

*На правах рукописи*



Киушкина Виолетта Рафик гызы

**ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ  
ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННЫХ ЗОН ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ  
РЕГИОНОВ СЕВЕРНЫХ ТЕРРИТОРИЙ И АРКТИЧЕСКИХ ЗОН  
(НА ПРИМЕРЕ РЕСПУБЛИКИ САХА (ЯКУТИЯ))**

Специальность 05.14.01. – Энергетические системы и комплексы

Автореферат диссертации на соискание ученой степени  
доктора технических наук

Красноярск -2019

Работа выполнена в Техническом институте (филиале) Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования Северо-Восточного федерального университета имени М.К. Аммосова

**Научный консультант** доктор технических наук, профессор

**Лукутин Борис Владимирович**

**Официальные оппоненты:** **Сендеров Сергей Михайлович**, доктор технических наук, старший научный сотрудник, Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева» Сибирского отделения Российской академии наук, отдел энергетической безопасности, заведующий отделом

**Редько Иван Яковлевич**, доктор технических наук, профессор, Акционерное общество «Энергетический институт имени Г.М.Кржижановского», заместитель генерального директора

**Савельев Виталий Андреевич**, доктор технических наук, профессор, Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина», кафедра «Электрические станции и подстанции и диагностика электрооборудования», профессор

**Ведущая организация** Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Иркутский национальный исследовательский технический университет»

Защита диссертации состоится «9» октября 2019 г. в 14 часов 00 минут на заседании диссертационного совета Д 212.099.07, созданного на базе Сибирского федерального университета по адресу: 660049, г. Красноярск, ул. Ленина, д.70, ауд.А204.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте Сибирского федерального университета <http://www.sfu-kras.ru>

Автореферат разослан « \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2019г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета



Сизганова Евгения Юрьевна

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы диссертации** обусловлена проблемой надёжного энергообеспечения развивающихся Северных и Арктических территорий, а так же приоритетами и ориентирами на обеспечение энергетической безопасности (ЭнБ) Арктических зон Российской Федерации, обозначенных в документах стратегического планирования РФ.

Децентрализованные территории с инфраструктурной изоляцией автономных систем электроснабжения (АСЭС) характерны для 70% территории России. В наиболее сложных условиях АСЭС функционируют в районах Крайнего Севера. Основные проблемы энергоснабжения децентрализованных потребителей в труднодоступных районах Севера можно классифицировать в две группы. Это множество территориальных факторов, отражающих специфические особенности географического положения, и группа ситуативных факторов автономной энергетики. Низкий уровень развития территориально-транспортной инфраструктуры, многосвязность процесса завоза топлива приводят к высоким потерям и многократному его удорожанию. Эксплуатация большей частью устаревших и физически изношенных автономных энергоисточников, определяет их неудовлетворительное техническое состояние, низкую экономичность (удельный расход топлива на производство на дизельных электростанциях в отдельных пунктах достигает 500-600 г у.т./кВт·ч при КПД 20-25%). Это приводит к недостаточной надёжности энергоснабжения и неоправданно высоким финансовым затратам. Многофакторность и специфическая сложность энергетических проблем в современной децентрализованной энергетике выдвигает ЭнБ в ряд наиболее важных составляющих национальной безопасности регионов, а соответственно в целом всей страны.

Методологическим и научно-техническим исследованиям проблем ЭнБ, посвящены работы многих научных коллективов: Институт энергетической стратегии (г. Москва) под рук. д.т.н., профессора *В.В. Бушуева*; Институт систем энергетики им. Л.А.Мелентьева СО РАН (СЭИ СО РАН) (г. Иркутск) под рук. член-корр. РАН, д.т.н., профессора *Н.И. Вороная*, д.т.н., профессора *С.М. Сендерова*; Институт энергетических исследований РАН (г. Москва) под рук. академика *А.А. Макарова*; Институт экономики Уральского отделения РАН (г. Екатеринбург) под руководством д.т.н., профессора *Л.Л. Богатырёва*; Институт физико-технических проблем Севера им. академика РАН В.П. Ларионова (г. Якутск) под рук. член-корр. РАН *М.П. Лебедева*. Основные положения ЭнБ, создание системы мониторинга предложены Институтом систем энергетики им. Л.А.Мелентьева СО РАН и УГТУ УПИ, Институтами теплофизики и экономики Уральского отделения РАН.

Теоретико-методологическую основу исследования составили труды ведущих отечественных и зарубежных ученых и практиков, внесших значительный вклад в практику оценки ин-

дикаторов ЭНБ, это *В.В.Бушуев, Л.Л.Богатырёв, А.А. Куклин, А.Д. Криворуцкий, А.М. Мастепанов, А.Л. Мызин, П.Е. Мезенцев, Б.Г. Санеев, С.М. Сендеров, А.И. Татаркин, В.А. Савельев, Т.И.Глуценко и многие другие*. Отдельные региональные проблемы, ослабляющие позиции ЭНБ децентрализованной энергетики Севера, изучены в работах *Б.И.Кудрина, В.В.Москвичева, И.Ю.Ивановой, О.А. Гасниковой, Н.М. Парникова, Н.А. Петрова, И.Я. Редько, К.В. Сулова и др.* Методологии вовлечения ВИЭ в системы энергоснабжения автономных и изолированных потребителей, посвящены многолетние работы *Б.В. Лукутина, О.С. Попеля, В.В. Елистратова, С.Г.Обухова и др.*, внесших большой вклад в развитие возобновляемой энергетики России, как перспективного направления обеспечения и повышения ЭНБ удаленных регионов с суровыми условиями.

Но тем не менее, в настоящее время еще не нашли достаточной проработки вопросы оценки ЭНБ децентрализованных и локальных зон электроснабжения. Специфика автономной энергетики не допускает полутонов в диагностировании своего состояния и теряет возможности надежного функционирования в ситуациях, в которых централизованная энергетика сохраняет живучесть. Не рассматриваются и не акцентируются комплексные показатели уровня благосостояния самобытного населения децентрализованных энергозон, характеристики привлекательности ВИЭ для укрепления позиций ЭНБ, характеристики структурной обеспеченности автономных систем электроснабжения (АСЭС) с анализом степени автоматизации, унификации агрегатов, логистического показателя доставки топлива к ним и т.д. Не затронут ряд вопросов, присущих децентрализованным энергозонам. Не определены адресные и эффективные направления оптимально-рационального повышения ЭНБ децентрализованных энергозон Севера и Арктических территорий.

Оценке ЭНБ изолированных, тем более северных регионов, присуща тонкая оценка специфичных условий энергообеспечения и индивидуальных характеристик энергохозяйств. Соответственно, пути укрепления ЭНБ должны отличаться от подходов, уместно реализуемых для централизованных систем. Это определило актуальность решения задачи по уточнению критериальных показателей оценки состояния, уровней развития и функционирования децентрализованной энергетики таких территорий и определению путей повышения ее ЭНБ.

Обеспечение энергетического благополучия изолированных труднодоступных территорий Севера и Арктических зон требует **решения научной проблемы** повышения энергетической безопасности децентрализованных энергетических комплексов электроснабжения, как критически важных объектов, по определенным критериям и приоритетным ориентирам, обеспечивающим устойчивость их защищенности, имеющей важное социально-экономическое значение для децентрализованных регионов страны в условиях суровости климата.

**Объект исследования** – децентрализованные энергетические комплексы электроснабжения (ДЭКЭС) Северных и Арктических территорий

**Предмет исследования** - характеристики энергетической безопасности децентрализованных энергетических комплексов электроснабжения Северных и Арктических территорий и пути их улучшения.

**Цель диссертационной работы** - развитие теоретических основ оценки энергетической безопасности ДЭКЭС Северных и Арктических территорий и разработка решений, направленных на повышение уровня энергетической безопасности таких систем.

**Идея работы** заключается в разработке подхода к учету особенностей и специфики ДЭКЭС, функционирующих в условиях суровости климата и инфраструктурной изоляции, в анализе уровня ЭНБ. В исследовании впервые через введенную группу индикаторов и инструментов их измерения дается комплексная методология оценки энергетической безопасности децентрализованных систем электроснабжения Северных территорий и Арктических зон.

**Основные задачи исследования:**

1. Выполнить анализ тенденций развития современной энергетики с выявлением существующих проблемы энергетической безопасности при обозначении места возобновляемой энергетики в их решении и проанализировать методологические основы оценки энергетической безопасности с позиции их применения для децентрализованных энергетических районов Севера.

