МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М. В. ЛОМОНОСОВА
Географический факультет

На правах рукописи

ФАДДЕЕВ Алексей Михайлович

ГЕОГРАФИЯ ЭЛЕКТРОСЕТЕВОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИИ

Специальность 25.00.24 – Экономическая, социальная,
политическая и рекреационная география

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание учёной степени
кандидата географических наук

Москва – 2017

Работа выполнена на кафедре экономической и социальной географии России географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова.

Научные руководители – **Горлов Владимир Николаевич,**
кандидат географических наук, доцент

Шувалов Владимир Ефимович,
кандидат географических наук, доцент

Официальные оппоненты – **Тархов Сергей Анатольевич**,
доктор географических наук,
ведущий научный сотрудник отдела социально-экономической географии Института географии РАН (г. Москва)

Трейвиш Андрей Ильич,
доктор географических наук,
главный научный сотрудник отдела социально-экономической географии Института географии РАН (г. Москва)

Антонов Николай Викторович,
кандидат экономических наук, начальник отдела электропотребления и топливно-энергетических балансов ООО «ЭТС-Энерго» (г. Москва)

Защита диссертации состоится 7 декабря 2017 г. в $13^{\underline{00}}$ на заседании диссертационного совета МГУ.11.01 Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова по адресу: 119991, г. Москва, ГСП–1, Ленинские горы, МГУ, географический факультет, ауд. 1806.

E-mail: agir@mail.ru

С диссертацией можно ознакомиться в отделе диссертаций научной библиотеки МГУ имени М.В. Ломоносова (Ломоносовский просп., д. 27) и на сайте ИАС «ИСТИНА»: https://istina.msu.ru/dissertations/79299079

Автореферат разослан 2 ноября 2017 г.

Учёный секретарь
диссертационного совета,
кандидат географических наук,
старший научный сотрудник А.А. Агирречу

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследования. Интенсивность развития электросетевого хозяйства в России волнообразно изменялась в течение последних 25 лет. Период с начала 1990-х гг. до середины 2000-х гг. характеризовался низким объёмом инвестиций и ростом изношенности оборудования. Экономический рост 2000-х гг. позволил повысить тарифы на электроэнергию и профинансировать программу развития электросетей. Однако стремительный рост цен в отрасли, в том числе на электросетевые услуги, привёл к сокращению сравнительной конкурентоспособности российской промышленности на фоне зарубежных стран. Для компенсации этого эффекта в последующие годы темп роста электросетевых тарифов был замедлен, а объёмы инвестиционных программ в отрасли были резко сокращены.

В условиях недостатка инвестиций актуальной задачей становится определение территориальных приоритетов при формировании перечня проектов электросетевого строительства. Таким образом, возрастает актуальность изучения географических различий электросетевого хозяйства для определения энергосистем, нуждающихся в опережающем развитии.

Рост тарифов на транспортировку электроэнергии на рубеже 2000–2010-х гг. привёл к обострению вопросов ценовой доступности электроэнергии для потребителей. Исследования показывают, что, несмотря на реформирование электроэнергетики, в России сохраняется высокая межрегиональная дифференциация в ценах и тарифах на электроэнергию.

В середине 2000-х гг. российская электроэнергетика были разделена на генерирующий и сетевой сегменты, несмотря на единство технологического процесса в отрасли. Это решение можно оценивать по-разному, но, в любом случае, следует признать, что генерация и электросети теперь развиваются на основании различных экономических механизмов – рыночных и тарифного регулирования соответственно. В связи с этим нами было принято решение сконцентрироваться на изучении электросетевого хозяйства «в отрыве» от электростанций, обращаясь к рассмотрению генерирующего сегмента только в тех случаях, где взаимные связи между сегментами отрасли наиболее сильны.

К настоящему времени территориальные различия цен на электросетевые услуги в рамках действующей системы изучены недостаточно глубоко. Подробное исследование данного вопроса является крайне актуальной задачей в контексте текущей экономической ситуации в России и решения проблем пространственного развития экономики.

Объект исследования – электросетевое хозяйство России.

Предмет исследования – топологическая структура электросетей и ценовая доступность электросетевых услуг в России.

Цель исследования – выявление закономерностей территориального распределения топологической структуры электросетей и ценовой доступности электросетевых услуг в России, а также определяющих их факторов.

Для достижения поставленной цели были решены следующие **задачи**:

- выявить ключевые особенности электросетевого хозяйства как объекта географического исследования;
- выделить основные этапы развития магистральных и распределительных электросетей России;
- оценить основные направления исследований географии электросетевого хозяйства;
- определить закономерности территориального распределения топологической структуры электросетей России (в том числе в сравнении со странами бывшего СССР и зарубежной Европы), а также определяющие его факторы;
- сформулировать основные направления развития международного сотрудничества между Россией и сопредельными странами в сфере передачи электроэнергии;
- определить закономерности территориального распределения ценовой доступности электросетевых услуг в России (в том числе в сравнении с другими странами мира), а также определяющие его факторы.

В исследовании акцент делался на двух тематических направлениях: анализе топологической структуры электросетей и ценовой доступности электросетевых услуг. Выбор данных направлений исследований обусловлен тем, что они соответствуют основным требованиям энергетической политики, которые выдвигаются к электросетевому хозяйству. Эти требования заключаются в обеспечении надёжности электроснабжения при сохранении приемлемых для потребителей цен. Подобные требования упоминаются в документах стратегического планирования как в России, так и в Евросоюзе. Оба тематических направления рассмотрены на двух территориальных уровнях: на уровне магистральных электросетей и уровне распределительных электросетей.

Теоретическая и методологическая база исследования основана на работах советских, российских и зарубежных специалистов по географии транспорта (З. А. Атаева, В. И. Бланцы, В. Н. Бугроменко, И. В. Никольского, С. А. Тархова,

К. Канского, П. Хаггета, Э. Тейфа и др.), по географии промышленности (Т. Э. Валевой, В. Н. Горлова, И. М. Маергойза, А. Т. Хрущёва), по анализу комплексных сетей (Р. Альберта, П. Кручитти, В. Латора, А. Э. Моттера, И. Ч. Лаи, Дж. А. Пагани и др.), по экономике энергетики (А. Я. Авруха, М. А. Виленского, А. А. Макарова, Л. А. Мелентьева, В. А. Рыльского и др.), а также экономике естественных монополий (И. Ю. Ряпина, И. Перес-Арриага, Р. Грина, Д. М. Ньюбери, Т. Джамасба и др.).

