 2017 г. На первом этапе все потребители с расходом более 10 тыс. кВт/час в год, а также локальные производители электроэнергии с установками мощностью от 7 до 15 тыс. кВт/час в год должны переходить на интеллектуальный учет. С 2020 г. потребители с годовым расходом свыше 6 тыс. кВт/час в год и производители с расходом более 100 тыс. кВт/час в год также попадают под требования законодательства и обязаны использовать системы интеллектуального учета, при этом затраты на установку необходимого оборудования, которые варьируются от 100 до 200 евро, обязаны нести потребители электроэнергии.

Важным направлением повышения энергоэффективности является государственная поддержка систем теплоснабжения. Тепло обеспечение зданий и сооружений Германии осуществляется с помощью ТЭЦ и котельных. Чаще всего, ТЭЦ имеют в своем распоряжении отдельное общество с ограниченной ответственностью (ООО), и в нем коммунальное предприятие имеет свою долю. Котельные используются по указанию ТЭЦ, через которую и осуществляется межрегиональная диспетчеризация, а также управление нагрузками на сеть. В каждом многоквартирном доме имеются насосы, водонагреватели и другие инструменты, обеспечивающие стабильную работу узла. Прибор, с помощью которого осуществляется учет потребляемых ресурсов, принадлежит предприятию. Без этого прибора заключение договора о предоставлении услуг не представляется возможным. Такие приборы устанавливаются в МКД бесплатно, за счет средств предприятия. Сотрудничество предприятия с жильцами происходит напрямую, без посредников и сторонних инстанций. Потребители теплоносителя имеют

право самостоятельно выбирать коммунальное предприятие с точки зрения максимальной выгоды в свою сторону, а также удобный вариант теплоснабжения.

Тарифы на тепло назначаются не правительством, а предприятиями, которые обеспечивают граждан данным ресурсом. В договоре на поставку теплоносителя всегда указывается фиксированная цена, а за повышение расценок, в одностороннем порядке, может грозить судебное разбирательство.

В рамках внедрений технологий энергосбережения, в системы городского теплообеспечения, Министерство экономики и энергетики Германии (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, BMWi) финансово поддерживает замену старых насосов на новые высокоэффективные, а также комплекс мероприятий по оптимизации гидравлических режимов. Дотация может составлять порядка 30% от суммы затрат, но не более 25 тыс. евро. Кроме того, оказывается финансовая поддержка собственникам домов, которые устанавливают солнечные батареи для нагрева воды и обеспечения своего жилища горячим водоснабжением (ГВС) с дотацией от 500 евро и на установку тепловых насосов с дотацией от 4 тыс. евро. Поддержка физических лиц, при вводе устройств малой мощности, осуществляется федеральным ведомством по экономике и контролю экспорта (Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle), софинансирование более мощных систем производит Банк реконструкции (Kreditanstalt für Wiederaufbau). Наиболее массовая тенденция – децентрализованная с переходом на низкотемпературные бойлеры и, соответственно, на теплоноситель с меньшей температурой. Расходы на отопление в доме, оснащённом такой системой, существенно ниже расходов на традиционное высокотемпературное, а стоимость модернизации достаточно не велика.

Водоснабжение и удаление сточных вод (водоотведение) осуществляются в раздельном режиме. В Германии около 6,7 тыс. предприятий обеспечивают водоснабжение, а 8 тыс. – удаляют сточные воды. Среди коммунальных организаций встречаются унитарные компании,

объекты как с государственной, так и с частной формой собственности; причем последние поставляют в немецкие города более 50% всего объема воды [113]. Эффективность системы водоснабжения в Германии обеспечивается заинтересованностью в высоком качестве воды обеих сторон – производителя и потребителя. Население, исправно оплачивая услуги по водоснабжению и водоотведению, способствует развитию инфраструктуры, благодаря которой качество воды и надежность водно-коммунальных систем сохраняются на высоком уровне. Ценообразование в секторе водоснабжения опирается на размер фактических затрат, необходимых для обеспечения поставки воды.

Удовлетворение большей части (до 65%) коммунальных потребностей в воде происходит в Германии посредством использования грунтовых вод. Также надежное водоснабжение Германии обеспечивается, в большей степени, благодаря крупным водохранилищам с приблизительным объемом водного ресурса около 4700 млн. м³. Параллельно функционируют многочисленные напорные резервуары, поддержку которых осуществляют региональные рабочие группы водопроводных станций (AWWR, AWHS), построены многочисленные напорные резервуары. Оптимальное расходование водных ресурсов стало возможным благодаря эффективному взаимодействию между государством и предприятиями по водоснабжению [155].

21 мая 1991 г. была принята Директива ЕС по очистке коммунальных сточных вод (91/271/EWG), регламентирующая действующий порядок удаления сточных вод. Потребитель должен подключить свой участок к системе очистных сооружений, позволяющих удалить сточные воды. Проектирование, строительство и поддержка функционирования очистных сооружений осуществляется, в основном, частными предприятиями, деятельность которых регулируется местным муниципалитетом. Таким образом поддерживается высокий стандарт процесса водоочистки, в связи с чем в Германии фиксируется один из наиболее широких охватов населения

канализационными коммуникациями, достигающий более 93%. Протяженность канализационной сети сточных вод составляет свыше 4800 км [155]. Говоря об энергоэффективности, стоит отметить, что из канализационных стоков извлекается биогаз, использование которого дает 1,3 % электроэнергии в стране. Переработка незначительных объемов стоков не выглядит эффективной, но мощность каждого четвертого очистного предприятия Германии предусматривает утилизацию отходов более чем 10 тысяч человек. На таких сооружениях уже построено несколько блочных ТЭС, что, по ряду оценок, позволит увеличить объем электроэнергии, вырабатываемой с помощью биогаза, в 2-3 раза.

Политика энергоэффективности в Дании всегда была прагматичной с учетом будущего использования энергии. Первый нормативный акт, регламентирующий данную область, появился в стране уже в 1961 г. В рамках него правила энергосбережения касались только теплоизоляции существующих зданий, но, благодаря закону, наименьший расход энергии коснулся уже и нового строительства с дальнейшим внедрением технологий энергетической эффективности, которые помогли строениям стать намного дешевле при эксплуатации, а также экологичнее и комфортнее для проживания.

В 1976 году правительство Дании приняло первый Энергетический план, нацеленный на достижение высоких показателей надежности системы энергоснабжения. Для выполнения поставленной задачи была разработана соответствующая нормативно-правовая база. Основные мероприятия проводились в направлении изменения соотношения потребляемой нефти, поскольку Дания решила существенно снизить зависимость собственного энергетического сектора от нефтяного импорта. Взамен был реализован ряд процедур, направленных на регулирование поставок газа, электроэнергии и тепла, а также регламентирован порядок налогообложения отрасли и зонирования тепловых секторов. Собранные налоговые средства были инвестированы в проекты модернизации теплоэнергетической

инфраструктуры, а выделение тепловых зон позволило уточнить показатели потребления тепла в районе [131].

Второй Энергетический план, принятый в 1980 году, был сосредоточен на сокращение экономических издержек, требующихся для функционирования энергетического сектора. Среди всех представленных методик наиболее экономически эффективной оказалась модель комбинированного производства тепловой и электрической энергии и внедрение систем центрального теплоснабжения. В результате объем тепловой энергии, поставленный посредством центральных тепловых коммуникаций, возрос за шесть лет с примерно 30% до 50%. Также реализация второго Энергетического плана позволила закрепить результаты, достигнутые в ходе проведения мероприятий в рамках первого этапа модернизации энергетики [131].

Принятие в 1990 году третьего Энергетического плана было связано с необходимостью снижения негативного воздействия инфраструктуры энергетического комплекса на окружающую среду. Технологически новый план не внес никаких существенных изменений, однако помог и далее поддерживать качество энергоснабжения в Дании на высоком уровне. В то же время проводились мероприятия по уменьшению объема выбросов в атмосферу углекислого газа; выполнение указанной задачи осуществлялось, в том числе, посредством внедрения в инфраструктуру альтернативных источников энергии – в основном, ветряков. Одновременно был ужесточен стандарт очистки атмосферных выбросов, проведены процедуры по оптимизации энергопотребления и достижение удобоваримых показателей энергосбережения. В результате датский объем энергопотребления в течение последних 20 лет сохраняется на одном и том же уровне и не зависит от роста валового продукта и других секторов экономики [131].

Затрагивая, непосредственно, структуру инженерно-энергетического хозяйства Дании, целесообразно рассмотреть экономический механизм функционирования системы централизованного теплоснабжения страны.

Датское законодательство предусматривает сохранение равенства доходов и расходов, фиксируемого в ежегодной отчетности теплоснабжающих организаций. Если случается так, что, по окончании года, такая компания получила прибыль, то будущий бюджет должен быть составлен таким образом, чтобы компенсация прибыли была произведена за счет снижения тарифа на теплоноситель. И наоборот, если наблюдается дефицит по окончании года, то в следующем году необходима корректировка цены на тепло в сторону увеличения тарифа [141]. Централизованное теплоснабжение в Дании ориентировано на сохранение организационной гибкости и реализацию простейших технологий поставки тепла. Гибкость сектора теплоснабжения предполагает своевременное переключение на более дешевый вид энергоносителя, если используемый тип топлива возрос в цене. Также в Дании успешно функционирует система «пиковых» котельных, которые, в случае технических неполадок или аварии на основной ТЭЦ, готовы принять на себя задачу по обеспечению базовой тепловой нагрузки.

В оптимизации процессов теплоснабжения существенную роль играет особенности ландшафта Дании. Поскольку большая часть страны лежит на равнине, теплоэнергетическая инфраструктура может удовлетворительно работать при относительно низких температурах воды (для прямой воды – 80%, для обратной – до 50%) и показателях напорного давления (не более 6 атмосфер). Использование низкотемпературных и низконапорных коммуникаций позволяет существенно сократить издержки на финансирование энергетической отрасли и добиться высоких показателей энергосбережения и энергетической эффективности [131].

В структуру датского теплоэнергетического сектора входят также и системы децентрализованного теплоснабжения. Некоторые из них обеспечивают подачу тепла путем использования индивидуальных отопительных установок, работающих на природном газе, а другие – посредством применения биологических отходов [141].

Электроснабжение Дании является частью объединенной скандинавской электросети. Цены на данном рынке корректируются достаточно часто и скачки бывают значительными (до 150%). В основном, выработка электроэнергии в стране, происходит с помощью ветряных установок за счет энергии ветра, как одного из возобновляемых ресурсов. Помимо этого, идет значительный перевод ТЭЦ на когенерационные установки (совместной выработки тепла и электроэнергии). В качестве топлива также используются альтернативные источники - биомасса (пеллеты, биоэтанол) и бытовой мусор (сжигание почти 80% отходов) [152].

Водоснабжение и водоотведение в Дании характеризуются всеобщим доступом и хорошим качеством предоставляемых услуг. Характерными чертами этого сектора инженерно-энергетического хозяйства, по сравнению с другими развитыми странами, являются следующие [118]:

- предоставление услуг только государственными и кооперативными поставщиками;
- введение в 1999 году добровольной системы сравнительного анализа;
- значительное повышение эффективности и снижения затрат за счет сравнительного анализа.

В таблице 1.7 представлены данные по обеспеченности системами водоснабжения и водоотведения населения Дании.

Таблица 1.7 – Обеспеченность системами водоснабжения и водоотведения Дании [составлено автором по материалам [118]]

№ п/п	Наименование объекта ИЭК	Обеспеченность, %	
		городское население (85%)	сельские жители (15%)
1.	Водоснабжение	100	100
2.	Водоотведение (канализация)	89	89

Как свидетельствует выше представленная таблица, доступ к системам водоснабжения в Дании является всеобщим. По системам водоотведения – большая часть подключена к центральной канализационной сети, а

оставшиеся 11% обслуживаются местными системами водоотведения, такими как септики. Распространенной энергоэффективной технологией является извлечение биогаза и канализационных стоков. Общее водопотребление в Дании составляет почти 1000 миллионов м³ в год, которое полностью обеспечивается за счет подземных вод. Водоснабжение в Дании сильно децентрализовано, по всей стране расположены большие и маленькие гидроузлы. Несмотря на большое количество коммунальных услуг, 60% питьевой воды доставляется муниципальными коммунальными предприятиями, на которые приходится лишь 6% всех коммунальных услуг. Таким образом, во многих случаях муниципалитеты регулируют определенные аспекты и предоставляют те же самые услуги [114].

Энергетический сектор Канады отличается богатейшим изобилием ресурсов, а также своей близостью к Соединенным Штатам Америки. Занимая пятое место в мире по производству энергоресурсов, Канада также является крупнейшим мировым производителем урана, гидроресурсов, нефти, природного газа и угля. Но, вместе с тем, государство входит и в пятерку стран-лидеров по потреблению энергоресурсов, уступая в этом лишь США, Германии и Китаю. Национальная энергетическая программа (National Energy Program, NEP) – первая энергетическая политика правительства Канады с 1980 по 1986 гг., введенная в рамках энергетического кризиса 70-х годов XX столетия [129]. В течение некоторого периода времени, постепенно, появлялись дополнительные нормативно-правовые основы, регулирующие сферу энергосбережения и повышения энергоэффективности Канады. Стоит отметить, что в стране реализуется масштабная инициатива по внедрению системы Smart Grid, предусмотренная Законом об ответственности при энергосбережении 2006 г. (Energy Conservation Responsibility Act). В рамках этого проекта планируется задействовать 1,3 миллиона клиентов Онтарио [59]. Для интеллектуальных сетей (Smart Grid) характерны следующие признаки [159]:

- способность к самовосстановлению после сбоев в подаче электроэнергии;
- возможность активного участия в работе сети потребителей;
- устойчивость сети к физическому и кибернетическому вмешательству злоумышленников;
- обеспечение требуемого качества передаваемой электроэнергии;
- обеспечение синхронной работы источников генерации и узлов хранения электроэнергии;
- появление новых высокотехнологичных продуктов и рынков;
- повышение эффективности работы энергосистемы в целом.

В Канаде системы централизованного теплоснабжения не получили особого развития, исключая только такие крупные города, как Монреаль, Оттава, Ванкувер, Виннипег [97]. Более половины установленной мощности систем централизованного теплоснабжения сконцентрировано в крупных населенных пунктах с численностью более 100 тыс. чел. (51%), а в сельских населенных пунктах с численностью менее 1 тыс. чел. – только 8% [156].

В Канаде функционируют 80 предприятий, осуществляющих централизованное теплоснабжение, установленная мощность источников теплоснабжения которых составляет 5,3 ГВт [156]. Половина от общего числа источников теплоснабжения была введена в эксплуатацию с 2000 г., четверть – построены в течение последних пяти лет. Развитие технологий и активная государственная поддержка стимулировали ускоренный рост систем централизованного теплоснабжения с конца 1990-х и в начале 2000-х гг. [156]. Основной объем производства тепловой энергии обеспечивают ТЭЦ, при этом их доля в выработке электроэнергии незначительна (1%). В структуре топлива, используемого для производства тепловой энергии в Канаде, доля природного газа составляет 92% и отходов – 8% [106].

Невысокая плотность градостроительной застройки страны способствует, в большей степени, развитию децентрализованных систем - индивидуальных источников тепла. Это обусловлено, в том числе, за счет

сравнительно дешевой стоимости первичных энергоресурсов, а также низких цен на электроэнергию.

В рамках внедрения энергосберегающей политики в системах теплоснабжения государство придерживается следующих мероприятий:

- когенерация – комбинированное производство тепло- и электроэнергии: к примеру, посредством использования мощностей промышленных котельных;
- тепловая утилизация – повторное использование выделенного промышленным оборудованием тепла для нагрева или охлаждения близлежащих строений;
- использование тепла промежуточных продуктов – перенаправление выделенной, допустим, аммиачными газами тепловой энергии для нагрева водных резервуаров, что позволяет уменьшить расход газа и оптимизировать работу системы водного нагрева [126].

Успешную реализацию энергоэффективной политики доказывает система отопления от энергии солнца «DLSC – Drake Landing Solar Community», оборудованная грунтовыми сезонными аккумуляторами и не имеющая теплового насоса. Солнечная отопительная система, оснащенная грунтовым аккумулятором, была введена в эксплуатацию в районе Окотокс еще в 2007 г. и являлась первой системой солнечного отопления Северной Америки, покрывающей более 90% потребности на теплоснабжение частных домов. Данная отопительная система спроектирована таким образом, что в теплый период времени, грунтовой аккумулятор накапливает и хранит энергию до момента ее настоящего использования. Когда теплоноситель в аккумуляторе имеет недостаточную температуру, то в Энергетическом центре района автоматически запускается газовый котел и теплоснабжение осуществляется по традиционной централизованной схеме [148].

Электроснабжение Канады входит в общую энергетическую сеть, состоящую из 12 «ветвей энергоснабжения», функционирующих на территориях США и Мексики. Территория Канады административно

разделена на два пояса: северный, включающий три территории (Юкон, Северные территории, Нунавут) и южный пояс, включающий десять провинций. В силу климатических условий доля выработки электроэнергии составляет порядка 0,2% от общего объема выработки в стране. Большая часть генерирующих мощностей и 80% выработки приходится на четыре провинции (Британская Колумбия – 11,3%, Альберта – 12,6%, Онтарио – 24,2%, Квебек – 31,9%) [120]. Общая установленная генерирующая мощность Канады достигает 143 ГВт, более половины генерации исторически составляет гидроэнергетика. К 2050 году Канада наметила вывод из эксплуатации всей угольной генерации, в этой связи увеличивается доля газовых ТЭС, а вся новая угольная генерация должна соответствовать нормам выброса парниковых газов, сопоставимыми с выбросами газовых станций нового поколения, на таких станциях должно быть установлено оборудование по улавливанию и хранению CO₂ [120]. Установленная мощность четырех канадских АЭС составляет 13500 МВт. Три из четырех АЭС располагаются в Онтарио (18 из 19 реакторов) [120].

Цены на электроэнергию устанавливаются на основе экономически обоснованных расходов («затраты плюс»). Подобная дифференциация ценовой политики на электрообеспечение провинций Канады объясняется, прежде всего, типом генерирующего оборудования и формой организации рынка электроэнергии. Так как власти провинции обладают большими полномочиями, чем федеральные в отношении регулирования рынка электроэнергии, это, соответственно, приводит к дифференциации цен, обусловленной затратами, связанными с типом организации рынка электроэнергии, и различиями в налоговых ставках между провинциями. В целом цены на электроэнергию в Канаде одни из самых низких в мире, благодаря высокой доле выработки электроэнергии на гидроэлектростанциях. Помимо этого, Министерство природных ресурсов Канады ежегодно инвестирует около 3,5 млн. канадских долларов в энергосберегающие проекты, направленные на реформирование энергоснабжения и сокращение потребления дизельного топлива на северо-западных территориях [151]. В рамках данных проектов планируется

создать солнечные электростанции мощностью 1,25 МВт с накопителем энергии 1,5 МВт/час для обслуживания предприятий и жилых домов в Инувике и Икалуите, учитывая, что в весенние и летние месяцы электроснабжение будет осуществляться исключительно за счет солнечной энергетики. Отдача от инвестиционного проекта позволит повысить надежность систем электроснабжения, создать новые рабочие места для жителей северо-западных провинций Канады и ежегодно производить до 1,25 МВт надежной электроэнергии от возобновляемого ресурса, тем самым сократив потребление дизельного топлива на 380 тыс. литров в год [151]. Финансирование оказывает канадское правительство в рамках программы: «Чистая энергия для сельских и отдаленных общин» (Clean Energy for Rural and Remote Communities Program), являющейся одной из частей государственного плана «Инвестирование в Канаду» общим объемом 180 млрд. канадских долларов.

Системы водоснабжения и водоотведения Канады универсальны и обладают хорошим качеством. Но одной из проблем остается нехватка чистой питьевой воды во многих общинах коренных народов. По сравнению с Европейскими странами, уровень по водопользованию в Канаде очень высок. Это обуславливается тем, что тарифы на воду сравнительно низкие и 44% пользователей не имеют приборов учета за потребление ресурса. 50% затрат на содержание и эксплуатацию инфраструктуры водоснабжения возмещается благодаря тарифам, остальная часть – налоги. Что касается водоотведения, то здесь 75% канадцев обслуживаются муниципальными канализационными системами, оставшиеся 25% - системами удаления отходов, такими как септики [160].

Ответственность за проведение энергосберегающих и повышающих энергоэффективность мероприятий возлежит на национальном некоммерческом «Канадском объединении сточных вод», существующем с 1986 года. В его задачи входит защита интересов водно-коммунального хозяйства, в том числе путем поддержки частных поставщиков и партнеров, реализующих свою деятельность в рамках данного сектора. Национальный орган стремится к увеличению показателей энергосбережения, модернизации

нормативно-правового регулирования систем водоснабжения и водоотведения, к поддержке государственных и региональных проектов, научных разработок, стимулирующих внедрение энергетически эффективных технологий. Результатом деятельности «Канадского объединения сточных вод» можно назвать оптимизацию работы коммунальных сетей и подъем показателя информированности общества об инновационных разработках в сфере энергосбережения и повышения энергетической эффективности [48].

Финляндия является абсолютным лидером в разработке стратегий экономии энергии. Правительство организует ежегодные недельные мероприятия и кампании по повышению осведомленности потребителей о концепциях рационального использования энергии. Эти мероприятия поддерживаются компаниями и сообществами по всей Финляндии. Правительство финансирует связанные с энергетикой НИОКР, рассматривая инновации как ключ к достижению национальных целей в области энергоэффективности и климата. Соответственно, Финляндия хорошо известна как инкубатор конкурентоспособных на международном уровне энергоэффективных инноваций. Благодаря холодному климату, показатель экономии ресурсов учитывается при строительстве зданий, организации городского освещения, проектировании систем тепло- и водоснабжения и т.д. И, не смотря на высокие достижения, финны продолжают реализацию программ и внедрение технологий, направленных на экономное и эффективное использование энергоресурсов.

Главными целями энергетической политики Финляндии являются:

- подготовка высококачественной и четкой информации в поддержку процессов принятия решений по энергетической политике;
- планирование эффективной деятельности энергетического рынка и разработка четких базовых правил для него;
- обеспечение более эффективного потребления энергии и увеличение использования возобновляемых источников энергии с расширенным использованием новых технологий;

- приведение к минимуму выбросов от производства и потребления энергии;
- разработка энергетических налогов в соответствии со стратегией;
- обеспечение безопасного использования атомной энергии и обращения с отработавшим ядерным топливом [138].

В Финляндии траты за услуги теплоснабжения – заметная часть расходов у каждого жителя. И, если у владельца частного дома есть возможность как-то влиять на свои расходы по этому направлению, то у жителей многоквартирных домов дела обстоят куда сложнее – они вынуждены пользоваться центральной, по-фински «удаленной», системой теплообеспечения своего жилья.

На данный момент, в Финляндии действует, так называемый, закон двух «Э» - экономия плюс экология. Зачастую, новый частный финский дом черпает энергию, для своего обогрева, из недр земли. В условиях данной страны это очень удобно, так как на глубине почти 200 метров температура может достигать до +10 С°. Финские скалы, являясь своеобразным накопителем, потребляют тепло в летний период, а в переходный период его «отдают». В грунте прокладываются трубки, по которым циркулирует 40% этиловый спирт [119]. В доме устанавливается особое устройство – тепловой насос, позволяющий существенно экономить от 30% электрической энергии и выше. Потратив на работу 1 кВт/час электроэнергии, прибор производит от 2 до 5 кВт/ч тепла. При таких значениях, затраты на устройство окупаются примерно через 5-7 лет эксплуатации в пределах нормы [119]. Единственным минусом является то, что такой тепловой насос эффективен только для небольших домов – не более 120 м² общей площади.

Многоквартирные дома отапливаются по классической системе централизованного теплоснабжения. В стране насчитывается порядка 150 теплоснабжающих компаний, у каждой из которых есть собственные стратегия, тарифы. Муниципалитеты имеют контроль над теплоснабжающими компаниями. Порядка 40 теплоснабжающих компаний занимаются также

выработкой электроэнергии по комбинированному циклу [62]. Тарифы на тепловую энергию в стране имеют свободный характер. При подключении к сетям централизованного теплоснабжения, потребитель обязан заплатить за присоединение к ним. Закон по регулированию сферы теплоснабжения в Финляндии отсутствует, но есть общие правила работы в этой нише бизнеса. Например, Ведомство по конкуренции следит за тем, чтобы не было нарушений (злоупотребления) конкуренции со стороны теплоснабжающих организаций, занимающих доминирующее положение на данном рынке. Основные виды топлива для выработки теплоресурса: уголь, природный газ, торф, городские бытовые отходы и нефтепродукты. Но успешнее всего, в системах централизованного теплоснабжения, используется биомасса, так как:

- выбросы при централизованном производстве тепла за 40 лет сократились почти вдвое с продолжением снижения данного показателя;
- в структуре различных видов топлив, используемых для централизованного теплоснабжения, биомасса занимает более 37%;
- биомасса и другие CO₂ нейтральные источники являются основным источником энергии в 121 муниципалитете Финляндии – трети всех муниципалитетов страны [124].