2. Выявить совокупность специфических особенностей и условий функционирования автономных систем электроснабжения и заложить их взаимосвязь в разработку уточненного перечня индикативных показателей оценки энергетической безопасности и в пересмотрение понятия энергетической безопасности изолированных территорий Северных районов и Арктических зон;

3. Разработать и обосновать структуру количественной оценки энергетической безопасности децентрализованных зон электроснабжения;

4. Реализовать оценку уровня энергетической безопасности северных децентрализованных энергетических районов на примере Республики Саха (Якутия) с применением рангового, индикативного и кластерного анализа;

5. Выполнить анализ выявленных возможностей возобновляемых энергоресурсов в укреплении позиций энергетической безопасности децентрализованных энергетических районов Севера с разработкой алгоритма выбора оптимальных решений для автономных систем электроснабжения с участием ВИЭ;

6. Разработать модель структуры интегрированной информационной системы мониторинга и визуализации состояния ЭНБ (на примере Республики Саха (Якутия)) с предложением

комплекса рекомендаций по направлениям повышения энергетической безопасности децентрализованных зон электроснабжения территорий Северных регионов и Арктических зон.

Научную новизну имеют **следующие положения**, выносимые на защиту.

- Модель совокупности специфических особенностей и условий функционирования автономных систем электроснабжения децентрализованных зон, позволяющая определить способность к преодолению воздействия вероятностных угроз и предотвращению рисков для состояния энергетической безопасности Северных территорий.

- Уточненный перечень индикативных показателей оценки энергетической безопасности, с участием ВИЭ, отличающийся учетом специфичных условий энергообеспечения и индивидуальных характеристик энергохозяйств.

- Адаптированный понятийный аппарат энергетической безопасности к выделению ДЭКЭС в подходе к содержательной сути оценки изолированных территорий Северных районов и Арктических зон.

- Модели исследования группы введенных индикаторов, обеспечивающие максимальное отражение характерных сторон в функционировании рассматриваемых децентрализованных энергозон.

- Модель и структура построения интегрированной информационной системы мониторинга уровня ЭНБ децентрализованных энергетических комплексов электроснабжения Северных территорий и Арктических зон, позволяющая производить расчеты текущих показателей индикаторов, своевременно оценивать степень кризисности ситуации.

**Практическую ценность** работы составляют: разработанная методика количественной оценки ЭНБ с классификацией уровней состояния; комплексная оценка уровня ЭНБ Северных децентрализованных энергетических районов на примере Республики Саха (Якутия) в картографическом виде; разработанная интегрированная информационная система оперативного мониторинга ЭНБ на примере Республики Саха (Якутия), обеспечивающая оперативность выявления проблем и реагирования на них; технические решения в определении предполагаемых отдельных эффектов (в сочетании с индикаторами и классификацией возможных локальных рисков) для комплекса мероприятий по укреплению ЭНБ исследуемых территорий.

Полученные результаты могут быть использованы: в качестве реестра критериальных показателей (индикаторов), определяющих целесообразность и адресность внедрения любых технологий на территории Севера и Арктических зон, направленных на укрепление позиций ЭНБ децентрализованных энергозон; для формирования и корректировки нормативных документов, программ и стратегий развития автономных энергетических комплексов.

**Методы исследований.** Работа выполнена с использованием современных теоретических методов системных исследований в энергетике, основных положений энергетической

безопасности, вероятностно-статистических методов обработки и анализа данных, методов исследования больших технических систем (ценологический анализ инфраструктурных объектов, техноценозов), метода экспертных оценок и теории нечеткой логики, современных интернет-технологий и языков программирования (PHP, HTML, JavaScript).

**Достоверность и обоснованность результатов диссертационной работы, выводов и рекомендаций** основывается на использовании апробированных методов теоретического анализа в оценке ЭНБ, на сопоставлении с результатами других исследований в области ЭНБ.

**Научные исследования проводились в рамках** приоритетных направлений развития экономики и критических технологий РФ (Энергоэффективность и энергосбережение, Эффективное использование возобновляемых источников энергии), приоритетного направлению развития мировой науки (Повышение конкурентоспособности ВИЭ) при выполнении фундаментального исследования государственного заказа Министерства образования РФ, рег.№7.5245.2011 - «Повышение эффективности реализации стратегии энергетической безопасности Республики Саха (Якутия) на основе диверсификации децентрализованного электроснабжения возобновляемыми источниками энергии» (2012-2014гг.); при выполнении научно-исследовательского проекта «Методология эффективной реализации энергетической безопасности региона с сочетанием центральной энергетики и деконцентрации электроснабжения» в рамках Стипендии Академии наук РС (Я) для молодых ученых, специалистов на выполнение исследований по направлениям. Физико-технические науки (2009-2010гг), а также при поддержке Грантов президента РС(Я) (2010-2015гг), при поддержке фундаментальных научных исследований, проводимых РФФИ совместно с субъектами Российской Федерации- Республики Саха(Якутия) № 18-48-140 010 «Разработка и исследование новых энергоэффективных технологий передачи электроэнергии по линиям 6-220 кВ» (2018 г.).

**Личный вклад автора заключается** в постановке задач и проведении теоретических исследований; разработке и обосновании уточненного перечня индикативных показателей для оценки состояния ЭНБ децентрализованных зон электроснабжения Северных территорий и Арктических зон; описании сущности, разработке схем и алгоритмов оценки введенных индикаторов и адаптации математических моделей в инструментарии измерения; разработке структуры информационной интегрированной системы и ее реализации; обработке полученных результатов; анализе, обобщении, научном обосновании и формулировании выводов и рекомендаций.

Все приведенные в диссертации основные положения, теоретические результаты и технические решения получены и разработаны лично автором или при его непосредственном участии. При анализе результатов работы использовались консультации ученых Лукутина Б.В., Кудрина Б.И., Литвака В.В., Обухова С.Г., Антоненкова Д.В.

**Апробация работы.** Материалы диссертации докладывались и обсуждались на III и IV Международной конференции «Арктика: шельфовые проекты и устойчивое развитие регионов» Арктика-2018 и 2019 (круглый стол «Энергетическая безопасность регионов крайнего Севера и Дальнего Востока») (Москва, 2018, 2019), Международном Арктическом Саммите «Арктика и шельфовые проекты: Перспективы, инновации и развитие регионов» Арктика-2018 (круглый стол «Энергетика и связь Заполярья») (г. Санкт-Петербург, 2018), Международной конференции «Green Energy and Smart Grids» (Иркутск, 2018), Международном форуме «Арктика: общество, наука и право» (Санкт-Петербург, 2018), VI Международном Арктическом правовом форуме «Сохранение и устойчивое развитие Арктики, правовые аспекты» (Санкт-Петербург, 2018), Международном научно-практическом форуме "Природные ресурсы и экология дальневосточного региона" (Хабаровск, 2012), Межрегиональной и Всероссийской НПК молодых ученых, аспирантов и студентов (Нерюнгри, 2008 - 2010), XIV Международной НПК-семинара «Электрохозяйство потребителей в новых условиях функционирования энергетики» (Москва, 2008), 39-ой Международной НПК «Повышение эффективности электрического хозяйства потребителей в условиях ресурсных ограничений» (Москва, 2009), Международной НТК «Электромеханические преобразователи энергии» (Томск, 2007), ВК «Региональная энергетическая политика» (круглый стол «Энергетическая безопасность регионов крайнего Севера и Дальнего Востока») (Иркутск, 2018), Всероссийской НПК с международным участием «Повышение эффективности производства и использования энергии в условиях Сибири» (Иркутск, 2015), ВК молодых ученых «Проблемы и перспективы управления энергетическими комплексами и сложными техническими системами в Арктических регионах» (Якутск, 2012), Всероссийской НТК «Электроэнергия: от получения и распределения до эффективного использования» (Томск, 2008, 2010, 2012), 40-ой Всероссийской НПК с элементами научной школы для молодежи (с международным участием) «Федоровские чтения» (Москва, 2010), V Всероссийской школе-семинаре молодых ученых и специалистов «Математическое моделирование развития Северных территорий Российской Федерации» (Якутск, 2006).

**Реализация результатов работы.** Полученные результаты работы нашли практическое применение при разработке проектов мобильных гибридных электростанций; в качестве дополнения к реестру показателей эксплуатируемого оборудования для оперативного слежения за состоянием АСЭС; при разработке критериев построения АСЭС на базе ВИЭ для использования в северных условиях по госконтракту № 7.5245.2011 с Минобрнауки РФ. Результаты работы внедрены в учебный процесс Вузов, осуществляющих подготовку специалистов энергетиков на территории Севера и Дальнего Востока, переданы научным центрам для использования в разработке стратегий развития территорий Севера и Арктики, использованы РЭА Министерства энергетики РФ.

