

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования «Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б. Н. Ельцина»

На правах рукописи



Мышкина Людмила Сергеевна

**ОРГАНИЗАЦИОННО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ИНСТРУМЕНТАРИЙ
ИНТЕГРАЦИИ ЛОКАЛЬНЫХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ЭНЕРГОСИСТЕМ
В РЕГИОНАЛЬНУЮ ЭНЕРГЕТИКУ**

5.2.3. Региональная и отраслевая экономика
(экономика промышленности)

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата экономических наук

Екатеринбург – 2025

Работа выполнена на кафедре систем управления энергетикой и промышленными предприятиями Института экономики и управления ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина».

Научный руководитель: доктор экономических наук, доцент
Кожевников Михаил Викторович

Официальные оппоненты: **Домников Алексей Юрьевич,**
доктор экономических наук, ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина», профессор кафедры банковского и инвестиционного менеджмента;

Колибаба Владимир Иванович,
доктор экономических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина», заведующий кафедрой экономики и организации предприятия;

Локтионов Вадим Ильич,
доктор экономических наук, ФГБУН Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева Сибирского отделения Российской академии наук, г. Иркутск, ведущий научный сотрудник Отдела энергетической безопасности № 30.

Защита состоится «29» мая 2025 года в 12 часов 30 минут на заседании диссертационного совета УрФУ 5.2.13.28 по адресу: 620062, г. Екатеринбург, ул. Мира 19, ауд. И-420 (зал Ученого совета).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»: <https://dissovet2.urfu.ru/mod/data/view.php?d=12&rid=7068>

Автореферат разослан «__» апреля 2025 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Наталья Владимировна Стародубец

I. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Экономическое развитие России, ее отдельных регионов и хозяйствующих субъектов сегодня происходит в условиях беспрецедентных вызовов, связанных с санкционной политикой, необходимостью импортозамещения, проведения масштабной модернизации промышленности и инфраструктуры городов. Исходя из задач обеспечения технологического суверенитета страны, в ближайшей перспективе ожидается рост энергоемких секторов экономики и промышленности. При этом в программах развития отечественной энергетики прослеживается ориентация на рост производства электроэнергии на крупных электростанциях, что предполагает значительные капиталовложения с длительными сроками окупаемости, а удаленность указанных источников энергии от потребителей требует дополнительных затрат на развитие национальной электрической сети. Такая политика, формируемая на федеральном уровне, приводит к росту цен на электрическую энергию и мощность в регионах, а высокий уровень износа распределительных сетей сопровождается снижением надежности электроснабжения.

На этом фоне становится все более востребованной распределенная генерация на основе когенерационных установок малой мощности, способствующая росту надежности и снижению затрат на электроэнергию для конечных потребителей. Эти установки обладают большим потенциалом использования принципиально новых технологий, соответствующих отраслевым трендам: цифровых и платформенных решений, предиктивной аналитики, устройств наблюдения за оборудованием в режиме реального времени. В результате в структуре региональной энергетики формируется новый класс энергообъектов – *локальные интеллектуальные энергосистемы (ЛИЭС)*, создание которых сопровождается ростом безопасности и экономической эффективности энергоснабжения хозяйствующих субъектов.

Появление ЛИЭС трансформирует архитектуру энергосистемы и порождает ряд новых организационно-экономических вопросов. Они, в частности, связаны с определением экономических эффектов при реализации проектов цифровизации, совершенствованием порядка экономического взаимодействия различных субъектов розничного энергорынка, вопросами повышения инвестиционной привлекательности новых объектов электроэнергетики. Таким образом актуализируются исследования, направленные на получение полезных для субъектов РФ решений в области энергоснабжения, определение оптимальных вариантов создания и интеграции локальных интеллектуальных энергосистем в энергетику региона. Указанные вопросы и формируют проблемную область настоящей диссертации.

Степень разработанности темы исследования. Теоретической основой диссертации послужили труды ученых в области формирования и управления развитием энергетических систем, экономики и менеджмента в энергетике, повышения эффективности систем энергоснабжения на основе интеллектуализации: Л.С. Беляева, В.В. Бушуева, Ф.В. Веселова, Э.П. Волкова, И.О. Волковой, Н.И. Воропая, А.Ю. Домникова, А.П. Дзюбы, А.Ф. Дьякова, В.В. Елистратова, Л.Д. Гительмана, И.Д. Грачева, М.Д. Дильмана, В.А. Зубакина, В.И. Колибабы, М.В. Кожевникова, Г.Ф. Ковалева, Э.М. Косматова, В.В. Кузьмина, В.И. Локтионова, Н.Г. Любимовой, А.А. Макарова, С.А. Некрасова, В.Р. Окорокова, Р.В. Окорокова, Б.Е. Ратникова, Т.С. Ремизовой, Ю.Н. Руденко, В.А. Стенникова, С.П. Филиппова, Л.Д. Хабачева, Д.В. Холкина, А.А. Хохлова, И.С. Чаусова, В.И. Эдельмана, С. Бхаттачария, С. Карли, С. Чоудхури.

Особенности функционирования объектов распределенной энергетики, разработки систем децентрализованного управления рассматривались в исследованиях

Ф.Л. Бык, К.А. Дацко, Д.А. Ивановского, П.В. Илюшина, И.С. Кожуховского, А.Л. Куликова, В.В. Молодюка, А.В. Паздерина, В.О. Самойленко, А.М. Синельникова, М.Г. Тягунова, А.Г. Фишова, Д. Корнфорта, А. Квасински, Х. Фарханги, Н. Хацитаргириу.

В диссертации использованы работы в области надежности энергосистем и бесперебойности электроснабжения таких авторов как В.Г. Китушин, Н.А. Манов, В.П. Обоскалов, Б.В. Папков, М.Н. Розанов, И.А. Ушаков, Ю.Я. Чукреев, Р. Аллан, Р. Биллингтон, Н.К. Шарма

Анализ литературы показывает, что по *техническим вопросам* развития распределенной энергетики на основе локальных энергосистем накоплен определенный научный задел и практический опыт. В то же время *организационно-экономические вопросы*, учитывающие региональную специфику ЛИЭС, изучены в недостаточной степени, в связи с чем очевидна необходимость их более глубокой проработки. Основные теоретико-методологические проблемы связаны с отсутствием единого понятийного аппарата и целостного представления о разнообразии объектов интеллектуальной энергетики, изменениях в механизмах энергетических рынков при активном внедрении интеллектуальных энергосистем, особенностях оценки экономических эффектов проектов интеллектуализации региональной энергетики.

Целью исследования является разработка организационно-экономических инструментов, обеспечивающих эффективную интеграцию локальных интеллектуальных энергосистем в региональную энергетику.

Поставленная цель достигается решением следующих **взаимосвязанных задач**.

1. Выявить теоретические закономерности и отраслевые особенности интеллектуализации электроэнергетики, включая уточнение понятийного аппарата, определение уровней интеллектуализации, классификацию типов локальных интеллектуальных энергосистем и систематизацию экономических эффектов при их внедрении и развитии в регионах.

2. Разработать модель интеграции локальных интеллектуальных энергосистем в региональную энергетику, обеспечивающую финансовую устойчивость производителей электрической и тепловой энергии, повышение их инвестиционной привлекательности, рост доступности и бесперебойности поставок энергоносителей для потребителей.

3. Сформулировать методические положения оценки экономических эффектов от интеграции локальных интеллектуальных энергосистем и включения оператора ЛИЭС в состав субъектов розничного рынка, позволяющие обосновать приоритетные решения по развитию региональной энергетики с высокой степенью интеллектуализации.

Объект исследования – локальные интеллектуальные энергосистемы как новый класс объектов региональной энергетики, повышающие эффективность энергоснабжения для конечных потребителей.

Предметом исследования являются экономические отношения на розничном рынке электрической энергии, возникающие в процессе интеграции локальных интеллектуальных энергосистем в региональную энергетику.

Основная идея диссертации заключается в том, что интеграция локальных интеллектуальных энергосистем в региональную энергетику обеспечивает получение значимых экономических эффектов субъектами розничного рынка электроэнергии, а также повышение энергетической безопасности и независимости территории.

Области исследования диссертационной работы соответствуют следующим пунктам Паспорта специальности ВАК РФ 5.2.3. Региональная и отраслевая экономика» специализации «Экономика промышленности»: 2.11 «Формирование механиз-

мов устойчивого развития экономики промышленных отраслей, комплексов, предприятий»; 2.14. «Проблемы повышения энергетической эффективности и использования альтернативных источников энергии».

Методология и методы исследования. Диссертационное исследование базируется на трудах отечественных и зарубежных ученых, посвященных проблемам повышения эффективности систем энергоснабжения; вопросам их трансформации на основе распределенной энергетики; анализу организационно-экономических отношений при появлении новых субъектов розничного рынка. Для решения поставленных задач применена методология системного подхода и системного анализа. Использовались методы теории управления изменениями, риск-менеджмента и управления рисками, экономико-математического моделирования, теории вероятностей и математической статистики.