В рамках энергосберегающей политики, в данном сегменте инженерно-энергетической инфраструктуры, Финляндия использует следующие энергоэффективные мероприятия:

- увеличение доли использования различных видов топлива с низкими выбросами CO₂ в атмосферу.
- развитие когенерации;
- максимальное использование утилизированного тепла от промышленных сбросов;
- развитие тригенерации²;

² Тригенерация – объединение когенерации и централизованного тепло- и водоснабжения

- получение дополнительной прибыли и направление ее на модернизацию сетей теплоснабжения за счет снижения выбросов парниковых газов [62].

Существующие распределительные сети Финляндии сформировались в результате длительного сотрудничества производителей оборудования и сетевых компаний (как частных, так и муниципальных). Для оптимизации распределительных сетей принимались во внимание три основных фактора: эксплуатационные расходы, включая ремонт и обслуживание, надежность и безопасность. Таким образом, существующая система электроснабжения Финляндии – это результат применения проверенных практикой решений, обоснованных как с технической, так и с коммерческой точек зрения [87]. Финская распределительная компания «Kymenlaakson Sahko» активно внедряет интеллектуальные системы учета электроэнергии для производителей и потребителей энергии всех уровней. «Kymenlaakson Sahko» стала системно устанавливать первые приборы учета с дистанционным сбором данных финского производителя Enermet, начиная с 1995 г. В 2010 г. была начата работа по переводу 103 тыс. абонентов на единую систему интеллектуального учёта. В настоящее время компания приступила к четвертой масштабной программе по замене всех ранее установленных приборов учёта на интеллектуальные [132].

Система водоснабжения Финляндии включает в себя почти 1900 водопроводных систем, множество небольших установок для подземных, небольшое количество для поверхностных вод. За счет многоступенчатой системы очистки воды и исправного состояния водопроводных сетей, в финских кранах течет 100-% питьевая вода, которую можно употреблять в любых целях без дополнительной фильтрации.

Системы городского водопроводно-канализационного хозяйства оснащены энергоэффективными радиомодемами «SATEL», которые используются для удаленного управления и мониторинга водопроводных систем и очистных сооружений, позволяя построить гибкую сеть мониторинга

именно там, где она необходима. Система охватывает насосные и распределительные станции, водохранилища и водозаборные пункты [146].

Частные потребители могут использовать два альтернативных способа водоснабжения – централизованный и индивидуальный. В последнем случае на участке производится бурение скважины (стоимость – около 15 тыс. евро), которая позволяет поставлять в дом природную неочищенную воду. Для удаления с частной территории сточных вод потребитель может подключиться к канализационной системе (стоимость установки – около 10 тыс. евро) или вызывать службу ассенизации (один выезд – 70 евро). Нередко домохозяйства стимулируют повышение показателя энергетической эффективности за счет повторного использования воды, очищенной грубым способом (в туалете), или осуществления сбора дождевой воды, которая позволяет обеспечивать некоторые садово-хозяйственные нужды.

Таким образом, была проанализирована политика внедрения механизмов энергосбережения и повышения энергетической эффективности в ряде зарубежных стран. По итогам анализа сформулированы основные мероприятия и комплексные управленческие решения, стимулирующие развитие подходов к энергоэффективности, которые представлены в таблице 1.8.

Представленные в таблице 1.8 основные мероприятия и комплексные управленческие решения, в их совокупном и рациональном применении, станут драйвером активного внедрения механизмов энергосбережения и повышения энергоэффективности на объектах инженерно-энергетической инфраструктуры ряда городов нашей страны.

Таблица 1.8 – Основные мероприятия и комплексные управленческие решения, стимулирующие развитие подходов к энергоэффективности [составлено автором]

№ п/п	Наименование объекта инженерно-энергетической инфраструктуры города	Основные мероприятия и комплексные управленческие решения, стимулирующие развитие подходов к энергоэффективности	Получаемые виды эффекта		
			Финансово-экономический	Социальный	Экологический
1.	Теплоснабжение	<ul style="list-style-type: none"> • Дотационная поддержка за внедрение энергосберегающих мероприятий; • обязательное равенство между доходами и расходами на услуги теплоснабжения; • развитие когенерации и тригенерации; • использование тепла промежуточных продуктов 	<ul style="list-style-type: none"> • Снижение затрат на энергоресурсы; • уменьшение расходов на обслуживание потребителей; • снижение доли топливно-энергетических ресурсов в себестоимости продукции; • экономия и высвобождение бюджетных средств на оплату энергоресурсов; • снижение сумм оплаты за ресурсы в МКД; • невысокий срок окупаемости некоторых энергосберегающих мероприятий 	<ul style="list-style-type: none"> • Снижение платежей за энергоресурсы; • побуждение к ответственности за эффективное использование ресурсов; • соблюдение принципов ESG-концепции в рамках внедрения энергосберегающих мероприятий 	<ul style="list-style-type: none"> • Сокращение ряда воздействий на окружающую среду (выбросов в атмосферу, шум, отходы и т.п); • соблюдение принципов ESG-концепции в рамках внедрения энергосберегающих мероприятий
2.	Электроснабжение	<ul style="list-style-type: none"> • Интеллектуальный учет за расходом электроэнергии; • ценообразование по системе «затраты плюс»; • использование биомассы (пеллеты, биоэтанол) и бытового мусора 			
3.	Водопроводно-канализационное хозяйство	<ul style="list-style-type: none"> • Извлечение биогаза из канализационных стоков для последующего использования в электроэнергетике (1,3%); • эффективная тарифная система «тарифы+налоги»; • многоступенчатая системы очистки воды и исправного состояния водопроводных сетей 			

В целом проблемы повышения энергоэффективности на объектах инженерно-энергетической инфраструктуры города остаются актуальными и требуют значительных инвестиций, а также широкого диапазона времени для внедрения необходимых мероприятий. Однако рассмотренный опыт зарубежных стран, в разрезе энергосберегающей и энергоэффективной политики, может быть полезен для использования в российских реалиях, в том числе для развития современных технологий.

На основе проведенного в рамках первой главы исследования получены следующие результаты:

- раскрыты структура и содержание современного города и рассмотрено его влияние на социально-экономическое развитие региона; рассмотрены различные аспекты проблематики развития и совершенствования современных городов; приведен ряд статистической информации, касающейся уровня урбанизации нашей страны и отдельно взятых зарубежных государств; установлена взаимосвязь отдельных понятий, используемых для обозначения урбанизированных образований; отражены новые тенденции и идеи-концепции развития городов.

- рассмотрено содержание политики энергосбережения и повышения энергетической эффективности города в современных условиях; отражена теоретическая часть вопросов, связанных с энергосбережением и повышением энергоэффективности; раскрыты дефиниции «энергосбережение», «энергетическая эффективность», «ресурсосбережение»; обозначены подходы к совершенствованию энергосберегающей политики на государственном уровне, а также необходимость ее внедрения со стороны производителей энергоресурсов; проанализирован сводный перечень мероприятий обновленного комплексного плана по повышению энергетической эффективности экономики России до 2030 г.; разработана и предложена информационная модель управления инженерно-энергетической инфраструктурой ЖКХ. Отличительной особенностью данной модели является наличие трехконтурной структуры, включающей в себя:

организационно-цифровой контур (обработка и обмен больших массивов данных (Big Data); контур управления производственно-хозяйственной деятельностью (контроль и учет применяемых энергоэффективных технологий); контур взаимодействия инженерно-энергетической инфраструктуры с внешней средой. Предлагаемая модель базируется на обработке и обмене больших массивов данных (Big Data), а также на симбиозе IT и энергоэффективных технологий с объектами инженерно-энергетической инфраструктуры, что позволяет учитывать интересы всех субъектов коммунальной инфраструктуры и энергетики: предприятий инженерно-энергетического комплекса, органов государственной власти и местного самоуправления, предприятий градостроительного комплекса, государственных информационных систем ЖКХ, управляющих компаний и ТСЖ, населения и пр.

Также, на базе предлагаемой модели управления повышением энергоэффективности инженерно-энергетической инфраструктуры ЖКХ, предлагается к внедрению концепт реализации виртуального вычислительно-моделирующего комплекса ИЭИ ЖКХ (ВВМК ИЭИ ЖКХ), суть работы которого заключается в моделировании процесса повышения эффективности использования нового оборудования (материалов, технологий), внедряемых на объектах инженерно-энергетической инфраструктуры на всех стадиях жизненного цикла (ЖЦ);

- отражены проблемы повышения энергоэффективности в сфере инженерно-энергетической инфраструктуры города. Раскрыты и даны четкие определения понятиям «инфраструктура города», «инженерная инфраструктура города», «инженерно-энергетический комплекс города». В подразделах подробно рассмотрены особенности развития систем инженерно-энергетической инфраструктуры ЖКХ на примерах двух городов-мегаполисов страны: Санкт-Петербурга и Москвы.

- рассмотрен зарубежный опыт проведения политики энергоэффективности в сфере инженерно-энергетической инфраструктуры

города в ряде зарубежных стран, где актуальность вопросов экономии энергоресурсов является приоритетной; установлено, что применение таких энергосберегающих технологий является важным инструментом для эффективного развития инженерно-энергетического сектора некоторых городов нашей страны.

Таким образом, исследованный материал, полученный на основе изучения и анализа российского и зарубежного опыта, является важной базой для перехода к разработке методических основ управления повышением энергоэффективности на объектах инженерно-энергетической инфраструктуры города.

ГЛАВА 2. МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ИНЖЕНЕРНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ЖКХ ГОРОДА

2.1. Развитие системы управления повышением энергоэффективности инженерно-энергетической инфраструктуры

Рассмотрение вопросов развития системы управления повышением энергоэффективности объектов инженерно-энергетической инфраструктуры ЖКХ лежит в основе эффективного функционирования и развития городов. Как уже упоминалось ранее, инженерно-энергетический комплекс является одним из наиболее важных составных компонентов инженерной инфраструктуры города в целом и обеспечивает необходимое функционирование систем и подсистем.

В данном диссертационном исследовании повышение энергоэффективности инженерно-энергетической инфраструктуры города направлено на обеспечение развития эффективного производства, передачи и потребления различных видов коммунальных ресурсов потребителям и, прежде всего, населению.

Экономико-организационные основы управления деятельностью на объектах инженерно-энергетического комплекса города, направленные на повышение энергоэффективности их функционирования, определяются объективными факторами, требующими их обязательного учета при разработке как оперативных планов деятельности, так и мер стратегического развития. Важнейшими факторами являются [21;64]:

- большие размеры и сложный характер коммунальных систем городов и населенных пунктов, которые охватывают подсистемы централизованного, умеренно-централизованного, децентрализованного и автономного теплоснабжения, электроснабжения, водоснабжения, водоотведения и газоснабжения;

- взаимозависимость энергетических, технологических, экономических, экологических и социальных параметров и характеристик процессов производства, транспортировки, поставки и использования инженерно-энергетических ресурсов;

- существование различных технологий обеспечения потребителей коммунальными услугами, в первую очередь, комбинированного производства электрической и тепловой энергии, технологий с использованием нетрадиционных и возобновляемых источников энергии, теплонасосных технологий и т.д., наличие которых на рынке обуславливает конкурентную борьбу за потребителя;

- существенное сезонное отличие режимов производства и потребления коммунальных услуг в течение года, при отсутствии эффективных межсезонных (суточных) накопителей тепла требует значительных дополнительно установленных мощностей теплоэнергетического оборудования, которое должно эффективно работать в широких диапазонах изменения внутренних и внешних факторов, прежде всего, изменения температуры наружного воздуха;

- особый статус отдельных объектов коммунального хозяйства: теплоэлектростанций (ТЭЦ) и крупных котельных, входящих в объединенную энергетическую систему России; водоснабжающих станций и опреснителей; станций очистки и аэрации сточных вод; трансформаторных подстанций, ЛЭП и т.п.

- сложный характер и необходимость объектно-согласованного поведения отдельных групп потребителей, в первую очередь, потребителей многоквартирных домов, по использованию различных усовершенствованных технологий и режимов повышения эффективности функционирования объектов инженерно-энергетической инфраструктуры ЖКХ.

Экономика современной отечественной инженерно-энергетической инфраструктуры имеет четко выраженный затратный характер, который не

меняется со времен административно-плановой системы. Ключевыми признаками такого состояния являются следующие:

- отсутствие у предприятий инженерно-энергетического хозяйства стимулов к экономии материальных ресурсов и их эффективного использования, а также к повышению качества обслуживания потребителей коммунальных услуг;

- неэффективная кадровая политика, проявляющаяся в большом количестве недостаточно квалифицированной рабочей силы и, как следствие, низкой производительности труда;

- неэффективность методов государственного управления жилищно-коммунальным хозяйством, основанная на административном воздействии и директивах;

- отсутствие новых механизмов стимулирования инвестиционной деятельности в инженерно-энергетическую инфраструктуру;

- несовершенная тарифная политика: ценообразование базируется на нормативном методе, при этом имеют место нарушения при формировании тарифной базы и региональных повышающих коэффициентов к ней.

Кроме общих проблем данного комплекса, существуют также проблемы регулирования тех предприятий, которые являются субъектами естественных монополий (ЕМ). Они проявляются в выполнении государственными регуляторными органами несовместимых функций. Так, органы власти субъекта РФ совмещают функции: собственника имущества, управления и регулирования. Органы власти пытаются одновременно обеспечить интересы потребителей и максимально реализовать корпоративные интересы предприятий, находящихся в их подчинении. Необходимо искать варианты достижения необходимого баланса и обеспечивать должный уровень управления во всех возможных сценариях развития.

Проведение многовариантных расчетов показателей эффективности управления инженерно-энергетической инфраструктуры однозначно связано с реализацией оптимизационных процедур, которые требуют учета влияния на

эти показатели внешних природных факторов, прежде всего изменения температуры и влажности наружного воздуха, интенсивности солнечной радиации и скорости ветра, и т.п. В совокупности приведенные материалы свидетельствуют о необходимости принятия комплекса мер по повышению энергоэффективности объектов инженерно-энергетической инфраструктуры в городе, основанных результатах многовариантных расчетов, проведенных по модулям имитационной модели, которая будет подробно рассмотрена в третьей главе диссертации.

Как известно, система управления инженерно-энергетической инфраструктурой города охватывает значительное количество объектов жилищного фонда и других строений различных архитектурно-строительных форм, где целесообразно применять следующие современные методы и технологии [56; 75; 76]:

- квазидинамические, детерминированные на интервалах дискретизации временного пространства модели расчетов баланса коммунальных услуг для домов, оперирующих со среднестатистическими нормированными данными, адаптированными к условиям функционирования инженерно-энергетической инфраструктуры;

- фактические или прогнозируемые показатели внешнего климата для каждого географического расположения объектов инженерно-энергетического комплекса.

По вышеуказанным данным, для каждого города, необходимо проведение дополнительных уточняющих исследований с целью выявления конкретных классов, общих характеристик домов и периодов застройки. В систематизированном виде такое дополнительное исследование позволит разработать универсальные методики и модели повышения энергоэффективности объектов инженерно-энергетической инфраструктуры в различных типах зданий и рассчитывать потенциал экономии ресурсов для жилого фонда города, региона и страны в целом.

В Правилах установления требований энергетической эффективности для зданий, строений, сооружений, утвержденных Постановлением Правительства Российской Федерации от 7 декабря 2020 г. № 2035 [4], к показателям энергетической эффективности, относятся следующие показатели, характеризующие годовые удельные величины расхода энергетических ресурсов:

- нормируемые показатели суммарных удельных годовых расходов тепловой энергии на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение; максимально допустимые величины отклонений от нормируемых показателей;

- показатели удельного годового расхода электрической энергии на общедомовые нужды.

Ранее, в анализируемых диссертационных исследованиях по схожей тематике, уже были апробированы подходы и обоснованы новые тенденции и пути повышения эффективности управления энергосбережением в ЖКХ [29]. Однако, в контексте данного диссертационного исследования целесообразно предложить новую дефиницию *«энергетическая эффективность объектов инженерно-энергетической инфраструктуры ЖКХ города»* для наиболее четкого понимания данного процесса. Подобная терминология вводится впервые и упоминания таковой, в различных источниках литературы, проанализированной по данной тематике, не приводится.

Под энергетической эффективностью инженерно-энергетической инфраструктуры ЖКХ города станем понимать достижение надлежащего качества предоставления энергетических услуг при минимальном расходе энергоресурсов и соблюдении экологических требований.

Структура системы управления повышением энергоэффективности инженерно-энергетической инфраструктуры ЖКХ города представлена на рисунке 2.1.

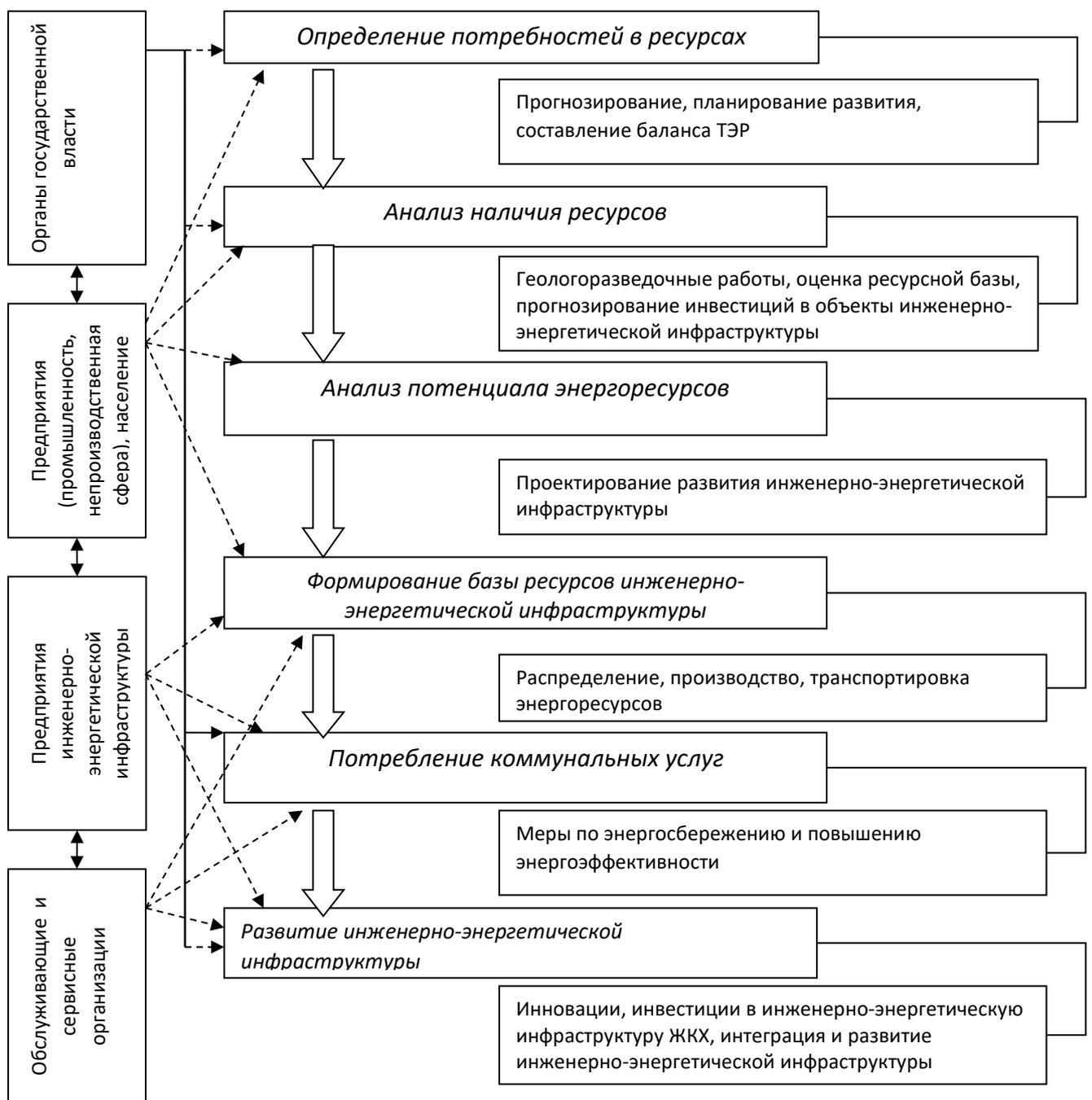


Рисунок 2.1. Система управления повышением энергоэффективности инженерно-энергетической инфраструктуры ЖКХ города [разработано автором]

Под системой управления повышением энергоэффективности инженерно-энергетической инфраструктуры ЖКХ города примем multifunctionalную систему, которая сочетает элементы организационно-административного, нормативно-правового, технико-технологического и технико-экономического управления материально-техническими, топливно-

энергетическими и финансово-экономическими ресурсами субъектов хозяйствования инженерно-энергетической инфраструктуры, направленными на повышение энергоэффективности функционирования и обеспечения условий ее устойчивого развития.

В рамках данной системы представлено разделение блоков мероприятий по субъектам, ответственным за их выполнение:

Для этапа «Определение потребностей в ресурсах» основным является уровень органов государственной власти, которые принимают управленческие решения с учётом интересов основных групп потребителей энергетических ресурсов, т.е. организаций и населения. При этом составляются прогнозы, планы, программы, составление баланса ТЭР.

Для этапа «Анализ наличия ресурсов» ключевым звеном являются крупные энергетические компании, осуществляющие комплекс мероприятий, включая геологоразведочные работы. На данном этапе проводится оценка ресурсной базы и прогнозирование инвестиций в объекты инженерно-энергетической инфраструктуры.

На этапе «Анализ потенциала энергоресурсов» проводится исследование возможностей развития инженерно-энергетической инфраструктуры, поэтому при необходимости могут быть внесены изменения в схемы ее проектирования.

Формирование базы ресурсов инженерно-энергетической инфраструктуры осуществляют предприятия инженерно-энергетического комплекса, которые проводят мероприятия по распределению, производству и транспортировке энергоресурсов.

На этапе «Потребление коммунальных услуг» проводятся меры по энергосбережению и повышению энергетической эффективности.

На основе результатов предыдущих этапов осуществляется дальнейшее развитие инженерно-энергетической инфраструктуры путём принятия принципиальных решений по инновациям, инвестициям, интеграции и развитию.

Таким образом, система управления повышением энергоэффективности объектов инженерно-энергетической инфраструктуры ЖКХ города, по мнению автора, может включать в себя ключевые направления:

- финансово-экономические показатели деятельности (производственные расходы на ТЭР);
- эффективность использования энергетических ресурсов (энергоёмкость, энергосбережение, уровень производительности труда и др.);
- риски и неопределенности, которые связаны с ростом или, наоборот, снижением энергопотребления;
- технологичность использования энергетических ресурсов.

С точки зрения принятого подхода к энергоэффективности такая система является многоуровневой структурой, в качестве элементов которой рассматриваются объекты инженерно-энергетической инфраструктуры:

1) источники тепловой энергии - теплогенерирующие установки, котельные, когенерационные установки, тепловые насосы, использующие для производства теплового ресурса различные виды энергоносителей (органическое топливо, электроэнергию, нетрадиционные и возобновляемые виды энергии, вторичные энергетические ресурсы и т.д.);

2) магистральные и местные (распределительные) тепловые сети, совокупность электроэнергетических установок, теплоэнергетического оборудования и трубопроводов, которые обеспечивают транспортировку теплоносителя от источников тепловой энергии к конечным потребителям;

3) сети электроснабжения и ЛЭП;

4) сети водопроводно-канализационного хозяйства;

5) газораспределительные узлы и трубопроводы;

6) инженерные сооружения, другое основное и вспомогательное оборудование, используемое для обеспечения безопасной и надежной эксплуатации.

С точки зрения ключевого многоуровневого организационно-технологического управления, решается задача выбора рационального уровня организационно-функциональной самостоятельности элементов (объектов, субъектов хозяйствования) системы в пределах внутрисистемных ограничений, регулируемых выше расположенными субъектами (объектами), где в качестве критериев оптимальности служат показатели экономической, энергетической, экологической эффективности функционирования этих субъектов (объектов). Прежде всего, к ним относятся такие показатели, как прибыль, рентабельность производства, коэффициент полезного действия (КПД), уровень выбросов загрязняющих веществ в атмосферу. В качестве энерготехнологического объекта управления, рассматривается инженерно-энергетическая инфраструктура города, которая является одной из определяющих составляющих топливно-энергетического комплекса (ТЭК) страны, сочетающая в себе предприятия централизованного теплоснабжения, объединенные в городские подсистемы, деятельность которых регулируется государственными органами на федеральном, региональном и местном уровнях.

На основе анализа нормативно-правовых документов и практических аспектов функционирования коммунального сектора определены основные участники и объекты инженерно-энергетической инфраструктуры, а также механизм их связи и взаимодействия. Представлена система управления повышением энергоэффективности объектов инженерно-энергетического комплекса и сформулирован подход к определению энергоэффективности объектов инженерно-энергетической инфраструктуры ЖКХ. Отметим, что введение такого подхода, на уровне города, является сложным процессом, так как с точки зрения теории и практики управления объектами инженерно-энергетического хозяйства, данная система является многоуровневой, иерархически упорядоченной и организационно-технологической, структура которой определяется подсистемами административного управления, нормативно-правовым и организационным регулированием

технологическими подсистемами производства, транспортировки и использования (потребления) энергетических ресурсов.