При проведении исследования использовались следующие методы: сравнительно-географический, историко-эволюционный, картографический, статистический, топологический анализ, кластерный анализ, математическое моделирование (для оценки структурной устойчивости энергосистем к авариям).

Информационная база исследования представлена следующими группами источников:

- отчётные публикации о деятельности электросетевых компаний, АО «Системный оператор Единой энергетической системы», АО «Администратор торговой системы»;
- статистические сборники и иные публикации национальных и международных организаций (Росстат, Содружество независимых государств, Евростат, Международное энергетическое агентство, Управление по информации в электроэнергетике США);
- законодательные и нормативные правовые акты Российской Федерации;
- публикации по вопросам истории развития электрических сетей;
- данные о вводе в эксплуатацию линий электропередач (ЛЭП) в советский период, агрегированные по многочисленным источникам.

Научная новизна работы заключается в следующем:

- метод анализа комплексных сетей впервые применён в рамках экономико-географического исследования, что открывает возможность для широкого применения этого метода в географии транспорта;
- определены закономерности территориального распределения структурной устойчивости электросетей России к каскадным авариям;
- определены закономерности территориального распределения ценовой доступности электросетевых услуг для потребителей в различных регионах России;
- выявлены ключевые закономерности и основные этапы развития магистральных и распределительных электрических сетей в России.

Практическую значимость в исследовании представляет следующее:

- определены наиболее устойчивые и наиболее уязвимые к каскадным авариям энергосистемы, электростанции и подстанции, что позволяет научно обосновать приоритеты при распределении капитальных вложений в развитие электросетевой инфраструктуры в России;
- выявлены регионы России, испытывающие низкую ценовую доступность электросетевых услуг, что позволяет сформулировать предложения по изменению системы тарифообразования.

Апробация результатов проведена путём выступлений на пяти конференциях: «Вопросы экономической географии и статистики пространственного развития» (Петрозаводск, 2014 г.), «География, культура и общество нашей будущей Земли» (Москва, 2015 г.), «Ломоносов 2016» (Москва, 2016 г.), «VII научная Ассамблея Ассоциации российских географов-обществоведов» (Грозный, 2016 г.), «Ломоносов 2017» (Москва, 2017 г.).

Основные положения диссертации отражены в десяти публикациях общим объёмом 5,9 п.л., в том числе четыре статьи в журналах из перечня рецензируемых научных изданий для опубликования результатов диссертационных исследований.

Объём и структура работы. Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка сокращений, списка литературы и двух приложений. Основное содержание работы изложено на 156 страницах и включает 49 рисунков. Приложение включает 3 таблицы и 13 рисунков. Список используемых источников насчитывает 202 наименования на русском и иностранных языках.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ

1. Для изучения топологической структуры электросетей оптимальным методом является анализ комплексных сетей. Его применение позволяет учесть такие свойства электросетевых графов, как непланарность, неоднородность, наличие вершин двух типов: электростанций и подстанций. Эти свойства слабо отражаются при использовании классических методов географии транспорта. В то же время они обуславливают высокую уязвимость электросетей к каскадным авариям, которую можно адекватно оценить именно с помощью анализа комплексных сетей.

Традиционно в экономической географии уровень развития транспортных сетей оценивается с помощью показателей обеспеченности территории сетями или с помощью базовых методов топологического анализа. В российской географии транс-

порта широкое распространение получили методы топоморфологического анализа. Эти методы, как и ряд других, удобны для изучения графов авто- и железнодорожных сетей, но недостаточно эффективны для изучения графов электросетей из-за их принципиальных особенностей – непланарности, неоднородности, наличия вершин двух типов – электростанций и подстанций (табл. 1).

Таблица 1. Основные методы анализа топологической структуры транспортных и электрических сетей

Метод анализа топологической структуры транспортных и электрических сетей	Основные авторы, применявшие метод к транспортным сетям	Основные авторы, применявшие метод к электрическим сетям	Преимущества метода для изучения электрических сетей	Недостатки метода для изучения электрических сетей
Базовый топологический анализ	К. Канский	А. М. Кондаков	Низкая трудоёмкость	Не учитывается наличие вершин двух типов (электростанций и подстанций)
Топоморфологический анализ	С. А. Тархов	С. А. Тархов, З. А. Атаев	Эффективен для изучения эволюции сети	Не учитываются непланарность и наличие вершин двух типов
Анализ комплексных сетей	–	Р. Альберт, П. Кручитти	Учитываются ключевые особенности электрических сетей. Метод позволяет оценить устойчивость сети к авариям	Для расчётов необходимо моделирование каскадных аварий
Оценка интегральной транспортной доступности	В. Н. Бугроменко	–	Метод позволяет оценить надёжность сети	Не учитывается наличие вершин двух типов. Необходимы данные о метрических параметрах сети
Анализ рисунка сети	Б. Б. Родоман	И.М. Маергойз, Р. Пелисье	Низкая трудоёмкость	Невозможны количественные оценки. Не учитывается наличие вершин двух типов

Составлено по данным литературных источников.

Эти особенности электросетей обусловливают их уязвимость к каскадным авариям. Поэтому в качестве критерия уровня развития электросетей была выбрана именно их структурная устойчивость к каскадным авариям – то есть устойчивость,

обусловленная исключительно топологической структурой, а не техническими, климатическими и прочими факторами. Данный параметр наиболее комплексно отражает уровень развития электросетей на определённой территории.

Для оценки структурной устойчивости хорошо подходят методы анализа комплексных сетей – междисциплинарного научного направления, которое сформировалось в 1990-х гг. на основе теории графов. В рамках этого направления были сформированы алгоритмы, позволяющие смоделировать каскадные аварии в сетях и оценить их устойчивость к ним.

Для расчёта структурной устойчивости электросетей была разработана процедура, основанная на т. н. алгоритме Моттер – Лаи. Расчёт структурной устойчивости энергосистем проводился с помощью программы, специально разработанной на языке «Python», в которой симулировались каскадные аварии.

Результатом расчётов стал показатель структурной устойчивости, который равен доле вершин графа (подстанций и электростанций), которые продолжают функционировать после моделирования каскадной аварии (в среднем за 1000 симуляций).