Информационная база исследования включает: размещенные в открытом доступе нормативно-правовые акты РФ; статистические и аналитические материалы и доклады Росстата, Минэнерго России, научно-исследовательских институтов (ИНЭИ РАН, ИСЭМ СО РАН и др.), энергетических агентств (МЭА, IRENA), энергетических подразделений консалтинговых компаний (KPMG, PWC, РБК), энергокомпаний (СО ЕЭС, Россети и др.), производителей оборудования распределенной генерации малой мощности; отчеты о функционировании локальных энергосистем (ВШЭ, СКОЛКОВО, EnergyNet, СИГРЭ); публикации в периодических изданиях и материалы научных конференций.

Научная новизна исследования состоит в развитии теоретических аспектов и разработке инструментов внедрения локальных интеллектуальных энергосистем в региональной энергетике, включая оценку получаемых экономических эффектов.

Положения диссертационной работы, выносимые на защиту.

1. Расширены теоретические представления об организационно-экономических принципах функционирования новых энергетических объектов – локальных интеллектуальных энергосистем: уточнено понятие и предложена их классификация, систематизированы их свойства и получаемые экономические эффекты; разработаны критерии интеллектуализации и изменения в архитектуре региональной энергетики. Обосновано, что создание локальных интеллектуальных энергосистем способствует повышению надежности электроснабжения и энергетической безопасности территории, а также экономической эффективности энергоиспользования для конечных потребителей (пункт 2.14 Паспорта специальности 5.2.3 ВАК РФ).

2. Предложена модель интеграции локальных интеллектуальных энергосистем в региональную энергетику, включающая: программы развития распределенной энергетики, новые формы договорных отношений между поставщиками и потребителями энергии, изменения в правилах взаимодействия субъектов энергорынка, координируемые специализированным оператором. Данная модель обеспечивает совершенствование институциональной среды розничного рынка электрической энергии, дополнительные системные эффекты и рост инвестиционной привлекательности интеллектуальных энергетических объектов (пункт 2.11 Паспорта специальности 5.2.3 ВАК РФ).

3. Разработаны методические положения оценки экономических эффектов от интеграции локальных интеллектуальных энергосистем в региональную энергетику, в комплексе учитывающие технико-экономические характеристики энергетического оборудования, особенности формирования себестоимости электрической и тепловой энергии, соотношение спроса и предложения на энергетические товары. Применение предложенного инструментария позволяет обосновать, что создание коммунальных локальных интеллектуальных энергосистем снижает уровень перекрестного субсидирования, сдерживающего социально-экономическое развитие регионов (пункты 2.11, 2.14. Паспорта специальности 5.2.3 ВАК РФ).

Теоретическая значимость работы заключается в приросте знаний об экономических аспектах интеллектуализации в энергетике, трансформирующей процессы взаимодействия энергокомпаний с потребителями, а также в разработке оригинального методического инструментария оценки экономической эффективности, получаемых в результате внедрения локальных интеллектуальных энергосистем.

Практическая значимость обусловлена обоснованием целесообразности внедрения полученных результатов диссертации:

в операционной деятельности субъектов розничного рынка электроэнергии – при реализации проектов распределенной энергетики, позволяющих получить дополнительные доходы, снизить операционные издержки игроков рынка, создать благоприятные условия для активизации инвестиционного процесса;

в сфере отраслевого регулирования – при подготовке нормативно-правовых актов для реализации региональных программ развития распределенной энергетики и разработке мероприятий по снижению перекрестного субсидирования;

в образовательной деятельности – при обучении специалистов по инженерным, экономическим и управленческим специальностям в высших учебных заведениях, а также по программам повышения квалификации сотрудников энергокомпаний.

Достоверность полученных результатов диссертации обусловлена корректным использованием научных методов и математического аппарата, проведением численных экспериментов с применением лицензионного программного обеспечения, полнотой проведенного анализа и разработанных научных положений, положительной оценкой авторитетных экспертов на научно-практических конференциях и семинарах, практическим внедрением результатов на энергетических предприятиях и в учебном процессе высших учебных заведений.

Апробация результатов. Результаты диссертационного исследования обсуждались на семинарах и конференциях различного уровня: Международный научный семинар им. Ю.Н. Руденко «Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики» (2019-2024 гг.); Секция «Активные системы распределения энергии и распределенные энергетические ресурсы» НП «Научно-технический совет Единой энергетической системы» (г. Москва, 2020 г., 2023 г.); Школа молодых ученых «Приоритеты научно-технологического развития энергетики России» (г. Москва, 2021 г.); Международная конференция «РЗА-2021» (г. Москва, 2021 г.); Международная конференция «TMREES Conference Series: Technologies and Materials for Renewable Energy, Environment and Sustainability» (Франция, 2023 г.); Международная научно-техническая конференция «Conference on Industrial Engineering» (г. Сочи, 2023 г.); Международная научно-техническая конференция «International Ural Conference on Electrical Power Engineering» (г. Магнитогорск, 2023-2024 гг.); Международная научно-техническая конференция «Электроэнергетика глазами молодежи» (г. Красноярск, 2023 г.); Всероссийская школа молодых ученых «Цифровизация, декарбонизация и децентрализация современной электроэнергетики» (г. Севастополь, 2024).

Внедрение полученных в диссертации научных результатов выполнено в энергетических компаниях, занимающихся развитием коммунальных локальных интеллектуальных энергосистем в г. Новосибирск (ООО «Генерация Сибири», г. Новосибирск) и разработкой схем тепло- и электроснабжения территорий (ООО «Квест Сервис Сибирь», г. Новосибирск), что подтверждается актами. Кроме этого, результаты апробированы при проведении ряда научно-исследовательских работ: «Разработка целевой модели (прототипа) Minigrid» (2018-2020 гг.); «Методика и модель расчета индикативных показателей надежности при управлении развитием систем электроснабжения» (рег. номер АААА-Б21-221011990004-9., 2021 г.); «Обоснование направления развития

распределенной энергетики и эффективности создания локальных энергетических комплексов» (рег. номер 222031500047-2, 2021 г.); «Повышение эффективности систем энергоснабжения территории опережающего развития» (рег. номер 122042500057-8, 2022-2023 гг.); «Методы развития систем теплоснабжения в составе коммунальной энергетической инфраструктуры» (рег. номер 123051500109-5, 2023-2024 гг.).

Результаты диссертации используются в учебном процессе на факультете Энергетики Новосибирского государственного технического университета при реализации программ бакалавриата «Цифровые технологии в электроэнергетике» и магистратуры специализаций «Электроэнергетические системы и сети», «Электроэнергетика: экономика и управление на предприятиях энергетики», в Саяно-Шушенском филиале Сибирского федерального университета при реализации программы магистратуры «Гидроэлектростанции», в Институте экономики и управления Уральского федерального университета имени первого Президента России Б.Н. Ельцина в рамках программы магистратуры «Энергетический бизнес».

Публикации. Основное содержание диссертационной работы отражено в 19 научных публикациях, из них 10 статей, опубликованных в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ и Аттестационным советом УрФУ, включая 6 статей в журналах, индексируемых международными базами Scopus и Web of Science. Общий объем публикаций 12,76 п. л., в том числе авторских 6,48 п. л.

Объем и структура диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, трех глав, заключения, списка использованных источников из 216 наименований, 6 приложений. Общий объем работы составляет 184 страниц, включая 34 рисунка и 19 таблиц.

В первой главе проанализированы особенности трансформации электроэнергетики в России, выявлены теоретические закономерности интеллектуализации отрасли. Исследованы факторы создания локальных интеллектуальных энергосистем в зоне действия ЕЭС России. Показано, что развитие ЛИЭС ведет к изменению архитектуры региональной энергосистемы, повышению ее энергетической безопасности и независимости.

В рамках второй главы предложена модель интеграции локальных интеллектуальных энергосистем в региональную энергетику. Обоснована необходимость создания нового субъекта – вертикально-интегрированного оператора ЛИЭС. Рассмотрены возможности организации платформенного взаимодействия производителей и потребителей энергии на розничном рынке.

В третьей главе разработаны методические положения оценки экономических эффектов от интеграции локальных интеллектуальных энергосистем в региональную энергетику, позволяющие принимать решения о реализации соответствующих инвестиционных проектов и обосновывать приоритеты создания коммунальных ЛИЭС.

В заключении обобщены достигнутые научно-практические результаты и сформулированы направления дальнейших исследований.

II. ОСНОВНЫЕ НАУЧНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ, ВЫНОСИМЫЕ НА ЗАЩИТУ, ОБЛАДАЮЩИЕ НАУЧНОЙ НОВИЗНОЙ

1. Расширены теоретические представления об организационно-экономических принципах функционирования новых энергетических объектов – локальных интеллектуальных энергосистем: уточнено понятие и предложена их классификация, систематизированы их свойства и получаемые экономические эффекты; разработаны критерии интеллектуализации и изменения в архитектуре региональной энергетики. Обосновано, что создание локальных интеллек-

туальных энергосистем способствует повышению надежности электроснабжения и энергетической безопасности территории, а также экономической эффективности энергоиспользования для конечных потребителей (пункт 2.14 Паспорта специальности 5.2.3 ВАК РФ).

В ближайшей перспективе развитие региональной энергетики в России будет определяться двумя ключевыми трендами: интеллектуализацией и повышением эффективности энергоснабжения. На рис. 1 представлена взаимосвязь между соответствующими инновационными технологиями, различающимися по стоимостным параметрам и возможностям использования в децентрализованных энергосистемах.