**Публикации.** Материалы диссертации опубликованы в 75 печатных работах, в том числе в 2 монографиях, 15 статьях в изданиях, рекомендованных ВАК РФ, 5 статьях в изданиях, индексируемых и входящих в наукометрическую базу Scopus.

**Объем и структура.** Диссертационная работа состоит из введения, 6 глав, заключения, библиографического списка из 482 наименований и приложения по актам внедрения. Общий объем основного содержания работы 390 страниц, в том числе 36 таблиц и 142 рисунка.

Автор выражает искреннюю признательность и глубокую благодарность научному консультанту док. тех. наук, профессору Б.В. Лукутину за непрерывную поддержку при постановке и выполнении исследования. Также профессору НИУ МЭИ Б.И.Кудрину, профессору ФГБОУ ВО ДВГУПС С.В. Власьевскому, коллегам ФГАОУ ВО НИ ТПУ ИШЭ, ТИ (ф) ФГАОУ ВО СФВУ за помощь в исследовании.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность решенной проблемы, сформулированы цель и задачи исследования, изложена научная новизна и практическая значимость работы, приведены основные результаты, являющиеся предметом защиты.

**В первой главе** представлен анализ существующих прогнозов развития мировой энергетики и тенденций развития современной российской энергетики. Изучены основные проблемы энергетической безопасности России с обозначением места ВИЭ в повышении уровня ее состояния.

Согласно глобальному прогнозу, традиционные энергоресурсы (нефть, газ и уголь) хоть и останутся основными источниками энергии, самым быстрорастущим энергоресурсом будут именно ВИЭ со среднегодовым ростом на 7,6%. Прогнозируется, что к 2040 году произойдет постепенное выравнивание долей ископаемого вида топлива и неископаемых в сумме, что приведет к развитию межтопливной конкуренции и повышению устойчивости энергоснабжения. Впервые вклад неископаемых видов топлива вместе взятых прогнозируется больше, чем любого отдельного вида ископаемого топлива. ВИЭ стали занимать устойчивые позиции в прогнозах. При этом картина современного мира такова. Лидирующим источником энергии в мире остается нефть, доля газа почти не растет. Потребление угля падает. Рост ВИЭ стимулируется и достиг показателя в доле 3,2%. Развивается тенденция снижения стоимости электроэнергии, производимой установками на базе ВИЭ. За последние 8 лет себестоимость чистой энергии упала на 80%. Мировые инвестиции в ВИЭ имеют тенденцию нарастания. В России доля ВИЭ в производстве электроэнергии на текущий момент времени составляет менее 1% (без крупных ГЭС). Динамика роста доли ВИЭ очень мала, но прослеживается с лидирующим положением солнечной энергетики. ВИЭ для России пока затратный проект, но их роль в региональной ма-

лой энергетике очевидна и может являться приоритетом. В целом мировые тренды развития направлены на декарбонизацию, децентрализацию, цифровизацию и наращивание доли распределенной генерации. Это дает хорошую платформу для развития ВИЭ.

В сегодняшнем состоянии энергетики существует достаточное число факторов, которые обусловили актуализацию проблемы обеспечения энергетической безопасности (ЭнБ). Угрозы, формирующие проблемы имеют различную природу и характер проявления. Они обусловлены рядом исторически сложившихся особенностей Российской энергетики, сформированных спецификой территории страны. Большая часть технологически изолированных и удаленных территорий России расположена в зоне Крайнего Севера и Арктических зон. Как показал анализ, территории характеризуются негативными показателями и тенденциями. Укрепление отдельных позиций и в целом ЭнБ таких территорий – это грань между стабильным и критическим существованием.

Для определения приоритетных путей повышения ЭнБ децентрализованных энергозон территорий Севера и Арктики необходимо выявить факторы, которые, при существующих условиях, создают вероятности проявления рисков с различной интенсивностью. В чем состоит уязвимость таких территорий со стороны составляющих ЭнБ, какие показатели оценки состояния имеют место и степень приоритетности, необходимо определить при анализе различных аспектов функционирования энергокомплексов. В то же время, существующие разработки не дают полной возможности оценки уровня безопасности децентрализованных энергозон, функционирующих в условиях, нехарактерных для остальной части территорий РФ.

Проведенный обзор различных информационных источников и научно-технической литературы показал, что исследования диссертационной работы должны быть направлены на решение перечисленных проблем. На основе проведенного аналитического обзора состояния вопроса сформулирована цель работы и обоснованы задачи исследования.

**Во второй главе** представлен анализ методологических основ энергетической безопасности, выявлены особенности анализа показателей энергетической безопасности территорий Северных регионов, которые позволили уточнить ее определение и перечень индикативных показателей оценки. Степень большого различия северных и энергоизолированных регионов от иных территориальных образований подтверждает необходимость в отличных методических подходах ее диагностирования.

В соответствии с выявленными факторами, специфичными для рассматриваемых территорий, представлено их влияние на проявление угроз различного характера (рисунок 1) и проведена структуризация главных последствий этих угроз для ЭнБ исследуемых территорий. Сочетание территориальных факторов (Т1-Т3) и ситуативных факторов автономной энергетики (А1-А3) формирует структурную основу для модели меры локальной опасности - рисков сни-

жения безопасного уровня ЭНБ исследуемых территорий. Это ясно наблюдается в разработанной схеме (рисунок 2). Проявления совокупности представленных факторов (рисунки 1-2) обосновывают пересмотр и формирование состава индикаторов для оценки состояния ЭНБ, основанные на особенностях децентрализованного сектора энергетики и специфике автономности энергетических хозяйств.

На основании предложенной схемы реализован алгоритм реагирования системы на уровень состояния ЭНБ децентрализованной энергозоны. Для наглядного представления степени угроз, определяющих значимость индикаторов вероятности появления чрезвычайных ситуаций, ущербов, катастроф, сформирована последовательность действий, представленная на рисунке 3. «Угнетенным» состоянием децентрализованной энергозоны в отношении ЭНБ будем считать – снижение показателей и способностей, характеризующих обеспеченность комфортных условий

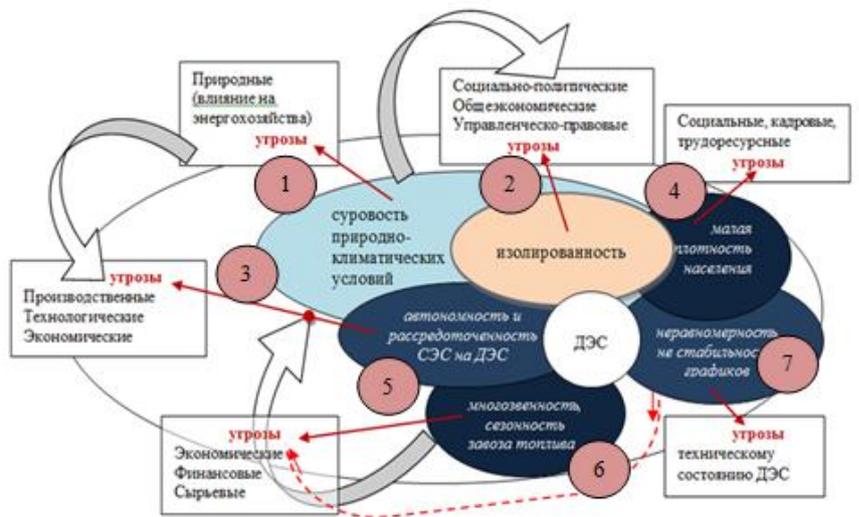


Рисунок 1 – Соотношение условий существования автономных систем децентрализованных зон и проявляющихся угроз