2.2. Формирование экономико-организационного механизма повышения энергоэффективности инженерно-энергетической инфраструктуры

Формирование экономико-организационного механизма повышения энергоэффективности инженерно-энергетической инфраструктуры города, а также специфика его функционирования опирается на субъекты управления, которые включают следующих основных участников:

1. Потребителей ТЭР и коммунальных услуг различных форм собственности (государственной, частной (коммерческой), кооперативной, совладельцев многоквартирных домов и отдельных категорий населения, арендаторов и т.д.), в совокупности образуя местные потребительские рынки энергоресурсов.

2. Предприятий и организаций по снабжению первичных ТЭР (газа, угля, торфа, нетрадиционных и возобновляемых источников энергии и т.д.), выработки, и предоставления коммунальных услуг по газо-, тепло- и электроснабжению, которые в совокупности образуют местные рынки поставок энергоресурсов и коммунальных услуг.

3. Управляющих компаний в сфере предоставления жилищно-коммунальных услуг, которые совокупно образуют местный рынок услуг управляющих компаний, где они конкурируют с другими местными предприятиями в сфере энергообеспечения за право предоставления потребителям коммунальных услуг с учётом показателей качества и эффективности;

4. Энергосервисных компаний, которые конкурируют на местном рынке энергосервиса за право предоставления другим участникам местной системы энергообеспечения услуг по повышению энергоэффективности использования

топливно-энергетических и природных ресурсов, включая реализацию энергоэффективных мероприятий;

5. Органов и специализированных подразделений государственной и местной власти, ответственных участников-координаторов инженерно-энергетической инфраструктуры города (специальные комитеты и ведомства).

Взаимодействие участников инженерно-энергетической инфраструктуры в городе будет эффективным, если собственные (локальные) цели и задачи каждого участника согласуются с глобальной целью системы энергоэффективного управления в городе при условии обеспечения надлежащего качества услуг и минимизации негативного экологического воздействия. При этом следует учитывать, что энергоснабжающие организации, в условиях отсутствия конкуренции и надлежащего контроля за их деятельностью со стороны органов властей и потребителей, не являются мотивированными к решению вопросов повышения энергоэффективности, поскольку в российских условиях это связано с большими рисками невозврата вложенного капитала. В тоже время в распоряжении органов власти есть целый набор инструментов (методов и средств) по повышению дееспособности программы реализации энергоэффективных мероприятий и предоставления энергоэффективных услуг.

В этом контексте повышение энергоэффективности должно рассматриваться как важнейшая цель управления системой. Снижение расходов всех видов энергетических ресурсов является не целью управления энергоэффективностью, а средством её достижения. Управление энергоэффективностью объектов инженерно-энергетической инфраструктуры целесообразно понимать как комплекс действий, направленных на оптимизацию использования энергетических ресурсов, которая предусматривает лучшую их комбинацию с учетом их объема, удельных затрат, стоимости, инновационности и других аспектов для достижения максимального эффекта от их использования.

Экономико-организационный механизм повышения энергоэффективности инженерно-энергетической инфраструктуры ЖКХ города представляет собой совокупность средств и методов формирования условий для оптимального использования энергетических ресурсов, а также деятельность органов управления по выработке мероприятий в сфере энергоэффективности, определения и результативного применения методов ее реализации. Таким образом, экономико-организационный механизм повышения энергоэффективности — это определенный вид действий, ведущих к оптимизации энергопотребления объектов инженерно-энергетического комплекса, стимулированию производства и предоставления потребителям энергоэффективных услуг.

Основными структурными элементами механизма являются: регулятивные нормы, нормативно-правовые акты, информационно-цифровые, экономические, административно-контрольные механизмы, контроль и мониторинг функционирования системы. В общем виде систематизировать элементы экономико-организационного механизма можно с помощью схемы, представленной на рисунке 2.2.

Все элементы предлагаемого механизма систематизированы по блокам, которые должны реализовываться в едином ключе:

- регулятивные элементы повышения энергоэффективности включают в себя нормативно-правовые акты, стандарты минимального энергопотребления, энергетическую сертификацию, стандартизацию в области энергоэффективности, нормирование;

- информационно-цифровые элементы повышения энергоэффективности включают: информационные компании, информационно-аналитические системы, интегрированные платформы, виртуальные моделирующие комплексы, энергетическую маркировку, энергетический менеджмент, управление энергоэффективностью;

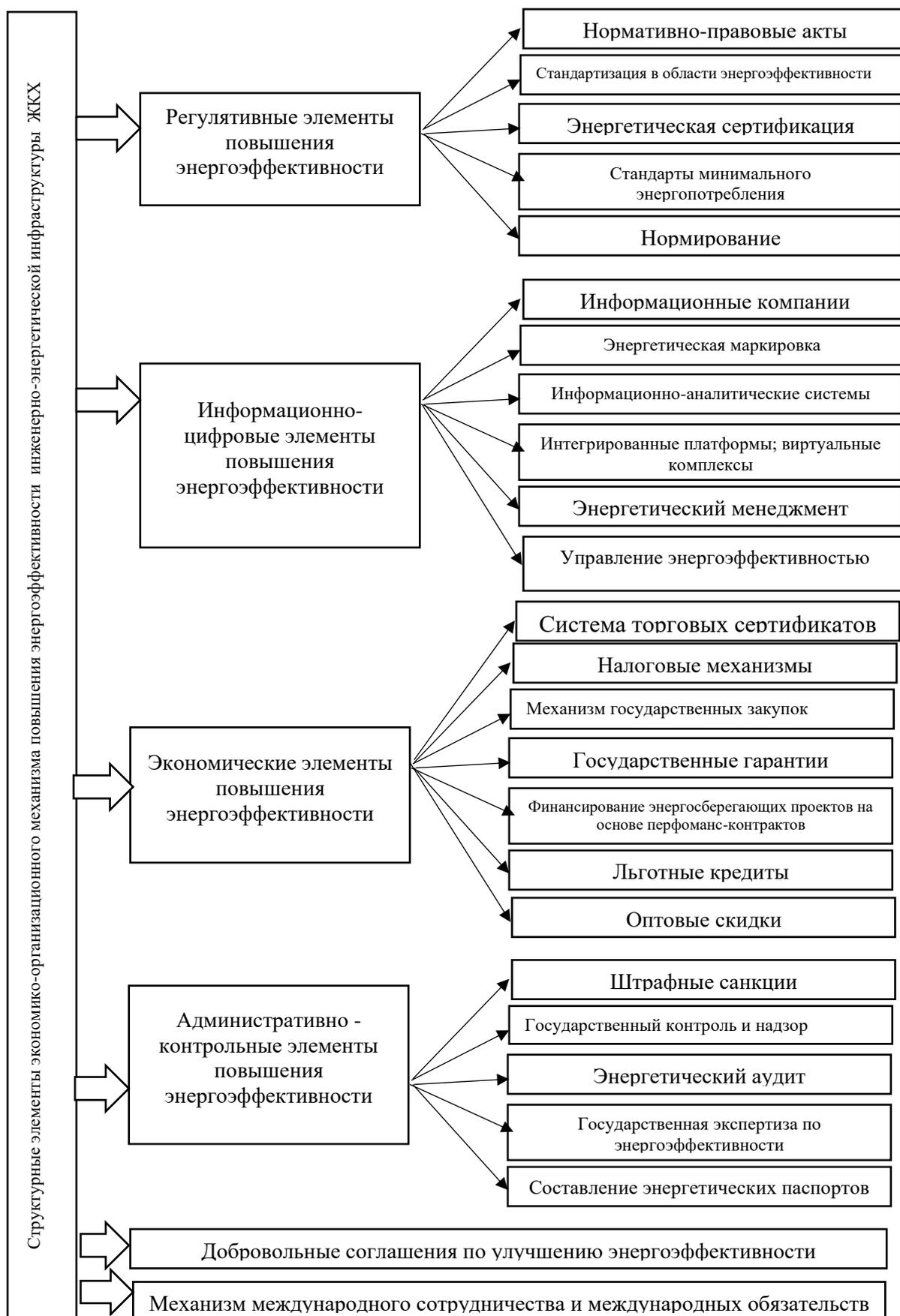


Рисунок 2.2 – Структурные элементы экономико-организационного механизма повышения энергоэффективности инженерно-энергетической инфраструктуры ЖКХ города [разработано автором]

- экономические элементы повышения энергоэффективности включают в себя: систему торговых сертификатов, налоговые механизмы; механизм государственных закупок; государственные гарантии; льготные кредиты; оптовые скидки; финансирование энергоэффективных проектов на основе перфоманс-контрактов;

- административно - контрольные элементы повышения энергоэффективности включают: штрафные санкции, государственный контроль и надзор, энергетический аудит, государственную экспертизу по энергоэффективности, составление энергетических паспортов.

Отдельными элементами механизма являются добровольные соглашения по улучшению энергоэффективности и механизм международного сотрудничества и международных обязательств.

В комплексе взаимодействие всех элементов механизма позволит обеспечить повышение энергоэффективности инженерно-энергетической инфраструктуры ЖКХ города и, в перспективе, энергетического сектора экономики на уровне государства.

Ряд ученых [20;61;74], рассматривая организационно-экономический механизм обеспечения энергоэффективности, к его составляющим относят экономико-энергетические обследования, определение потенциала энергосбережения и повышения энергоэффективности, формирование мероприятий по энергосбережению, технико-экономическое сравнение и реализацию мероприятий по энергосбережению и энергоэффективности, мониторинг состояния и др.

Эти составляющие, в большей степени, являются технологией влияния, или последовательностью действий. В общем виде механизм управления должен состоять из субъекта, объекта, цели и задач управления, принципов, методов, технологии управления и средств воздействия и контроля.

Экономико-организационный механизм повышения энергоэффективности инженерно-энергетической инфраструктуры ЖКХ города целесообразно определить как упорядоченное и последовательное

использование комплекса способов, методов, рычагов и принципов воздействия для достижения целей по повышению энергоэффективности. Схематично функционирование данного механизма, основанного на сочетании субъектов влияния, целей и задач, принципов, методов, средств, технологий (последовательности и порядка применения инструментов) воздействия и объекта воздействия, представлено на рисунке 2.3.

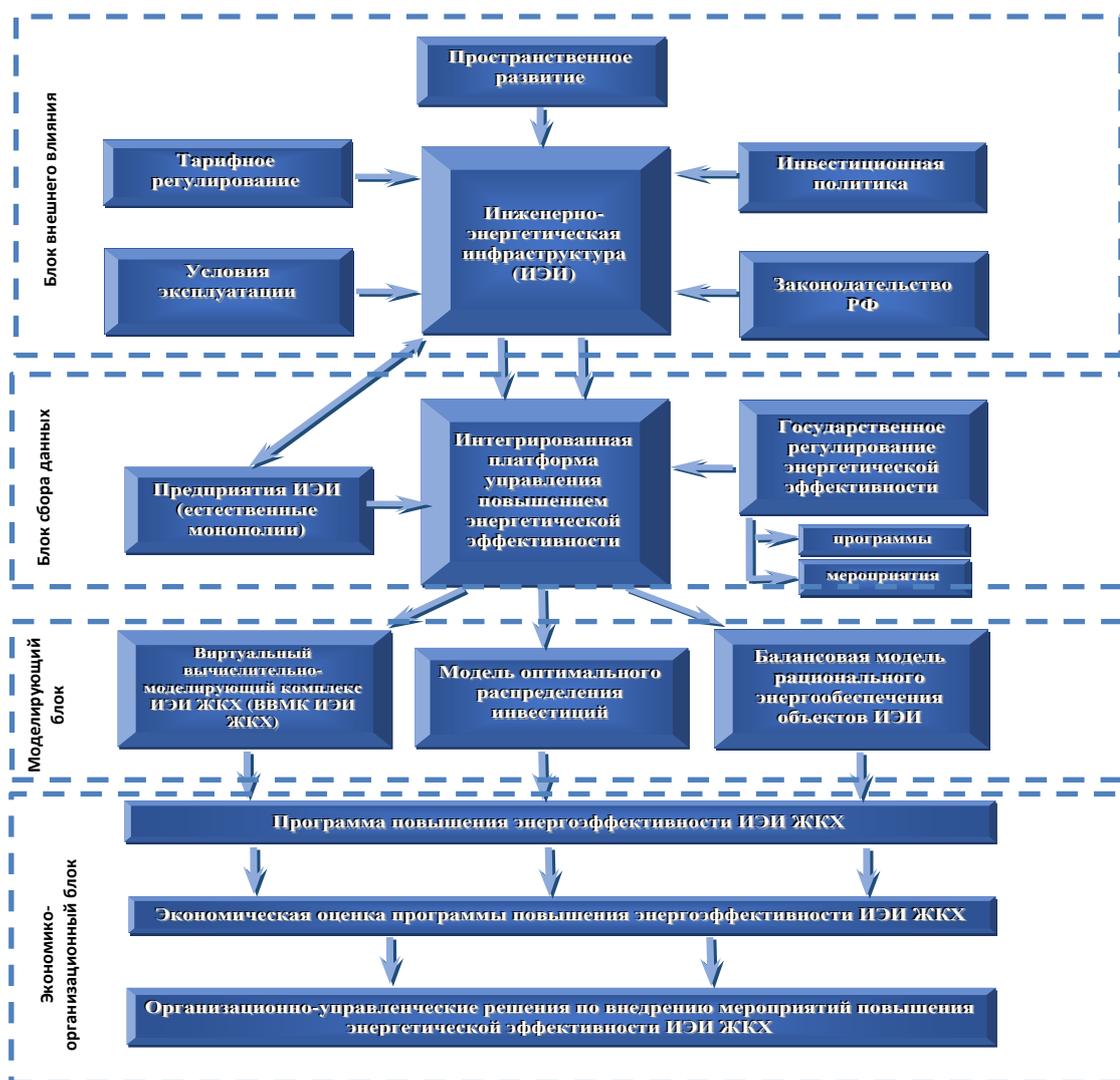


Рисунок 2.3. Схема функционирования экономико-организационного механизма повышения энергоэффективности инженерно-энергетической инфраструктуры ЖКХ города [разработано автором]

В этом механизме основными субъектами регулирования являются органы управления компаний инженерно-энергетической инфраструктуры

ЖКХ города. Целью и задачами данного механизма являются: экономически эффективное развитие инженерно-энергетической инфраструктуры города; создание условий для надежного и качественного удовлетворения спроса на энергетические ресурсы; повышение энергетической безопасности государства; повышение эффективности потребления и использования энергоресурсов; уменьшение негативного воздействия на окружающую среду и обеспечение гражданской защиты в сфере техногенной безопасности. Более конкретными целями являются: повышение энергоэффективности производства по сравнению с базовым годом путем внедрения энерго- и ресурсосбережения на объектах инженерно-энергетической инфраструктуры города; увеличение объема использования возобновляемых и альтернативных источников энергии.

Схема функционирования данного механизма условно разделена на четыре блока, каждый из которых включает свою зону ответственности:

- *блок внешнего влияния* позволяет инженерно-энергетической инфраструктуре учитывать данные со стороны объектов внешнего воздействия: пространственного развития, тарифного регулирования, условий эксплуатации, инвестиционной политики и законодательства РФ;

- *блок сбора данных* аккумулирует данные в интегрированную платформу управления повышением энергоэффективности с учетом информации, полученной с предприятий-естественных монополистов ИЭИ и со стороны государственного регулирования вопросов энергоэффективности;

- *моделирующий блок* отвечает за разработку моделей совершенствования процессов энергосбережения и повышения энергетической эффективности, таких как: виртуальные вычислительно-моделирующие комплексы, модели оптимального распределения инвестиций в энергоэффективные мероприятия, балансовые модели рационального энергообеспечения объектов ИЭИ;

- *экономико-организационный блок* отвечает за разработку сводной программы по повышению энергоэффективности ИЭИ с учетом ее

дальнейшей экономической оценки, а также за разработку организационно-управленческих решений по внедрению мероприятий, направленных на повышение энергоэффективности объектов ИЭИ.

Основная задача состоит в создании энергосберегающей и энергоэффективной инженерно-энергетической инфраструктуры города. Технология управления энергоэффективностью охватывает условия применения тех или иных методов и соответствующих средств, их последовательность, порядок использования и способы сочетания. Меры управления достаточно многочисленны и имеют постоянные резервы совершенствования. Комплекс мероприятий представлен в программах энергосбережения и энергоэффективности, причем для большинства из них определены исполнители, источники финансирования и сроки реализации. Однако следует отметить, что оптимизация использования и сочетания этих средств, в долгосрочной перспективе (по критерию эффективности и выбору тех средств, последствия воздействия которых являются лучшими), является проблемным вопросом. Предложенная модель механизма повышения энергоэффективности инженерно-энергетической инфраструктуры жилищно-коммунального хозяйства города будет полезной для ученых и практиков при детализации и композиции средств воздействия.

Дальнейшее исследование требует решения вопросов использования в механизме управления повышения энергоэффективности методов моделирования данных процессов.

2.3. Моделирование процессов повышения энергоэффективности инженерно-энергетической инфраструктуры

В структуре инженерно-энергетической инфраструктуры города значительное место занимают трубопроводные системы энергетики, к которым относятся системы теплоснабжения, водоснабжения (ГВС и ХВС), водоотведения и газоснабжения. Значительная энергоемкость таких систем, дефицит и высокая стоимость топливно-энергетических ресурсов приводит к

необходимости разработки проектов и программ, направленных на качественное и эффективное управление внедрением инновационных энергосберегающих и энергоэффективных технологий в инженерно-энергетическом комплексе города.

При моделировании процессов повышения энергоэффективности объектов инженерно-энергетической инфраструктуры могут возникнуть некоторые трудности. Во-первых, требуемая вычислительная нагрузка значительно выше, чем требуется для моделирования отдельных объектов, поскольку задача моделирования городской инженерно-энергетической инфраструктуры нередко включает сотни или даже тысячи объектов. Во-вторых, информация и данные, необходимые для проведения моделирования городской энергетики, многомерны, и труднодоступны. В-третьих, проведение моделирования процессов повышения энергоэффективности объектов инженерно-энергетической инфраструктуры города часто включает несколько программных продуктов, что тоже вызывает определенные сложности.

Кроме того, из-за наличия различных методов для выполнения этой задачи, как описано выше, важно понимать преимущества и недостатки каждого метода. Это может помочь при выборе наиболее подходящего варианта в реальных приложениях. Подходы по принципу «сверху вниз» (нисходящие) имеют высокую скорость обработки и легко интегрируются с общей политикой, но они не могут сочетаться с пространственной формой и имеют низкий уровень точности. Такой подход часто использует взаимодействие энергии и экономики для оценки потребления энергии в городах. Помимо экономических переменных, некоторые нисходящие модели также учитывают физические факторы, такие как погодные или климатические условия.

Подход по принципу «снизу вверх» (восходящий) моделирует городскую энергетику на уровне здания, что легко комбинируется с пространственной формой и имеет более высокий уровень точности. Такой

подход включает три метода: метод физической модели, гибридный метод и метод, управляемый данными.

Метод физической модели является наиболее часто используемым для моделирования городской энергетики [26;68]. При этом моделирование опирается на тепловую модель здания для расчета энергопотребления или нагрузки отдельных зданий, а затем интегрирует эти факторы для получения соответствующей информации на городском уровне. Типичными репрезентативными методами являются метод модели архетипа и метод детальной модели.

В методе модели архетипа расчет энергопотребления отдельного объекта проводится с использованием сложной, динамической и подробной модели, а массивные городские здания суммируются в несколько архитектурных прототипов с общими правилами энергопотребления, тем самым рассчитывая энергопотребление всего города. Другой метод детальной модели, также называемый методом 3D CityGML, представляет собой метод моделирования энергопотребления, основанный на методе набора данных, который может моделировать исчерпывающую городскую информацию [105].

В моделировании, в качестве входных данных, используются такие характеристики, как тип нагрузки, площадь застройки, геометрия теплосети и негеометрическая информация.

В настоящее время использование указанных методов сталкивается со следующими проблемами:

- трудно получить детальную информацию о городских застройках и негеометрическую информацию, такую как коэффициент теплопередачи оболочки, необходимую в процессе моделирования;

- нет четкого программного обеспечения для моделирования городской энергетики.

Самая большая трудность при разработке программного обеспечения — это определение того, как связать информацию о геометрии городских зданий,

негеометрическую информацию и программное обеспечение для моделирования энергопотребления.

Основными вариантами использования модели являются: сравнительный анализ энергопотребления, городское энергетическое планирование, необходимое для оценки лучших стратегий оптимизации энергетических систем, анализ модернизации энергоснабжения для оценки различных сценариев модернизации и поддержки лиц, принимающих решения оперативное управление зданием, необходимое для улучшения эксплуатации строительного фонда в городском масштабе, оценка солнечного фотоэлектрического потенциала и визуализация городского микроклимата.

Вопросы моделирования должны учитывать характеристики фонда зданий и механизм, позволяющий визуализировать (представить графически) характеристики зданий. Это позволяет оценивать профили нагрузки здания для анализа оптимизированных систем централизованного энергоснабжения. Такая модель может моделировать объекты инженерно-энергетической инфраструктуры, интегрированные в энергосеть на районном уровне. Ее использование должно позволять запускать моделирование энергопотребления и напрямую сравнивать сценарии для быстрой оценки потенциала энергоэффективности, объединяя несколько наборов данных и выполняя динамическое моделирование для оценки использования энергии. В таблице 2.1 представлена сводная информация о характеристиках отдельных имитационных моделей энергообеспечения инженерно-энергетической инфраструктуры.

Таблица 2.1 - Основные характеристики отдельных имитационных моделей энергообеспечения инженерно-энергетической инфраструктуры города [составлено автором по материалам [92;93;95;108;111]]

Инструмент	CitySim	SimStadt	Umi	CityBES	OpenIDEAS	CEA	URBANopt	TEASER
Год	2009 г.	2013	2013	2015	2015	2016	2016	2018
Разработчик	EPFL	Штутгартский университет	Массачусетский технологический институт	LBNL	KU Leuven	ETH Цюрих и Сингапур	NREL	RWTH Ахенский университет
URL	https://citysim.epfl.ch/	http://www.simstadt.eu/de/index.jsp	http://web.mit.edu/sustainabledesignlab/projects/umi/	https://citybes.lbl.gov/	https://github.com/open-ideas	https://cityenergyanalyst.com/	https://www.nrel.gov/buildings/urbanopt.html	https://github.com/RWTHAACHEN/TEASER
Статус	Активно поддерживается	Активный, в разработке	Активный, в разработке	Активный, в разработке	Активно поддерживается	Активный, в разработке	Активный, в разработке	Активный, в разработке
Доступность	Бесплатно	Не публикуется публично	Бесплатно, но требуется лицензия Rhinoceros 6	Бесплатно, при поддержке разработчиков	Бесплатно	Бесплатно	Не публикуется публично	Бесплатно
Подход к моделированию	Уменьшенная модель RC (решатель CitySim)	Модель RC сокращенного порядка (ISO 13790)	Физическая модель с тепловым балансом (EnergyPlus)	Физическая модель с тепловым балансом (EnergyPlus + OpenStudio)	RC-модель пониженного порядка (FastBuildings)	Модель RC сокращенного порядка (адаптирована к ISO 13790)	Физическая модель с тепловым балансом (EnergyPlus)	Уменьшенная модель RC
Вычислительная платформа	Персональный компьютер	Персональный компьютер	Персональный компьютер	Интернет	Персональный компьютер	Персональный компьютер	Компьютер высокой производительности	Персональный компьютер

Инструмент	CitySim	SimStadt	Umi	CityBES	OpenIDEAS	CEA	URBANopt	TEASER
Примеры использования	Университетский кампус EPFL, район Ла Жонкшн (Женева), Наблус	Грюнбюль (Людвигсбург), Ринтхайм (Карлсруэ), Боспольдер (Роттердам)	Бостон, район Кувейта Кампус университета MIT	Различные районы Сан-Франциско	Бельгийский городской квартал, бельгийский жилой квартал с нулевым потреблением энергии	Один центральный район в Цюрихе, городской квартал в Цуге	Национальный западный центр и округ Сан-Вэлли	Исследовательский кампус в Германии, Бад-Годесберг (Бонн)
Основная структура	Четыре основные модели: 1) тепловая модель, 2) модель излучения, 3) поведенческая модель, 4) модель завода и оборудования + возможная интеграция с инструментарием многоагентного транспортного моделирования (MATSim-T).	Энергетический анализ с использованием ISO 13790 и оценка солнечного потенциала через онлайн-базу данных (например, PVGIS) или файлы данных о погоде (например, Meteonorm).	Шесть модулей: 1) модуль дневного света, 2) модуль энергии, 3) модуль жизненного цикла, 4) мобильность, 5) модуль участка, 6) модуль сбора урожая для производства продуктов питания.	Три основных раздела (районное строительство, моделирование и анализ и городской климат). Раздел «Моделирование и анализ» включает пять вспомогательных инструментов (сравнительный анализ, сценарии модернизации, возобновляемые источники энергии, жизненный цикл парниковых газов и моделирование).	Три компонента: 1) системы (библиотека Modelica IDEAS), 2) стохастическое поведение жилых помещений (Python StROBe), 3) моделирование здания (библиотека Modelica FastBuildings + GreyBox)	Семь баз данных (погода, городская среда, энергетические услуги, преобразование, распределение, системы и цели) и шесть модулей (спрос, ресурсный потенциал, системные технологии, система снабжения, решение, анализ)	Три основных компонента: 1) 3D-модели энергообеспечения зданий на основе картографических изображений и данных выставления счетов, 2) COFFEE в качестве платформы моделирования и 3) Библиотека компонентов здания (BCL) для мер по энергосбережению и анализа модернизации.	Три основных пакета: 1) пакет данных (который позволяет вводить данные и считывать выходные данные), 2) пакет логики (который помогает в манипулировании данными) и 3) пакет графического интерфейса пользователя.