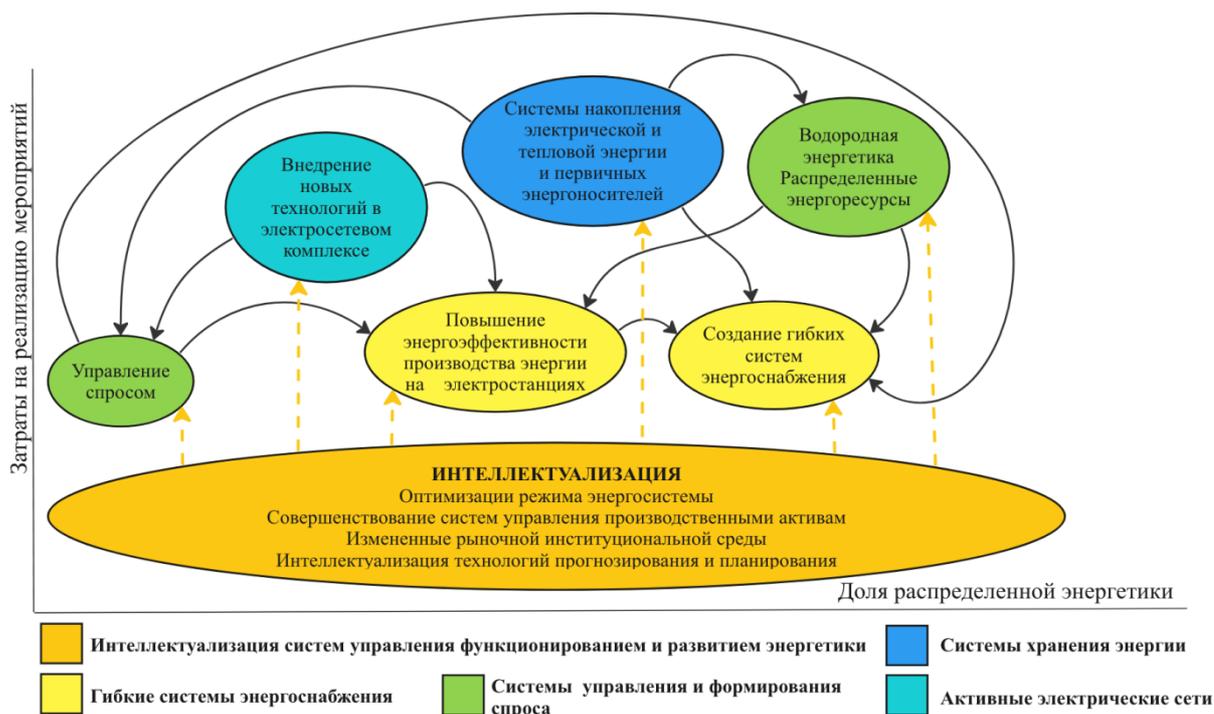


Рисунок 1 – Технологии повышения эффективности системы энергоснабжения

В диссертации обосновано, что активизация внедрения инновационных технологий в области производства, передачи и потребления электрической энергии на уровнях эксплуатации и управления развитием приводит к изменению архитектуры региональных энергосистем и их интеллектуализации. Интеллектуальные системы более гибки и адаптивны к изменениям во внешней среде по сравнению с традиционными (таблица 1). В зависимости от количества критериев, характеризующих энергосистемы, их можно подразделить на три уровня по степени интеллектуализации: высокий (свыше 8 критериев), средний (от 3 до 8) и низкий (менее 3).

Таблица 1 – Критерии отнесения энергосистемы к интеллектуальной

Критерий	Традиционная энергосистема	Интеллектуальная энергосистема
Применение информационно-коммуникационных технологий	Практически отсутствует	Присутствует на всех уровнях системы
Структура системы	Иерархическая	Матричная
Топология сети	Отсутствие возможности реконфигурации сетей	Автокластерное построение сетей
Бесперебойность электроснабжения	Высокие значения показателей SAIDI*, SAIFI**	Низкие значения показателей SAIDI, SAIFI
Управление режимами работы энергосистемы	Автоматизированное	Полностью автоматическое

Критерий	Традиционная энергосистема	Интеллектуальная энергосистема
Наблюдаемость потоков энергии	Передача информации с участием человека	Автоматический сбор, анализ и передача данных
Скорость обмена информацией	С запаздыванием по времени	В режиме online
Взаимодействие с потребителями	Отсутствует либо одностороннее	Двустороннее, потребитель активный участник в системе
Организация эксплуатации, и технического обслуживания и ремонтов	Диагностика оборудования при выводе его из эксплуатации; осуществление планово-предупредительных ремонтов	Применение методов удаленного мониторинга и диагностики, предиктивной аналитики
Учет взаимосвязей тепловой и электрической энергии	Только на уровне крупных источников с комбинированной выработкой	На всех уровнях производства, передачи и потребления

* SAIDI (англ. System Average Interruption Duration Index) – индекс средней продолжительности отключений по энергосистеме

** SAIFI (англ. System Average Interruption Frequency Index) – индекс средней частоты отключений по энергосистеме

Цифровизация и развитие интеллектуальных систем управления, обеспечивающих взаимосвязь распределенной генерации малой мощности с распределительными сетями среднего и низкого напряжения, позволяют создавать новые объекты распределенной энергетики – локальные интеллектуальные энергосистемы (ЛИЭС), обладающие высоким уровнем интеллектуализации. Под ЛИЭС понимается самодостаточный объект распределенной энергетики, где балансовая и режимная надежность обеспечивается мини-ТЭЦ электрической мощностью до 25 МВт и распределительной электрической сетью напряжением 0,4–10 кВ. Потенциал развития ЛИЭС на когенерационных технологиях определяют тотальная газификация регионов России и наличие выпускаемых отечественной промышленностью энергоэффективных агрегатов малой мощности.

Особенностью ЛИЭС является обеспечение гибкой системы энергоснабжения, основанной на взаимосвязи электро-, тепло- и водоснабжения на уровнях производства и потребления (рис. 2). Указанная взаимосвязь определяется как технологическими особенностями работы оборудования и системы управления, так и организационно-экономическими механизмами, позволяющими использовать клиентоориентированное ценообразование, в основе которого лежит баланс интересов производителей и потребителей, к примеру, по цене и качеству электроэнергии, режиму работы и бесперебойности электроснабжения.

Ключевые особенности ЛИЭС как объекта электроэнергетики:

- способность обеспечить бесперебойность электроснабжения входящих в ее состав потребителей как при параллельной работе с региональной энергосистемой, так и автономно, в так называемом «островном» режиме;
- функционирование на основе децентрализованной интеллектуальной автоматической системы управления нормальными, аварийными и послеаварийными режимами, отличиями которой является способность обеспечить поддержание в ЛИЭС нормативных значений частоты и уровня узловых напряжений в любом из схемно-режимных состояний;
- высокая степень цифровизации энергетической инфраструктуры, необходимая для децентрализованного управления производством, передачей и потреблением электроэнергии.

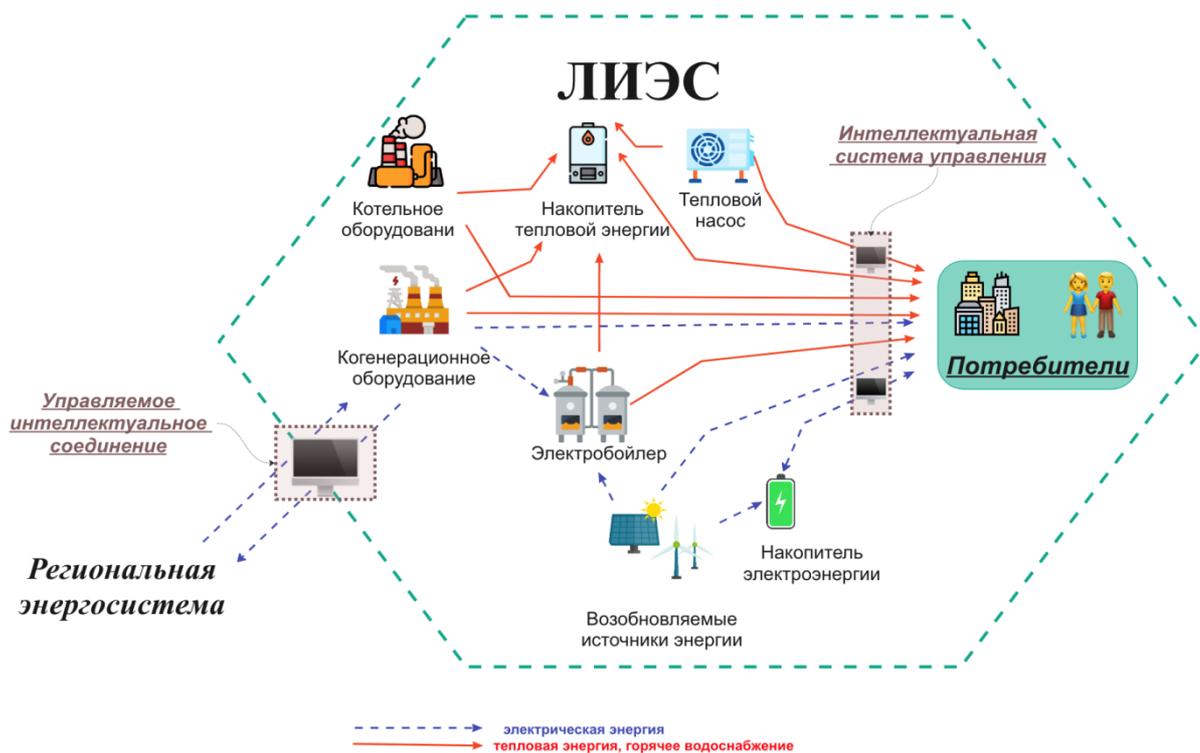


Рисунок 2 – Модель функционирования интегрированной ЛИЭС

В зависимости от конечных потребителей и назначения ЛИЭС можно выделить четыре их основных типа:

- 1) промышленные, где в составе потребителей преобладают энергоемкие субъекты хозяйственной деятельности промышленности;
- 2) сельскохозяйственные, где высока доля энергоприемников предприятий агропромышленного комплекса;
- 3) коммерческие, включая торговые и спортивные комплексы, гостиничные, медицинские и другие учреждения сферы услуг;
- 4) коммунальные, где основными потребителями являются население и приравненные к нему категории, а также субъекты малого предпринимательства.