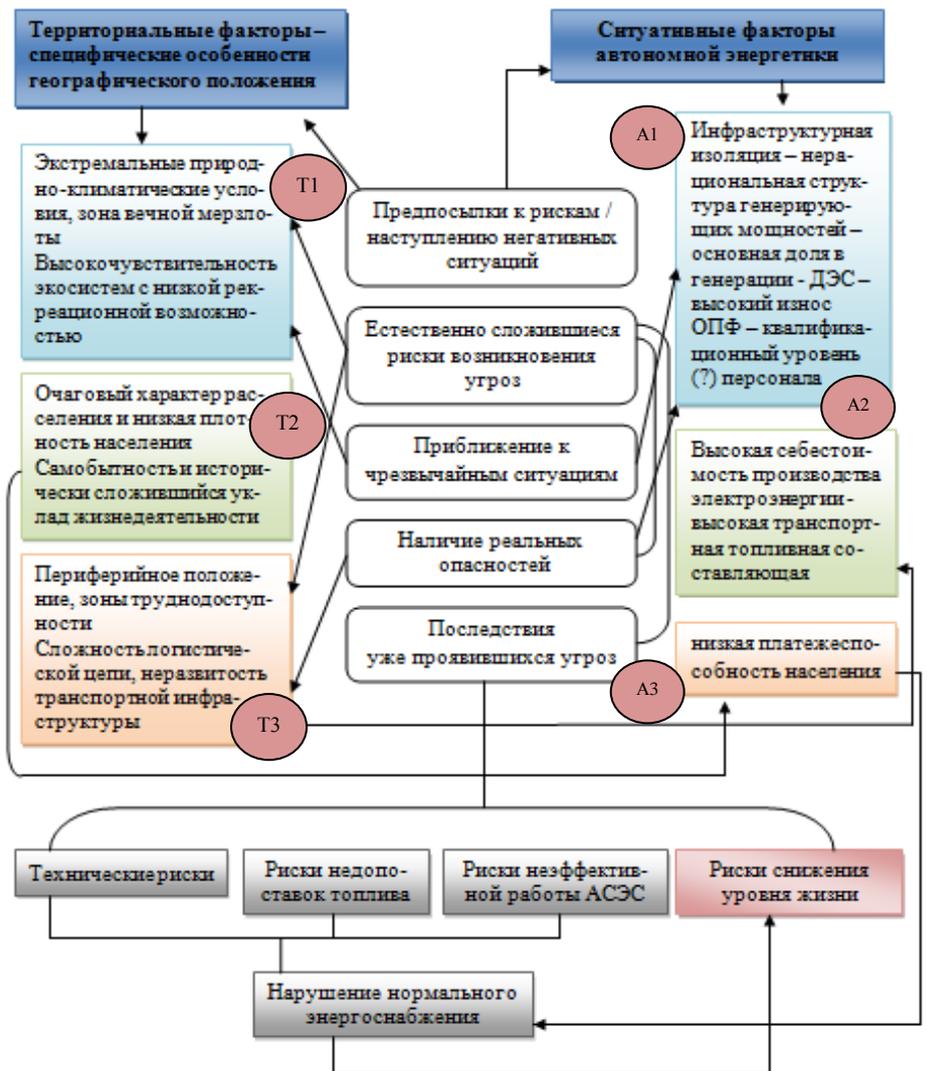


Рисунок 2 – Локальные предпосылки проявления риска возникновения угрозы ЭНБ

жизни населения и функционирования объектов энергетики, с определенной степенью уязвленности защиты уровня ЭНБ, связанной с негативными событиями (интенсивность рисков, тяжесть последствий). На основании предложенной схемы для территории определены  $R_i$  риски, ( $i = 1 \div n$ ). Можно говорить, что степень рисков даже в системе благоприятных значений индикаторов хоть и незначительна, но будет иметь место, так как исследуемые энергозоны не имеют должной способности «сопротивляться» воздействиям определенных угроз, которые априори будут проявляться с течением времени в условиях неопределенности.



Рисунок 3. – Схема взаимосвязи вероятности воздействия риска с уровнем «угнетенности» территории относительно угроз ЭНБ

Целый ряд индикаторов ЭНБ, определенных существующими методиками, не имеют смысла и не могут характеризовать состояние децентрализованных зон электроснабжения. Для решения задачи сформирована модель детализации отдельных локальных индикативных показателей для типовых зон децентрализованного электроснабжения Северных регионов. Классификация соотношений угроз и условий 1–7 (рисунок 1), а также факторов Т1-Т3/А1-А3 (рисунок 2) в схеме уточненного перечня индикаторов характеризуют обоснование выделенных групп (рисунок 4). Группы представлены в виде связанных показателей внутри множеств «обеспечения характеристик», объединяющих определенные блоки оценки уровня ЭНБ.

В перечне сохранены индикаторы (рисунок 4, А), разработанные в существующих исследованиях, которые отражают принятые в оценке ЭНБ направления функционирования энергохозяйств, не противоречащие приемлемости применения к специфике децентрализованных систем электроснабжения в условиях инфраструктурной изоляции, удаленности и суровости климатических условий.

Отдельные сохраненные индикаторы скорректированы и адаптированы к оценке АСЭС. Группа введенных в перечень индикаторов (рисунок 4, Б), характеризует особенности и индивидуальные свойства исследуемых систем, которые необходимо учесть в оценке уровня и состава угроз ЭНБ, максимально присущих исследуемым территориям и объектам.

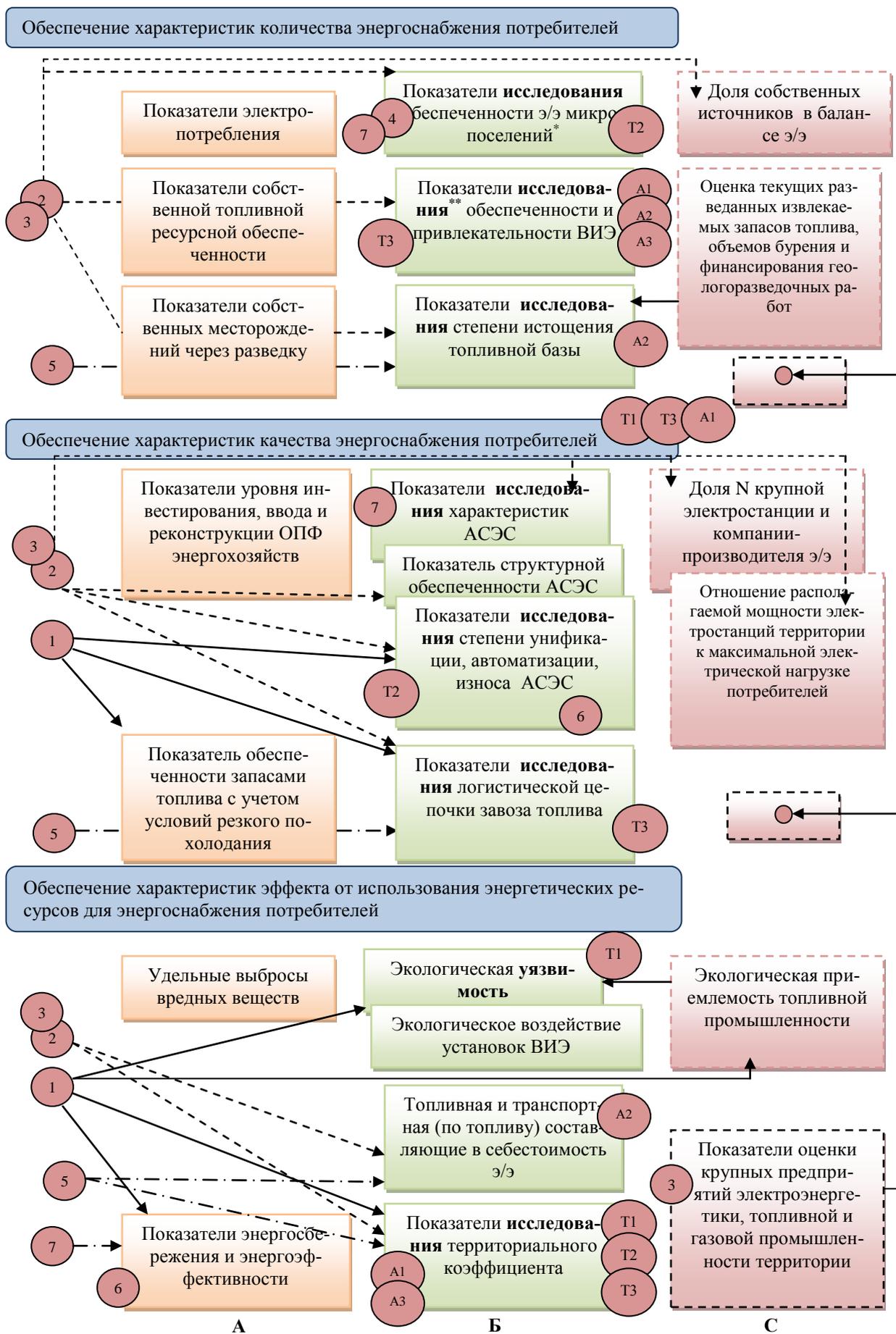


Рисунок 4. – Наложение условий децентрализации и территориальной расположенности на определение перечня индикаторов оценки

Включены индикаторы, затрагивающие одни из слабых и сложных кластеров в энергообеспечении инфраструктуры таких территорий. Отдельная группа индикаторов посвящена оценке ключевых характеристик АСЭС. В перечне введенных индикаторов представлена группа, отражающая направления, характеризующие степень социальной и экономической оправданности комплексного развития локального кластера и т.д. Исключенные из перечня индикаторы (рисунок 4 С) характеризуют показатели объектов крупной топливной промышленности и электроэнергетики, либо не соответствуют сущности децентрализованных энергозон.