2. В процессе расчёта структурной устойчивости электросетей были определены четыре типа вершин (электростанций и подстанций) магистральных сетей, вывод из строя которых может привести к наиболее серьёзным последствиям для электроснабжения.

В процессе расчёта структурной устойчивости для каждой вершины электросети оценивалась скорректированная центральность – показатель, равный числу кратчайших путей, которые проходят через данную вершину и при этом соединяют любую иную подстанцию графа с ближайшей (в топологическом отношении) электростанцией. Вершины с максимальной центральностью (рис. 1) являются ключевыми для функционирования электросети, их вывод из строя влечёт за собой наиболее серьёзные последствия.

На уровне магистральных электросетей вершины с максимальной центральностью были разделены на следующие типы по их местоположению.

- Электростанции и подстанции, в которые сходятся нескольких магистральных ЛЭП (например, Сургутские ГРЭС[1], подстанция Итатская в Красноярском крае).

[1] ГРЭС – государственная районная электростанция. Данное сокращение со времён реализации плана ГОЭЛРО традиционно применяется для обозначения крупных конденсационных тепловых электростанций в СССР и России.

- Подстанции на важнейших транзитах ЛЭП, соединяющих крупные районы потребления электроэнергии с крупнейшими электростанциями (например, подстанция Вешкайма на транзите Москва – Жигулёвская ГЭС[2], подстанция Петрозаводск на транзите Ленинградская область – Кольская АЭС[3]).
- Подстанции на протяжённых транзитах ЛЭП, возведённых для электроснабжения железнодорожных линий (Транссибирская магистраль и т. д.).
- Подстанции на стыках электросетевых районов, где часть подстанций одного района обеспечивается питанием от электростанций, расположенных в другом районе (например, ряд потребителей Кировской области питается через подстанцию Вятка от Костромской ГРЭС).

3. В конце советского периода территориальное распределение структурной устойчивости магистральных электросетей СССР к каскадным авариям имело центр-периферийный характер. Во второй половине 2000-х гг. в России активизировалось электросетевое строительство, которое привело к значительному сокращению различий в структурной устойчивости между районами страны. Это позволяет говорить о выравнивании уровня развития магистральных электросетей по территории страны.

Структурная устойчивость магистральных электросетей (МЭС) рассчитывалась по специально выделенным территориальным ячейкам (районам) России, стран ближнего зарубежья и зарубежной Европы.

Расчёты (рис. 2) показали, что территориальное распределение структурной устойчивости в России к началу 1990 г. в целом хорошо описывалось центр-периферийной зависимостью. Среди множества экономико-географических параметров наибольшая связь наблюдалась между структурной устойчивостью и плотностью хозяйственного освоения, которая оценивалась по плотности электропотребления. Другие факторы: структура генерирующих мощностей и наличие разных шкал напряжения в западных и восточных частях страны – играли второстепенную роль.

К 2015 г. корреляция между структурной устойчивостью и плотностью электропотребления по районам России существенно снизилась, при этом существенно сократились различия между выделенными районами МЭС (рис. 3). Это произошло благодаря электросетевому строительству, которое возобновилось в конце 2000-х гг. Новые

[2] ГЭС – гидроэлектростанция.
[3] АЭС – атомная электростанция

ЛЭП возводились и продолжают возводиться в районах МЭС двух типов: в периферийных районах, характеризовавшихся к началу 1990-х гг. низкой структурной устойчивостью (Дальневосточный, Байкальский, Северо-Западный, Южный), а также в районах с существенным ростом электропотребления (Московский, Тюменский). Таким образом, реализация утверждённых на федеральном уровне инвестиционных программ способствует выравниванию районов страны по уровню надёжности электроснабжения. В других постсоветских странах подобные процессы явно не выражены.

4. Выявленное для России и стран бывшего СССР центр-периферийное распределение структурной устойчивости не характерно для стран зарубежной Европы, где доминирующим фактором распределения является структура генерирующих мощностей по типам используемых энергоресурсов. На территории бывшего СССР данный фактор не выражен, поскольку электроэнергетика большинства регионов России и стран ближнего зарубежья основана на газомазутных тепловых электростанциях.

Выявленная центр-периферийная зависимость не характерна для европейских стран (рис. 4). Это отличие связано с тем, что на топологическую структуру МЭС европейских стран оказывает определяющее влияние иной фактор – структура генерирующих мощностей по типам используемого топлива. Разные типы электростанций различаются по характерной мощности: минимальная мощность характерна для электростанций, использующих возобновляемые источники энергии, а наибольшей средней мощностью отличаются АЭС.

На территории горных стран (Австрия, Норвегия и т. д.) действуют многочисленные гидроэлектростанции, размещённые относительно равномерно. Следовательно, среднее расстояние от подстанции до электростанции на этих территориях невысока, а потому и риск развития каскадной аварии невелик. Напротив, низкой устойчивостью отличаются страны, в которых распространены АЭС и тепловые электростанции на угле (Польша, Великобритания, Франция). Поскольку электростанции этих типов отличаются высокой средней мощностью, они размещаются достаточно разреженно, и среднее расстояние от подстанций до электростанций на этих территориях высоко.

При этом в России и странах ближнего зарубежья влияние данного фактора невысоко (за исключением высокой устойчивости электросетей в Закавказье и Таджикистане, обусловленной развитием ГЭС). Данная особенность связана с тем, что электроэнергетика большинства регионов России и стран ближнего зарубежья основана на газомазутных тепловых электростанциях (ТЭС).

Рис. 1. Скорректированная центральность подстанций и электростанций России по состоянию на начало 2015 г.

Составлено автором по расчётам на основании данных Схемы и программы развития ЕЭС России на 2015–2021 гг.

Рис. 2. Структурная устойчивость районов МЭС России и стран ближнего зарубежья по состоянию на начало 1990 г.

Составлено по расчётам на основании данных «ФСК ЕЭС», национальных операторов МЭС и других источников.