В таблице 2 обобщены российские кейсы создания энергоцентров с высоким потенциалом формирования ЛИЭС различного назначения. Обладая конкурентными преимуществами, указанные ЛИЭС, как правило, работают без связи с региональной системой электроснабжения, что объясняет наличие энергоцентров с мощностью выше 25 МВт. Один из сдерживающих факторов их интеграции в региональную энергетику – неудовлетворительный уровень цифровизации и интеллектуализации распределительных сетей 10 кВ.

Таблица 2 –Примеры энергоцентров и создаваемых ЛИЭС

Объект	Территория	Изготовитель (мощность, МВт)
Промышленные ЛИЭС		
Энергоцентр «НЛМК-Урал»	Нижние Серги	MWM (4,5)
Энергоцентр-2 АО «ЮГК»	Пласт	Caterpillar, MWM (24,4)
Энергоцентр СУМЗ	Ревда	MWM (21,5)
Энергоцентры ПАО Лукойл	ХМАО	ПАО «ОДК-Сатурн» (18)
	ЯНАО	ОАО «Авиадвигатель» (30)

Объект	Территория	Изготовитель (мощность, МВт)
Сельскохозяйственные ЛИЭС		
Тепличный комплекс «Рязанские овощи»	Рязанская область, с. Фурсово	GE Jenbacher (18)
Тепличный комплекс «Юг-Агро»	Краснодарский край, ст. Ярославская	GE Jenbacher (16,4)
Тепличный комплекс «Зеленая Липня»	Краснодарский край, ст. Пластуновская	GE Jenbacher (17,2)
ООО «Новые технологии»	Республика Адыгея, аул Тахтамукай	GE Jenbacher (11,8)
Коммерческие ЛИЭС		
Складской комплекс MLP	г. Подольск	Siemens (7,2)
Распределительные центры ПАО «Магнит»	г. Челябинск	MWM (2,4)
	Тамбовская обл., с. Стрельцы	MWM (0,8)
	г. Лермонтов	MWM (2,5)
Коммунальные ЛИЭС		
На базе мини-ТЭЦ «Центральная»	остров Русский	Kawasaki (33)
На базе энергоцентра «Мякинино»	г. Красногорск	GE Jenbacher (30)
На базе мини-ТЭЦ мкр. Восточный	г. Звенигород	ОАО «Авиадвигатель» (18)
Энергоцентр Ольгино	г. Железнодорожный	Solar Turbines (21,6)
На базе мини-ТЭЦ «Сфера»	г. Южно-Сахалинск	Caterpillar (7,2)

Создание промышленных и сельскохозяйственных ЛИЭС в границах систем электроснабжения предприятий обусловлено *локальными* экономическими эффектами, размер которых определяется разницей в стоимости электроэнергии в ЛИЭС и на розничном рынке.

При этом, существующие технологические решения децентрализованного управляемого интеллектуального соединения позволяют получать не только локальные, но и *системные* эффекты, распространяющиеся на всю региональную энергосистему. Наличие этих системных эффектов (таблица 3) обуславливает формирование точек роста социально-экономического развития в регионе, а их размер определяет экономическую целесообразность интеграции ЛИЭС, что во многом зависит от механизмов коммерциализации в соответствии с правилами розничного рынка.

Таблица 3 – Взаимосвязь системных эффектов и свойств интегрированных ЛИЭС

Свойства ЛИЭС и их проявления	Системные эффекты
ОКУПАЕМОСТЬ	
<ul style="list-style-type: none"> • Сжатые сроки создания: 12–18 месяцев, в зависимости от мощности и выбранной технологии. • Срок окупаемости: 3–5 лет, в зависимости от назначения и коммерциализации выполняемых функций. • Высокая энергоэффективность производства энергии, сопровождаемая снижением углеродного следа. 	Повышение инвестиционной привлекательности региональной электроэнергетики
ЭКОНОМИЧНОСТЬ	
<ul style="list-style-type: none"> • Конкурентная стоимость электрической энергии в сочетании со стабильными долгосрочными ценами. • Открытость для технологического присоединения новых потребителей, сопровождаемая снижением затрат на развитие сетевого комплекса. • Возможность ценообразования в зависимости от профиля нагрузки, что позволяет осуществлять управление спросом. 	Повышение доступности электрической энергии для субъектов экономики Снижение темпов роста тарифов на передачу электроэнергии Снижение нагрузки перекрестного субсидирования на субъекты экономики

Свойства ЛИЭС и их проявления	Системные эффекты
<p align="center">НАДЕЖНОСТЬ</p> <ul style="list-style-type: none"> • Сбалансированность спроса и поставок электроэнергии в различных схемно-режимных состояниях. • Взаиморезервирование, обеспечиваемое наличием двухстороннего независимого питания электроприемников. • Способность компенсировать реактивную мощность и поддерживать узловые напряжения на требуемом уровне. 	<p>Повышение качества электроэнергии, бесперебойности и гибкости электроснабжения</p> <p>Продление срока службы сетевого оборудования</p>
<p align="center">ЭКОЛОГИЧНОСТЬ</p> <ul style="list-style-type: none"> • Возможность частичного вытеснения угольных станций и котельных из балансов электрической и тепловой мощности и энергии. 	<p>Повышение экологической безопасности в регионах</p>

Включение ЛИЭС в состав региональной электроэнергетики меняет ее архитектуру (рис. 3), что сопровождается появлением новых бизнес-моделей в рамках обновленной институциональной среды энергорынка.

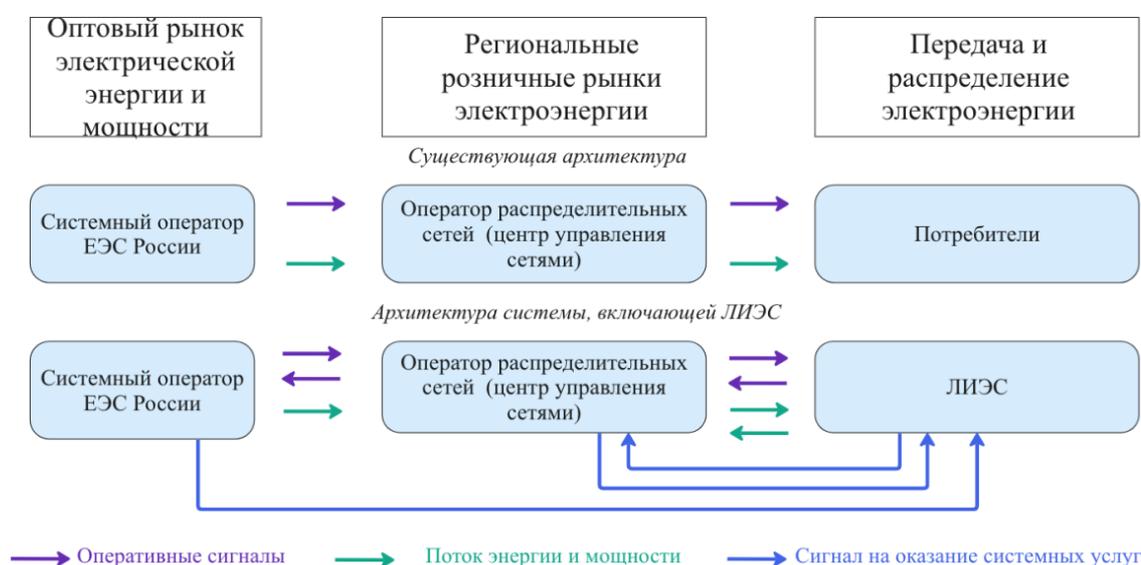


Рисунок 3 – Изменение архитектуры региональной энергосистемы

Ключевые изменения архитектуры энергосистемы выражаются в следующем.

1. Существующая многоступенчатая, иерархическая электроэнергетическая система трансформируется в многоячейковую структуру. Каждая ячейка представляет собой децентрализованный объект распределенной энергетики, при этом ядром остается ЕЭС России с крупными электростанциями, соединенными единой национальной электрической сетью.

2. Повышение интеллектуализации соединения региональных и локальных энергосистем, направленное на децентрализацию систем управления, позволит реализовать встречные оперативные сигналы между ЛИЭС, объектами региональной энергосистемы и ЕЭС России в целом.