Как следует из материалов табл. 2.1, существует большое количество моделей, многие из которых являются инструментами, поддерживающими развитие инженерно-энергетической инфраструктуры города.

Представленный качественный обзор энергетических зарубежных моделей создает возможность выделить следующие тенденции в анализе взаимосвязи экономики и энергетики [94;104]:

- усиление внимания к оценке зависимости потребностей в топливе и энергии;
- расширение круга рассматриваемых внешних связей объектов инженерно-энергетической инфраструктуры города и стремление учесть комплексное воздействие стратегий развития энергетики на экономику;
- переход от использования отдельных экономических энергетических моделей до их синтеза.

Реализация многоуровневого моделирования потребует координации и взаимосвязи процессов верификации и валидации структуры и параметров модели на всех уровнях ее построения, включая этапы сбора и анализа исходных данных, разработку концептуальной схемы, программирование, тестирование и калибровку, проведение многовариантных численных экспериментов и т.п. Такую координацию следует осуществлять на основе системного подхода в виде итерационного процесса балансировки интересов трех вертикально-интегрированных иерархически расположенных подсистем (модулей) с собственными целевыми функциями.

При моделировании управления повышением энергоэффективности инженерно-энергетической инфраструктуры ЖКХ города, среди основных факторов, требующих учета, прежде всего нужно определять следующие:

1. Изменение структуры и режимов потребления в многоэтажных домах в результате перехода доли потребителей системы централизованного отопления на автономное (децентрализованное);
2. Изменение структуры системы централизованного теплоснабжения (СЦТ);

3. Оптимизация режимов отопления домов путем перехода с одного температурного графика на другой;

4. Оптимизация структуры тепловых сетей и размещения районных котельных (подключение нескольких «кустов» жилых зданий);

5. Внедрение инвестиционных проектов по энергосбережению и повышению энергоэффективности использования тепловой энергии на отопление и горячее водоснабжение жилых и общественных зданий.

Особо следует отметить, что в условиях рыночной экономики уменьшение тепловой нагрузки происходит не только в рамках повышения энергоэффективности. При различных объективных и субъективных причинах, вследствие дискриминационной ценовой и тарифной политики государства по отношению к потребителям, возникают и другие факторы, приводящие к уменьшению нагрузки системы. Это, в первую очередь, отказ потребителей от услуг централизованного теплоснабжения. Эта тенденция является типичной для большинства городов в России на протяжении последних двух десятилетий [123]. Такое решение является экономически привлекательным для определенной части потребителей, но не для системы в целом, поскольку первые гораздо меньше тратят денег на отопление собственных помещений по той причине, что цены на природный газ для населения в несколько раз меньше, чем для предприятий, которые предоставляют населению аналогичные услуги централизованного теплоснабжения.

Ниже представлены математические модели процессов повышения энергоэффективности и определения энергетического потенциала объектов инженерно-энергетической инфраструктуры ЖКХ города.

Реализацию проектов совершенствования режимов производства и потребления энергетических ресурсов определим на основе представления с позиций системного подхода к процессам повышения энергетической эффективности. Функционирование данной системы представляется в виде следующих уравнений [36]:

$$TC_t = \sum_i TC_{i,j} = \sum_j TC_{j,t} \quad (2.1)$$

$$TC_{i,j} = \sum_t TC_{i,j,t} \quad (2.2)$$

$$TC_{j,t} = \sum_i TC_{i,j,t} \quad (2.3)$$

$$\alpha_t = TC_{i,t} / TC_t \quad (2.4)$$

$$\beta_t = TC_{j,t} / TC_t \quad (2.5)$$

где TC_t - общее потребление первичной энергии в году t (т.у.т) – включает в себя объемы потребляемой первичной энергии всеми субъектами потребления коммунальных услуг в городе;

$TC_{i,t}$ - общее энергопотребление топлива типа i в году t (т.у.т) – включает общий объем потребляемого топлива для производства необходимого количества TC_t ;

$TC_{j,t}$ - общее энергопотребление сектора j в году t (т.у.т) – включает в себя объемы потребляемой первичной энергии субъектами сектора j потребления коммунальных услуг в городе;

$TC_{i,j,t}$ - энергопотребление топлива типа i в секторе j в году t (т.у.т) – включает общий объем потребляемого топлива типа i для производства необходимого количества $TC_{j,t}$;

α_t - доля топлива типа i в общем потреблении энергии в году t (%);

β_t - доля сектора j в общем потреблении энергии в году t (%).

Данная система, описанная уравнениями 2.1-2.5, представляет собой математическое представление баланса всех видов энергии и процессов формирования данного баланса: производства и потребления. Такой подход позволяет получить информацию по потребляемым ресурсам энергии и видах топлива, необходимого для ее сбалансированного производства по отраслям ЖКХ города. Помимо этого, данная информация позволит обеспечить сбалансированность производства энергетических ресурсов коммунальной инфраструктуры и энергетики города необходимыми видами топлива [36].

В качестве предложения по моделированию процессов повышения энергоэффективности объектов инженерно-энергетической инфраструктуры города, разработана математическая модель определения энергетического потенциала объектов коммунальной инфраструктуры города, которая включает в себя четыре основных элемента: энергетические ресурсы инженерно-энергетической инфраструктуры города, уровень потребления энергетических ресурсов инженерно-энергетической инфраструктуры; генерирующие мощности инженерно-энергетической инфраструктуры; возможности сетевого комплекса инженерно-энергетической инфраструктуры города (сети тепло-, газо-, водоснабжения, водоотведения, ЛЭП). Данную модель представим в виде объединения четырех ключевых компонентов:

$$E = R \cup S \cup G \cup T \quad (2.6)$$

где E - энергетический потенциал объектов коммунальной инфраструктуры крупного города;

R - энергетические ресурсы коммунальной инфраструктуры города;

S - уровень потребления энергетических ресурсов коммунальной инфраструктуры города;

G - генерирующие мощности коммунальной инфраструктуры города;

T - возможности сетевого комплекса коммунальной инфраструктуры города (сети тепло-, газо-, водоснабжения, водоотведения, ЛЭП).

Выражение 2.6 показывает, что энергетический потенциал включает в себя объединение потенциала (возможного уровня использования) четырех основных компонентов.

Оптимальным является значение, когда выполняется условие $S \leq G$ (R, T). В других случаях придется либо покупать, либо продавать энергетические ресурсы: $S \rightarrow \text{opt}$, если $G(R, T) \rightarrow \text{opt}$ или $T \rightarrow \text{opt}$, $R \approx \text{const}$. То есть, потребление энергоресурсов меньше, чем возможности генерирующих мощностей коммунальной инфраструктуры производить необходимый уровень энергоресурсов за счет используемых ресурсов.

Энергетические ресурсы инженерно-энергетической инфраструктуры города R предлагается разделить на следующие составляющие.

$$R = R_{\text{ТР}} + R_{\text{ВИЭ}} + r \quad (2.7)$$

где $R_{\text{ТР}}$ - традиционные энергетические ресурсы;

$R_{\text{ВИЭ}}$ - ресурсы нетрадиционных и возобновляемых источников энергии;

r - вторичные энергетические ресурсы.

При этом уровень энергетического потенциала инженерно-энергетической инфраструктуры города не меняется, однако баланс его составляющих может меняться. Наиболее эффективным использованием ресурсного потенциала инженерно-энергетической инфраструктуры города $R \rightarrow \text{opt}$ наступает при условии $R_{\text{ТР}} \rightarrow \text{opt}$; $R_{\text{ВИЭ}} \rightarrow \text{max}$; $r \rightarrow \text{max}$. Причем потери энергетических ресурсов должны быть минимальными.

$$\Delta W_R = (\Delta W_{\text{ТР}} + \Delta W_{\text{ВИЭ}} + \Delta W_r) \rightarrow \min \quad (2.8)$$

$\Delta W_{\text{ТР}}$ – потери традиционных источников энергии;

$\Delta W_{\text{ВИЭ}}$ – потери нетрадиционных и возобновляемых источников энергии;

ΔW_r – потери вторичных энергетических ресурсов.

Что касается генерирующих мощностей G , то их составляющими составят:

$$G = G_{\text{ТР}} + G_{\text{ВИЭ}} + G_r \quad (2.9)$$

где $G_{\text{ТР}}$ - традиционные генерирующие мощности;

$G_{\text{ВИЭ}}$ - генерирующие мощности нетрадиционных и возобновляемых источников энергии;

G_r - генерирующие мощности вторичных энергетических ресурсов.

Использование предложенной модели поможет рационально распределять энергетические ресурсы объектов инженерно-энергетической инфраструктуры при заданных параметрах и условиях и повысить ее энергоэффективность.

Постановку задачи поиска оптимального распределения инвестиций в мероприятия по повышению энергоэффективности инженерно-

энергетической инфраструктуры (ИЭИ) города реализуем с помощью инструментария линейного программирования.

На основе проведения инженерно-экономического анализа в городе «N» предложены мероприятия, направленные на повышение энергетической эффективности ИЭИ с заданными стоимостными параметрами и продолжительностью их проведения (таблица 2.2).

Таблица 2.2 – Перечень мероприятий, направленных на повышение энергоэффективности ИЭИ [составлено автором]

Наименование объекта ИЭИ	Мероприятия, направленные на повышение энергоэффективности ИЭИ	Показатели, характеризующие реализацию мероприятий по повышению энергоэффективности ИЭИ	
		Стоимость	Продолжительность
Система теплоснабжения	Установка теплоинформатора в «ТЕПЛОКОМ GSM»	Стоимость (X) мероприятия 1.1	Продолжительность (Т) мероприятия 1.1
	Установка водяного поверхностного экономайзера котлов в котельных	Стоимость (X) мероприятия 1.2	Продолжительность (Т) мероприятия 1.2
	Гидравлическая наладка внутренней системы отопления	Стоимость (X) мероприятия 1.3	Продолжительность (Т) мероприятия 1.3

Система электроснабжения	Оптимизация работы систем охлаждения трансформаторов	Стоимость (X) мероприятия 2.1	Продолжительность (Т) мероприятия 2.1
	Установка полупроводниковых пусковых систем	Стоимость (X) мероприятия 2.2	Продолжительность (Т) мероприятия 2.2
	Переход на Smart Grid	Стоимость (X) мероприятия 2.3	Продолжительность (Т) мероприятия 2.3

Водопроводно-канализационное хозяйство	Оснащение энергоэффективными радиомодемами «СТРИЖ» с датчиками протечки	Стоимость (X) мероприятия 3.1	Продолжительность (Т) мероприятия 3.1

Продолжение таблицы 2.2

	Внедрение базового комплекса ИГС «CityCom – ГидроГраф»	Стоимость (X) мероприятия 3.2	Продолжительность (T) мероприятия 3.2
	Обеспечение экономичных режимов эксплуатации насосов	Стоимость (X) мероприятия 3.3	Продолжительность (T) мероприятия 3.3

Вышеуказанные мероприятия по повышению энергоэффективности характеризуются достижением следующих видов эффекта: финансово-экономического, социального и экологического, а также перечнем специальных показателей, характеризующих достигаемые эффекты (таблица 2.3).

Таблица 2.3 – Показатели достижения эффекта от мероприятий, направленных на повышение энергетической эффективности ИЭИ [составлено автором]

Наименование объекта ИЭИ	Виды эффекта		Показатели, характеризующие достигаемый эффект	
Система теплоснабжения	Финансово-экономические	W1	Снижение затрат на производство и транспортировку 1 Гкал теплоносителя	W1.1
			Экономия теплоносителя	W1.2
			Сокращение расходов бюджета на компенсацию затрат теплоснабжающих организаций	W1.3
			Сокращение затрат на ремонтно-восстановительные работы, проводимые по ликвидации аварий на сетях теплоснабжения	W1.4
	Социальные	W2	Уровень льгот и социальных тарифов на услуги теплоснабжения для населения	W2.1
			Обеспечение комфортной температуры в жилых помещениях	W2.2
			Повышение качества услуг теплоснабжения для потребителей	W2.3
	Экологические	W3	Снижение выбросов парниковых газов при производстве и транспортировке теплоносителя	W3.1
			Сокращение твёрдых отходов при производстве и транспортировке теплоносителя	W3.2
Система электроснабжения	Финансово-экономические	Y1	Снижение затрат на производство и транспортировку электроэнергии	Y1.1
			Экономия электроэнергии	Y1.2

Продолжение таблицы 2.3

			Сокращение расходов бюджета на компенсацию затрат предприятий по поставкам электроэнергии конечным потребителям	Y1.3
			Сокращение затрат на ремонтно-восстановительные работы в результате возникновения аварий на сетях электроснабжения	Y1.4
	Социальные	Y2	Введение социальных тарифов на электроснабжение для жителей	Y2.1
			Повышение качества предоставления услуг электроснабжения для потребителей	Y2.2
	Экологические	Y3	Снижение выбросов парниковых газов при производстве и транспортировке электроэнергии	Y3.1
			Сокращение твёрдых отходов при производстве и транспортировке электроэнергии	Y3.2
Водопроводно-канализационное хозяйство	Финансово-экономические	S1	Снижение затрат на очистку и подачу воды потребителям	S1.1
			Снижение затрат на очистку канализационных стоков	S1.2
			Сокращение расходов бюджета на компенсацию затрат водоснабжающим предприятиям	S1.3
			Сокращение затрат на ремонтно-восстановительные работы в результате возникновения аварий на сетях водоснабжения и водоотведения	S1.4
	Социальные	S2	Введение социальных тарифов по предоставлению услуг водоснабжения для жителей	S2.1
			Повышение качества водоснабжения потребителей	S2.2
	Экологические	S3	Повышение уровня очистки канализационных стоков	S3.1

Исходя из данных параметров, необходимо выбрать оптимальный вариант инвестирования с учетом максимально возможного получения эффекта и минимальных сроков реализации таких мероприятий при заданных ресурсных ограничениях.

На повышение энергоэффективности инженерно-энергетической инфраструктуры (ИЭИ) города выделяется X_0 объем инвестиций. Этот объем инвестиций необходимо распределить между N мероприятиями по повышению энергоэффективности ИЭИ. Обозначим через $f_i(x_i)$ эффект, который приносит выделение на реализацию i -го мероприятия объема инвестиций в размере $x_i (i = 1, \dots, N)$. При этом учитываем, что размер полученного эффекта зависит как от выделенного объема инвестиций, так и от конкретного мероприятия. Кроме этого, существует еще один фактор – это срок реализации i -го мероприятия (T_i). Введение этого параметра обусловлено необходимостью проведения тех или иных мероприятий в сфере ИЭИ.

Выбор оптимального варианта инвестирования основывается на максимально возможном получении эффекта $F(x)$ от реализации мероприятий по повышению энергоэффективности ИЭИ:

$$F(x) = \max(f_1(x_1); \dots f_i(x_i); \dots f_N(x_N)) \quad (2.10)$$

Задача оптимального распределения возникает в связи с ограниченным объемом инвестиций X_0 , т. е.

$$x_1 + \dots + x_N = X_0, x_i \geq 0 \quad (i = 1, \dots, N) \quad (2.11)$$

Кроме этого, необходимо учитывать минимальный срок реализации мероприятий по повышению энергоэффективности ИЭИ:

$$T(x) = \min(t_1(x_1); \dots t_i(x_i); \dots t_N(x_N)) \quad (2.12)$$

Для решения этой задачи предлагается ранжировать мероприятия в порядке убывания эффективности проекта (подразумевается *удельная эффективность*, т.е. эффект $f_i(x_i)$ на рубль вложенных инвестиций x_i в среднем за год с одной стороны), а также ранжировать мероприятия в порядке возрастания сроков их реализации ($T(x_i)$) с другой стороны. Точка пересечения минимальных сроков с максимальным удельным эффектом и станет искомым оптимальным вариантом инвестирования. Модель предполагает использование и других показателей эффективности. Например, использовать чистый дисконтированный доход (экономия), рассчитанный за весь срок реализации предложенных мероприятий.

Если при реализации первого мероприятия остаются свободные инвестиции, то, в зависимости от приоритета (срочность, важность и т.д.), принимается решение об инвестировании в следующее мероприятие, направленное на повышение энергоэффективности.

При этом возможны варианты, для которых не будет точек пересечения минимальных сроков с максимальным удельным эффектом. В подобном случае предлагается определение компромиссного решения с использованием следующей схемы компромисса:

$$F^k(X) = \max_{1 \leq k \leq N} \phi_k(X) \quad (2.13)$$

$$T^k(X) = \min_{1 \leq k \leq N} \Omega_k(X) \quad (2.14)$$

где $\varphi_k(X)$ – нормализованное значение критерия $F^k(X)$;

$\Omega_k(X)$ – нормализованное значение критерия T^k .

В данном случае предлагается использовать показатель естественной нормализации критериев, который вычисляется по формуле:

$$\bar{x}_i = \frac{x_i}{\max x_i - \min x_i}, \quad (2.15)$$

где \bar{x}_i – показатель критерия естественной нормализации;

x_i - фактический показатель удельного эффекта (или срока);

$\max x_i$ - максимальный показатель удельного эффекта (или срока);

$\min x_i$ – минимальный показатель удельного эффекта (или срока).

Все значения x_i соответствуют условию: $x_i \geq 0$.

Рассмотрим возможности практического применения предложенной модели оптимального распределения инвестиций в данной сфере. Для повышения энергоэффективности объектов инженерно-энергетической инфраструктуры города предлагаются следующие мероприятия с указанными сроками, суммой инвестиционных вложений в каждое из мероприятий и предполагаемым финансово-экономическим эффектом (таблица 2.4).

Таблица 2.4 – Исходные данные предлагаемых мероприятий по повышению энергоэффективности ИЭИ [составлено автором]

Наименование объекта ИЭИ	Наименование мероприятия	Объем инвестиций, тыс. руб.	Срок реализации, дн.	Достижимый эффект в среднем за год, тыс.руб./год по видам эффекта- табл 2.3.			
				W1.1	W1.2	W1.3	W1.4
Система теплоснабжения	Мероприятие 1.1 Установка теплоинформаторов «ТЕПЛОКОМ GSM»	15 668,00	28	128,56	447,10	542,70	228,70
	Мероприятие 1.2 Установка водяного поверхностного экономайзера котлов в котельных	14 785,00	56	160,70	380,04	414,94	256,96
	Мероприятие 1.3 Гидравлическая наладка внутренней системы отопления	6 548,00	41	196,37	588,52	607,36	342,50

Продолжение таблицы 2.4

	Мероприятие 1.4 Установка системы возврата конденсата	11 257,00	32	202,56	590,49	652,78	345,43
				Y1.1	Y1.2	Y1.3	Y1.4
Система электроснабжения	Мероприятие 2.1 Оптимизация работы систем охлаждения трансформаторов	1 876,89	69	125,57	312,36	254,90	12,80
	Мероприятие 2.2 Установка полупроводниковых пусковых систем	4 566,40	22	153,58	404,58	319,32	14,62
				S1.1	S1.2	S1.3	S1.4
Водопроводно- канализационное хозяйство	Мероприятие 3.1 Оснащение энергоэффективными радиомодемами «СТРИЖ» с датчиками протечки	2 369,40	18	186,98	237,85	445,1	334,5
	Мероприятие 3.2 Внедрение базового комплекса ИГС «CityCom – ГидроГраф»	7 895,60	47	178,84	243,72	392,33	264,13
	Мероприятие 3.3 Обеспечение экономичных режимов эксплуатации насосов	4 475,20	36	167,89	221,01	384,32	274,73
Итого	-	69 441,49	-	1 501,06	3 425,66	4 013,75	2 074,37

Рассмотрим достигаемые эффекты при выделении на реализацию мероприятий по повышению энергоэффективности в системах инженерно-энергетического комплекса города 15,5 млн. руб. Данные мероприятия допускаются реализовать частично и в разной последовательности. Необходимо составить оптимальную программу распределения инвестиций в энергоэффективные мероприятия с достижением максимально возможного финансового-экономического эффекта³ и минимальными сроками реализации таких мероприятий.

Сначала необходимо рассчитать удельный эффект от предлагаемых мероприятий и проранжировать их в порядке убывания. Результаты проведённых расчётов представлены в таблицах 2.5 и 2.6.

Таблица 2.5 - Расчет удельного эффекта от инвестиций в мероприятия по

³ Для данного примера взято достижение финансового-экономического вида эффекта. Также расчеты можно производить и для других видов эффекта: социального, экологического и пр.

повышению энергетической эффективности ИЭИ [составлено автором на основании собственных расчетов]

№ п/п	Наименование мероприятия с показателями достижения финансово-экономического эффекта	Совокупный эффект, тыс.руб.	Объем инвестиций, тыс.руб.	Удельный эффект, коп. /1 руб. инвестиций
1.	Мероприятие 1.1 (группа показателей W1.1 – W-1.4)	1 347,06	15 668,00	8,60
2.	Мероприятие 1.2 (группа показателей W1.1 – W-1.4)	1 212,63	14 785,00	8,20
3.	Мероприятие 1.3 (группа показателей W1.1 – W-1.4)	1 734,75	6 548,00	26,49
4.	Мероприятие 1.4 (группа показателей W1.1 – W-1.4)	1 791,26	11 257,00	15,91
5.	Мероприятие 2.1 (группа показателей Y1.1 – Y1.4)	705,63	1 876,89	37,60
6.	Мероприятие 2.2 (группа показателей Y1.1 – Y1.4)	892,11	4 566,40	19,54
7.	Мероприятие 3.1 (группа показателей S1.1-S1.4)	1 204,43	2 369,40	50,83
8.	Мероприятие 3.2 (группа показателей S1.1-S1.4)	1 079,02	7 895,60	13,67
9.	Мероприятие 3.3 (группа показателей S1.1-S1.4)	1 047,95	4 475,20	23,42

Таблица 2.6 - Ранжирование мероприятий по убыванию удельного эффекта от инвестиций в мероприятия по повышению энергетической эффективности ИЭИ [составлено автором на основании собственных расчетов]

№ п/п	Наименование мероприятия с показателями достижения финансово-экономического эффекта	Совокупный эффект, тыс.руб.	Объем инвестиций, тыс.руб.	Удельный эффект, коп. /1 руб. инвестиций
7	Мероприятие 3.1 (группа показателей S1.1-S1.4)	1 204,43	2 369,40	50,83
5	Мероприятие 2.1 (группа показателей Y1.1 – Y1.4)	705,63	1 876,89	37,60
3	Мероприятие 1.3 (группа показателей W1.1 – W-1.4)	1 734,75	6 548,00	26,49
9	Мероприятие 3.3 (группа показателей S1.1-S1.4)	1 047,95	4 475,20	23,42
6	Мероприятие 2.2 (группа показателей Y1.1 – Y1.4)	892,11	4 566,40	19,54
4	Мероприятие 1.4 (группа показателей W1.1 – W-1.4)	1 791,26	11 257,00	15,91
8	Мероприятие 3.2 (группа показателей S1.1-S1.4)	1 079,02	7 895,60	13,67
1	Мероприятие 1.1 (группа показателей W1.1 – W-1.4)	1 347,06	15 668,00	8,60
2	Мероприятие 1.2 (группа показателей W1.1 – W-1.4)	1 212,63	14 785,00	8,20

Далее необходимо проранжировать энергоэффективные мероприятия по возрастанию срока их реализации (см. таблицу 2.7).

Таблица 2.7 - Ранжирование мероприятий по повышению энергетической эффективности ИЭИ по возрастанию срока их реализации [составлено автором на основании собственных расчетов]

№ п/п	Наименование мероприятия с показателями достижения финансово-экономического эффекта	Совокупный эффект, тыс.руб.	Объем инвестиций, тыс.руб.	Срок реализации, дн.
7	Мероприятие 3.1 (группа показателей S1.1-S1.4)	1 204,43	2 369,40	18
6	Мероприятие 2.2 (группа показателей Y1.1 – Y1.4)	892,11	4 566,40	22
1	Мероприятие 1.1 (группа показателей W1.1 – W-1.4)	1 347,06	15 668,00	28
4	Мероприятие 1.4 (группа показателей W1.1 – W-1.4)	1 791,26	11 257,00	32
9	Мероприятие 3.3 (группа показателей S1.1-S1.4)	1 047,95	4 475,20	36
3	Мероприятие 1.3 (группа показателей W1.1 – W-1.4)	1 734,75	6 548,00	41
8	Мероприятие 3.2 (группа показателей S1.1-S1.4)	1 079,02	7 895,60	47
2	Мероприятие 1.2 (группа показателей W1.1 – W-1.4)	1 212,63	14 785,00	56
5	Мероприятие 2.1 (группа показателей Y1.1 – Y1.4)	705,63	1 876,89	69

После ранжирования мероприятий, в соответствии с описанным выше подходом, необходимо выбрать мероприятия с минимальным сроком их реализации и максимальным удельным эффектом. В нашем случае таким станет энергоэффективное мероприятие 3.1, т.е. оснащение энергоэффективными радиомодемами «СТРИЖ» с датчиками протечки (группа показателей S1.1-S1.4), планируемое к внедрению в системе водопроводно-канализационного хозяйства города «N».