Полученный перечень индикаторов позволил уточнить **определение ЭНБ децентрализованных зон Северных регионов и Арктических зон**. Определение интерпретирует понятийный научный аппарат энергетической безопасности исследуемых территорий. **Объект ЭНБ децентрализованных энергозон** - инфраструктурно изолированные автономные энергетические комплексы электроснабжения. **Предмет ЭНБ децентрализованных энергозон** - процесс оперативного мониторинга состояния показателей развития и функционирования и своевременного моделирования их позиций в социально-экономическом эффекте и экологических ориентирах через заданные формы реагирования на изменения состояния показателей в худшую сторону, на предпосылки наступления негативных ситуаций, на естественно сложившиеся риски возникновения угроз, на вероятность возникновения негативных воздействий, на вероятность приближения к чрезвычайной ситуации, на наличие реальных опасностей и последствия уже проявившихся - защита, предупреждение и восстановление. **Цель ЭНБ децентрализованных энергозон** – обеспечение самодостаточности объектов локальной энергетики с защитой функционирования их жизненно значимых функций и взаимосвязано сопутствующих систем (топливо-логистической цепи, экологической и экономической обеспеченности, доступности электрической энергии, природно-ресурсной ориентации, эксплуатационной надежности) в условиях ситуативных факторов изолированности и аномальных проявлений суровости климата. **Сущность ЭНБ**, как энергетической категории – защита энергетического благополучия децентрализованных энергозон, устойчивое сохранение жизнедеятельности изолированных территорий Севера и Арктических зон, самобытной культуры, комфортной среды проживания поселений через обеспечение всех составляющих и производных совокупности процессов энергетических хозяйств.

Исходя из сформированных понятий, приобретает значение расстановка приоритетов угроз и, соответственно, степень значимости индикаторов. Для объективности в исследовании проведена экспертная оценка по ранжированию степени важности индикаторов внутри перечня каждого блока оценки энергетической безопасности. В процедуре экспертизы в один этап приняли участие 35 экспертов, 25 из которых относятся к группе ученых (профессора, доценты), 10 к специалистам, руководителям производственных объектов (главные инженеры, главные энергетики, начальники районов электроснабжения, главные инженеры электрических сетей Восто-

ка и т.д.). Графическая интерпретация результатов подтвердилась расчетными значениями (рисунок 5а, 5б). Все данные анализа подтверждают обоснованность введения или исключения показателей индикативных блоков в области множеств рисунка 4.

Значимость индикативных показателей блоков позволяет показать направление и степень их влияния на состояние энергетической безопасности децентрализованной энергозоны. Приведенный круг индикаторов оценки ЭНБ автономных систем электроснабжения Северных территорий обладает универсальностью, и может использоваться для энергетических комплексов с любыми генерирующими энергоустановками.

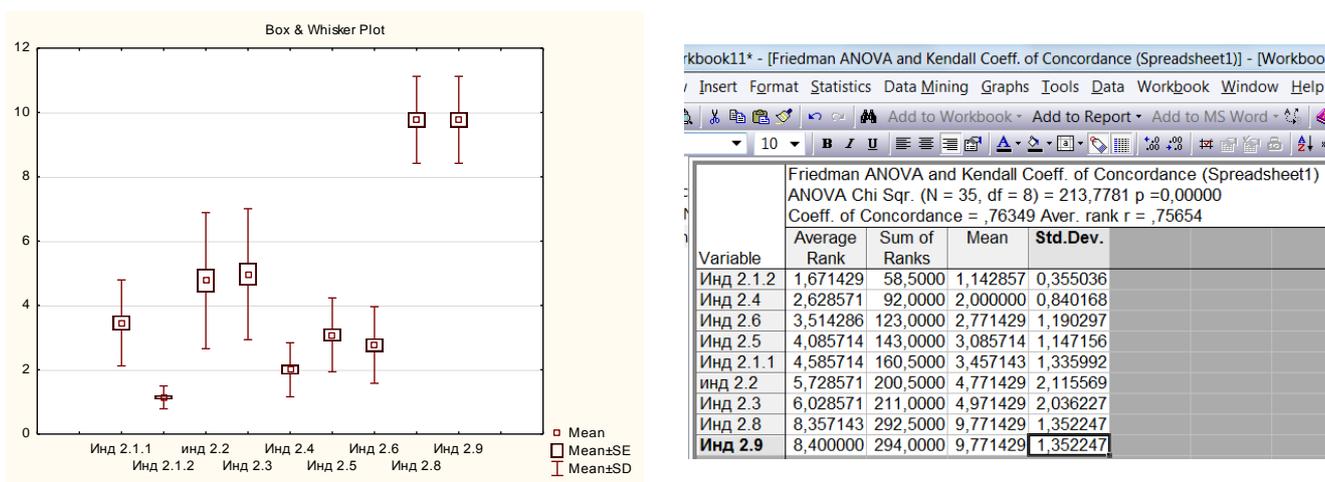


Рисунок 5 – Ящичные диаграммы (а) и переформирование местоположения показателей блока 2 по рангу (б)

**Третья глава** посвящена количественной оценке энергетической безопасности децентрализованных систем электроснабжения Северных территорий и Арктических зон. Вследствие специфики автономных систем электроснабжения обозначены четкие границы понятий пороговых состояний ЭНБ исследуемых ДЭКЭС: *безопасное (условно безопасное, B<sub>y</sub>)* - как достижение необходимого порога для обеспечения требуемого уровня ЭНБ и присутствием изменений при его превышении в отдельных позициях; *депрессивное (Д)* - как вызов к необходимости проведения изменений в определенной сфере деятельности энергохозяйств; *чрезвычайное (Ч)*. Работа с индикаторами (таблица 1), сохраненными в перечне осуществлялась в виде корректировки или сохранения градации пороговых значений по условиям Т1-Т3/А1-А3. Эти же данные, наряду с анализом рисков для инфраструктурно изолированных АСЭС и мнений экспертов, легли в основу определения пороговых значений введенных в перечень индикаторов. Отдельная группа индикаторов<sup>\*\*</sup> (рисунок 4) представлена для оценки в виде комплексных исследований, характеризующих поведение или соотношение совокупности различных показателей и факторов в определении индикатора. Для таких индикаторов градация пороговых значений не определялась, а исходя из разработанных алгоритмов и схем исследования, выражается присутствием сочетания определенных факторов.

Таблица 1

Наименование индикативных блоков и группы индикаторов	Действия по градации значений	Условия формирования градации	Градация оценки состояния индикатора
<b>Б1. Блок обеспеченности электрической энергией потребителей децентрализованной зоны</b>			
1.1. Душевое потребление электроэнергии в коммунально-бытовом хозяйстве децентрализованной зоны, кВт·ч/год	корректировка существующей	<ul style="list-style-type: none"> <li>- экстремальные природно-климатические условия длительного характера;</li> <li>- статистические данные по электропотреблению (численность населения не менее 10 тыс. - децентрализованные энергозоны);</li> <li>- нормативные данные по уровню электропотребления;</li> <li>- экспертные оценки.</li> </ul>	$V_i = \begin{cases} B_y, V_i \geq V_i^D \\ D, V_i^D < 1438,8 \text{ кВтч/год} \\ Ч, V_i^Z \text{ не определено} \end{cases}$ <p><i>V<sub>i</sub> - фактическое значение индикатора; V<sub>i</sub><sup>D</sup>, V<sub>i</sub><sup>Z</sup> - значения пороговых границ индикатора депрессивного и чрезвычайного состояния</i></p>
1.2. Коэффициент обеспеченности электрической энергией	определение	<ul style="list-style-type: none"> <li>- специфика автономных систем электроснабжения в условиях структурной изоляции;</li> <li>- экспертные оценки.</li> </ul>	$V_i = \begin{cases} B_y, V_i \geq V_i^Z \\ D, V_i^D \text{ не определено} \\ Ч, V_i^Z < 1 \end{cases}$
1.3. Типовые показатели потребления электроэнергии микрорайонов самобытной и промышленной жизнедеятельности (с очаговым кочевым хозяйством)	Модель исследования видов хозяйствования (оленоводство, охотничий и рыболовный промысел и др.) для определения потребности в средствах электроснабжения для социального развития	<ul style="list-style-type: none"> <li>- социальный уклад жизни;</li> <li>- характеристика и тип поселения;</li> <li>- специфичность электрической нагрузки (графики нагрузки);</li> <li>- характерность сельскохозяйственной специализации;</li> <li>- модели электропотребления для разных категорий групп сельского населения (методика Министерства сельского хозяйства РФ);</li> <li>- экспертные оценки.</li> </ul>	<p><i>Определяется на основании соответствия реальных данных степени удовлетворенности уровнем комфортных условий потребителями указанной категории при базовом показателе более 378 кВтч/год</i></p>
<b>Б2. Блок ресурсной (топливно-энергетической) обеспеченности системы энергоснабжения децентрализованной зоны</b>			
2.1.1. Доля собственных источников в балансе КПП, моторного и дизельного топлива, газа в децентрализованной зоне	корректировка существующей	<ul style="list-style-type: none"> <li>- практически нулевая степень самообеспеченности территории топливными ресурсами</li> <li>- высокая или 100% доля привозного топлива при сложной логистической схеме</li> <li>- существующие условия функционирования АСЭС</li> <li>- экспертные оценки.</li> </ul>	$V_i = \begin{cases} B_y, V_i = 100\% \\ D, V_i^D < V_i \\ Ч^*, V_i^Z \approx V_i^D \end{cases}$ <p><i>* - присутствие постоянной вероятности перехода в чрезвычайное состояние в случае перебоев в поставках привозного топлива</i></p>