3. Формируются многонаправленные потоки энергии и мощности между ЛИЭС и региональной энергосистемой, обеспечивающие оказание системных услуг.

Такая система позволит повысить гибкость и эффективность ЕЭС России при сохранении ее целостности, а сочетание традиционной и распределенной энергетики обеспечит повышение энергетической независимости и безопасности региональных систем электроснабжения.

2. Предложена модель интеграции локальных интеллектуальных энергосистем в региональную энергетику, включающая: программы развития распределенной энергетики, новые формы договорных отношений между поставщиками и потребителями энергии, изменения в правилах взаимодействия субъектов энергорынка, координируемых специализированным оператором. Данная модель обеспечивает совершенствование институциональной среды розничного рынка электрической энергии, дополнительные системные эффекты и рост инвестиционной привлекательности интеллектуальных энергетических объектов (пункт 2.11 Паспорта специальности 5.2.3 ВАК РФ).

Включение ЛИЭС в состав региональной энергетики требует совершенствования институциональной среды энергорынка – комплекса взаимосвязанных законодательных, экономических, юридических и социокультурных правил, образующих базис развития и функционирования региональной энергетики.

Решения региональных органов власти в области электроэнергетики должны учитывать территориально-климатические особенности, обеспеченность топливно-энергетическими ресурсами, структуру энергетического производства и потребления, активность освоения промышленностью современных энергоэффективных технологий, что в итоге позволит повысить экономическую доступность электроэнергии для субъектов реального сектора экономики.

Важная целевая функция программ развития распределенной энергетики заключается в снижении инвестиционных рисков и определении приоритетов создания ЛИЭС, а также мероприятий по ликвидации барьеров их интеграции с региональной энергосистемой. В рамках данных программ необходимо определить техническую и экономическую обоснованность создания и интеграции ЛИЭС различного назначения. Их формирование должно учитывать *экономические* преимущества интеграции различных ЛИЭС. Так, для *промышленных, сельскохозяйственных и коммерческих ЛИЭС* основная цель – снижение затрат на энергоснабжение и повышение конкурентоспособности предприятий. Что касается *коммунальных ЛИЭС*, создаваемых для надежного энергоснабжения жилищно-коммунального комплекса территории, то их главная экономическая выгода выражается в снижении негативных последствий перекрестного субсидирования – одного из ключевых недостатков современной электроэнергетики. Основным источником энергии коммунальных ЛИЭС могут стать мини-ТЭЦ как результат технического перевооружения устаревших крупных и средних отопительных котельных. Для этого необходима согласованность взаимодействия органов исполнительной власти муниципального, регионального и федерального уровней по формированию благоприятной институциональной среды, обеспечивающей инвестиционную привлекательность проектов ЛИЭС.

Для формирования модели экономического взаимодействия субъектов розничного рынка с ЛИЭС проанализированы *соответствующие варианты и условия работы* (рис. 4), предусмотренные прежде всего для розничных генераторов, являющихся поставщиками электрической энергии. В качестве покупателей у поставщика электроэнергии могут быть выбраны следующие субъекты розничного рынка: 1) гарантирующий поставщик, 2) независимые энергосбытовые компании, 3) территориальные сетевые организации, 4) хозяйствующие субъекты.

Действующая модель розничного рынка предполагает взаимодействие самостоятельных субъектов, решающих комплекс задач по выполнению своих функций и поддержанию оборудования в работоспособном состоянии: поставщика электроэнергии на розничный рынок; сетевой организации по оперативному управлению электрическими сетями; энергосбытовой компании, осуществляющей сбыт и биллинг поставляемой энергии. Однако данная модель организационно-экономических

отношений сопровождается наличием различных, иногда противоречащих интересов каждого из субъектов, в том числе ограничивающих выполнение системных функций, например по управлению спросом, повышению равномерности загрузки центра питания энергорайона и других.



Рисунок 4 – Возможные варианты работы розничного генератора на розничном рынке электрической энергии

Для снижения расходов, укрепления репутации, а главное – повышения эффективности управления и персонификации ответственности перед стейкхолдерами и потребителями предложено включение в состав субъектов розничного рынка новой вертикально-интегрированной организации – оператора ЛИЭС. При вертикально-интегрированной форме организации оператор ЛИЭС несет полную экономическую и юридическую ответственность за доступность и бесперебойность энергоснабжения, что упрощает устранение различных противоречий, как с потребителями в составе ЛИЭС, так и с прочими субъектами розничного рынка.

Интеграция в региональную энергосистему позволяет оператору ЛИЭС поставлять на розничный рынок дополнительно выработанную электрическую энергию, что обеспечит прирост экономического эффекта. Кроме этого, оператор ЛИЭС может оказать и другие услуги субъектам оптового и розничного рынка, выполняя системные функции. Таким образом, создание новой вертикально интегрированной

структуры позволит укрепить институциональный потенциал развития систем электроснабжения и создать основу для формирования локального рынка электрической энергии и оказываемых услуг. В свою очередь, происходят изменения в архитектуре розничного рынка электроэнергии, прежде всего в части организации экономически выгодных взаимоотношений между оператором ЛИЭС и другими субъектами рынка, обеспечивающих возможность выполнения системных функций (рис. 5).

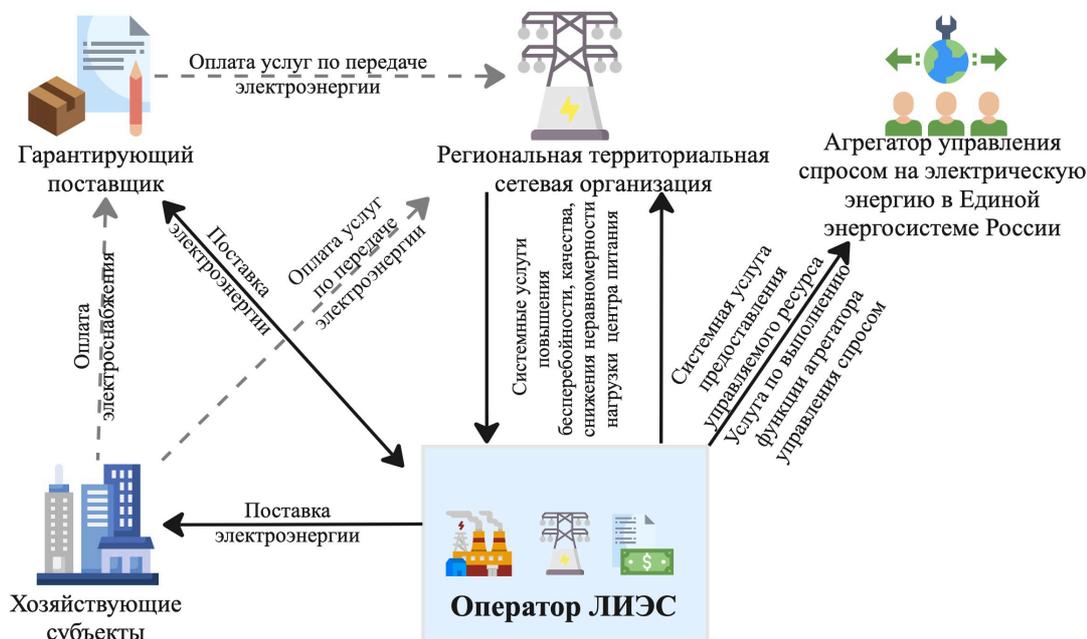


Рисунок 5 – Предлагаемая модель организационно-экономических отношений субъектов розничного рынка электрической энергии

Оказывая услуги, оператор ЛИЭС может рассчитывать на дополнительные доходы, неся соответствующие затраты, разница между которыми и определяет экономический эффект. Коммерциализация ряда системных эффектов ограничена существующими механизмами, однако прямые договорные отношения между субъектами розничного рынка позволяют получить положительный финансовый результат.

Таким образом, функционирование вертикально-интегрированной организации в благоприятной институциональной среде позволит коммерциализировать дополнительные эффекты, получение которых в существующих условиях затруднено. На рисунке 6 приведен набор системных функций, выполняемых ЛИЭС, доход от которых может быть получен за счет действующих рыночных механизмов при внесении соответствующих изменений в институциональную среду (к примеру, для выполнения функции агрегатора управления спросом) и новой модели договорных отношений.

Повышение экономичности		Повышение надежности и качества	
Поставка электроэнергии на розничный рынок	F^r	Оказание услуги повышения бесперебойности	F^{un}
Выполнение функции Агрегатора управления спросом	F^{DRA}	Оказание услуги по повышению качества	F^l
Предоставление управляемого ресурса	F^{DRr}	Оказание услуги по снижению неравномерности нагрузки на шины центра питания	F^{load}
Повышение экологичности		Снижение углеродного следа	F^{eco}

 механизм коммерциализации существует
  предмет договорных отношений

Рисунок 6 – Дополнительные доходы от выполнения системных функций

Модель работы оператора ЛИЭС позволит также получить системные эффекты для повышения инвестиционной привлекательности проектов интеграции интеллектуальных энергосистем в региональную энергетику. Состав выбранных системных функций и размер эффектов во многом определяется уровнем интеллектуализации децентрализованного управления и прилегающей к ЛИЭС сети энергорайона, в состав которого она интегрирована.