Поскольку дальше отсутствуют совпадающие мероприятия по заданным нами критериям (максимальному удельному эффекту и минимальному сроку реализации), то необходимо рассчитать показатель естественной нормализации для указанных критериев, используя формулу (2.15). Результаты расчетов представлены в таблицах 2.8 и 2.9.

На основе значения нормализации, выбираются мероприятия с минимальным отклонением от первоначального (оптимального) варианта по двум критериям.

Таблица 2.8 – Расчет показателя естественной нормализации по удельному эффекту [составлено автором на основании собственных расчетов]

№ п/п	Наименование мероприятия с показателями достижения финансово-экономического эффекта	Значение нормализации	Уровень отклонения, %
7	Мероприятие 3.1 (группа показателей S1.1-S1.4)	1,19	-
5	Мероприятие 2.1 (группа показателей Y1.1 – Y1.4)	0,88	26,04
3	Мероприятие 1.3 (группа показателей W1.1 – W-1.4)	0,62	47,88
9	Мероприятие 3.3 (группа показателей S1.1-S1.4)	0,55	53,93
6	Мероприятие 2.2 (группа показателей Y1.1 – Y1.4)	0,46	61,57
4	Мероприятие 1.4 (группа показателей W1.1 – W-1.4)	0,37	68,7
8	Мероприятие 3.2 (группа показателей S1.1-S1.4)	0,32	73,12
1	Мероприятие 1.1 (группа показателей W1.1 – W-1.4)	0,20	83,09
2	Мероприятие 1.2 (группа показателей W1.1 – W-1.4)	0,19	83,87

Таблица 2.9 – Расчет показателя естественной нормализации по минимальному сроку реализации [составлено автором на основании собственных расчетов]

№ п/п	Наименование мероприятия с показателями достижения финансово-экономического эффекта	Значение нормализации	Уровень отклонения, %
7	Мероприятие 3.1 (группа показателей S1.1-S1.4)	0,35	-
6	Мероприятие 2.2 (группа показателей Y1.1 – Y1.4)	0,43	22,22
1	Мероприятие 1.1 (группа показателей W1.1 – W-1.4)	0,55	57,78
4	Мероприятие 1.4 (группа показателей W1.1 – W-1.4)	0,62	77,78
9	Мероприятие 3.3 (группа показателей S1.1-S1.4)	0,70	100,00
3	Мероприятие 1.3 (группа показателей W1.1 – W-1.4)	0,80	127,78
8	Мероприятие 3.2 (группа показателей S1.1-S1.4)	0,92	161,11
2	Мероприятие 1.2 (группа показателей W1.1 – W-1.4)	1,11	215,00
5	Мероприятие 2.1 (группа показателей Y1.1 – Y1.4)	1,35	283,33

Таким образом, исходя из первоначального условия, что объем инвестиций в энергосберегающие мероприятия составляет 15,5 млн. руб., составлена оптимальная программа инвестиций в мероприятия по повышению энергетической эффективности инженерно-энергетической инфраструктуры города, которая представлена в таблице 2.10.

Таблица 2.10 - Оптимальная программа инвестиций в мероприятия по повышению энергетической эффективности ИЭИ [составлено автором на основании собственных расчетов]

№ п/п	Наименование мероприятия	Объем инвестиций, тыс.руб.	Совокупный эффект, тыс.руб.	Срок реализации, дн.
1.	Оснащение энергоэффективными радиомодемами «СТРИЖ» с датчиками протечки	2 369,40	1 204,43	18
2.	Установка полупроводниковых пусковых систем	4 566,40	892,11	22
3.	Оптимизация работы систем охлаждения трансформаторов	1 876,89	705,63	69
4.	Гидравлическая наладка внутренней системы отопления	6 548,00	1 734,75	41
Итого		15 360,69	4 536,92	

Внедрение предлагаемой модели в практику управления инженерно-энергетической инфраструктурой, позволит рационально распределять имеющиеся инвестиции между мероприятиями, направленными на повышение энергетической эффективности с учетом минимального срока их реализации. Данный подход может иметь практическое применение для предприятий инженерно-энергетического комплекса ряда городов нашей страны.

В ходе проведенного исследования, в рамках материалов второй главы, получены следующие результаты:

-обоснована система управления повышением энергоэффективности объектов инженерно-энергетической инфраструктуры ЖКХ города, которая позволяет устранить потери неэффективного использования энергетических ресурсов; данная система сочетает в себе элементы организационно-административного, нормативно-правового и технико-экономического управления материально-техническими, топливно-энергетическими и финансово-экономическими ресурсами субъектов хозяйствования инженерно-энергетической инфраструктуры, направленными на повышение

энергоэффективности функционирования и обеспечения условий ее устойчивого развития;

- в авторской интерпретации сформулировано и предложено понятие энергетической эффективности инженерно-энергетической инфраструктуры ЖКХ города, которое заключается в достижении надлежащего качества предоставления энергетических услуг при минимальном расходе энергоресурсов и соблюдении экологических требований;

- сформирован и предложен экономико-организационный механизм повышения энергоэффективности инженерно-энергетической инфраструктуры ЖКХ города, основными элементами которого являются: нормативно-правовые акты, регулятивные нормы, информационно-цифровые, экономические и административно-контрольные рычаги, а также система мониторинга полученных результатов функционирования;

- разработаны модели повышения процессов энергоэффективности объектов инженерно-энергетической инфраструктуры ЖКХ города, реализуемые на разных уровнях управления, что позволит обеспечить сбалансированность функционирования элементов данной инфраструктуры в процессе генерации и потребления энергетических ресурсов.

- разработана и предложена модель оптимального распределения инвестиций в мероприятия по повышению энергетической эффективности инженерно-энергетической инфраструктуры города на базе инструментария линейного программирования, позволяющая рационально распределять имеющиеся инвестиции между энергоэффективными мероприятиями с учетом минимального срока их реализации.

На основе материалов проведенного исследования целесообразно перейти к разработке проекта программы повышения энергоэффективности системы теплоснабжения г. Санкт-Петербурга, так как внедрение данных результатов в практику процессов управления повышением энергоэффективности позволит реализовать проекты планировки режимов функционирования систем теплоснабжения и их оперативного управления, а

также контроля выработки, производства, сбыта, транспортировки и рационального распределения тепловой энергии.

ГЛАВА 3. РАЗРАБОТКА ПРОЕКТА ПРОГРАММЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ЖКХ ГОРОДА (НА ПРИМЕРЕ Г. САНКТ-ПЕТЕРБУРГА)

3.1. Технико-экономическое обоснование проекта программы повышения энергоэффективности системы теплоснабжения г. Санкт- Петербурга

Проведенный в предыдущих главах анализ состояния инженерно-энергетической инфраструктуры города Санкт-Петербурга, в части функционирования системы централизованного теплоснабжения, показал наличие следующих проблем:

- на отопление и горячее водоснабжение (ГВС) зданий города требуются значительные и не всегда оправданные расходы энергоресурсов, что определяет высокую энергозатратность системы теплоснабжения в целом;

- наблюдается значительное превышение установленной мощности тепломеханического оборудования котельных по сравнению с тепловыми нагрузками.

Превышение установленной мощности тепломеханического оборудования котельных препятствует возможности внедрения в зданиях и сооружениях города мероприятий по энергосбережению и повышению энергетической эффективности, поскольку такие меры приведут к ещё большему разрыву между объёмами установленной тепловой мощности энергетических предприятий города и присоединенной нагрузки.

Также, по мнению Запольской И.Н. [39], несмотря на большое количество федеральных и региональных программ, направленных на повышение эффективности и надежности системы теплоснабжения, текущее состояние является неудовлетворительным. Наиболее высокий возраст трубопроводов и, как следствие, значительный уровень повреждаемости, зафиксирован в регионах с закрытой схемой горячего водоснабжения, более 38 лет (при среднем сроке службы 25 лет). Анализ состояния тепловых сетей

и сетей ГВС в целом по РФ показал, что наибольший уровень износа приходится на сети горячего водоснабжения (более 70%), в результате повреждений которых оказывается негативное влияние на квартальные сети отопления.

Для устранения указанных проблем предлагаются следующие стратегические направления проекта программы повышения энергоэффективности системы теплоснабжения г. Санкт-Петербурга:

1. Сокращение расхода тепловой энергии на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение жилых, общественных, производственных и других зданий за счет повышения теплозащитных характеристик наружных ограждений, внедрения систем рекуперации тепла и расхода воды в системе ГВС, устройства автоматизированных индивидуальных тепловых пунктов (АИТП) в зданиях, уменьшение удельных расходов теплоносителя на нужды отопления и горячего водоснабжения без ухудшения потребительских и производственных характеристик объектов.

2. Оптимизация теплового баланса теплоснабжающих организаций за счет моделирования производства и потребления, приведения в соответствие статей генерирования тепловой энергии, с одной стороны, и расходов тепловой энергии и ее потерь на этапах выработки, транспортировки и потребления - с другой. Уточнение величин потерь теплоносителя и присоединенной тепловой нагрузки. Внедрение мероприятий по уменьшению непроизводительных потерь тепла в процессах его генерации и транспортировки на основе анализа статей теплового баланса.

3. Внедрение энергоэффективных мероприятий в районных котельных и на теплоэлектроцентралях (ТЭЦ).

4. Автоматизация и диспетчеризация работы источников тепла с целью повышения эффективности работы и сокращения затрат на их эксплуатацию.

Но реализация энергоэффективного потенциала системы теплоснабжения города ограничивается возможностью привлечения инвестиционных ресурсов и временными рамками. При этом наличием

возможных технических ограничений, в краткосрочном периоде планирования, можно пренебречь ввиду решающего влияния финансовых ограничений, включая бюджетные и кредитные ресурсы, средства инвесторов и потребителей.

Как известно, значительную долю в структуре потребления топлива в России занимает природный газ. Анализ потребления свидетельствует о том, что на обогрев многоквартирного дома в городах России тратится в 2-3 раза больше топлива, чем, например, в Германии [147]. Большинство аналитиков, в том числе и зарубежных, считают, что темпы роста цен на газ будут только повышаться [147]. При этом рост тарифов для населения и других потребителей приводит увеличению дебиторской задолженности предприятий теплоснабжения и ухудшению их финансового состояния. С другой стороны, инфляция и негативные макроэкономические тенденции предопределяют необходимость увеличивать тарифы для бюджетных организаций и прочих потребителей. На данный момент, затраты на тепловую энергию имеют колоссальную долю в структуре расходов организаций различных отраслей экономики (до 50%) [70;71]. В то же время уровень расходов на тепловую и электрическую энергию в городском бюджете постоянно растет, как и сами затраты в абсолютном выражении. Такая картина наблюдается практически во всех крупнейших городах страны, включая и Санкт-Петербург (рисунок 3.1). Например, согласно проекту бюджета г. Санкт-Петербурга субсидии теплоснабжающим организациям с 2022 г. по 2025 г. будут увеличены на 6937 млн. руб. (+52,9%).

При сохранении существующих тенденций можно ожидать возникновения серьезных кризисных явлений в работе системы теплоснабжения, включая аварии и снижение качества теплоснабжения для всех групп потребителей.

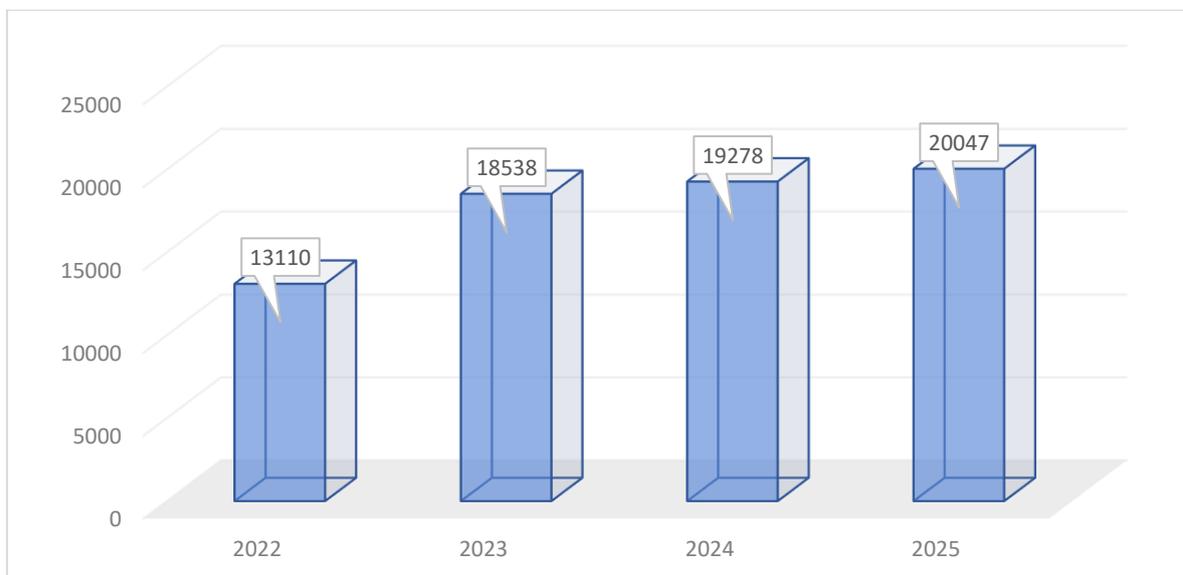


Рисунок 3.1 - Субсидии теплоснабжающим организациям, млн.руб.

[составлено автором по материалам [134]]

В сфере потребления тепловой энергии предлагаемые мероприятия не должны носить случайный или эпизодический характер, а базироваться на системном подходе и долгосрочном планировании. Энергетическое планирование в городах - сложная задача, направленная на балансирование социальных запросов жителей с конкретными энергетическими, экономическими и экологическими потребностями [30]. В Санкт-Петербурге необходимо искать наилучшие возможные решения и доступные технологии, принимая во внимание гармонизацию экологических и экономических аспектов в области энергетики. Именно органы государственной власти должны прилагать значительные усилия, связанные с экономическими, энергетическими, экологическими и социальными преобразованиями. Поэтому важно, чтобы предпринимаемые действия выполнялись комплексно, в соответствии с продуманной стратегией.

В отличие от электроснабжения и газоснабжения, теплоснабжение должно соответствовать условию максимального снижения потерь тепла при его передаче потребителям. Производство, распределение и потребление должны быть тесно взаимосвязаны. Обеспечение эффективного потребления

энергетических ресурсов — это задача, которую ставит перед отечественной экономикой необходимость интенсивного развития, от ее решения во многом зависит уровень экономического и социального развития общества.

Проблема несбалансированного внутреннего потребления топливно-энергетических ресурсов имеет остро негативные экономические и социальные последствия, ограничивая потенциал повышения качества жизни в российских городах. При этом потенциал экономии от внедрения энергоэффективных мероприятий и проектов составляет более 45% от существующего энергопотребления [153]. Его использование — это вопрос внедрения не только технических мероприятий энергосбережения, но и комплекса организационных, научных и информационных мер, направленных на изменение культуры потребления энергоресурсов.

Уменьшение объемов использования топливно-энергетических ресурсов в городах рассматривается как путь к сокращению затрат на закупку энергоресурсов, увеличение доходов бюджета и дальнейшее распространение реализации социальных программ. Город Санкт-Петербург имеет большой потенциал в становлении системы рационального использования энергоресурсов. Первые шаги к реализации энергоэффективной политики города были сделаны еще в 2010 г. в рамках принятия Постановления Правительства Санкт-Петербурга от 11.11.2009 г. № 1257 «О Концепции повышения энергетической эффективности и стимулирования энергосбережения», а также утверждения государственной программы «Комплексное развитие систем коммунальной инфраструктуры, энергетики и энергосбережения Санкт-Петербурга» и постановления Правительства Санкт-Петербурга от 17.06.2014 № 486 о введении в действие подпрограммы «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности» [130]. Таким образом, в Санкт-Петербурге достаточно четко сформировалась энергетическая политика города и началось выполнение запланированных мероприятий. Одним из приоритетных направлений действий устойчивого энергетического развития города является повышение энергоэффективности

теплоснабжающего комплекса путем внедрения энергосберегающих и энергоэффективных мероприятий.

Базовой целью предлагаемого проекта программы повышения энергоэффективности системы теплоснабжения г. Санкт-Петербурга является повышение энергетической эффективности объектов теплоэнергетического хозяйства, а также определение современных технически обоснованных и экономически целесообразных энергосберегающих мероприятий, применение которых позволит получить наибольший эффект с учетом специфики конкретных объектов.

Рассмотрим охват проекта программы, включающий жилой и социальный сектора, промышленный комплекс, предприятия жилищно-коммунального хозяйства, других поставщиков и потребителей энергетических ресурсов и услуг, а также инженерно-энергетическую инфраструктуру города. Внедрение мероприятий по энергоэффективности должно планироваться и осуществляться именно в этих сферах жизнедеятельности города. Также целесообразно планировать включение в указанную стратегию мотивационных и регуляторных мер по стимулированию энергоэффективности, в первую очередь, на промышленных предприятиях, энергоемкость которых очень высока, с целью повышения конкурентоспособности товаров и услуг местных производителей. Стимулирование других отраслей экономики для энергосберегающих мероприятий можно проводить на этапах второй очереди.

Основными стратегическими партнерами реализации проекта программы, включая всех участников процессов планирования и обеспечения комплексного повышения энергоэффективности города, являются:

- Администрация г. Санкт-Петербурга;
- энерго- и ресурсоснабжающие организации;
- жилой сектор города;
- нежилые объекты и прочие потребители;
- потенциальные инвесторы;

- экспертные организации.

На основе изученной научной литературы и проведенного исследования, представлены показатели повышения энергетической, экономической и экологической эффективности объектов теплоэнергетического хозяйства для достижения целей проекта программы [86;139;143;150;153]:

1. Повышение КПД использования природного газа и развитие систем когенерации и тригенерации.
2. Сокращение энергопотребления в жилом, социальном и промышленном секторах.
3. Уменьшение в структуре расходов города платежей за теплоэнергоресурсы.
4. Уменьшение выброса парниковых газов (CO₂) не менее чем на 20%.
5. Уменьшение потерь тепловой энергии на этапах выработки и транспортировки энергоресурсов.
6. Диверсификация источников инвестирования в энергоэффективность (повышение доли частных инвестиций).

Кроме того, должны учитываться социально-экономические показатели развития:

1. Снижение энергоемкости производимой продукции в городе.
2. Повышение качества энергетических услуг.
3. Повышение культуры энергопотребления (уменьшение нерациональных потерь энергии).

Целевые показатели проекта программы повышения энергоэффективности представлены на рисунке 3.2. Все показатели по снижению и оптимизации потребления ресурсов получены в результате анализа научной литературы и публикации материалов Администрации г. Санкт-Петербурга по данному направлению [86;139;143;150;153].

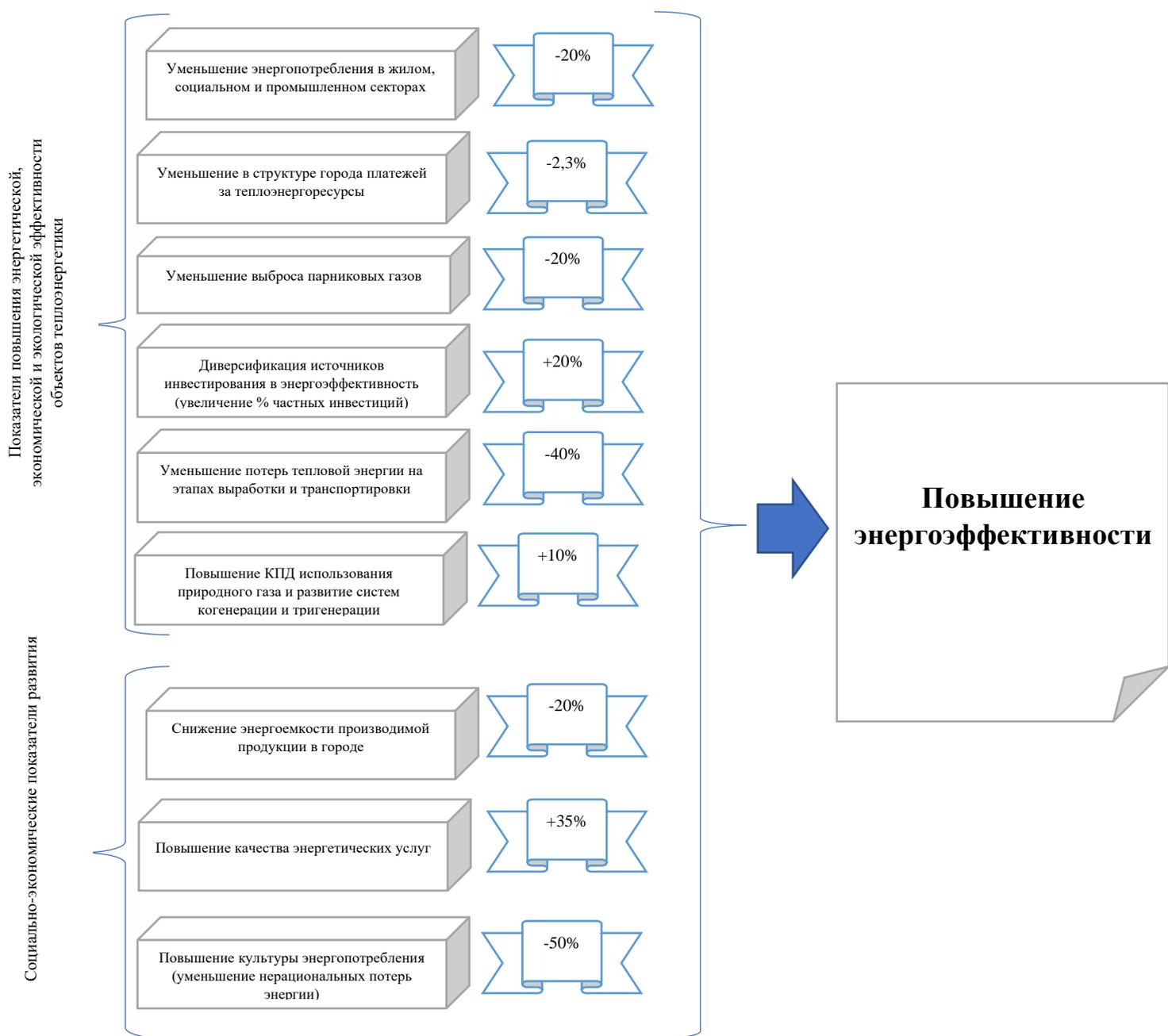


Рисунок 3.2 – Целевые показатели проекта программы повышения энергоэффективности [разработано автором по материалам [86;139;143;150;153]]

Стратегическая цель проекта программы повышения энергоэффективности состоит в переходе города и его энергетической составляющей на энергоэффективный путь развития, выражающийся в повышении энергетической, социально-экономической и экологической безопасности города за счет уменьшения энергопотребления в среднем на 15%

[153], создание условий для массовой реализации энергоэффективных проектов в жилищном секторе путем внедрения эффективной системы управления энергетическими затратами и реализации комплексных проектов по энергосбережению при обеспечении надлежащего качества предоставления жилищно-коммунальных услуг.

Для достижения базовых целей и мониторинга реализации проекта программы повышения энергоэффективности предлагается использовать систему характеристик, которая представлена на рисунке 3.3.

Предлагаемый проект программы представляет собой механизм системного управления процессом повышения энергоэффективности теплоэнергетического хозяйства города на долгосрочный период. Для экономии ресурсов предлагается проводить расчет оценки обеспечения энергоресурсами города между территориальными зонами и объектами генерации энергоресурсов путем внедрения предложенной во второй главе модели оценки энергообеспечения объектов инженерно-энергетической инфраструктуры ЖКХ города. В состав проекта программы также входит разработанный автором перечень мероприятий для повышения энергоэффективности системы теплоснабжения г. Санкт-Петербурга.

В результате реализации данного проекта программы ожидается повышение энергоэффективности и улучшение комфортности городской среды, снижение расходов на энергоресурсы, потребляемых в зданиях и сооружениях, на инфраструктурных объектах, снижение риска возникновения аварийных ситуаций при эксплуатации инженерных сетей.