2.1.2. Коэффициент обеспеченности местными ресурсами - углем, газом, дизельным топливом и т.д.	определение	<ul style="list-style-type: none"> <li>- топливная зависимость;</li> <li>- изолированность, удаленность, труднодоступность, суровость климата</li> <li>- экспертные оценки.</li> </ul>	$V_i = \begin{cases} B_y, V_i \geq 1^* \\ Ч, V_i^z < V_i^{**} \end{cases}$ <p>* - возможность перехода на местное традиционное топливо ** - дефицит/отсутствие ресурсообеспеченности</p>
2.2. Возможность обеспечения запасами нефти, угля, газа через разведку месторождений децентрализованной зоны	корректировка существующей к лингвистическому формату	<ul style="list-style-type: none"> <li>- риск снижения самообеспеченности территории собственными топливными ресурсами;</li> <li>- изолированность, удаленность, труднодоступность, суровость климата</li> <li>- повышение топливной составляющей в себестоимости электроэнергии при переходе к импортируемому энергоресурсу в условиях ценообразования энергетики севера</li> <li>- экспертные оценки.</li> </ul>	$V_i = B_y, V_i \neq 0^*$ <p>* – потенциальное собственное потребление; собственный расход; вывоз за пределы энергозоны – априори относит зону к чрезвычайному состоянию и требует дополнительных исследований с изучением структуры АСЭС и возможностью изменения ее типа</p>
2.3. Доля доминирующего ресурса в общем потреблении топлива в децентрализованной зоне	корректировка существующей	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. группа территорий, с долей 100% привозного топлива для электроснабжения изолированных потребителей</li> <li>2. группа территорий, использующая топливные ресурсы местных месторождений</li> </ol> <ul style="list-style-type: none"> <li>- изолированность и труднодоступность территорий</li> <li>- экспертные оценки.</li> </ul>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. <math>V_i = Ч, V_i = \forall n</math></li> <li>2. <math>V_i = \begin{cases} B_y, V_i &lt; V_i^z \\ Д \rightarrow Ч, V_i^z = 100\% \end{cases}</math></li> </ol> <p><math>\forall n</math> – для любого значения индикатора</p>
2.4. Коэффициент обеспеченности возобновляемыми ресурсами децентрализованной зоны	комплексное микроисследование	<ul style="list-style-type: none"> <li>- высокая или 100% доля привозного топлива при сложной логистической схеме</li> <li>- высокий удельный расход топлива</li> <li>- высокая стоимость топливной составляющей в себестоимости э/э</li> <li>- низкая надежность АСЭС</li> <li>- экспертные оценки.</li> </ul>	Соответствие потенциальных возможностей ВИЭ условиям эффективного использования гибридными или автономными установками для характерных графиков электрических нагрузок потребителей
2.5. Коэффициент привлекательности развития ВИЭ для децентрализованной зоны	Модель исследования характеристик совокупности признаков, факторов и средств по разработанному алгоритму	<ul style="list-style-type: none"> <li>- низкая надежность АСЭС</li> <li>- высокие финансовые затраты на обеспеченность территории и объектов ДСЭС</li> <li>- актуальные предпосылки к развитию возобновляемых источников энергии на территории децентрализованной зоны</li> <li>- экспертные оценки.</li> </ul>	$k_{\text{привлек ВИЭ}} = (0,403F_{\text{деградОПф}} + 0,372F_{\text{завоз_топл}} + 0,178F_{\text{топ_эз}} + 0,049F_{\text{господ}})$ <p>чем выше значение данного коэффициента, тем привлекательнее позиция развития ВИЭ</p> <p><math>F_i</math>- показатели факторов, усиливающие привлекательность развития ВИЭ на территории</p>
		$k_{\text{от_привлек ВИЭ}} = (0,033F_{\text{соц_д_тариф}} + 0,166F_{\text{себ_эз}}) + (0,435F_{\text{цэс}} + 0,366F_{\text{топ_ресурс}})$ , первое слагаемое ха-	

		<i>рактерирует социально-финансовое состояние энергозоны – чем оно ниже, тем нейтральнее ситуация по привлекательности внедрения ВИЭ; второе слагаемое показывает допустимость альтернативных вариантов внедрению ВИЭ в энергобаланс – чем выше его значение, тем они предпочтительнее. F<sub>j</sub>- показатели факторов, отражающие непривлекательность развития ВИЭ на территории</i>	
2.6. Показатель истощения собственной топливной базы	Модель исследования случайных и действительных влияющих факторов по разработанной структуре	- повышение топливной составляющей в себестоимости электроэнергии при переходе к импортируемому энергоресурсу в условиях ценообразования энергетики севера - труднодоступность месторождений, недофинансирование геологоразведки (G) - экспертные оценки.	При собственном использовании ресурсов $V_i(\epsilon \text{ темп нарастания} - k_n) = \begin{cases} B_y, V_i: = k_n \downarrow \cup G \downarrow \\ D, k_n \uparrow \cup G \downarrow \\ \text{Ч}, V_i^z: = k_n \uparrow \cup G \rightarrow 0 \end{cases}$ При экспорте ресурсов любое положение не улучшает состояние децентрализованной зоны без факта инд.2.2.
<b>Б3. Блок надежности топливо- и энергоснабжения децентрализованной зоны</b>			
3.0. Доля установленной мощности генерирующих источников и их видовой ряд	Анализ (по разработанной структуре) исходных данных по генерирующим источникам как основы по исследованию влияния характеристик функциональной обеспеченности ДЭС на состояние ЭНБ. Совокупность характеристик показывает высокую вероятность безотказности – условно безопасное состояние ЭНБ.		
3.1. Коэффициент структурной обеспеченности АЭС децентрализованной зоны	исследование соотношения мощностей <b>m</b> рабочих и <b>n</b> резервных агрегатов	- повышенные требования к надежности электроснабжения потребителей в условиях Севера и изолированности - покрытие максимальной расчетной нагрузки в условиях отказа и аварийной ситуации - экспертные оценки.	$V_i = \begin{cases} B_y, [\Sigma jN_{pz} + \\ + \Sigma (m - i)N_{pb}] > H_\Sigma \\ N_{\text{сум}} \geq 1,25P_{\text{max}} \\ \text{Ч}, \frac{\Sigma nN_{pz}}{\Sigma mN_{pb}} P_{\text{max}} < P_{\text{max}} \end{cases}$ $\Sigma N_{pz/pb}$ - суммарная мощность резервных / рабочих дизельных агрегатов; $H_\Sigma$ - общая суммарная нагрузка потребителя; $N_{\text{сум}}$ - суммарная мощность агрегатов ДЭС; $P_{\text{max}}$ - максимальная нагрузка потребителя
3.2. Коэффициент структурной обеспеченности установок на базе ВИЭ	априорная модель	- неустойчивый характер проявления потенциала ВИЭ - экспертные оценки.	$V_i = 100\%$ альтернативы данному пороговому значению быть не должно и фактически не имеет место.
3.3. Доля установленной мощности наиболее крупного агрегата ДЭС	определение	- риск потери электроснабжения изолированных потребителей - экспертные оценки.	Лежит внутри инд. 3.1.
3.4. Степень автоматизации и ДУ ДЭС децентрализован-	Модель исследования сочетания определенных факторов и	- повышенные требования к надежности электроснабжения потребителей - изолированность и труднодоступность	$k_{vpa} = \gamma_1 A + \gamma_1 \Pi + \gamma_1 S_c + \gamma_1 t_g + \gamma_1 T_g$ в соответствии с требованиями к допустимому перерыву в электроснабжении потребителей соответствующим