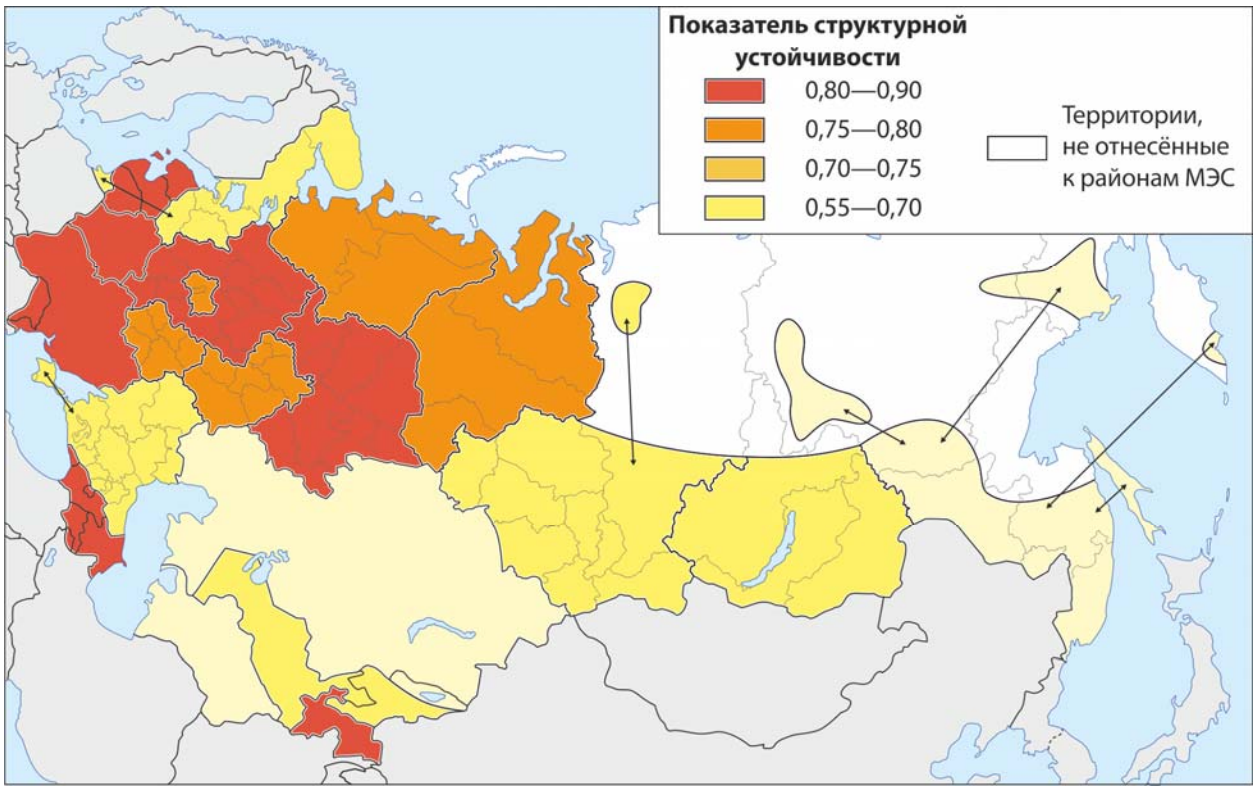

Рис. 3. Структурная устойчивость районов МЭС России и стран ближнего зарубежья по состоянию на начало 2015 г.

Составлено по расчётам на основании данных национальных операторов МЭС, Схемы и программы развития ЕЭС России на 2015–2021 гг.

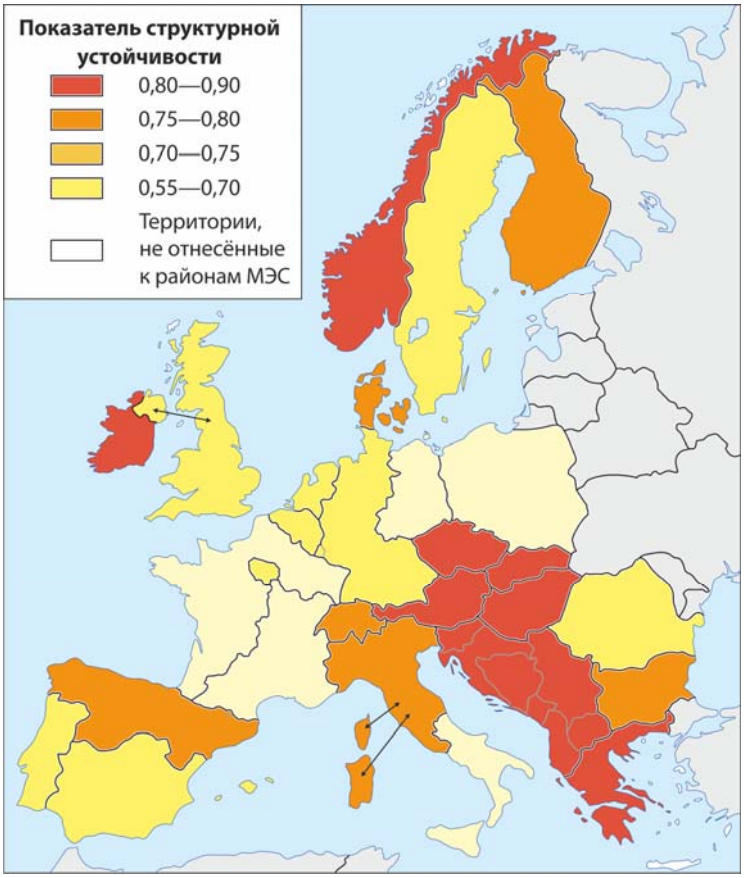

Рис. 4. Структурная устойчивость районов МЭС стран Европы к каскадным авариям по состоянию на начало 2015 г.

Составлено по расчётам на основании данных «ENTSO-E».