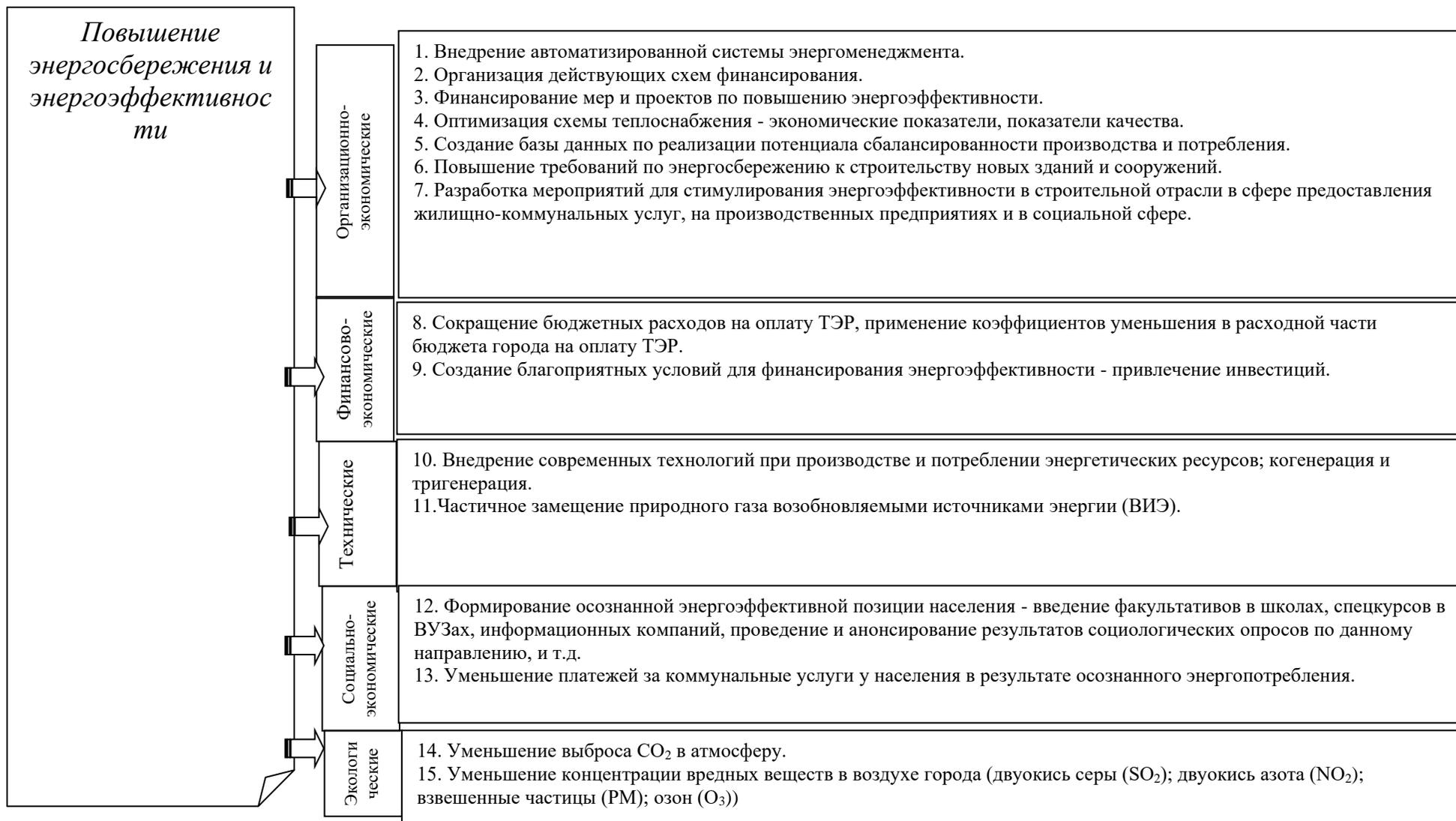


Рисунок 3.3 – Система характеристик проекта программы повышения энергоэффективности [разработано автором]

Каждый объект инженерно-энергетической инфраструктуры характеризуется индивидуальностью, оборудован различными инженерными сетями, имеет различные типы и состояние ограждающих конструкций, разный режим эксплуатации, и т.п. В связи с этим необходимо разрабатывать и внедрять энергоэффективные мероприятия локально для каждого объекта с целью достижения значительной экономии ТЭР и обеспечения комфортных условий проживания и работы в помещениях в отопительный период.

При реализации проекта программы повышения энергоэффективности системы теплоснабжения г. Санкт-Петербурга обеспечивается достижение ключевой цели - сокращение потребления ТЭР для нужд обеспечения их функционирования, предоставления качественных услуг и сокращения расходов городского бюджета на закупку требуемых энергоресурсов.

Следует отметить, что для разработки проекта программы, необходимо наличие следующей информации:

- объёмы потребления энергии, тип и стоимость отопления в зданиях и на объектах;
- городская статистика (количество жителей, протяженность магистралей, территории хозяйствующих субъектов и др.);
- тип уличного освещения в городе и его энергопотребление;
- данные о наличии возобновляемых источников энергии в городе (если таковые имеются);
- данные об интенсивности движения на транспортных магистралях;
- список зданий, находящихся на балансе города.

Процесс идентификации и получения данных должен учитывать уровень их агрегирования/разброса с четким и подробным определением. Цель состоит в том, чтобы либо получить наилучшие результаты при заданных затратах, либо заданные результаты при наименьших затратах, но чаще всего возникает компромисс. Примером такого компромиссного решения является получение данных о потреблении энергии и её структуре, а также справочных данных (отапливаемая площадь/кубатура, количество жителей/пользователей,

объем производства и предоставленных услуг) в больших группах потребителей энергии.

Далее следует определить основные цели, связанные с энергосбережением, и их важность в контексте других систем функционирования города. Реализация этих целей естественным образом позволит обеспечить энергосбережение и повышение энергоэффективности в соответствии с принципами Концепции устойчивого развития, обеспечивая надлежащее качество жизни и развитие городов. Это местные цели, вытекающие из необходимости улучшения существующих условий и социально-экономического развития. Более того, эти цели являются результатом энергетической и экологической политики России, которые закреплены на законодательном уровне, к примеру, стандарты и выбросов загрязняющих веществ в атмосферу или требуемое количество энергии, сэкономленной организациями различных секторов экономики.

Кроме того, необходимо принять во внимание следующие аспекты:

- высокую неопределенность будущего состояния энергетических систем (цены на топливо и энергию, влияние рыночных механизмов, таких как возможное введение торговли эмиссионными квотами на выброс парниковых газов);

- осознание того, что инвестиции, вложенные сегодня в энергетические проекты, будут работать в течение срока службы устройств (иногда до 40-50 лет) но, вероятно, в других технологических, правовых и экономических условиях);

- местные условия, связанные со спецификой производства и потребления энергии, с учетом экономических факторов, социальных, коммуникационных и экологических проблем.

С организационной точки зрения необходимо чётко координировать реализацию проекта программы со стороны органов власти и сформировать соответствующую структуру, контролирующую разработку документации,

привлечение и использование инвестиционных ресурсов и отвечающую за достижение обозначенных целей и поставленных задач.

3.2. Методы повышения энергоэффективности системы теплоснабжения г. Санкт-Петербурга

Представленные в разделе 3.1 направления проекта программы энергоэффективного развития города определяют минимально возможные результаты развития его энергетической составляющей при условии внедрения принципов энергосбережения. Для всех направлений необходимо определить систему количественных и качественных характеристик, достижение которых будет свидетельствовать об эффективности реализации проекта программы. Индикаторы стратегических приоритетов должны базироваться на экономико-математических расчетах и являться результатами проведенного анализа возможности их достижения.

Стратегические направления предлагается разделить на две группы: направления повышения энергетической, экономической и экологической безопасности и направления социально-экономического развития. Это можно обосновать тем, что система централизованного теплоснабжения обеспечивает достойный уровень качества жизни населения, потребности социальной и производственной сферы в теплоэнергоресурсах, но также является потенциальным источником экологических рисков.

В результате обеспечения сбалансированности производства и потребления разница между фактическим и базовым удельным энергопотреблением будет аннулирована, что может свидетельствовать о повышении энергоэффективности и качества услуг до нормативного уровня.

Городские теплоэнергетические системы должны быть в состоянии удовлетворить потребности городской территории в теплоэнергии, управляя обменом энергетических ресурсов. Эта задача может быть достигнута путем проведения двух видов аналитической деятельности: с помощью инструмента

для оценки потребности в энергии, а затем с помощью инструмента для проектирования систем перераспределения. Для этого предлагается внедрить параметры оценки энергообеспечения объектов теплоэнергетики ЖКХ города, которые представлены в таблице 3.1 [36].

Таблица 3.1 - Параметры оценки энергообеспечения объектов теплоэнергетики ЖКХ города [разработано автором]

Параметры оценки энергообеспечения		Влияние на повышение энергоэффективности
1. Объем производства Σ : 1.1. источник теплоэнергии 1 1.1. источник теплоэнергии 2 1.3. источник теплоэнергии 3 1.4. источник теплоэнергии 4 ... 1.n источник теплоэнергии n.	Объем производства теплоэнергии в разрезе источников	При оптимальном соотношении производства и потребления обеспечиваются условия для установления обоснованных цен на теплоноситель
2. Объем потребления Σ : 2.1. Потребитель 1 2.2. Потребитель 2 2.2. Потребитель 3 2.4. Потребитель 4 ... 2.k. Потребитель k.	Объем потребления теплоэнергии в разрезе потребителей	
3. Резервы теплоэнергии Σ : 3.1. источник теплоэнергии 1 3.2. источник теплоэнергии 2 3.3. источник теплоэнергии 3 3.3. источник теплоэнергии 4 ... 3. источник теплоэнергии n.	Остаток произведенной теплоэнергии после передачи и потребления всеми объектами субъектами	При увеличении резервов и снижении дефицита тепловой энергии происходит снижение потерь при транспортировке и повышение энергоэффективности
Дефицит теплоэнергии Σ : 4.1. источник теплоэнергии 1 4.2. источник теплоэнергии 2 4.3. источник теплоэнергии 3 4.4. источник теплоэнергии 4 ... 4. источник теплоэнергии n.		При снижении резервов и увеличении дефицита происходит снижение энергобезопасности, рост цен на энергоресурсы, ухудшение экономических показателей и т.д.

Предлагаемый расчет оценки энергообеспечения объектов теплоэнергетики ЖКХ города целесообразно проводить как на региональном

уровне, так и на местном уровне. Это позволит обеспечить функционирование объектов теплоэнергетического хозяйства конкретного города с учетом требуемого баланса производства и потребления. Опираясь на предложенные параметры, можно спрогнозировать текущий и будущий спрос на тепловую энергию с надлежащим пространственно-временным разрешением для проектирования и оптимизации систем теплоснабжения.

Данный подход оценки энергообеспечения апробирован на основе наличия резервов/дефицитов по источникам тепловой энергии в зонах действия ТЭЦ г. Санкт-Петербурга. Апробация этих материалов позволяет доказать возможность применения подхода в практической деятельности [36].

В таблице 3.2 представлена матрица взаимосвязей производства и потребления энергоресурсов с учетом резервов/дефицитов по источникам теплоэнергии существующей тепловой мощности в зонах действия ТЭЦ Санкт-Петербурга, в которой по столбцам дана информация по количеству резервов зоны ТЭЦ, а по строкам – информация по количеству дефицита. Это означает, что в городе есть возможность, в случае дефицита ресурсов в одной зоне, обеспечить восполнение данного ресурса из другой близлежащей зоны. Если такие расчеты производить в реальном режиме времени, можно снизить потери ресурсов и обеспечить сбалансированность их потребления.

Разработанная матрица взаимосвязей производства и потребления энергоресурсов с учетом резервов/дефицитов основана на реальных данных, представленных в перспективной Схеме теплоснабжения Санкт-Петербурга на период до 2033 года [136].

Таблица 3.2 – Матрица взаимосвязей производства и потребления энергоресурсов с учетом резервов/дефицитов по источникам теплоэнергии существующей тепловой мощности в зонах действия ТЭЦ г. Санкт-Петербурга (прогноз на 2033 г.), Гкал/ч [134]

Наименование ТЭЦ	Остаток теплоносителя	ЭС-1,3 ЦТЭЦ	ЭС-2 ЦТЭЦ	ТЭЦ-5	ТЭЦ-7	ТЭЦ-14	ТЭЦ-15	ТЭЦ-17	ТЭЦ-21	ТЭЦ-22	Северо-Западная ТЭЦ	Юго-Западная ТЭЦ	ТЭЦ ГКО	ГСР ТЭЦ	ТЭЦ ЦКТИ	ИТОГО
ЭС-1,3 ЦТЭЦ	297,2	239,5											57,7			297,2
ЭС-2 ЦТЭЦ	10,8		10,8													10,8
ТЭЦ-5	26,9			26,9												26,9
ТЭЦ-7	70,8				70,8											70,8
ТЭЦ-14	245					175,5						69,5				245
ТЭЦ-15	201,4						139,3		62,1							201,4
ТЭЦ-17	0							0								0
ТЭЦ-21	-133,3								-133,3							-133,3
ТЭЦ-22	828								71,2	756,8						828
Северо-Западная ТЭЦ	71,2										71,2					71,2
Юго-Западная ТЭЦ	-69,5											-69,5				-69,5
ТЭЦ ГКО	-57,7												-57,7			-57,7
ГСР ТЭЦ	92,9													81,9	11	92,9
ТЭЦ ЦКТИ	-11														-11	-11
ИТОГО	1572,7	239,5	10,8	26,9	70,8	175,5	139,3	0	0	756,8	71,2	0	0	81,9	0	1572,7

В столбцах матрицы представлены цифры, характеризующие производство энергоресурсов с учетом резервов/дефицитов по источникам теплоэнергии существующей тепловой мощности в зонах действия ТЭЦ Санкт-Петербурга. Например, у ЭС-1,3 ЦТЭЦ после использования производимых энергоресурсов собственными потребителями, еще остается резерв энергии в количестве 297,2 Гкал/ч. Для снижения потерь необходимо обеспечить возможность передачи энергоресурсов в зоны действия близлежащих ТЭЦ Санкт-Петербурга, в которых наблюдается дефицит производимой энергии. Такой ТЭЦ является ТЭЦ ГКО, у которой дефицит составляет -57,7 Гкал/ч. Поэтому производится распределение данного количества энергии из зоны действия ЭС-1,3 ЦТЭЦ в зону действия ТЭЦ ГКО. Таким образом, резерв, то есть, потери энергоресурсов сокращаются на 57,7 Гкал/ч, что составляет 19,4% ($57,7/297,2*100\%$).

Данная матрица показывает расчет отклонения между производством и потреблением энергоресурсов по источникам теплоэнергии г. Санкт-Петербурга. Результаты итоговых сумм по потреблению и производству энергоресурсов с учетом резервов/дефицитов по источникам теплоэнергии существующей тепловой мощности в зонах действия ТЭЦ Санкт-Петербурга отражены в таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Сведения о наличии резервов/дефицитов и величине отклонения по источникам теплоэнергии существующей тепловой мощности в зонах действия ТЭЦ г. Санкт-Петербурга [составлено автором]

Источник	Итого резерв	Итого дефицит	Распределение резерва на другие ТЭЦ с дефицитом	Величина отклонения
1	2	3	4	5
ЭС-1,3 ЦТЭЦ	297,2	-	57,7	239,5
ЭС-2 ЦТЭЦ	10,8	-	-	10,8
ТЭЦ-5	26,9	-	-	26,9
ТЭЦ-7	70,8	-	-	70,8
ТЭЦ-14	245	-	69,5	175,5
ТЭЦ-15	201,4	-	62,1	139,3
ТЭЦ-17	0	0	0	0

Продолжение таблицы 3.3

ТЭЦ-21	0	-133,3	0	0
ТЭЦ-22	828	-	71,2	756,8
Северо-Западная ТЭЦ	71,2	-	-	71,2
Юго-Западная ТЭЦ	0	-69,5	-	0
ТЭЦ ГКО	0	-57,7	-	0
ГСР ТЭЦ	92,9	-	11	81,9
ТЭЦ ЦКТИ	0	-11	-	0
ИТОГО	1844,2	-271,5		1572,7

В таблице 3.3 представлены данные о фактических резервах по зонам действия ТЭЦ в колонке 2, дефицит в колонке 3, а также величина отклонения, характеризующая сокращение резервов за счет перераспределения между зонами действий ТЭЦ. В результате перераспределения энергоресурсов сокращаются потери теплоносителя на 14,7% ($271,5/1844,2 \cdot 100\%$) [36].

Все вышеизложенное позволило сформулировать основные этапы механизма реализации проекта программы повышения энергоэффективности системы теплоснабжения г. Санкт-Петербурга, которые детерминированы уровнями информационно-экономической интеграции и сопровождаются трансформацией организационного оформления и информационного поля взаимодействия между всеми заинтересованными сторонами (рисунок 3.4).

1 этап. Формирование единого городского пространства с учетом специфики социально-экономического развития, определяющей перспективные направления потоков энергоресурсов по объектам инженерной-энергетической инфраструктуры. Формируется Единый центр взаимодействия (ЕЦВ), интегрирующего возможности централизованного теплоснабжения и потребности всех объектов инженерно-энергетической инфраструктуры в процессе реализации внутригородского энергообмена.

2 этап. Под воздействием информационно-экономической интеграции элементы системы переходят на качественно новый уровень, что сопровождается трансформацией форм организационного взаимодействия и

информационного поля – происходит формирование межтерриториальных пространств.

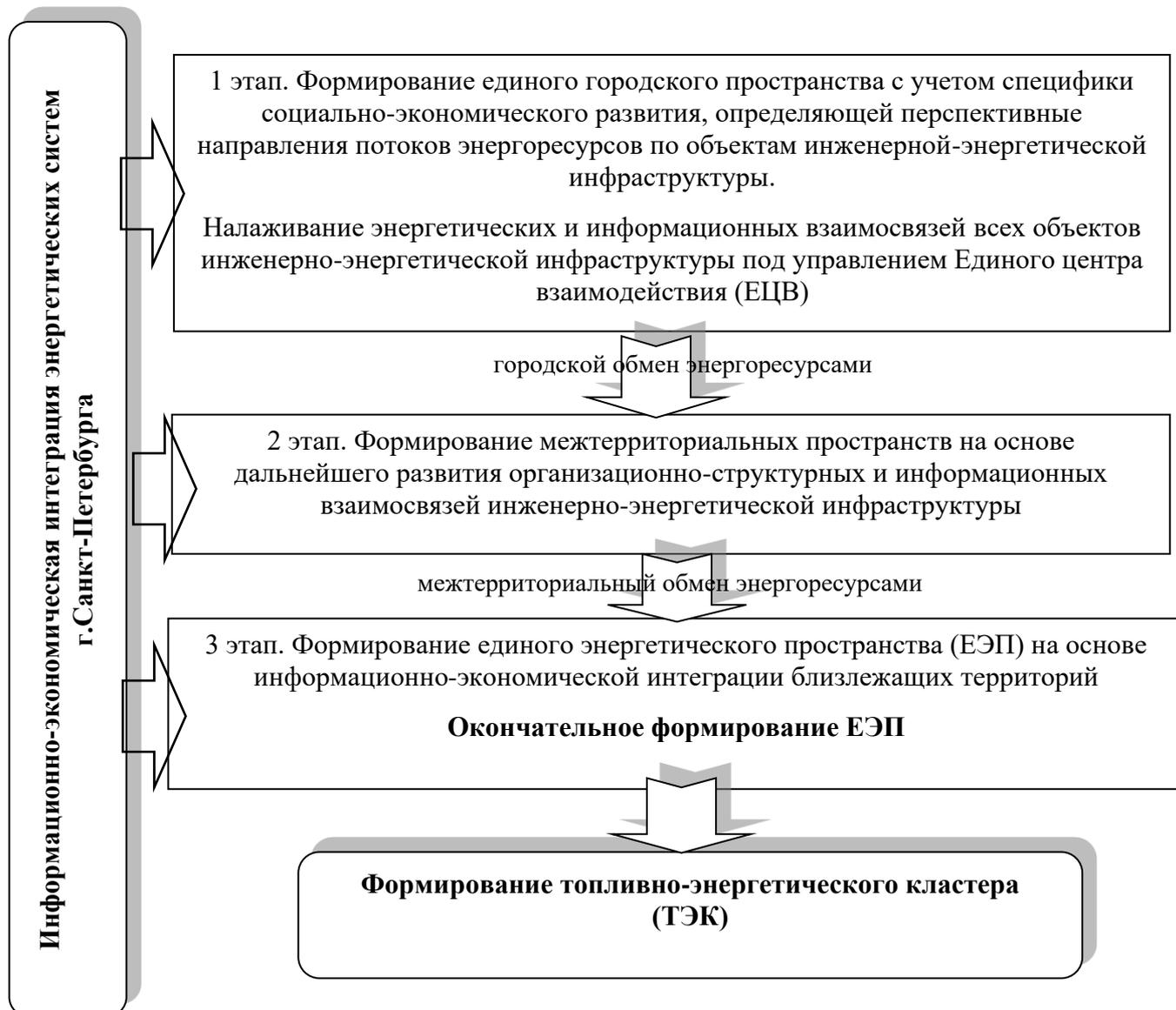


Рисунок 3.4 – Основные этапы механизма реализации проекта программы повышения энергоэффективности системы теплоснабжения г. Санкт-Петербурга [разработано автором]

3 этап. Происходит дальнейшая трансформация элементов системы под влиянием интеграционных процессов – создание топливно-энергетического кластера (ТЭК) и окончательное формирование единого энергетического пространства (ЕЭП), которое позволяет сформировать базу данных о схемах

энергетических потоков, что обеспечивает эффективную реализацию обмена энергоресурсами.

Сложность определения наиболее приоритетной стратегии развития инженерно-энергетической инфраструктуры города, на данном уровне, заключается в том, что она с трудом поддается регулированию. Именно поэтому, завершающим этапом информационно-экономической интеграции, выступает формирование единого энергетического пространства (ЕЭП) под управлением ЕЦВ. На этом уровне аккумулируются необходимые сведения о хозяйствующих субъектах и их потребностях в энергоресурсах для организации эффективных потоков.

Формирование топливно-энергетического кластера дает возможность группировать местные субъекты, действующие в общих интересах, с целью повышения безопасности и качества энергоресурсов, произведенных на территории города, а также снижения затрат на потери энергии. *Энергетические кластеры* представляют собой гражданско-правовые соглашения между различными субъектами, включая органы государственной власти и местного самоуправления, которые направлены на то, чтобы стать энергоэффективными регионами за счет более эффективного использования источников энергии.

Устранить все возможные несоответствия поможет информационная трехконтурная модель взаимодействия элементов инженерно-энергетической инфраструктуры города, так как запросы на энергетические ресурсы будут производиться непосредственно от заказчиков, которые сами принимают окончательное решение, получив достоверную и оперативную информацию о возможностях энергетических компаний тех или иных территорий. Такая модель будет содержать более расширенный объем информационных ресурсов.

Предложенный выше подход по формированию матрицы взаимосвязей производства и потребления энергоресурсов с учетом резервов/дефицитов по источникам теплоэнергии существующей тепловой мощности в зонах

действия ТЭЦ г. Санкт-Петербурга позволит сократить потери, а также устранить имеющийся дефицит теплоносителя.

Стратегия на основе данного механизма будет способствовать преодолению территориальной разобщенности объектов инженерно-энергетической инфраструктуры ЖКХ города и позволит осуществлять проекты энергосбережения в системе теплоснабжения г. Санкт-Петербурга с меньшими затратами и необходимым уровнем качества предоставления услуг.

Таким образом, в современных условиях, модель повышения энергоэффективности системы теплоснабжения г. Санкт-Петербурга должна быть нацелена на формирование механизма энергетического обслуживания на основе единого энергетического пространства посредством информационно-экономической интеграции региона с целью эффективного обмена энергоресурсами.

3.3. Особенности оценки социально-экономической эффективности проекта программы повышения энергоэффективности системы теплоснабжения г. Санкт-Петербурга

В научной литературе, по данной тематике, предлагается множество подходов к методам оценки эффективности проекта программы повышения энергоэффективности системы теплоснабжения города [32;33;41;88]. Наиболее часто используется метод анализа затрат и выгод, который рекомендуется, например, для оценки так называемых крупных проектов, претендующих на бюджетное финансирование. Существуют также и другие методы, которые используются для принятия решений относительно инвестиций, влияющих на эффективность развития инженерно-энергетической инфраструктуры города [42;54]. Однако, по мнению автора, использование этих методов затруднено при комплексном подходе к анализу эффективности с учетом специфики рассматриваемой проблематики.

Определять экономическую эффективность инвестирования в энергосберегающие мероприятия необходимо с использованием современных методик и с учетом экономических особенностей инвестиционных процессов в энергосбережении. В настоящее время самыми распространенными методиками определения экономической эффективности инвестиций являются методы без учета фактора времени и методы, основанные на дисконтировании денежных потоков. Но использование методов без дисконтирования не позволяет оценить изменение стоимости денежных потоков во времени. Методы с дисконтированием также имеют свои недостатки:

- призрачность комплексности и точности вычислений по этим методами;

- искусственное занижение реальной эффективности и ценности проекта;

- резкое обесценивание будущих поступлений средств по сравнению с последующими поступлениями денег;

- отсутствие учета влияния дополнительных доходов от прибыли прошлых лет на общие доходы будущих периодов и, как следствие, недооценка эффективности инвестирования в целом.

Нормативная методика основывается на определении показателя интегральной дисконтированной стоимости изменения прибыли, где прибыль состоит из средств, полученных за счет энергосбережения, и средств, сэкономленных благодаря уменьшению платежей организации за загрязнение окружающей среды. Нормативная методика не учитывает влияния дополнительных доходов, полученных предприятием от реинвестирования средств, стоимости проекта в году t и ликвидационной стоимости проекта. Использование метода расчета чистого приведенного дохода сопровождается трудностями с определением коэффициента дисконтирования и недостатками, приведенными выше.