При этом для оператора ЛИЭС приоритетным может быть не только получение экономических эффектов в условиях различного рода ограничений: при наличии рынка системных услуг и четких правил по получению оплаты оказываемой услуги эффект во многом зависит от сформированных оператором ЛИЭС экономических отношений с другими субъектами оптового и розничного рынка электроэнергии.

3. Разработаны методические положения оценки экономических эффектов от интеграции локальных интеллектуальных энергосистем в региональную энергетику, в комплексе учитывающие технико-экономические характеристики энергетического оборудования, особенности формирования себестоимости электрической и тепловой энергии, соотношение спроса и предложения на энергетические товары. Применение предложенного инструментария позволяет обосновать, что создание коммунальных локальных интеллектуальных энергосистем снижает уровень перекрестного субсидирования, сдерживающего социально-экономическое развитие регионов (пункты 2.11, 2.14 Паспорта специальности 5.2.3 ВАК РФ).

Наличие и размер системных экономических эффектов во многом определяются назначением ЛИЭС. В частности, создание коммунальных ЛИЭС снижает остроту проблемы перекрестного субсидирования, которая проявляется в повышении тарифа на передачу электроэнергии при росте доли электропотребления населением и приравненных к нему потребителями и обусловлена ростом строительства жилья и электровооруженности бытовых потребителей.

На рисунке 7 представлены результаты снижения перекрестного субсидирования по результатам численного моделирования двух сценариев: от снижения доли бытовой нагрузки в системах централизованного электроснабжения (что, собственно, и проявляется при формировании коммунальных ЛИЭС) и от опережающего роста тарифа для населения относительно промышленности. Как видно из рис. 7, создание коммунальных ЛИЭС позволяет снижать перекрестное субсидирование в более высоком темпе по сравнению со стратегией, предполагающей рост потребительских тарифов. Очевидно, что формирование коммунальных ЛИЭС позволит также повысить доступность электрической энергии для других потребителей в региональной энергосистеме.

Для технико-экономического обоснования структуры мини-ТЭЦ, как основного источника ЛИЭС, разработана модель, отражающая физические и технологические процессы комбинированного производства энергии и учитывающая разнесение энергии топлива на газопоршневых установках (ГПУ).

Соотношение электрической P^G и тепловой мощности Q^Σ мини-ТЭЦ, включающей когенерационное и котельное оборудование мощностью Q^K , определяет структуру мини-ТЭЦ и зависит от спроса на каждый вид энергии в ЛИЭС (рис. 8):

$$Q^\Sigma = Q^G + Q^K = k \cdot P^G (1 + \lambda), \quad (3)$$

$$\lambda = Q^K / Q^G, \quad k = Q^G / P^G \quad (4)$$

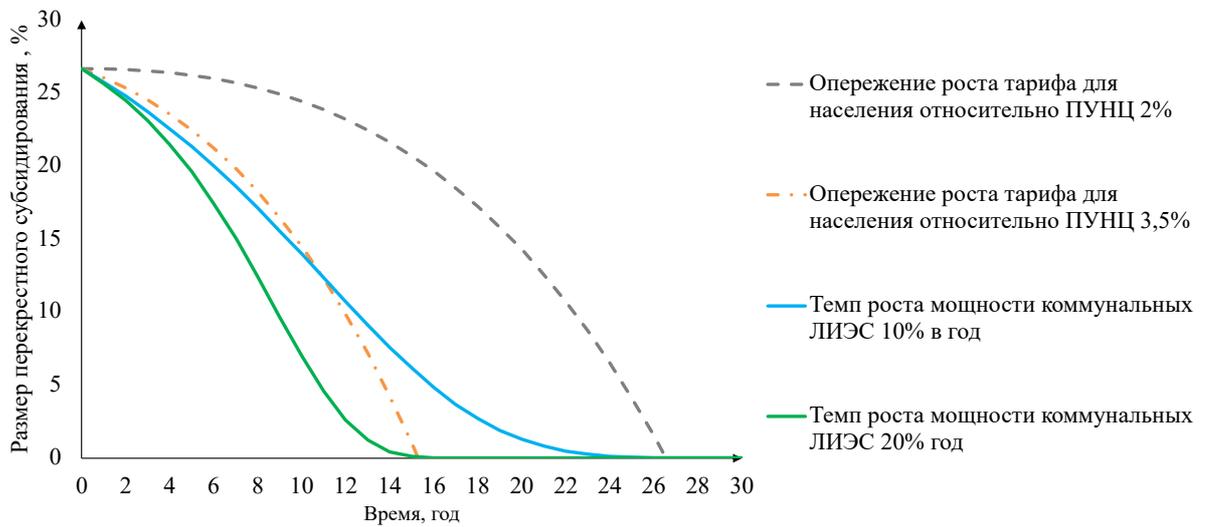


Рисунок 7 – Сокращение перекрестного субсидирования между группами потребителей при разных стратегиях (ПУНЦ – предельный уровень нерегулируемых цен)

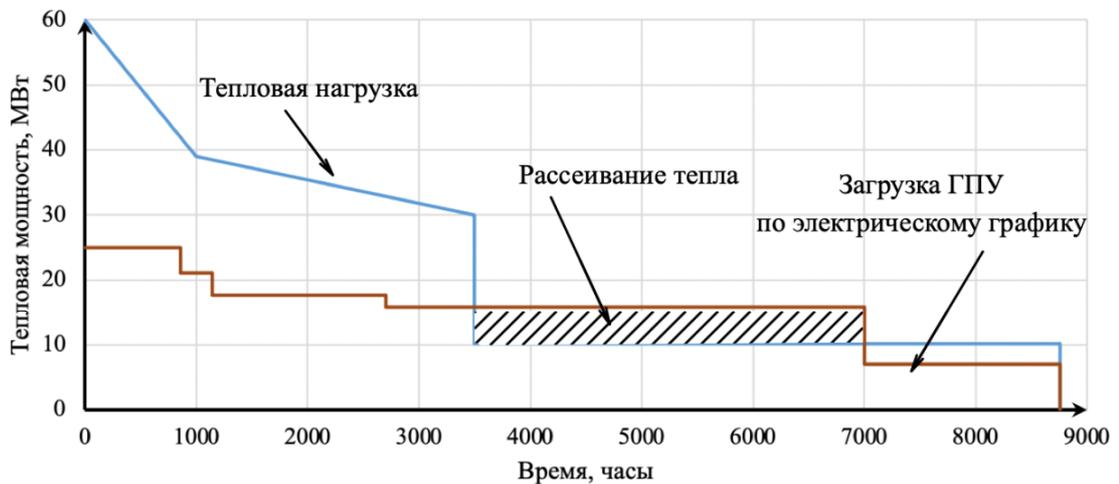


Рисунок 8 – Годовой график участия ГПУ в теплоснабжении

Выработка энергии на ГПУ и котельных зависит от коэффициента использования установленной мощности (КИУМ) когенерационной установки T^G и котельного оборудования T^K . При $T^K/T^G=\gamma$ соотношение выработки тепловой (W_Q) и электрической (W_P) энергии в ЛИЭС можно рассчитать по следующему выражению

$$W_Q/W_P = k \cdot (\delta + \gamma \cdot \lambda), \quad (5)$$

где δ – доля полезного использования тепла когенерационного оборудования, определяемая соотношением площадей на рис. 8.

Экономия топлива ΔB от выработки электрической энергии ГПУ определяется разницей удельных расходов при производстве энергии на конденсационной тепловой электростанции ($b^{ТЭС}$) и на когенерационной установке (b^P), при разнесении общего расхода топлива, исходя из обеспечения равенства удельных расходов топлива на производство тепловой энергии на когенерационном и котельном оборудовании:

$$\Delta B = W_P(b^{ТЭС} - b^P) \quad (6)$$

Экономия топлива – это основной системный эффект, который достигается от снижения отдельного производства электроэнергии на тепловых электростанциях в ЕЭС России, повышающий энергетическую эффективность их работы. Размер экономии топлива, как и применение фильтров на современных мини-ТЭЦ, – один из существенных факторов, влияющих на сокращение выбросов в атмосферу токсичных веществ. Расчеты показали, что сокращение углеродного следа от 1 кВт установленной мощности на когенерационной установке эквивалентно 3 кВт установленной мощности на фотоэлектрической установке.

Размер экономии топлива зависит от структуры мини-ТЭЦ, которая определяется спросом и графиками нагрузки на тепловую и электрическую энергию. Суммарная электрическая мощность ГПУ определяется, исходя из участия в покрытии графиков электрической нагрузки ЛИЭС с учетом необходимого резерва для обеспечения балансовой надежности.