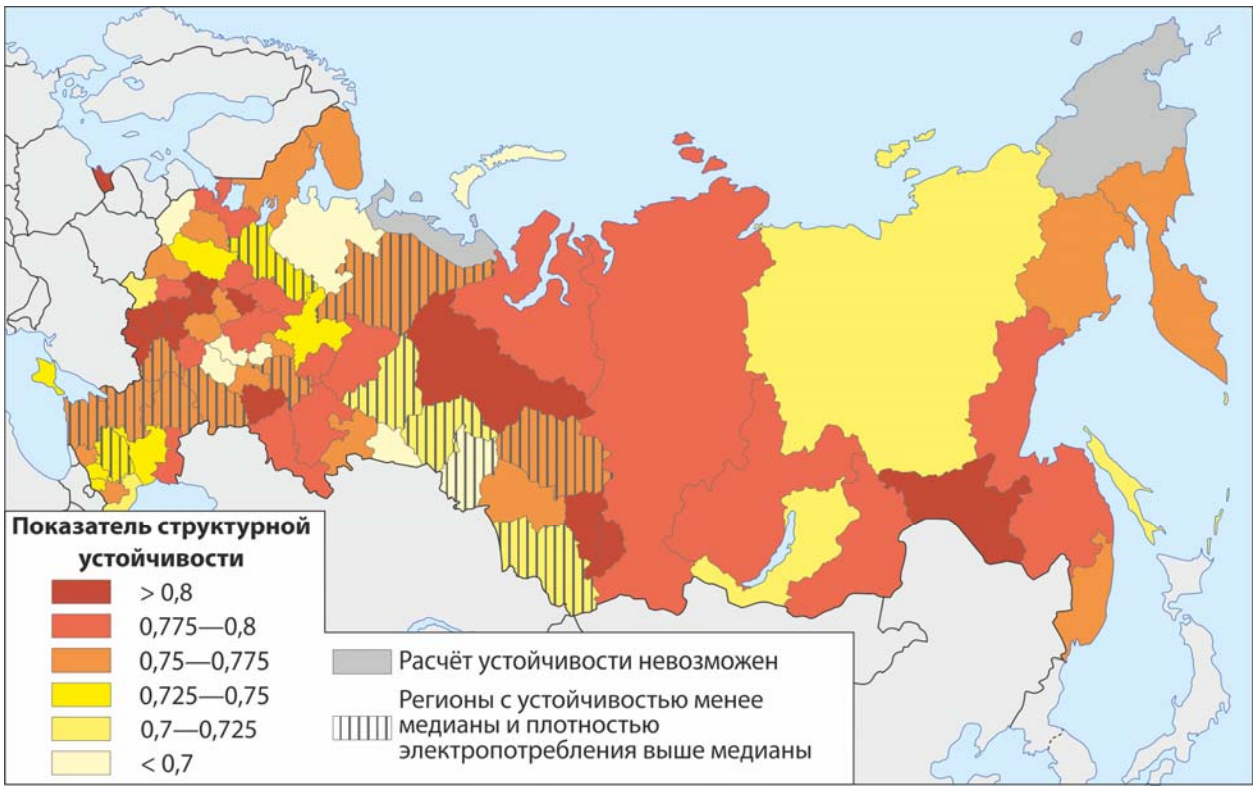

Рис. 5. Структурная устойчивость РЭС регионов к каскадным авариям по состоянию на начало 2015 г.

Составлено по расчётам на основании данных Схем и программ развития электроэнергетики субъектов РФ.

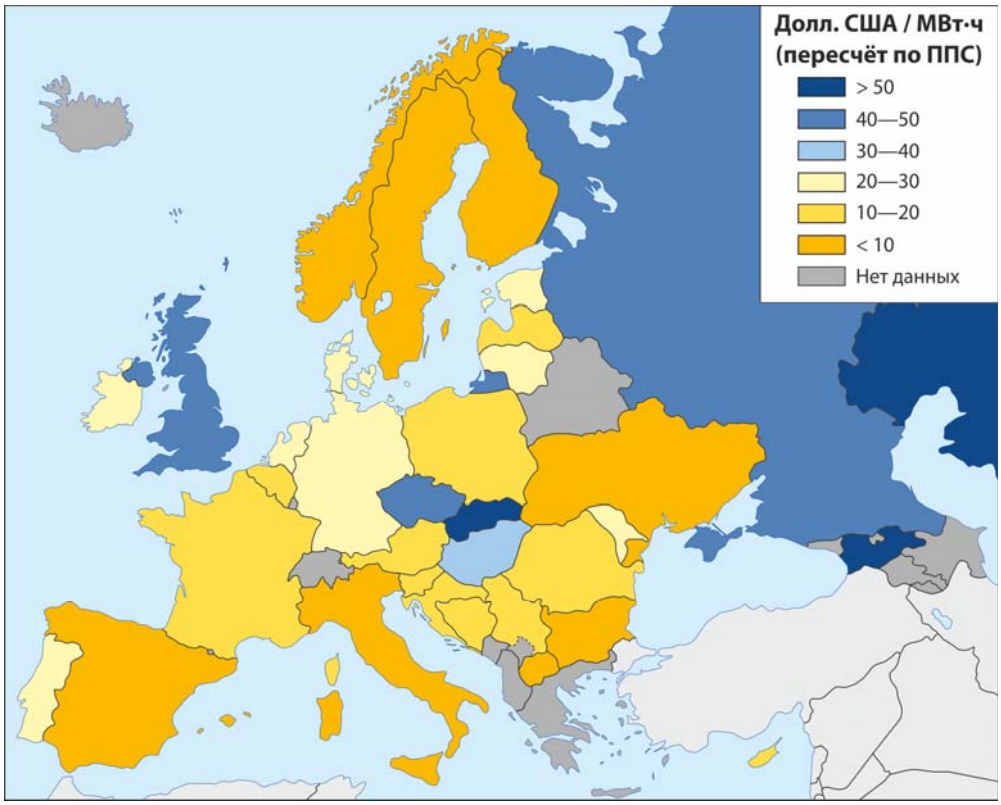

Рис. 6. Цены на передачу и распределение электроэнергии для крупных предприятий в 2015 г.

Составлено по данным решений региональных тарифных органов России, Евростата, Мирового банка, ОЭСР, Управления по информации в электроэнергетике США.

Рис. 7. «Котловые» тарифы на распределение электроэнергии для коммерческих потребителей во второй половине 2016 г.

Составлено по данным решений региональных тарифных органов.