ной зоны	фактов, а также данных по определению скорости реакции на аварийную ситуацию по разработанной схеме	<p>АСЭС</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- низкая квалификация или отсутствие обслуживающего персонала</li> <li>- обеспечение условий нормальной эксплуатации АСЭС в проявлениях суровости климата</li> <li>- экспертные оценки.</li> </ul>	<p>цей категории надежности с учетом северных условий</p> <p><math>\gamma_i</math> – весовой коэффициент экспертной оценки;</p> <p><math>A</math> – степень автоматизации ДЭС; <math>\Pi</math> – уровень квалификации обслуживающего персонала; <math>S_c</math> – удаленность от точки выезда персонала; <math>t_g</math> – время доступности территории; <math>T_g</math> – вид транспорта с точки выезда.</p>
3.5. Характеристический показатель логистики поставок топлива в децентрализованную зону	Модель исследования принадлежности территориальной группы к виду логистической структуры	<ul style="list-style-type: none"> <li>- длительный и многозвенный маршрут логистической цепи, риск недопоставок топлива</li> <li>- риск нарушения условий нормальной жизнедеятельности в экстремальных природно-климатических условиях</li> <li>- экспертные оценки.</li> </ul> <p>Показатель территориально-транспортной инфраструктуры:</p> $\alpha_{\text{тран инф}} = \gamma_1 \frac{\sum_{d=1}^4 \frac{T_d}{1365}}{\sum_{j=1}^n \sum_{d=1}^4 \frac{T_d^j}{1365}} + \gamma_2 \alpha_{\text{износ}} \frac{\sum_{j=1}^n S_n^j}{S_n} + \gamma_3 \frac{\sum_{j=1}^n S_{\text{нп}}^j}{S_{\text{нп}}} \frac{\sum_{d=1}^4 \frac{T_d}{1365}}{\sum_{j=1}^n \sum_{d=1}^4 \frac{T_d^j}{1365}}$ <p>- отражает доступность населенного пункта / улуса в течение года, где <math>T_d</math> – время доступности (сезонная, круглогодичная, отсутствует) при 4 видах возможного присутствия транспорта (воздушный, водный, железнодорожный, автомобильный), посредством которого осуществляется доступ к j-пункту/улусу;</p> <p><math>\frac{\sum_{j=1}^n S_{\text{нп}}^j}{S_{\text{нп}}}</math> - отражает близость поселения к развитому населенному пункту / районному центру с топливной базой, <math>S_{\text{нп}}</math> - расстояние до обозначенных объектов;</p> <p><math>\frac{\sum_{j=1}^n S_{\text{п}}^j}{S_{\text{п}}}</math> - отражает близость до приемлемых к перемещению дорог;</p> <p><math>\alpha_{\text{износ}}</math> - износ и состояние дорог.</p>	$V_i = \begin{cases} \text{Б}_y, \in \text{территории } 1^* \text{ группы} \\ \text{Д}, \in \text{территории } 2^* \text{ группы} \\ \text{Ч}, \in \text{территории } 3 \text{ группы} \end{cases}$ <p>* - в зависимости от сложности цеп, группы могут переходить в худшее состояние</p>
3.6. Синтетический индикативный показатель обеспеченности потребителей запасами КПП, моторного и дизельного топлива в децентрализованной зоне	определение	<ul style="list-style-type: none"> <li>- многозвенность, сезонность, труднодоступность и длительность логистической цепи поставок топлива</li> <li>- разная степень доступности территорий</li> <li>- экспертные оценки.</li> </ul>	$V_i = \begin{cases} \text{Б}_y, V_i = 100\% - \\ (1^* 2^* \text{ терр. гр } 365 \text{ суток}) \\ \text{Б}_y, V_i \geq 100\% - \\ (3 \text{ гр } \forall \text{ даты}) \\ \text{Д}, V_i^D < V_i (\frac{1^*}{2^*} \text{ гр } 200 \text{ суток}) \\ \text{Ч}, V_i^Z < V_i (3 \text{ гр}) \\ \text{Ч}, V_i^Z < V_i^D (1^* 2^* \text{ терр. гр}) \end{cases}$

3.7. Уровень потенциальной обеспеченности спроса на топливо в условиях резкого похолодания на территории децентрализованной зоны	определение	<ul style="list-style-type: none"> <li>- вероятность возникновения достаточно продолжительной пиковой нагрузки потребителя</li> <li>- вероятность более продолжительного периода с низкими температурами</li> <li>- экспертные оценки.</li> </ul>	$V_i = \begin{cases} B_y, V_i \geq 50\% \text{ от } \alpha'_{\text{топзапас}} \\ \text{на окончание навигации;} \\ \text{Ч, } V_i^Z = \alpha'_{\text{топзапас}} \end{cases}$ $\alpha'_{\text{топзапас}} - \text{инд.3.6.}$
<b>Б4. Блок состояния ОПФ АСЭС децентрализованной зоны</b>			
4.1. Уровень унификации ДГУ на территории децентрализованной зоны	определение	<ul style="list-style-type: none"> <li>- повышение эксплуатационных показателей надежности АСЭС изолированных потребителей</li> <li>- низкий уровень квалификации эксплуатационного персонала</li> <li>- соотношение с показателем «скорости реакции на аварию»;</li> <li>- экспертные оценки.</li> </ul>	$V_i = \begin{cases} B_y, \text{ абсолютная однотипность} \\ N^*, \text{ не более 2 типов} \\ D, \text{ абсолютная разнотипность} \end{cases}$ <p><i>* - неустойчивое состояние при возникновении внешних ситуаций - частичная однотипность агрегатов</i></p>
4.2.1. Синтетический индикативный показатель степени износа ОПФ по АСЭС децентрализованной зоны	уточнен применительно к генерирующим источникам энергии децентрализованных зон	<ul style="list-style-type: none"> <li>- воздействие климатических явлений севера на узлы и механизмы</li> <li>- риск недопустимого снижения эксплуатационной надежности</li> <li>- экспертные оценки.</li> </ul>	$V_i = \begin{cases} B_y, \text{ ФИ} \leq 30\%, \text{ признаки МИ;} \\ D, \text{ ФИ} \leq 40\%, \text{ МИ 2 вида, СИ;} \\ \text{Ч, ФИ} > 50\%, \text{ МИ 1 и 2 вида,} \\ \text{ЭИ} \end{cases}$ <p><i>физический износ (ФИ), моральный износ (МИ), социальный износ (СИ), экологический износ (ЭИ)</i></p>
4.2.2. Индикативный показатель степени износа и повреждений установок на базе ВИЭ децентрализованной зоны	исследование сочетания факторов	<ul style="list-style-type: none"> <li>- требования к климатическому исполнению установок, обслуживающему персоналу</li> <li>- требования к обеспечению надежного электроснабжения потребителей</li> <li>- экспертные оценки.</li> </ul>	<i>Оценка в соотношении со значением инд.4.2.1.</i>
4.3. Уровень инвестирования энергохозяйств децентрализованной зоны	корректировка существующей	<ul style="list-style-type: none"> <li>- риск нарушения уровня работоспособного состояния ОПФ по АСЭС;</li> <li>- фактический высокий износ ОПФ оборудования энергохозяйств децентрализованных энергозон севера;</li> </ul>	$V_i = \begin{cases} B_y, V_i > V_i^D \\ D, V_i^Z < V_i^D \leq 32 \div 38\%; \\ \text{Ч, } V_i^Z \leq 21 \div 30\% \end{cases}$
4.4. Объем ввода и реконструкции ОПФ	корректировка существующей	<ul style="list-style-type: none"> <li>- длительность электрических нагрузок;</li> <li>- ускоренность износа ОПФ в северных кли-</li> </ul>	