Коммерческая эффективность создания ЛИЭС определяется разницей цены продажи и себестоимости производства тепловой и электрической энергии в ЛИЭС:

$$NPV = \sum_{i=1}^n [(E_i - CAPEX_i)/(1 + e)^i] \geq 0, \quad (7)$$

$$E_i = [\sum W_{P_j} \cdot c^P_j + \sum W_{Q_j} \cdot c^Q_j] - [(B^G + B^K) \cdot 1/q \cdot c^b + A + MC] \quad (8)$$

где e – ставка дисконтирования денежных потоков; CF – годовой денежный поток; i – порядковый номер года, начиная от года включения первого агрегата; $CAPEX$ – капитальные расходы, связанные с формированием ЛИЭС, тыс. руб.; E_i – годовой эффект от функционирования ЛИЭС, тыс. руб.; n – период рассмотрения; W_{P_j} – электрическая энергия, МВт·ч, выработанная на ГПУ и проданная оператором ЛИЭС j -му потребителю по цене (тариф на категории население) c^P_j , руб/МВт·ч; W_{Q_j} – тепловая энергия, МВт·ч, выработанная на ГПУ и котельном оборудовании, и проданная оператором ЛИЭС j -му потребителю по цене c^Q_j , руб/МВтч; $OPEX$ – эксплуатационные расходы, включающие затраты на обслуживание оборудования (MC), амортизацию (A), топливные затраты (BC), тыс. руб.; B^G – энергия топлива на ГПУ для производства тепловой и электрической энергии, МВт·ч; и B^K – энергия топлива на котельном оборудовании для производства тепловой энергии, МВт·ч; q – удельная теплота сгорания топлива МВт·ч/тыс.м³; c^b – стоимость топлива тыс. руб./тыс. м³; A – амортизация основного оборудования, тыс. руб.; MC – затраты, связанные с обслуживанием оборудования, тыс. руб.

Целесообразность включения ЛИЭС в состав региональной системы электроснабжения определяется ростом эффективности от выполнения оператором ЛИЭС системных функций. Наличие дополнительных системных эффектов повышает инвестиционную привлекательность ЛИЭС.

Так, эффект от поставок электроэнергии на розничный рынок (ΔW) определяется разницей дополнительного дохода от поставки электрической энергии на розничный рынок (S^r) и затрат на дополнительное топливо ΔB^G :

$$\Delta E^r = S^r - (\Delta B^G - \delta \cdot \Delta W \cdot k/\eta^K) \cdot 1/q \cdot c^b \quad (9)$$

где η^K – коэффициент полезного использования топлива на котельном оборудовании.

Эффект участия в управлении спросом на электроэнергию при выполнении функции агрегатора либо предоставлении регулируемого ресурса определяется дополнительными доходами от предоставления управляемого ресурса агрегатору управления спросом на электрическую энергию в ЕЭС (ΔE^{DRr}):

$$\Delta E^{DRr} = \sum_{j=1}^{12} m_j \cdot t^{DR} \cdot P^{DRr} \cdot c^{DRr}, \quad (10)$$

где m_j – количество дней в j -ом месяце, шт.; $j=1 \dots 12$ – порядковый номер месяца; t^{DR} – число часов готовности к оказанию услуги по управлению спросом в сутки, час; c^{DRr} – цена оказания услуги по передаче управляющего ресурса, определяемая договором, тыс.руб./МВтч; P^{DRr} – мощность управляемого ресурса, определяемая из установленной генерирующей мощности мини-ТЭЦ, графика нагрузки потребителей ЛИЭС и мощности, выдаваемой в региональную систему электроснабжения, МВт.

Приведенные выше и другие системные эффекты обеспечивают повышение инвестиционной привлекательности ЛИЭС с позиций коммерческой эффективности, однако не все они могут быть получены из-за отсутствия рыночных механизмов. В этой связи для обеспечения компромисса между интересами производителей и потребителей энергии целесообразна реализация клиентоориентированного электроснабжения, позволяющая сформировать оператору ЛИЭС оптимальный для мини-ТЭЦ режим работы. Для привлечения на территорию зоны действия ЛИЭС потребителей, обладающих нужными профилями нагрузки, необходимо формирование ценовых сигналов, размер которых определяется влиянием на КИУМ энергоисточника в ЛИЭС, который зависит от неравномерности и плотности графика нагрузки. Адресатами ценового сигнала преимущественно являются потребители, относящиеся к субъектам малого и среднего предпринимательства, как наиболее мобильные, способные менять свою локализацию в поисках благоприятных условий работы. В стремлении снизить затраты на электроэнергию следует ожидать их заинтересованности к вхождению в состав ЛИЭС для повышения своей конкурентоспособности.

Применение разработанных методических положений оценки эффектов при интеграции коммунальной ЛИЭС «Березовое» (г. Новосибирск) позволили обосновать инвестиционную привлекательность проекта создания управляемого соединения. Данный объект является первой ЛИЭС, включенной в состав региональной энергосистемы, что позволило оператору получить дополнительные эффекты:

- увеличение на 20 % выработки электроэнергии за счет поставки на розничный рынок электроэнергии;
- предоставление регулировочного ресурса агрегатору управления спросом на электрическую энергию в ЕЭС России в размере 1,5 МВт;
- сокращение затрат на приобретение 15 % объема природного газа и появление возможности для расширения зоны теплоснабжения;
- резервирование со стороны региональной энергосистемы вместо резервных дизельгенераторов;
- оказание системных услуг территориальной сетевой организации в части мультиагентного управления узловыми напряжениями.

Также следует подчеркнуть, что реализация принципа клиентоориентированного ценообразования позволила добиться значений неравномерности графика нагрузки на уровне 0,45 и плотности 0,7 по сравнению со значениями 0,1 и 0,4 соответственно для коммунально-бытовых потребителей.

Полученные экономические эффекты позволили за 6 месяцев окупить затраты на управляемое интеллектуальное соединение, без которого было бы невозможно

обеспечить согласованную работу с центром управления сетями АО «РЭС» и Новосибирским филиалом АО «Системный оператор единой энергетической системы».

В качестве другого практического примера следует указать на проектируемую ЛИЭС на территории жилого комплекса «Радуга Сибири». Особенность данной территории заключается в наличии котельной для теплоснабжения восьми введенных в эксплуатацию многоэтажных жилых зданий, и вопрос создания мини-ТЭЦ потребовал учета возможности реконструкции котельной для электро- и теплоснабжения перспективной нагрузки жилого комплекса, так как ближайшие районные подстанции не имеют свободных мощностей и требуют реконструкции для электроснабжения растущих коммунально-бытовых нагрузок. Согласно выполненному анализу, сумма инвестиционных затрат на данный объект составляет около 1,2 млрд руб., включая затраты на управляемое интеллектуальное соединение.

Рассчитанная топливная составляющая производства электрической энергии равна 0,83 руб./кВт·ч, себестоимость производства электроэнергии в ЛИЭС «Радуга Сибири» составляет 1,15 руб./кВт·ч (при пропорциональном разнесении топлива и полезном отпуске тепловой энергии). При существующих тарифах для населения и предельного уровня нерегулируемых цен очевидна инвестиционная привлекательность создания ЛИЭС: срок окупаемости проекта без учета системных эффектов от интеграции с региональной системой электроснабжения не превышает 5 лет. При учете только одного из эффектов – дополнительного дохода от поставки электрической энергии на розничный рынок – срок возврата инвестиций сократится на 20 %. При этом региональная территориальная сетевая организация получит дополнительный эффект в размере 2 % к тарифу от снижения индикативных показателей надежности и качества электроснабжения.

Кроме того, в таблице 4 показан эколого-экономический эффект от сокращения выбросов CO₂ при работе ЛИЭС и его сопоставление с эффектом, который можно получить путем строительства новой солнечной электростанции (СЭС). Для расчета стоимостного выражения эффекта в таблице 4 применены правила, предусмотренные Федеральным законом от 06.03.2022 N 34-ФЗ «О проведении эксперимента по ограничению выбросов парниковых газов в отдельных субъектах Российской Федерации». Полученный эффект подтверждает гипотезу о целесообразности расширения механизма зеленых сертификатов и учета когенерационной выработки в решении экологических задач.

Таблица 4 – Анализ эколого-экономического эффекта

Источник	Мощность, МВт	КИУМ	Сокращение CO ₂ эквивалента, тыс. тонн	Экономический эффект, млн руб.
ГПУ ЛИЭС	24,9	0,58	78,3	78,3 (снижение штрафов) 2 095 (экономия на строительстве СЭС)
СЭС	52,9	0,16	78,3	78,3 (снижение штрафов)

Применение методических рекомендаций позволило определить целесообразные места формирования и интеграции коммунальных ЛИЭС на базе отопительных котельных в г. Новосибирск. Определены 9 энергорайонов и допустимые мощности соответствующих коммунальных ЛИЭС (таблица 5).

В итоге внедрение интегрированных коммунальных ЛИЭС обеспечит снижение электропотребления населения в региональной энергосистеме Новосибирской области на 13 %; при этом величина перекрестного субсидирования, согласно методическому инструментарию, может снизиться на 8,85 % (таблица 6).

Таблица 5 - Предлагаемые к формированию и интеграции ЛИЭС

Энергорайон	Мощность ЛИЭС, МВт	Годовое потребление, МВт·ч
Кирзаводская	25	118 000
Правобережная	25	118 000
Тулинская	16	75 520
Красногорская	20	94 400
Обская	18	84 960
Северная	23	108 560
Электровозная	6	28 320
Инструментальная	17	80 240
Инская	18	84 960
<i>ИТОГО</i>	<i>177</i>	<i>792 960</i>

Таблица 6 – Изменение величины перекрестного субсидирования

Значение в 2024 году, тыс. руб.	Значение при интеграции ЛИЭС, тыс. руб.	Изменение, тыс. руб.	Изменение, %
4 652 474,37	4 240 600,12	411 874,2	-8,85

Таким образом, разработанные методические положения имеют прикладное значение и позволяют обосновать целесообразность и инвестиционную привлекательность проектов создания локальных интеллектуальных энергосистем в регионах.