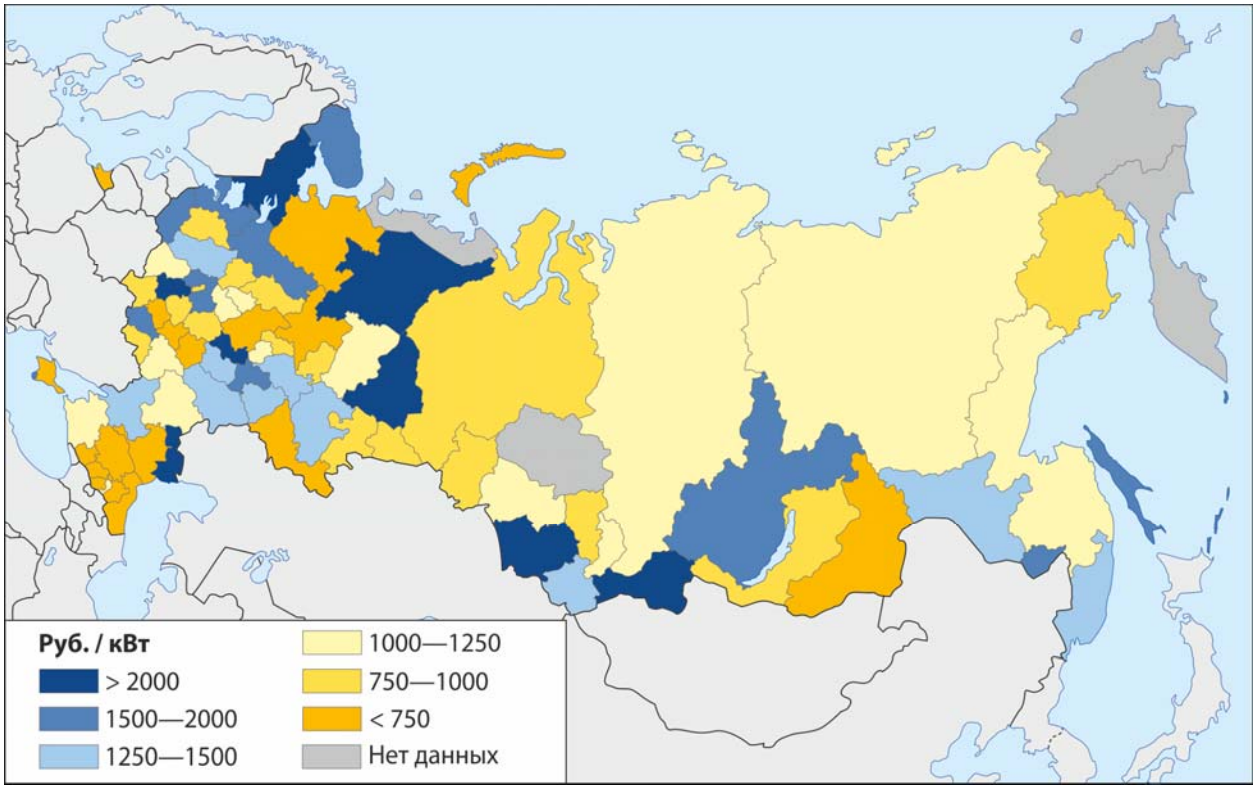

Рис. 8. Цена технологического присоединения «эталонного» потребителя в регионах России в 2016 г.

Составлено по данным региональных тарифных органов.

5. Для распределительных электросетей центр-периферийная зависимость в территориальном распределении структурной устойчивости по регионам России выражена слабее, чем для магистральных электросетей. Это связано с влиянием фактора расселения. Аномально низкая структурная устойчивость выявлена в регионах, где на значительных территориях расположены только сельские и малые городские населённые пункты.

Структурная устойчивость распределительных электросетей (РЭС) рассчитывалась по 77 территориальным ячейкам, которые за редкими исключениями совпадают с субъектами РФ. Результаты расчётов (рис. 5) показали, что территориальное распределение структурной устойчивости по РЭС удовлетворяет центр-периферийной зависимости существенно слабее, чем по МЭС.

Эта особенность РЭС связана с влиянием второстепенного фактора – характера расселения. Аномально низкая структурная устойчивость при относительно высокой плотности электропотребления выявлена в 14 регионах степной и таёжной полосы, где на значительных территориях расположены только сельские и малые городские населённые пункты. Такие населённые пункты могут получать электроэнергию от подстанций МЭС только через протяжённые, последовательно соединённые ЛЭП 110 кВ, которые уязвимы к каскадным авариям.

6. С начала 1990-х гг. как в России, так и во многих других постсоветских странах, наблюдалась деградация электросетевых связей со странами ближнего зарубежья[4], обусловленная избытком генерирующих мощностей и стремлением обеспечить национальную энергетическую независимость. В то же время развитие получили связи со странами дальнего зарубежья[5], поскольку для них дефицит электроэнергии в отдельных регионах оказался важнее соображений энергетической безопасности.

Тенденция к повышению структурной устойчивости районов МЭС России к каскадным авариям сопровождалась деградацией международных связей в сфере передачи электроэнергии на постсоветском пространстве. С 1992 г. были выведены из строя семь цепей ЛЭП между Россией и бывшими союзными республиками, а также 30 международных ЛЭП на остальном постсоветском пространстве.

Для ликвидации риска нарушения электроснабжения со стороны сопредельных стран возводятся обходящие их ЛЭП. Построены ЛЭП между Уралом и Сибирью,

[4] Здесь и далее под ближним зарубежьем понимаются республики бывшего СССР.
[5] Здесь и далее под странами дальнего зарубежья понимаются страны, не входившие в СССР.

между Кубанской и Крымской энергосистемами. Возводится ЛЭП между Смоленской и Псковской энергосистемами в обход Латвии. ЛЭП с аналогичными функциями возводятся в Азербайджане, Казахстане, Киргизии, Туркменистане, Таджикистане.

Деградация международных связей обусловлена избытком генерирующих мощностей: в 2000-е гг. во многих постсоветских странах были запущены программы развития электроэнергетики, но кризисные явления последних десяти лет привели к тому, что рост электропотребления оказался ниже ожидаемого. Избыток генерирующих мощностей также связан со стремлением национальных правительств отказаться от импорта электроэнергии из соображений энергетической безопасности.

Развитие международных связей в электроэнергетике на постсоветском пространстве связано преимущественно со странами дальнего зарубежья. В частности, было построено 12 ЛЭП из России и других постсоветских стран в энергодефицитные регионы азиатских государств (Турции, Ирана, Афганистана, Китая).

Отдельную группу формируют страны Балтии, которые развивают связи как со странами дальнего зарубежья (Финляндией, Швецией, Польшей), так и между собой.