Чаще всего проводится оценка финансовой эффективности, где критерий финансовой эффективности основан на подходе, который вводит популярный критерий чистой выгоды проекта, согласно которому проекты рекомендуются к реализации, если выгоды, которые они приносят, превышают затраты. Однако в случае критерия финансовой эффективности метод измерения выгод и затрат проекта в значительной степени определяет типы эффектов и затрат, принимаемых во внимание при расчете чистых выгод проекта. Выгоды и затраты ограничиваются теми эффектами и затратами, стоимость которых выражена в рыночных ценах. Следовательно, использование только критерия финансовой эффективности, при оценке государственных проектов, к которым относится оценка социально-экономической эффективности проекта программы повышения энергоэффективности системы теплоснабжения, приведет к:

- игнорированию затрат и эффектов проекта, связанных с внешними эффектами и общественными благами, не связанными с рынком, изменяемыми ценами;

- игнорированию различий между рыночной стоимостью и экономической стоимостью затрат и результатов проекта, особенно когда рыночные цены значительно отклоняются от экономической стоимости. Например, в результате монополистической практики, налогообложения или софинансирования используемых или предоставленных товаров за счет государственных средств.

Эффективность проекта программы повышения энергоэффективности системы теплоснабжения города отражает взаимосвязь между целями проекта, существующими условиями, особенностью системы управления (объекта), конечными результатами и затраченными ресурсами. Для ее определения необходимо иметь информацию как о самом общем характере указанных зависимостей, так и об их измерении, где это возможно. Определение сводного показателя эффективности проекта программы повышения энергоэффективности в сфере теплоснабжения должно осуществляться путем

синтеза частных показателей, относящихся к отдельным аспектам эффективности.

Следовательно, при оценке эффективности проекта программы необходимо сначала установить цели, а затем диагностировать существующую систему как первый шаг к эффективному управлению в соответствии с будущими задачами. Оценка эффективности может производиться с помощью множества параметров, которые почти постоянны для разных проектов, но количественное выражение параметров будет иметь различный приоритетный рычаг для каждого проекта с точки зрения ключевых подсистем, функций и бизнес-процессов. В настоящее время не существует единого стандарта, по которому можно оценивать эффективность проектов, связанных с повышением энергоэффективности на объектах теплоэнергетического комплекса города.

В рамках данной методики предполагается определение агрегированного показателя эффективности проекта программы, который представляет собой средневзвешенное значение уровней эффективности производственно-технической, финансовой, коммерческой, кадрово-интеллектуальной, информационной и инновационно-инвестиционной подсистем, которые будут определять возможные негативные последствия проекта. Несмотря на то, что здесь используются традиционные показатели, их группировка в предложенной последовательности обеспечит всесторонний анализ эффективности проекта программы как с точки зрения экономической эффективности, так и финансовой.

Предлагаемая методика состоит в расчете интегрального показателя эффективности проекта программы повышения энергоэффективности, который основан на последовательном расчете таких показателей, как:

1. Коэффициент рентабельности проекта.
2. Отраслевой уровень риска, который зависит от вида деятельности, в котором планируется развивать проект.
3. Срок окупаемости инвестиций.

4. Чистая приведенная стоимость проекта (NPV).

1. Коэффициент рентабельности процесса проекта k_{rsj} определяется по формуле:

$$k_{rsj} = \frac{DP_{cpj}}{IC} \quad (3.1)$$

Где

DP_{cpj} – средний денежный доход j -ого процесса проекта;

IC - первоначальный инвестиционный капитал.

При этом средний денежный доход рассчитывается по формуле:

$$DP_{cpj} = \frac{\sum_{t=1}^T DP_{tj}}{T} \quad (3.2)$$

Где

DP_{tj} – денежный поток j -ого процесса проекта в периоде t ;

t – период получения дохода, $t = 1, 2, \dots T$.

2. Отраслевой уровень риска, который зависит от вида деятельности, в котором планируется развивать проект, характеризуется денежным доходом процесса проекта и определяется по формуле:

$$DP_j = \sum_{t=1}^T DP_{tj} \quad (3.3)$$

3. Срок окупаемости инвестиций рассчитывается по формуле:

$$Cp_j = \frac{IC_j}{DP_{cpj}} \quad (3.4)$$

4. Чистая приведенная стоимость проекта – NPV рассчитывается по формуле:

$$NPV_j = \sum_{t=1}^T \frac{DP_{tj}}{(1+r)^t} - DP_{(t-1)j} \quad (3.5)$$

Где

r - ставка дисконтирования, которую мы взяли равной 10%;

$DP_{(t-1)j}$ - денежный поток j -ого процесса проекта в периоде $(t-1)$.

Наиболее значимым показателем при принятии решения о формировании портфеля проектов повышения энергоэффективности принимается на основе доходности проектов.

1. Рассчитать процентный показатель R_{NPBall} за период предлагается по формуле:

$$R_{NPBall} = \frac{k_{MP}}{R_{NPPlan}} \quad (3.6)$$

Где R_{NPPlan} средний процентный показатель рисков за период проекта T , где $i = 1, 2, 3, \dots, n$ (либо плановый показатель);

$$R_{NPPlan} = \frac{\sum_{t=1}^T R_{NP}}{T} \quad (3.7)$$

n – количество показателей;

$\sum_{t=1}^T R_{NP}$ – сумма показателей за период T , где $t = 1, 2, 3, \dots, T$.

Данные для расчета интегрального индекса перспективности проектов программы энергосбережения и повышения энергетической эффективности, по предлагаемой последовательной методике, допускается, получить эмпирическим путем. Проведенная апробация на тестовых данных позволит говорить о рабочем состоянии и возможностях ее использования при наличии фактических данных в реальных условиях. Апробация предлагаемой методики представлена в таблицах 3.4, 3.5.

Таблица 3.4 – Данные для расчета интегрального индекса перспективности проекта программы повышения энергоэффективности [составлено автором на основании собственных расчетов]

	Цена, тыс. руб.	Кол.потребителей, тыс.	Размер рынка, тыс. руб.	Поток 1 год, тыс. руб.	Поток 2 год, тыс. руб.	Поток 3 год, тыс. руб.	Поток 4 год, тыс. руб.	Поток 5 год, тыс. руб.
Проект 1	5,144	3,48	17,90112	-3430	339,57	343,05	11936,4	10742,59
Проект 2	5,145	3,52	18,1104	-3370	333,63	337,15	11862,4	10675,63
Проект 3	5,115	3,35	17,13525	-3250	321,75	325,1	10887,5	9798,415
Проект 4	5,144	4,002	20,58629	-3324,5	329,1255	333,1275	13304,65	11971,47
Проект 5	5,3	4,048	21,4544	-3464,5	342,9855	347,0335	14024,3	12619,5
Проект 6	5,403	3,8525	20,81506	-3446,02	341,156	345,0085	13275,79	11946,65

Продолжение таблицы 3.4

Проект 7	5,383	4,6023	24,77418	-3483,01	344,818	349,4203	16029,86	14421,72
Проект 8	5,36	4,6552	24,95187	-3533,7	349,8363	354,4915	16450,08	14799,85
Проект 9	5,16	4,430375	22,86074	-3595	355,905	360,3354	15927,2	14330,78
Проект 10	5,146	5,292645	27,23595	-3730	369,27	374,5626	19741,57	17759,14

Таблица 3.5 - Расчет по проектам программы повышения энергоэффективности [составлено автором на основании собственных расчетов]

	Денежный поток, тыс. руб.	Средний денежный доход, тыс. руб.	Рентабельность инвестиций	Срок окупаемости	NPV, тыс. руб.
Проект 1	19931,61	3747,558	0,249837	4,002606	16871,6
Проект 2	19838,81	3730,409	0,248694	4,021007	16706,39
Проект 3	18082,77	3398,736	0,226582	4,413405	13967,86
Проект 4	22613,87	4256,14	0,283743	3,52432	20944,2
Проект 5	23869,32	4492,906	0,299527	3,338597	22922,77
Проект 6	22462,58	4226,688	0,281779	3,548878	20758,66
Проект 7	27662,81	5210,934	0,347396	2,878563	28746,63
Проект 8	28420,56	5354,066	0,356938	2,801609	29927,93
Проект 9	27379,22	5156,559	0,343771	2,908917	28354,62
Проект 10	34514,54	6506,422	0,433761	2,305415	39347,26

Расчет интегрального индекса по каждому проекту программы повышения энергоэффективности представлен в таблице 3.6.

Таблица 3.6 - Расчет интегрального индекса проектов программы повышения энергоэффективности [составлено автором на основании собственных расчетов]

	Цена	Количество	Денежный поток	Рентабельность инвестиций	Срок окупаемости	NPV	Сумма показателей	Интегральный индекс	Интегральный индекс с учетом рисков
Проект 1	0,0984	0,0844	0,0814	0,2498	0,0400	0,0707	0,5540	0,1108	0,001108
Проект 2	0,0984	0,0854	0,0810	0,2487	0,0402	0,0700	0,5537	0,1107	0,001107
Проект 3	0,0978	0,0812	0,0739	0,2266	0,0441	0,0586	0,5236	0,1047	0,001047
Проект 4	0,0984	0,0971	0,0924	0,2837	0,0352	0,0878	0,6068	0,1214	0,001214
Проект 5	0,1013	0,0982	0,0975	0,2995	0,0334	0,0961	0,6299	0,1260	0,001260
Проект 6	0,1033	0,0934	0,0918	0,2818	0,0355	0,0870	0,6058	0,1212	0,001212
Проект 7	0,1029	0,1116	0,1130	0,3474	0,0288	0,1205	0,7037	0,1407	0,001407
Проект 8	0,1025	0,1129	0,1161	0,3569	0,0280	0,1255	0,7164	0,1433	0,001433
Проект 9	0,0987	0,1074	0,1119	0,3438	0,0291	0,1189	0,6908	0,1382	0,001382
Проект 10	0,0984	0,1284	0,1410	0,4338	0,0231	0,1649	0,8246	0,1649	0,001649

В таблице 3.7 представлены наиболее перспективные проекты программы повышения энергоэффективности, которыми стали проекты под №№7,8 и10.

Таблица 3.7 - Выбор перспективных проектов программы энергоэффективности на основе интегрального индекса [составлено автором на основании собственных расчетов]

Наименование проекта	$R_{NP_{Ball}}$
Проект 1	0,001108
Проект 2	0,001107
Проект 3	0,001047
Проект 4	0,001214
Проект 5	0,001260
Проект 6	0,001212
Проект 7	0,001407
Проект 8	0,001433
Проект 9	0,001382
Проект 10	0,001649

Говоря о результатах внедрения проекта программы повышения энергоэффективности, предполагается получение следующих видов эффекта:

Экономический эффект:

1. Уменьшение потребления тепловой энергии в жилом, социальном и промышленном секторах за счет мероприятий по энергосбережению и повышению энергоэффективности в натуральной и стоимостной формах.

2. Повышение общего интегрального показателя эффективности системы теплоснабжения города за счет реализации комплексных проектов повышения энергоэффективности от производителя к потребителю.

3. Привлечение средств частных предприятий теплоснабжения к повышению энергоэффективности города.

4. Создание условий для увеличения объемов частного инвестирования в энергоэффективные проекты.

5. Привлечение средств жителей к софинансированию энергоэффективных проектов в жилищном секторе.

Социальный эффект:

1. Формирование осознанной энергоэффективной позиции населения, как основного потребителя энергетических ресурсов, благодаря реализации проекта и стимулирования энергосбережения.

2. Внедрение демонстрационных и пилотных проектов по термомодернизации жилых зданий.

3. Повышение качества теплоснабжения и ГВС за счет эффективной деятельности по моделированию ТЭР в рамках системы энергоменеджмента и путём проведения энергоэффективных мероприятий на конкретных объектах.

Экологический эффект:

1. Уменьшение выбросов вредных веществ и парниковых газов (CO₂) в атмосферу, связанных с выработкой теплоносителя в системе централизованного теплоснабжения.

2. Активное внедрение принципов ESG-концепции для достижения наилучших экологических показателей в сфере функционирования объектов теплоэнергетического хозяйства и прочих элементов инженерно-энергетической инфраструктуры жилищно-коммунального хозяйства города.

Таким образом, по результатам проведенного исследования, получены следующие результаты:

- представлено технико-экономическое обоснование проекта программы повышения энергоэффективности системы теплоснабжения г. Санкт-Петербурга; обосновано, что данный проект программы в сфере теплоснабжения города предполагает выполнение определенных функций, каждая из которых направлена на решение конкретных задач по развитию инженерно-энергетической инфраструктуры города;

- разработаны методы повышения энергоэффективности системы теплоснабжения г. Санкт-Петербурга; на основе предложенных параметров оценки энергообеспечения теплоэнергетики ЖКХ города апробирован подход на примере наличия резервов/дефицитов по источникам теплоэнергии в зонах

действия ТЭЦ г. Санкт-Петербурга; апробация этих материалов позволяет доказать возможность применения результатов в практической деятельности;

- рассмотрены особенности оценки и определены основные показатели социально-экономической эффективности проекта программы повышения энергоэффективности системы теплоснабжения г. Санкт-Петербурга.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенного диссертационного исследования сделаны **выводы** и сформулированы следующие **рекомендации**.

Раскрыты структура и содержание современного города и определено его влияние на социально-экономическое развитие региона; рассмотрены различные аспекты проблематики развития и совершенствования современных городов; приведен ряд статистической информации, касающейся уровня урбанизации нашей страны и зарубежных государств; установлена взаимосвязь отдельных понятий, используемых для обозначения урбанизированных образований; отражены новые тенденции и идеи-концепции развития городов.

Рассмотрено содержание политики энергосбережения и повышения энергетической эффективности города в современных условиях; включая теорию вопросов, связанных с энергосбережением и повышением энергоэффективности; раскрыты дефиниции «энергосбережение», «энергетическая эффективность», «ресурсосбережение»; обозначены подходы к совершенствованию энергосберегающей политики на государственном уровне, а также необходимость ее внедрения со стороны производителей энергоресурсов; проанализирован сводный перечень мероприятий обновленного комплексного плана по повышению энергетической эффективности экономики России до 2030 г.; разработана и предложена информационная модель управления инженерно-энергетической инфраструктурой ЖКХ. Отличительной особенностью данной модели является наличие трехконтурной структуры, включающей в себя: организационно-цифровой контур (обработка и обмен больших массивов данных (Big Data)); контур управления производственно-хозяйственной деятельностью (контроль и учет применяемых энергоэффективных технологий); контур взаимодействия инженерно-энергетической инфраструктуры с внешней средой. Предлагаемая модель базируется на обработке и обмене больших массивов данных (Big Data), а также на симбиозе

IT и энергоэффективных технологий с объектами инженерно-энергетической инфраструктуры, что позволяет учитывать интересы всех субъектов коммунальной инфраструктуры и энергетики: предприятий инженерно-энергетического комплекса, органов государственной власти и местного самоуправления, предприятий градостроительного комплекса, государственных информационных систем ЖКХ, управляющих компаний и ТСЖ и жителей города.

На базе предлагаемой модели управления повышением энергоэффективности инженерно-энергетической инфраструктуры ЖКХ, предлагается к внедрению концепт реализации виртуального вычислительно-моделирующего комплекса ИЭИ ЖКХ, суть работы которого заключается в моделировании процесса повышения эффективности использования нового оборудования (материалов, технологий), внедряемых на объектах инженерно-энергетической инфраструктуры на всех стадиях жизненного цикла.

Выявлены проблемы повышения энергоэффективности в сфере инженерно-энергетической инфраструктуры города. Раскрыты и даны четкие определения понятиям «инфраструктура города», «инженерная инфраструктура города», «инженерно-энергетический комплекс города». В подразделах подробно рассмотрены особенности развития систем инженерно-энергетической инфраструктуры ЖКХ на примерах двух городов-мегаполисов страны: Санкт-Петербурга и Москвы.

Проанализирована зарубежная практика проведения политики энергоэффективности в ряде зарубежных стран, включая Германию, Данию, Канаду и Финляндию. На основании данного анализа, сформулированы основные мероприятия и комплексные управленческие решения, которые, в совокупном и рациональном применении, станут драйвером активного внедрения механизмов энергосбережения и повышения энергоэффективности на объектах инженерно-энергетической инфраструктуры ряда городов нашей страны.

Обоснована система управления повышением энергоэффективности инженерно-энергетической инфраструктуры ЖКХ города, которая позволяет устранить потери неэффективного использования энергетических ресурсов; данная система сочетает в себе элементы организационно-административного, нормативно-правового и технико-экономического управления материально-техническими, топливно-энергетическими и финансово-экономическими ресурсами субъектов хозяйствования инженерно-энергетической инфраструктуры, направленными на повышение энергоэффективности функционирования и обеспечения условий ее устойчивого развития.

В авторской интерпретации сформулировано и предложено понятие энергетической эффективности инженерно-энергетической инфраструктуры ЖКХ города, которое заключается в достижении надлежащего качества предоставления энергетических услуг при минимальном расходе энергоресурсов и соблюдении экологических требований.

Сформирован и предложен экономико-организационный механизм повышения энергоэффективности инженерно-энергетической инфраструктуры ЖКХ города, основными элементами которого являются: нормативно-правовые акты, регулятивные нормы, информационно-цифровые, экономические и административно-контрольные рычаги, а также система мониторинга полученных результатов функционирования.

Разработаны модели повышения энергоэффективности объектов инженерно-энергетической инфраструктуры ЖКХ города, реализуемые на разных уровнях управления, что позволит обеспечить сбалансированность функционирования элементов данной инфраструктуры в процессе генерации и потребления энергетических ресурсов.

Разработана и предложена модель оптимального распределения инвестиций в мероприятия по повышению энергетической эффективности инженерно-энергетической инфраструктуры города на базе инструментария линейного программирования, позволяющая рационально распределять

имеющиеся инвестиции между энергоэффективными мероприятиями с учетом минимального срока их реализации

Представлено технико-экономическое обоснование проекта программы повышения энергоэффективности системы теплоснабжения г. Санкт-Петербурга; обосновано, что данный проект программы в сфере теплоснабжения города предполагает выполнение определенных функций, каждая из которых направлена на решение конкретных задач по развитию инженерно-энергетической инфраструктуры города.

Представлены методы повышения энергоэффективности системы теплоснабжения г. Санкт-Петербурга. На основе предложенных параметров оценки энергообеспечения теплоэнергетики ЖКХ города, апробирован подход на примере наличия резервов/дефицитов по источникам теплоэнергии в зонах действия ТЭЦ г. Санкт-Петербурга. Апробация этих материалов позволяет доказать возможность применения полученных результатов в практической деятельности.

Рассмотрены особенности оценки и определены основные показатели социально-экономической эффективности проекта программы повышения энергоэффективности системы теплоснабжения г. Санкт-Петербурга.

Предложенные рекомендации и мероприятия диссертационного исследования позволят более рационально расходовать энергетические ресурсы, а также повысить энергетическую эффективность и активно внедрять механизмы энергосбережения на объектах инженерно-энергетической инфраструктуры ЖКХ города.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Федеральный закон «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности, и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» от 23.11.2009 г. № 261-ФЗ (последняя редакция).
2. Постановление Правительства РФ от 19.06.2020 г. № 890 «О порядке предоставления доступа к минимальному набору функций интеллектуальных систем учета электрической энергии (мощности)».
3. Постановление Правительства РФ от 29.06.2020 г. № 950 «О внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации по вопросам совершенствования организации учета электрической энергии».
4. Постановление Правительства РФ от 07.12.2020 г. № 2035 «Об утверждении Правил установления требований энергетической эффективности для зданий, строений, сооружений и требований к правилам определения класса энергетической эффективности многоквартирных домов».
5. Постановление Правительства РФ от 31.10.2022 г. № 3268-р «Об утверждении Стратегии развития строительной отрасли и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации на период до 2030 года с прогнозом до 2035 года».
6. Постановление Правительства РФ от 09.09.2023 г. №1473 «Об утверждении комплексной государственной программы РФ «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности».
7. Распоряжение Правительства РФ от 09.06.2020 г. № 1523-р «Об Энергетической стратегии РФ на период до 2035 г.».
8. Распоряжение Правительства РФ от 18.04.2020 г. № 1081-р «О внесении изменений в распоряжение Правительства РФ от 08.01.2009 г. №1 – р».
9. Письмо Минэкономразвития РФ от 18.03.2020 г. № Д05и-8492 «О порядке предоставления деклараций о потреблении энергетических ресурсов».

10. Постановление правительства Москвы от 29.09.2011 г. № 451-ПП «Об утверждении Государственной программы города Москвы «Развитие коммунально-инженерной инфраструктуры и энергосбережение» (с изм. от 04.12.2021 г.).

11. Постановление Правительства Санкт-Петербурга от 22.06.2023 г. №637 «Об утверждении региональной программы «Модернизация систем коммунальной инфраструктуры Санкт-Петербурга на период 2023-2027 годов».

12. Приказ Департамента экономической политики и развития города Москвы от 20.11.2023 г. № ДПР-ТД-478/23 «Об утверждении изменений на 2023–2025 годы, вносимых в инвестиционную программу казенного предприятия «Московская энергетическая дирекция» в сфере теплоснабжения».

13. Аналитический Вестник №6 ИС ИАО г. Санкт-Петербурга, 2023.

14. Асаул, В.В., Аблязов, Т.Х. Цифровая трансформация жилищно-коммунального хозяйства России на основе применения междисциплинарного подхода// Международный научный журнал. 2020. № 4. - С. 21-28.

15. Асаул, В.В., Рыбнов, Е.И., Куралов, С.П. Цифровая модернизация города: опыт проектов «умных городов» в Германии// Вестник гражданских инженеров. 2020. № 5 (82). - С. 206-215.

16. Асаул, В.В. Особенности оценки экономической эффективности энергосберегающих мероприятий// сборник материалов II Международной научной конференции по междисциплинарным исследованиям. ООО «Институт цифровой экономики и права». Екатеринбург, 2023. - С. 117-122.

17. Астафьев, С.А., Филюшина, К.Э., Хуторной, А.Н., Ярушкина, Н.А., Ярлакабов, А.А. Разработка методики оптимального выбора теплоснабжения малоэтажного дома// Экономика и предпринимательство. 2019. № 6 (107). - С. 1014-1021.

18. Астафьев, С.А., Филюшина, К.Э., Гусакова, Н.В., Ярлакабов, А.А., Добрынина, О.И. Развитие энергоэффективных малоэтажных проектов жилищного строительства// Экономика строительства. 2019. № 4 (58). - С. 28-37.
19. Астафьев, С.А., Шибико, А.В. Предпосылки для внедрения бережливого производства в электроэнергетической отрасли// Baikal Research Journal. 2022. Т. 13. № 1.
20. Башмаков, И. А. Повышение энергоэффективности в системах теплоснабжения // Энергосбережение, 2010. № 2. - С. 46-51.
21. Бектемиров, А. Пути модернизации и совершенствования системы централизованного теплоснабжения // Архивариус. 2020. №2 (47). - С.128-130.
22. Березин, А.О. Развитие инженерно-энергетической инфраструктуры крупного города: концепция издержек жизненного цикла// Вестник гражданских инженеров. 2021. №1 (84). - С. 188-193.
23. Березина, М.Ю., Березин, А.О., Смирнова, В.В. Совершенствование государственной политики в сфере повышения энергоэффективности инженерно-энергетического комплекса ЖКХ города// Экономика и предпринимательство. №7, 2024. – С. 574-579.
24. Борисюк, Н.К. Топливо-энергетический комплекс и реструктуризация экономики: монография под редакцией доктора экономических наук, профессора, академика РАЕН Борисюка Н.К. Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Оренбургский государственный университет». - Оренбург: Агентство «Пресса», 2017. - 276 с.
25. Бродель, Ф. Материальная цивилизация, экономика и капитализм, XV–XVIII вв. В 3 т. Т. 3. Время мира / Ф. Бродель. – М.: Весь мир, 2007. – 732 с.

26. Бугаева, Т.М., Новикова, О.В. Современные методы планирования энергосистемы города // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. 2019. №4. - С.377-387.
27. Великанов, Н.Л., Наумов, В.А., Корягин, С.И. Информация по водоотведению в крупных городах России // ТТПС. 2020. №2 (52). - С. 21-26.
28. Видищева, Е.В. Топливо-энергетический комплекс: особенности развития и управления в современных условиях: монография / Е.В. Видищева, О.А. Бугаенко, М.А. Селиверстова. – М.: Инфра-М, 2018.
29. Голикова, Г.А. Организационно-экономическая модель управления энергосбережением в ЖКХ: Дис. ...канд.экон.наук: 08.00.05/ Г.А. Голикова – М., 2014. – 163 с.
30. Горбачев, А.Н. Организационно-экономические методы управления теплоснабжением в устойчивом развитии территорий: Дис. ...канд.экон.наук: 08.00.05/ А.Н. Горбачев. – М., 2020. – 183 с.
31. Данилов, Н.И., Щелоков, Я.М., Балдин, В.Ю. Энергосбережение в жилищно-коммунальном комплексе: монография// Екатеринбург.: Изд-во ГОУ ВПО «УГТУ-УПИ», 2006. – 102 с.
32. Ерастов, А.Е., Новикова, О.В. Инновационное энергосбережение: интегральный метод оценки мотивационной среды // Вестник ИГЭУ. 2017. №2. - С.75-86.
33. Ерастов, А.Е. Методы и инструменты оценки инновационной среды с целью внедрения энергосберегающих технологий: Дис. ...канд.экон.наук: 08.00.05/ А.Е. Ерастов – СПб., 2019. – 190 с.
34. Ермакова, М.Ю. Стратегические приоритеты развития энергетической компании в современных условиях// Экономика и предпринимательство. 2021. №1(126). – С.1158-1163.
35. Ермакова, М.Ю. Повышение энергоэффективности инженерно-энергетической инфраструктуры крупного города на основе внедрения «умных» технологий// Экономика и предпринимательство. 2021. №8.- С.552-556.