III. ВЫВОДЫ

В рамках диссертации решен комплекс актуальных научных задач, связанных с повышением интеллектуализации электроэнергетики России, обеспечивающей получение значимых народнохозяйственных экономических эффектов, проявляющихся в обновлении производственного аппарата отрасли, активизации импортозамещения, росте энергетической безопасности территорий и доступности электрической и тепловой энергии для конечных потребителей.

Проведенное исследование обеспечивает прирост научных знаний в следующих аспектах.

1. Сформулированы теоретические особенности формирования интеллектуальной энергетики и организационно-экономические принципы внедрения локальных интеллектуальных энергосистем. В частности, уточнен понятийный аппарат, предложены критерии отнесения энергосистемы к интеллектуальной, выявлены системные эффекты, достигаемые за счет интеллектуализации региональной энергетики.

2. Предложена модель экономически эффективной интеграции локальных интеллектуальных энергосистем в региональную энергетику, включающая комплекс решений по трансформации розничного рынка электроэнергии. Обоснована необходимость создания нового субъекта – оператора локальной интеллектуальной энергосистемы, осуществляющего производство, передачу и поставку тепловой и электрической энергии в форме вертикально-интегрированной организации. Предложены модели договорных отношений, обеспечивающие коммерциализацию новых системных эффектов и рост инвестиционной привлекательности объектов распределенной энергетики.

3. Разработаны методические положения для оценки экономических эффектов от проектов интеграции ЛИЭС в региональную энергетику, учитывающие технико-экономические характеристики энергетического оборудования, особенности формирования себестоимости электрической и тепловой энергии, соотношение

спроса и предложения на энергетические товары. Выявлено, что наиболее полезные системные эффекты достигаются интеграцией коммунальных локальных интеллектуальных энергосистем. Их включение в состав региональной энергосистемы снижает негативное влияние перекрестного субсидирования – одного из сдерживающих факторов социально-экономического развития регионов. Доказано, что интеграция коммунальных локальных интеллектуальных энергосистем особо эффективна в районах, где строительство жилья и развитие субъектов предпринимательства сдерживается сетевыми ограничениями, что позволяет решить проблему недостатка инвестиций на развитие электросетевого комплекса.

Результаты исследования легли в основу создания и интеграции коммунальных локальных интеллектуальных энергосистем «Березовое» и «Радуга Сибири» в энергетику Новосибирской области. Использование разработанного инструментария позволило снизить топливную составляющую в себестоимости электрической энергии до 0,80–0,83 руб./кВт·ч. Благодаря включению ЛИЭС в состав региональной энергосистемы снижается срок возврата инвестиций на 20 %.

Формирование интеллектуальной электроэнергетики является комплексной междисциплинарной задачей «на стыке» инженерии, экономики и финансов, информационных технологий и организации управления. В этой связи выполненная диссертация открывает горизонт для ряда других исследований. Особо перспективной в современных реалиях является оценка организационно-экономической эффективности коммунально-энергетических систем, объединяющих производство и поставки разных типов ресурсов: электрической и тепловой энергии, газа, воды, телекоммуникационных услуг и других сервисов.

IV. ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи, опубликованные в рецензируемых научных журналах и изданиях, определенных ВАК РФ и Аттестационным советом УрФУ

1. **Мышкина, Л.С.** Влияние интеллектуализации на региональную электроэнергетику / Кожевников М. В., Мышкина Л. С. // Бизнес. Образование. Право. 2024. No 1(66). С. 103—109. – 0,44 п.л. / 0,22 п.л.; K2.

2. **Мышкина, Л. С.** Формирование систем энергоснабжения особых экономических зон / Ф.Л. Бык, Л. С. Мышкина, Е. М. Иванова // Проблемы региональной энергетики. – 2024. – № 3. – С. 56–70. – 0,94 п.л. / 0,47 п.л.; Scopus, WoS.

3. **Мышкина, Л. С.** Метод отбора котельных при техническом перевооружении в мини-ТЭЦ / Л. С. Мышкина, Е. М. Иванова, Я. А. Фролова // Проблемы региональной энергетики. – 2023. – № 3. – С. 71–82. – 0,75 п.л. / 0,44 п.л.; Scopus, WoS.

4. **Мышкина, Л.С.** Повышение устойчивости энергоснабжения регионов на основе локальных интеллектуальных энергосистем / Ф. Л. Бык, Л. С. Мышкина, М. В. Кожевников. // Экономика региона. – 2023. – Т. 19, вып. 1. – С. 163–177. – 0,94 п.л. / 0,56 п.л.; Scopus, WoS.

5. **Myshkina, L.** Approach to modernizing residential-dominated district heating systems to enhance their flexibility, energy efficiency, and environmental friendliness / E. Boyko, F. Byk, L. Myshkina [et al.]. // Applied Sciences. – 2023. – Vol.13, iss. 22. – Art. 12133 (22 p.) – 1,38 п.л. / 0,34 п.л.; Scopus, WoS.

6. **Myshkina, L.** Methods to improve reliability and operational flexibility by integrating hybrid community mini-grids into power systems / E. Boyko, F. Byk, L. Myshkina [et al.] // Energy Reports. – 2023. – Vol. 9 – P. 481–494. – 0,88 п.л. / 0,38 п.л.; Scopus, WoS.

7. **Myshkina, L.** Forecast and Concept for the Transition to Distributed Generation in Russia / F. L. Byk, P. V. Ilyushin, L. S. Myshkina. // *Studies on Russian Economic Development*. - 2022. - Vol. 33, iss. 4. - P. 440-446. - 0,44 п.л. / 0,19 п.л.; Scopus.

8. **Мышкина, Л.С.** Прогноз и концепция перехода к распределенной энергетике в России / Ф. Л. Бык, П. В. Илюшин, Л. С. Мышкина // *Проблемы прогнозирования*. - 2022. - № 4 (193). - С. 124–135. - 0,75 п.л. / 0,38 п.л.

9. **Мышкина, Л.С.** Коммунальная энергетика, или «Размер имеет значение» / Ф. Л. Бык, А. В. Епифанцев, Л. С. Мышкина. // *Бизнес. Образование. Право*. - 2021. - № 4 (57). - С. 260–265. - 0,37 п.л. / 0,19 п.л.

10. **Мышкина, Л.С.** Развитие распределенной энергетике и повышение эффективности электрической сети / Ф. Л. Бык, Л. С. Мышкина // *Бизнес. Образование. Право*. - 2019. - № 4 (49). - С. 134–138. - 0,31 п.л. / 0,19 п.л.

Публикации в других изданиях:

11. **Мышкина, Л.С.** Роль накопителей электрической и тепловой энергии в системах энергоснабжения / Е. Е. Бойко, Ф. Л. Бык, П. В. Илюшин, Л. С. Мышкина. // *Электрические станции*. - 2024. - № 5 (1114). - С. 50–57. - 0,5 п.л. / 0,3 п.л.; K1.

12. **Мышкина, Л.С.** Свойства надежности при децентрализации энергетике / Ю. Я. Чукреев, Ф. Л. Бык, Л. С. Мышкина, М. Ю. Чукреев // *Известия Российской академии наук*. - 2023. - № 5. - С. 19–39. - 1,25 п.л. / 0,63 п.л.

13. **Myshkina, L.** Greenhouse complex power supply system / L. Myshkina, E. Ivanova, F. Byk. // *International Ural Conference on Electrical Power Engineering (UralCon-2023)*: IEEE, 2023. - P. 461-465. - 0,31 п.л. / 0,2 п.л.; Scopus.

14. **Myshkina, L.** Identification of the development cogeneration potential in cities / L. Myshkina, F. Byk, Y. Frolova. // *International Ural Conference on Electrical Power Engineering (UralCon-2023)*: IEEE, 2023. - P. 481-486. - 0,5 п.л. / 0,35 п.л. ; Scopus.

15. **Myshkina, L.** Integration of local intellectual power systems: conditions and effects / F. Byk, L. Myshkina // *International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing*. - IEEE, 2023. - P. 34-38. - 0,5 п.л. / 0,35 п.л.; Scopus.

16. **Мышкина, Л.С.** Подход к модернизации систем централизованного теплоснабжения с преобладанием коммунально-бытовых потребителей для повышения их гибкости, энергоэффективности и экологичности / Е. Е. Бойко, Ф. Л. Бык, П. В. Илюшин, Л. С. Мышкина // *Энергетик*. - 2023. - № 12. - С. 8–18. - 0,69 п.л. / 0,3 п.л.

17. **Мышкина, Л.С.** Экономическая эффективность современной электроэнергетики / Ф. Л. Бык, Л. С. Мышкина // *Энергетик*. - 2022. - № 1. - С. 17–21. - 0,31 п.л. / 0,19 п.л.

18. **Myshkina, L.** Effect of local power systems integration on the distribution network functions / F. L. Byk, L. S. Myshkina, Y. A. Frolova // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. - 2021. - Vol. 1019 - Art. 012003 - 0,75 п.л. / 0,4 п.л.; Scopus.

19. **Myshkina, L.** Distributed power generation and power supply reliability improvement / F. L. Byk, Y. V. Kakosha, L. S. Myshkina // *E3S Web of Conferences*. - 2020. - Vol. 216: Methodological problems in reliability study of large energy systems - Art. 0101 - 0,75 п.л. / 0,4 п.л.; Scopus.