7. Ценовая доступность услуг на передачу и распределение электроэнергии для бизнеса существенно снизилась в 2008–2011 гг. в России в сравнении с зарубежными странами. Этот процесс обусловлен ростом инвестиций в электросетевое строительство и перекрёстным субсидированием. Схожие процессы наблюдались в других странах ближнего зарубежья и Восточной Европы. Особенностью российской тарифной политики в электросетевом хозяйстве является рост ценовой доступности подключения к сетям для населения и малого бизнеса.

В конце 2000-х гг. цены на передачу и распределение электроэнергии в России находились на уровне, сравнимом с зарубежными странами. В 2008–2011 гг. в России произошло стремительное повышение цен: среднегодовой темп роста составлял 24 % для РЭС и 30 % для МЭС. Этот рост, обусловленный резким увеличением капиталовложений, позволил снизить уровень потерь в сетях, повысить устойчивость энергосистем к авариям, обеспечить подключение новых потребителей и электростанций. В то же время это привело к снижению ценовой доступности электросетевых услуг для потребителей. По цене распределения электроэнергии для крупных коммерческих потребителей, пересчитанной по паритету покупательной способности, Россия вышла на пятое место в Европе (рис. 6). Аналогичный рост цен на передачу и распределение электроэнергии наблюдался в Казахстане, Грузии и Эстонии.

В то же время цена распределения электроэнергии для населения удерживается на достаточно низком уровне благодаря перекрёстному субсидированию. Оно также распространено в странах Восточной Европы и ближнего зарубежья с относительно низким уровнем экономического развития (Молдавия, Украина, Грузия, балканские страны). Напротив, в странах Западной Европы цены для населения выше, чем для коммерческих потребителей, что соответствует технологическим особенностям отрасли.

В конце 2000-х гг. процедура подключения к сетям потребителей электроэнергии (т. н. технологического присоединения) в России была недостаточно регламентирована, характеризовалась высокой стоимостью, сложностью и продолжительностью. В 2009–2015 гг. был принят ряд законодательных изменений, благодаря которым значения этих параметров значительно сократились (например, средняя удельная стоимость подключения снизилась с 8 до 2 тыс. руб. / кВт). Оборотной стороной принятых изменений стал перенос части затрат на обеспечение присоединения к сетям в тарифы на передачу и распределение электроэнергии.

8. Цена передачи электроэнергии по магистральным сетям слабо различается по территории России, за исключением регионов Северного Кавказа и Дальнего Востока, где применяется специфичное тарифообразование, обусловленное причинами институционального и социального характера.

В процессе реформы электроэнергетики предполагалось сформировать единый тариф на передачу электроэнергии по МЭС. Это требование было выполнено лишь частично, и фактически существует ряд исключений, обусловленных социальными и институциональными факторами. Во-первых, для потребителей Северо-Кавказского федерального округа действует особый сниженный тариф. Во-вторых, в четырёх регионах Забайкалья и Дальнего Востока действует механизм «последней мили», который обеспечивает резкий рост цены передачи электроэнергии. В-третьих, из-за особенностей приватизации электроэнергетики в ряде энергосистем объекты МЭС не были переданы «Федеральной сетевой компании ЕЭС», и тарифы там устанавливаются на договорной основе.

9. При анализе цен на услуги операторов распределительных электросетей для коммерческих потребителей в России не были выявлены чёткие географические закономерности. Тем не менее, косвенно на размер тарифов в регионах страны влияют: плотность населения, характер системы расселения, инвестиционная

активность в электросетевом хозяйстве, структура электропотребления, цены генерации и сбыта электроэнергии, уровень доходов населения. Межрегиональные различия в уровне цен для коммерческих потребителей крайне высоки.

Операторы распределительных электросетей оказывают два типа услуг: на распределение электроэнергии и на подключение к сетям.

Тарифы на распределение электроэнергии для коммерческих потребителей в России формируются по достаточно сложной схеме. На первом этапе, исходя из потребностей в эксплуатационных и инвестиционных затратах, устанавливаются «экономически обоснованные тарифы». Размер эксплуатационных затрат определяется характером расселения в регионе: удельные эксплуатационные затраты низки в регионах с крупноселенным расселением (например, Ставропольский край) или в регионах, где население и экономика сконцентрированы в крупнейших агломерациях (например, Республика Хакасия). Размер инвестиционных затрат определяется потребностью в обновлении и развитии электросетей. Это подтверждается результатами регрессионного анализа.

На втором уровне происходит перекрёстное субсидирование тарифов для населения за счёт тарифов для коммерческих потребителей. Ставка перекрёстного субсидирования определяется, исходя из уровня доходов населения, цен генерации и сбыта электроэнергии, а также доли населения в структуре электропотребления региона. Сочетание этих факторов приводит к тому, что территориальное распределение сетевых тарифов для бизнеса не обладает выраженной географической закономерностью. Например, низкие тарифы характерны как для регионов Сибири (Хакасия, Иркутская область), так и для некоторых регионов Европейской части страны (Астраханская и Калининградская области). Высокие тарифы также характерны для регионов разных типов: как для Ростовской области, так и для Республики Тыва.

Что касается цен подключения к сетям, то была выявлена определённая связь между распределением цен по территории страны и характерными для регионов России системами расселения. Среди множества экономико-географических показателей сколько-нибудь значимые коэффициенты корреляции с ценой подключения характерны для плотности населения (0,35) и среднего размера сельского населённого пункта (0,30). Данная зависимость связана с применением метода экономически обоснованных затрат при формировании тарифов. В результате минимальная цена технологического присоединения наблюдается в регионах Северного Кавказа, во

многих областях Центрального и Центрально-Черноземного экономических районов. Напротив, высока цена данной услуги во многих регионах Европейского Севера, Сибири и Дальнего Востока.

Цены на распределение электроэнергии для коммерческих потребителей могут отличаться в различных регионах России более, чем в десять раз (рис. 7), а цены подключения к сетям – почти в девять раз (рис. 8).

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Анализ комплексных сетей является оптимальным методом для изучения топологической структуры электросетей. Данный метод позволяет количественно оценить структурную устойчивость электросетей к каскадным авариям – параметр, который наиболее адекватно отражает уровень развития электросетей на определённой территории. Использование этого метода позволяет учесть влияние ряда особенностей электросетевого хозяйства, которые не фиксируются при использовании традиционных методов географии транспорта.