36. Ермакова, М.Ю. Методы повышения энергоэффективности объектов энергетической инфраструктуры крупного города (на примере г. Санкт-Петербурга)// Экономика и предпринимательство. 2023. №2.- С.393-398.

37. Ермакова, М.Ю., Березин, А.О. Использование цифровых инструментов при реализации проектов в сфере строительства и ЖКХ/ монография. – СПб.: Изд-во СПбГЭУ, 2023. – 126 с.

38. Животовская, И.Г. Мегалополисы в условиях глобализации: сборник обзоров и рефератов. – М.: РАН. ИНИОН. Центр науч.-информ. исслед. глобал. и регион. пробл., 2018. – 178 с.

39. Запольская, И.Н. Влияние перехода на горячее водоснабжение от индивидуальных тепловых пунктов на энергетическую системы городов Республики Татарстан: Дис. ...канд.экон.наук: 05.14.01/ И.Н. Запольская – Казань, 2022. – 194 с.

40. Иваненко, Л.В., Тасеев, В.Б. Управление инновационным развитием крупного города // Вестник УГНТУ. Наука, образование, экономика. Серия: Экономика . 2017. №2 (20). - С.107-113.

41. Ишков, А.Г., Яценко, И.А., Романов, К.В., Пыстина, Н.Б., Хворов, Г.А., Аكوпова, Г.С., Юмашев, М.В., Косолапова, Е.В. Повышение энергетической эффективности транспортировки газа на примере экспортных коридоров // Газовая промышленность. 2017. №3 (749).

42. Ковалев, В.В., Данилова, Т.В., Епифанцева, С.В. Систематизация организационно-технологических и других факторов, влияющих на стоимость строительства объектов, с учетом требований к их энергоэффективности и экологичности // Вісник ПДАБА. 2018. №6 (247-248). - С.57-64.

43. Кошечев, В.А., Цветков, Ю.А., Вишнинецкая, А.И. Элементы цифровой экономики в жилищно-коммунальном хозяйстве// Вестник гражданских инженеров. 2019. № 2 (73). – С. 173-179.

44. Кошечев, В.А., Артахинова, А.Н. Повышение энергоэффективности зданий на инновационной основе в районах крайнего

севера// сборник материалов II Межвузовской ежегодной научно-практической конференции. Санкт-Петербург, 2021. – С. 271-282.

45. Крылов, Ю. А. Энергосбережение и автоматизация производства в теплоэнергетическом хозяйстве города: учебное пособие / Ю. А. Крылов, А. С. Карандаев, В. Н. Медведев. – СПб.: Лань, 2013. - 176 с.

46. Кузовлева, И.А., Потапенко, О.С., Данилов, В.К. Экономические инструменты управления системой очистки сточных вод в городе с целью повышения экологической эффективности// Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2022. № 1 (37). – С. 84-96.

47. Кузовлева, И.А., Филиппова, Т.Я., Благодер, Т.П., Потапенко, О.С. Механизм реализации ресурсосберегающих мероприятий в многоквартирных домах с учетом энергоэффективного контракта// Russian Economic Bulletin. 2023. Т. 6. № 1. – С. 216-224.

48. Лаврентьев, А.В. Сравнительный опыт водоснабжения в Канаде// Современные проблемы науки и образования. – 2013. №6.

49. Ларионова, Ю.В. Особенности формирования системы управления жилищно-коммунальным комплексом на уровне крупного региона// Вестник Российской академии естественных наук (Санкт-Петербург). 2014. № 3. – С. 106-108.

50. Ларионова, Ю.В. Основные направления государственной политики в сфере ЖКХ// Недвижимость: экономика, управление. 2019. № 3. – С. 18-22.

51. Ларионова, Ю.В. Методические основы перехода на прямые договоры с ресурсоснабжающими организациями с целью обеспечения устойчивого развития отрасли ЖКХ// Недвижимость: экономика, управление. 2019. № 3. – С. 45-48.

52. Ларионова, Ю.В., Левин, Ю.А. Формы финансирования и риски концессионного механизма проекта коммунальной инфраструктуры// Финансы. 2023. № 4. – С. 52-56.

53. Лебедева, М. Мегалополис как актор мировой политики/ М. Лебедева, В. Сергеев// Космополис. – 2004-2005. - №4 (10). – С.193-200.

54. Максимчук, О.В., Поляничко, М.В. Сравнительный анализ методических подходов к оценке эффективности энергосберегающих технологий и мероприятий: региональный аспект // РЭиУ. 2017. №4 (52). – С.21.

55. Маркин, В.В. Стратегическое управление энергоэффективностью в регионе: монография. – Спб.: СПбГИЭУ, 2008. – 243 с.

56. Мунц, Ю. Экономический механизм реформирования систем теплоснабжения. Монография. - Издательство LAP Lambert Academic Publishing, 2012. – 124 с.

57. Мухорин, А. А. Проблемы системы водоснабжения и водоотведения в России / А. А. Мухорин, А. Д. Сидоров. — Текст: непосредственный // Молодой ученый. 2017. № 15 (149). – С. 61-63.

58. Николихина, С.А. Энергоэффективность в строительстве и эксплуатации жилищного фонда Российской Федерации// Современная экономика: глобальные тренды и приоритеты устойчивого развития. электронный сборник трудов VI Национальной научно-практической конференции, посвященной 30-летию факультета «Экономика и менеджмент». Санкт-Петербург, 2023. – С. 361-365.

59. Осорин, М.П. Концепция Smart Grid - инструмент повышения энергоэффективности // Энергосбережение. - 2011 –№1. – С.6-9.

60. Плахотник, А. В. Основы стратегического управления социально-экономическим развитием города: монография / А.В. Плахотник; под ред. Т. Б. Ивановой. - Саратов: Поволж. акад. гос. службы, 2015.

61. Пузаков, В.С. «Облачные» технологии - энергоёмкий потребитель или эффективный источник теплоснабжения? // Новости теплоснабжения. - 2017. - № 2.

62. Пузаков, В.С. Теплоснабжение по-европейски// Новости теплоснабжения. – 2018. №8 (96).

63. Рамазанов, М.А. Источники формирования агломерационных связей в крупных городах // Московский экономический журнал. 2020. №8. - С.494-500.
64. Ремизова, А.А. Развитие системы теплоснабжения как показатель реализации социальной инфраструктуры // Московский экономический журнал. 2020. №6. - С.587-595.
65. Романова, А.И., Романов, Д.С. Инновационные технологии в сфере жилищно-коммунальных услуг крупных мегаполисов// Управление экономическими системами: электронный научный журнал. 2019. № 9 (127). - С. 21.
66. Романова, А.И., Берваль, А.В., Буркеев, Д.О. Эффективность эксплуатационных услуг в условиях энергоресурсосбережения// Управление экономическими системами: электронный научный журнал. 2019. № 9(127). - С. 20.
67. Романова, А.И. Шагиахметова, Э.И., Золотонос, Я.Д., Мартынов, П.О., Сердарова, М.С. Экономическая эффективность эксплуатационных услуг от применения инновационных инженерных систем в жилых многоквартирных домах// Жилищные стратегии. 2022. Т. 9. № 1. - С. 89-104.
68. Савиных, В.П. Пространственное ситуационное моделирование // ИТНОУ: информационные технологии в науке, образовании и управлении. 2018. №1 (5). - С.92-104.
69. Сегединов, А.А. Проблемы экономики развития инфраструктуры городов: научное издание. – М.: Стройиздат, 1987.
70. Середкин, Е.М. Налоговое стимулирование повышения энергоэффективности национальной экономики: дис. ... канд. экон. наук. М., 2014. 140 с.
71. Синельникова, В.Н. Формирование тарифной политики повышения энергоэффективности в централизованном теплоснабжении: Дис. ...канд.экон.наук: 08.00.05/ В.Н. Синельникова. – Красноярск, 2021. – 190 с.

72. Смит, А. Исследование о природе и причинах богатства народов// А.Смит.: Изд-во АСТ, 2019. – 1072 с.

73. Совершенствование системы государственного управления пространственным развитием Санкт-Петербурга в рамках перехода к комплексному развитию территорий города с учетом межотраслевого баланса ресурсов систем коммунальной инфраструктуры и энергетики Санкт-Петербурга / коллективная монография под общей ред. д-ра экон. наук, проф. О.Л. Ким, д-ра экон.наук, проф. И.В. Федосеева, д-ра экон. наук М.Н. Юденко. – СПб. : Изд-во СПбГЭУ, 2018. – 100 с.

74. Стенников, В.А., Еделева, О.А., Барахтенко, Е.А., Пеньковский, А.В., Постников, И.В. Программа «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности на территории Иркутской области на 2011-2015 годы с перспективой до 2020 года и ее реализация» // Сборник статей молодых ученых ИНЦ СО РАН. Иркутск, 2013. - С. 53-54.

75. Стенников, В.А., Жарков, С.В. Эффективные направления технической политики в энергоснабжении // Известия РАН. Энергетика. 2017. №5. - С. 19-31.

76. Стенников, В.А., Добровольская, Т.В., Еделева, О.А., Пеньковский, А.В., Постников, И.В. Методический подход к выбору первоочередных мероприятий в системах коммунальной теплоэнергетики на примере Иркутской области // Вестник ИрГТУ. 2018. №6 (137). - С.169-182.

77. Турабов, В.И. Вопросы оптимизации экономики больших городов в современных условиях: монография/ Турабов В.И.: Моск. гос. ун-т им. М.В. Ломоносова. Фак. Гос. упр., Каф. Экон. Теории и политики. – М.: МАКС-пресс, 2011.

78. Управление энергоэффективностью и ресурсосбережением/учебное пособие//Чекалин В.С., Ермакова М.Ю. – СПб.: Изд-во СПбГЭУ, 2018. – 71 с.

79. Урбанистика. Городская экономика, развитие и управление: учебник и практикум для вузов / Л. Э. Лимонов [и др.]; под редакцией Л. Э. Лимонова. - Москва: Издательство Юрайт, 2019. - 822 с.

80. Файзиев, Р.М. Экономические условия и долгосрочное планирование инновационного развития российских городов в XXI веке: монография / Р.М. Файзиев. - Астрахань: издатель Сорокин Роман Васильевич, 2015. - 210 с.

81. Федосеев, И.В., Веденева, О.В., Григорьев, К.А. Формирование принципов стратегического планирования ресурсоснабжения для нужд жилищно-коммунального хозяйства города Санкт-Петербург// Экономика: вчера, сегодня, завтра. 2018. Т8. №9А. - С.27-34.

82. Фенин, О. М. Инновационная стратегия социально-экономического развития города: монография / О.М. Фенин; М-во образования Рос. Федерации, С.-Петерб. гос. ун-т экономики и финансов. - [Препр.]. - СПб.: Изд-во СПбГУЭФ, 2011.

83. Чекалин, В.С., Любарская, М.А., Ермакова, М.Ю. Энергетический комплекс крупного города: проблемы и пути развития// Известия Санкт-Петербургского государственного экономического университета. 2020. №4 (124). – С.56-63.

84. Челнокова, О.Ю. Экономика города : (учебное пособие) / Челнокова О.Ю. ; Саратовский гос. ун-т им. Н.Г. Чернышевского, Каф. экон. теории и нац. экономики. - Саратов : Саратовский источник, 2011.

85. Чемезов, А.В., Яхина, Е.Р., Шамарова, Н.А. К вопросу определения понятий «энергосбережение» и «энергоэффективность»// Вестник ИрГТУ. 2015. №4 (159).

86. Чичерин, С.В. Место теплоснабжения в современном городе // Вестник ПНИПУ. Строительство и архитектура. 2018. №3. - С.79-87.

87. Шаманов, Д.А. Распределительные сети Финляндии. Особенности схемных решений// Новости электротехники. 2020. №6 (126).

88. Шибалов, П.В. Выбор энергоэффективных организационно-технологических решений при проектировании обособленных строительных объектов // Вестник евразийской науки. 2018. №2. - С.6.
89. Экономика города и устойчивое развитие городских систем: учебное пособие / В.С. Чекалин – СПб: Изд-во СПбГЭУ, 2019. – 123 с.
90. Энергоэффективность-2020. Саморегулирование и перспективы развития // Научный бюллетень строительных технологий. 2020. №12.
91. Энергоэффективный Петербург//Специализированный научный журнал. 2020. №4. – С.5-6.
92. Chen, Y., Hong, T., Piette, M. City-Scale Building Retrofit Analysis: A Case Study using CityBES, Proc. BS 2017.
93. Coccolo, S., Kämpf, J., Mauree, D., Scartezzini, J. Cooling potential of greening in the urban environment, a step further towards practice, Sustain. Cities Soc. 38 (2018). - PP. 543–559.
94. Comodi, G., Cioccolanti, L., Renzi, M. Modelling the Italian household sector at the municipal scale: Micro-CHP, renewables and energy efficiency. Energy 2014. - PP. 92–103.
95. Copiello, S. Achieving affordable housing through energy efficiency strategy. Energy Policy. 2015. No 85. - PP. 288–298.
96. Corbach, M. Energiepolitischer lobbyismus in Deutschland, Berlin (2018). – 567 p.
97. Energy Policies of IEA Countries: Canada – 2015. OECD, IEA. - 2016. 287 p.
98. Global City-Regions: Trends, Policy, Theory/ A. J. Scott, J. Agnew, E. Soja, M. Storper ; ed. by A. J. Scott. – N. Y. : Oxford University Press Inc., 2001. – 467 p.
99. Gottman, J. Megapolis: the urbanized northeastern seaboard of the United States/ J. Gottman. – N.Y.: Twentieth Century Fund, 1961. – 810 p.
100. Hall, P. The World Cities / P. Hall. – L.: World University Library : Weidenfeld & Nicolson, 1966. – 256 p.

101. Megacity Challenges. A stakeholder perspective/ Siemens AG. – Munich, Germany, 2017. – 67 p.
102. Merriam-Webster's Collegiate Dictionary. –11th ed. – Merriam-Webster, Inc., 2003. – 1663 p.
103. Mumford, L. The Culture of Cities/ L. Mumford. – L.: Routlend: Thoemmes Press Reprint, 1997. – 530 p.
104. Nageler, P., Koch, A., Mauthner, F., Leusbrock, I., Mach, T., Hochenauer, C., Heimrath, R. Comparison of dynamic urban building energy models (UBEM): Sigmoid energy signature and physical modelling approach, Energy Build. 2018. № 179. - PP. 333–343.
105. Norman, H., MacLean, C. Kennedy, A. Comparing High and Low Residential Density: Life-Cycle Analysis of Energy Use and Greenhouse Gas Emissions, J. Urban Plan. Dev. 132 (2006) 10–21.
106. Odgaard, O. China's Quest for New District Heating Reforms. Policy Brief - 2015. № 3. - 16 p.
107. Paulo Rui Ancaies, Peter Jones, Jennifer S. Mindell (2016) Community Severance: Where Is It Found and at What Cost?, Transport Reviews. – PP. 293-317.
108. Perera, A., Coccolo, S., Scartezzini, J., Mauree, D., Quantifying the impact of urban climate by extending the boundaries of urban energy system modeling, Appl. Energy. 222 (2018). - PP.847–860.
109. Reed, H. Financial centre hegemony, interestrates and the global political economy / H. Reed // International Banking and Financial Centres. – L. :Kluvier Academic Press, 1989. – PP. 247–268.
110. Sassen, S. The Global City: New York, London,Tokyo / S. Sassen. – Princeton : Princeton University Press, 1991. – 447 p.
111. Stenqvist, C. Trends in energy performance of the Swedish pulp and paper industry: 1984–2011. Energy Efficiency (2015). DOI 10.1007/s12053-014-9276-4.

112. Актуальные вопросы модернизации объектов коммунальной инфраструктуры с высокой степенью износа: законодательные новации и правоприменительная практика [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://council.gov.ru/activity/activities/roundtables/111947/> (дата обращения 29.03.2024).

113. Водный сектор Германии: водоснабжение и удаление сточных вод [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.c-o-k.ru/articles/vodnyu-sektor-germanii-vodosnabzhenie-i-udalenie-stochnyh-vod> (дата обращения 11.06.2021 г.).

114. Водоснабжение и водоотведение в Дании [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://ru.xcv.wiki/wiki/Water_supply_and_sanitation_in_Denmark (11.06.2021 г.).

115. Данные с официального сайта ГРО «ПетербургГаз». [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://peterburggaz.ru/> (дата обращения 02.04.2023 г.).

116. Данные с официального сайта ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга». [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.vodokanal.spb.ru/vodosnabzhenie/struktura_vodosnabzheniya/ (дата обращения 02.04.2023 г.).

117. Данные с официального сайта ГУП ТЭК Санкт-Петербурга. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.gptek.spb.ru/product/energy-efficiency/> (дата обращения 02.04.2023 г.).

118. Датская ассоциация водоснабжения и канализации - DANVA. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.danva.dk/> (дата обращения 26.06.2023 г.).

119. Закон двух «Э» - как отапливают дома в Финляндии [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://finland.fi/ru/zhizn-i-obshchestvo/zakon-dvuh-e-kak-otaplivayut-doma-v/> (дата обращения 31.05.2023 г.).

120. Зарубежная электроэнергетика [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.np-sr.ru/ru/market/cominfo/foreign/index.htm> (дата обращения 15.09.2022 г.).

121. Информационно-правовой портал «Гарант.ру». [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.garant.ru/news/349931/> (дата обращения 12.01.2023 г.).

122. Инфраструктура города. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://spravochnick.ru/gosudarstvennoe_i_municipalnoe_upravlenie/infrastruktura_goroda/ (дата обращения 23.11.2022 г.).

123. Как правильно оформить отказ от централизованного отопления. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://anodnvp.com/ru/2020/09/17/kak-pravylno-oformyt-otkaz-ot-centralizovannogo-otopleniya/> (дата обращения 06.03.2022 г.).

124. Как Финляндия использует биомассу в централизованном теплоснабжении [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://energy.esco.agency/rubriki-zhurnala/biotoplivnaja-jenergetika/5525/kak-finljandija-ispolzuet-biomassu-v-centralizovannom-teplosnabzhenii> (дата обращения 22.02.2022 г.).

125. Коммунальные платежи увеличатся на 26% за два года [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.ng.ru/economics/2023-09-24/1_8834_tariff.html (дата обращения 02.04.2024).

126. Концепция развития энергосбережения Канады (перевод Г.Я. Бернера) [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.energsovet.ru/npb1310.html> (дата обращения 15.10.2022 г.).

127. Крупнейшие города России-2024: численность населения, места в рейтингах [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://ria.ru/20221116/goroda-1832007799.html> (дата обращения 28.03.2024).

128. Мартюшов С.Н. Государственная политика в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности

[Электронный ресурс] - Режим доступа:
<http://www.energsovet.ru/stat614.html> (дата обращения 18.02.2022 г.).

129. Национальная служба энергетики Канады [Электронный ресурс].
Режим доступа: <https://www.rec-cep.gc.ca/> (дата обращения 18.05.2022 г.).

130. О государственной программе Санкт-Петербурга «Комплексное развитие систем коммунальной инфраструктуры, энергетики и энергосбережения в Санкт-Петербурге» (с изменениями от 17 марта 2021 года). [Электронный ресурс]. Режим доступа:
<http://www.assembly.spb.ru/ndoc/doc/0/822403593?print=0> (дата обращения 25.04.2022 г.).

131. Опыт Дании в области энергосбережения [Электронный ресурс].
Режим доступа: https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=164 (дата обращения 18.04.2022 г.).

132. Опыт электросетей компании Финляндии [Электронный ресурс].
Режим доступа: <https://neftegaz.ru/news/powernetworks/498802-setevaya-kompaniya-oznakomilas-s-opytom-elektrosetevoy-kompanii-finlyandii/> (дата обращения 08.08.2022 г.).

133. Основные источники потерь в тепловых системах и способы их устранения [Электронный ресурс]. Режим доступа:
[http://www.energsovet.ru/stat111.html#:~:text="](http://www.energsovet.ru/stat111.html#:~:text=) (дата обращения 02.04.2024).

134. Открытый бюджет Санкт-Петербурга. [Электронный ресурс].
Режим доступа: <https://budget.gov.spb.ru/ttps://budget.gov.spb.ru/> (дата обращения 20.04.2022 г.).

135. Официальный сайт ПАО «Россети Ленэнерго» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://rosseti-lenenergo.ru/> (дата обращения 29.03.2024 г.).

136. Перспективные балансы тепловой мощности источников тепловой энергии и тепловой нагрузки г. Санкт-Петербурга. [Электронный ресурс].
Режим доступа:
<https://www.gov.spb.ru/static/writable/ckeditor/uploads/2018/08/08/%D0%9A%D>

0%BD%D0%B8%D0%B3%D0%B0%204%20%D0%93%D0%BB%D0%B0%D0%B2%D0%B0%204%20%2B%20%D0%9F%D1%80%D0%B8%D0%BB%D0%BE%D0%B6%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%8F%20%D0%90%2C%20%D0%91%2C%20%D0%92.pdf (дата обращения 02.01.2023 г.).

137. Повышение энергоэффективности: опыт Германии [Электронный ресурс]: Режим доступа: <https://www.eprussia.ru/epr/330/2305124.htm> (дата обращения 13.09.2022 г.).

138. Политика Финляндии по энергосбережению [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=492 (дата обращения 30.10.2022 г.).

139. Потенциал энергосбережения и его реализация на предприятиях ТЭК. [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://portal.tpu.ru/files/personal/usakov/03.pdf> (дата обращения 23.12.2022 г.).

140. Ресурсосбережение [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://www.ekoslovar.ru/350.html> (дата обращения 23.12.2022 г.).

141. Соснова С. Датское энергетическое чудо [Электронный ресурс] // «Энергосбережение» - специализированное приложение к журналу «Строительство и городское хозяйство Санкт-Петербурга и Ленинградской области». - Режим доступа: <http://www.energsovet.ru/stat59.html> (дата обращения 31.03.2023 г.).

142. Статистические данные с официального сайта Комитета по энергетике и инженерному обеспечению Администрации Санкт-Петербурга [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.gov.spb.ru/gov/otrasl/ingen/> (дата обращения 23.04.2023 г.).

143. Перспективная схема теплоснабжения Санкт Петербурга на период до 2033 года. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.gov.spb.ru/gov/otrasl/ingen/shemy-razvitiya-inzhenerno-energeticheskogo-kompleksa/aktualizaciya-shemy-teplosnabzheniya-na-2019-god/> (дата обращения 20.02.2023 г.).

144. Уровень урбанизации в России: показатели, темпы, рост [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://rosinfostat.ru/urbanizatsiya-v-rossii/> (дата обращения 30.03.2024).

145. Федеральная служба государственной статистики [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://rosstat.gov.ru/> (дата обращения 30.03.2024).

146. Финляндия предлагает свои знания в области водоснабжения и водоочистки [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.vstmag.ru/ru/archives-all/2010/2010-10-2/818-finlandija-predlagajet> (дата обращения 12.09.2022 г.).

147. Цена на газ продолжает бить рекорды: на что надеется Европа. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.vesti.ru/article/2620341> (дата обращения 04.11.2023 г.).

148. Централизованное отопление солнцем на примере Канады [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://turbo.pikabu.ru/story/tsentralizovannoe_otoplenie_solntsem_na_primere_kanadyi_6541917 (дата обращения 18.11.2022 г.).

149. Экономический словарь. <http://clova.ru/Word.aspx?Dict=25&Word=61> (дата обращения 15.04.2022 г.).

150. Энергоаудит объектов ЖКХ. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://мес-energo.ru/uslugi/2015-11-13-21-39-53> (дата обращения 15.04.2022 г.).

151. Энергоснабжение изолированных районов – опыт Канады [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://rener.ru/power-supply-of-isolated-power-regions-canadian-experience/> (дата обращения 23.08.2022 г.).

152. Энергоэффективные и комфортные дома Дании <http://portal-energo.ru/articles/details/id/823> (дата обращения 14.08.2022 г.).

153. Энергоэффективность в России. Скрытый резерв. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.cenef.ru/file/FINAL_EE_report_rus.pdf (дата обращения 10.03.2023 г.).

154. Daten Bundesministerium für Wirtschaft und Energie. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Gesetze/Energie/EnEG.html> (дата обращения 11.11.2022 г.).

155. Daten Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Energie. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.bundesregierung.de> (дата обращения 11.11.2022 г.).

156. District Energy Inventory for Canada. 2020. The Canadian Industrial Energy End- Use Data and Analysis Centre. Available at [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www2.cieedac.sfu.ca/media/publications/District_Energy_Inventory_Report_Final_2020.pdf (дата обращения 11.11.2022 г.)

157. Megacity // Infoplease Dictionary. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://dictionary.infoplease.com/megacity> (дата обращения 03.02.2022 г.).

158. Metroplex // Infoplease Dictionary. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://dictionary.infoplease.com/metroplex> (дата обращения 03.02.2022 г.).

159. Smart Grid [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://www.energy.gov/oe/services/technology-development/smart-grid> (дата обращения 31.07.2022 г.).

160. Water supply and sanitation in Canada [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://ru.xcv.wiki/wiki/Water_supply_and_sanitation_in_Canada (дата обращения 18.02.2023 г.).