2. Главным фактором, определяющим распределение структурной устойчивости электросетей к каскадным авариям по территории России, является плотность хозяйственного освоения, определяющая плотность электропотребления. Данная зависимость характерна для России и стран ближнего зарубежья, но не характерна для Европы, где определяющее влияние оказывает иной фактор – структура генерирующих мощностей по типам используемого топлива. Для распределительных сетей России центр-периферийное распределение характерно в меньшей степени, чем для магистральных, за счёт влияния фактора расселения.

3. Распад СССР имел следствием деградацию международного сотрудничества в сфере дальней передачи электроэнергии на постсоветском пространстве. В настоящее время развитие международных электросетевых связей постсоветскими странами осуществляется преимущественно в направлении азиатских стран (Китай, Афганистан, Иран), для которых потребность в дешёвой электроэнергии оказывается важнее соображений энергетической безопасности. Отдельную группу формируют страны Балтии, которые развивают связи как со странами зарубежной Европы, так и между собой.

4. Активное электросетевое строительство повлекло за собой резкий рост цен на передачу и распределение электроэнергии в 2008–2011 гг. Территориальное рас-

пределение этих цен по регионам страны в значительной мере хаотично, поскольку оно определяется большим количеством разнонаправленных факторов (расселенческих, экономических, социальных, институциональных и др.), среди которых не представляется возможным выделить ведущий. Наоборот, цены технологического присоединения в 2011–2017 гг. существенно снизились, а их территориальное распределение чётко определяется фактором расселения. При этом межрегиональные различия в уровне цен на распределение электроэнергии и подключение к сетям для коммерческих потребителей крайне высоки: в разных регионах России цены могут отличаться более, чем в десять раз.

По теме диссертации опубликованы следующие работы

1. ***Фаддеев А.М.*** Оценка уязвимости энергосистем России, стран ближнего зарубежья и Европы к каскадным авариям // Вестник Московского университета. Сер. 5: География. – 2016. – № 1. – С. 46–53.
2. ***Фаддеев А.М.*** Особенности внешней торговли электроэнергией на постсоветском пространстве // Известия РАН. Сер. географическая. – 2016. – № 2. – С. 39–48.
3. ***Faddeev A.M.*** Geographical features of the foreign electricity trade in the post-soviet space // Regional Research of Russia. – 2016. – Vol. 6, no. 2. – P. 166–174.
4. ***Фаддеев А.М.*** Факторы и предпосылки размещения газотурбинных и парогазовых электростанций в России // Вестник Московского университета. Сер. 5: География. – 2015. – № 1. – С. 40–49.
5. *Григорьев А.В., Рудаков Е.Н.,* ***Фаддеев А.М.*** Технологическое присоединение к сетям: реформа продолжается // Энергорынок. – 2015. – № 6. – С. 36–43.
6. ***Фаддеев А.М.*** Топологический анализ эволюции структуры высоковольтных электросетей России // Вопросы экономической географии и статистики пространственного развития: Материалы научно-практической конференции с международным участием, посвящённой К. И. Арсеньеву. – Петрозаводск: Карел. научн. центр РАН, 2014. – С. 122–129.
7. ***Faddeev A.M.*** Evaluation of the electric power network availability at the sub-regional level // International Geographical Union Regional Conference «Geography, culture and society for our future Earth». 17-21 August 2015, Moscow, Russia. Book of Abstracts. – M., 2016. – P. 921–922.
8. ***Фаддеев А.М.*** Территориальные различия в структурной устойчивости к авариям магистральных электросетей России // Материалы Международного молодежного научного форума «ЛОМОНОСОВ-2016» / Отв. ред. И.А. Алешковский, А.В. Андриянов, Е.А. Антипов. [Электронный ресурс] – М.: МАКС Пресс, 2016. – URL: https://lomonosov-msu.ru/archive/Lomonosov_2016/data/8349/uid35200_report.pdf.
9. ***Фаддеев А.М.*** Региональные различия структурной устойчивости магистральных электросетей России // Факторы и стратегии регионального развития в меняющемся геополитическом и геоэкономическом контексте. Материалы международной научной конференции (Грозный, 20–25 сентября 2016 г.) / под общ. ред. А.Г. Дружинина. – Ростов-на-Дону: Изд-во Южного фед. ун-та, 2016. – С. 509–516.
10. ***Фаддеев А.М.*** Электросетевые тарифы в России: сравнительный анализ с зарубежными странами // Материалы Международного молодежного научного форума «ЛОМОНОСОВ-2017» / Отв. ред. И.А. Алешковский, А.В. Андриянов, Е.А. Антипов. [Электронный ресурс] – М.: МАКС Пресс, 2017. – URL: https://lomonosov-msu.ru/archive/Lomonosov_2017/data/10564/uid35200_report.pdf.

СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Введение

Глава 1. Электросетевое хозяйство как объект исследования в географии и смежных науках

§ 1.1. Понятие и основные особенности электросетевого хозяйства

§ 1.2. Основные направления исследований развития электросетевого хозяйства в географии и смежных науках

§ 1.3. Этапы развития магистральных электросетей России

§ 1.4. Этапы развития распределительных электросетей России (на примере Нижегородской области)

Глава 2. Методические основы исследования топологической структуры электросетей и ценовой доступности электросетевых услуг

§ 2.1. Опыт исследования топологической структуры транспортных сетей в географии

§ 2.2. Опыт исследования топологической структуры электросетей с помощью анализа комплексных сетей

§ 2.3. Опыт исследования электросетевого хозяйства в географии промышленности

§ 2.4. Опыт исследования ценовой доступности электросетевых услуг в экономике

Глава 3. Магистральные электросети России: топологическая структура и ценовая доступность услуг

§ 3.1. Территориальные системы (районы) магистральных электросетей России

§ 3.2. Топологическая структура магистральных электросетей России

§ 3.3. Развитие магистральных электрических сетей между Россией и сопредельными странами

§ 3.4. Ценовая доступность услуг операторов магистральных электросетей

Глава 4. Распределительные электросети России: топологическая структура и ценовая доступность услуг

§ 4.1. Территориальные системы (регионы) распределительных электросетей России

§ 4.2. Топологическая структура распределительных электросетей России

§ 4.3. Ценовая доступность услуг операторов распределительных электросетей

Заключение

Список сокращений и условных обозначений

Список литературы

Приложения