энергохозяйств децентрализованной зоны по отношению к их первоначальной (восстановительной) стоимости		матических условиях (как агрессивной среды); - практика применения коэффициента амортизации «2» по вопросу наличия повышенного износа основных средств, используемых для работы в экстремальных природно-климатических условиях Крайнего Севера и приравненных к ним местностей; - экспертные оценки.	
4.5. Отношение среднегодового ввода установленной мощности и реконструкции АСЭС децентрализованной зоны к установленной мощности АСЭС децентрализованной зоны	корректировка существующей		$V_i = \begin{cases} B_y, V_i \geq 6,3\% \\ D, V_i^Z < V_i^D < V_i; \\ Ч, V_i^Z \leq 3\% \end{cases}$
<b>Б.5. Экологический блок</b>			
5.1. Степень экологической уязвимости территорий Севера (принадлежность децентрализованной зоны к наиболее уязвимым природным территориям - промысловые зоны растениеводства и оленеводства, близ природоохранных и заповедных зон, эко наследие Севера и т.д.)	Модель изучения и картирования данных по принадлежности территорий к природоохранным зонам, экосистемам, сопряженности с различными факторами и т.д.	- ограниченность рекреационных возможностей северных территорий - экспертные оценки.	<p><i>Модуль 1. Природный кластер</i> Слой 1. Типы экосистем Слой 2. Заповедные территории Слой 3. Рельеф Слой 4. Температурные режимы / климатическая особенность Слой 5. Гидрологические системы Слой 6. ВИЭ Слой 7. Месторождения</p> <p><i>Модуль 2. Кластер индивидуальных потребителей</i> Слой 8. Промысловые зоны (олeneводст-ва/рыболоводства/пушного хозяйства) Слой 9. Сельскохозяйственные зоны (летники, конебазы)</p> <p><i>Модуль 3. Технический кластер</i> Слой 10. Типы децентрализованных зон / Освоенность территории Слой 11. Расположение энергоисточников / уровень выбросов, бочек для ДТ Слой 12. Изношенность оборудования электрохозяйственной деятельности</p> <p><i>Модуль итоговый. Кластер угрозы экологическому иммунитету</i></p>

			<ul style="list-style-type: none"> <li>- сочетание слоев 1-2-11-12 - <i>опасность</i></li> <li>- сочетание слоев 4-11-12 – <i>острота ситуации для рекреационной возможности</i></li> <li>- сочетание слоев 1-2-6-8 – <i>возможность для сохранения самобытного уклада</i></li> </ul>
5.2. Удельные выбросы вредных (токсичных) веществ в атмосферу от ДЭС децентрализованных зон на единицу площади территории	сохранение	<ul style="list-style-type: none"> <li>- низкая толерантность конкретных экосистем территории к функционирующему на ней энергохозяйству</li> <li>- предельно малая плотность населения</li> <li>- повышенный удельный расход топлива</li> <li>- низкие комфортные условия проживания</li> <li>- экспертные оценки.</li> </ul>	$V_i = \begin{cases} B_y, V_i < V_i^D \\ D, 0,3 < V_i^D < V_i^Z; \\ Ч, V_i^Z \geq 0,5 \text{ т/км}^2 \end{cases}$
5.3. Экологическое воздействие энергоустановок на ВИЭ на окружающую среду	изучение отрицательного воздействия установок на окружающую среду, здоровье и условия проживания людей децентрализованной зоны		<ul style="list-style-type: none"> <li>- неприемлемый уровень – ощущения отрицательного воздействия на основе данных и описаний специалистов выраженные в лингвистических оценках,</li> <li>- благоприятный уровень – приемлемое воздействие при эксплуатации с некоторым воздействием при строительстве и монтаже</li> </ul>
<b>Б6. Финансово-экономический блок</b>			
6.1. Доля топливной составляющей в себестоимости производства электроэнергии, производимой АСЭС на территории децентрализованной зоны	определение	<ul style="list-style-type: none"> <li>- экспертные оценки;</li> <li>- наложение высокой топливной составляющей на относительно повышенный расход топлива</li> </ul>	$V_i = \begin{cases} B_y, V_i < 60\% \\ D, V_i \leq V_i^D < 70\%; \\ Ч, V_i^Z \geq 70\% \end{cases}$
6.1.1. Доля транспортной составляющей в стоимости топлива, потребляемого на территории	определение		<i>является уточняющей оценкой в топливной составляющей себестоимости электроэнергии и дополнительно отражает территориальный и транспортный показатель инфраструктурного потенциала и риска территории</i>
6.2. Присутствие дотационного принципа финансирования оплаты электроэнергии	исследование соотношения показателей уровня платежеспособности населения (социальный статус) исследуемой терри-	<ul style="list-style-type: none"> <li>- неплатежеспособность энергоизолированных малых потребителей при чрезмерно высоких тарифах на электроэнергию</li> <li>- неконкурентоспособность видов хозяйствования децентрализованных энергозон севера;</li> <li>- экспертные оценки</li> </ul>	<i>присутствие утвердительного лингвистического значения индикатора априори относит территорию к депрессионному или чрезвычайному состоянию в оценке данного индикатора.</i>

	<i>тории с величинами себестоимости и тарифа на электроэнергию для потребителей децентрализованных групп исследуемой территории.</i>		
6.3. Территориальный коэффициент	<i>комплексное исследование поведения совокупности многообразных факторов в соотношении между уровнем интегрального риска и величиной совокупного потенциала децентрализованной зоны</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- уровень развитости совокупности экономических, социальных свойств, суровость природных и специфичность географических условий</li> <li>- целесообразная обоснованность развития и сохранения точки территории</li> <li>- экспертные оценки</li> </ul>	<i>чем ниже характеризующий территориальный коэффициент, тем выше степень социальной и экономической <b>оправданности</b> комплексного развития локального кластера</i>
<b>Б7. Блок энергосбережения и энергоэффективности</b>			
7.1. Удельный расход условного топлива на производство электроэнергии АСЭС децентрализованной зоны, г у. т./кВтч	корректировка существующей	<ul style="list-style-type: none"> <li>- экспертные оценки;</li> <li>- данные по современному генерирующему оборудованию;</li> <li>- статистические данные</li> </ul>	$V_i = \begin{cases} B_y, V_i \cong 210 \div \beta^* \\ Д, \beta^* < V_i^D < V_i^Z \\ Ч, V_i^Z \geq 370 \end{cases}$ <p><i>* - в пределах удельного эффективного расхода топлива определенного по спецификациям на дизель-генераторные установки</i></p>
7.2. Относительная величина потерь электроэнергии в электрических сетях децентрализованной зоны, %	сохранение	<ul style="list-style-type: none"> <li>- относительно протяженные линии электропередачи при сравнительно малой нагрузке;</li> <li>- экспертные оценки</li> </ul>	$V_i = \begin{cases} B_y, V_i < V_i^D \\ Д, 11 \leq V_i^D < 13 \\ Ч, 14 < V_i^Z \leq 16,4 \end{cases}$

**В четвертой главе** представлены результаты анализов (рангового, индикативного, кластерного) показателей той или иной позиции энергетической безопасности децентрализованных энергетических районов на примере одного из регионов РФ с ярко выраженной спецификой Севера и децентрализации (60% территории), лидера по масштабной эксплуатации объектов малой энергетики в условиях зоны дискомфорта - Республика Саха (Якутия). Для исследуемой территории характерны малонаселенные районы, в частности её северная часть с редкими очагами хозяйства, концентрированные группы локальных потребителей КМНС в силу аграрной и промышленной направленности и характера их жизнедеятельности, доминирующее привозное дизельное топливо при богатом потенциале местных традиционных ресурсов, чрезвычайно высокий показатель экономически обоснованного тарифа на электроэнергию при колоссальном разбросе объемов электропотребления централизованной и децентрализованной зонами электроснабжения. Якутская энергосистема во многом уникальна – в ней представлены все виды генерации с самым большим в стране количеством дизельных электростанций, обслуживаемых одной энергосистемой ОА «Сахаэнерго». В большинстве своем установленная мощность изолированных ДЭС, работающих как в группе, образующей локальные электрические сети, так и отдельно, колеблется от 0,1 до 28 МВт. Протяженности ЛЭП всех классов напряжения равна половине длины экватора (свыше 27 тыс. км).

Для оценки оптимальности существующей структуры установленных генерирующих мощностей произведен ценологический анализ. Проведенные исследования показали, что структура электропотребления улусов Республики Саха(Якутия) соответствует гиперболическим ранга-параметрическим  $H$ -распределениям. Исследование основано на статистических данных временных рядов годового электропотребления за период с 1998 года по 2017. Результаты децильного анализа структуры годового электропотребления улусов Республики Саха(Якутия) показали, что улусы с наибольшим электропотреблением, образующие первый дециль потребляют 94,4% всего объема электроэнергии. Объем электропотребления вторым децилем составил 2,1%, третьим – 1,3%, четвертым – 0,86%, пятым – 0,56%, и.т.д. от общего потребления электрической энергии. Отношение объемов электропотребления между первым и последним децилями составило 9645 раз, что резко противоречит оптимуму ценологической теории. Построенная структурно-топологическая динамика (рисунок б) иллюстрирует отсутствие среднего сектора. Для исследуемых территорий лидерство улусов обусловлено их сильной ролью в современной экономике Республики и страны и предприятиями электроемких добывающих отраслей. В числе улусов-аутсайдеров Республики, представители мало освоенной территории децентрализованной зоны. Для более конкретного и целенаправленного выявления «узких» мест в определенной группе территорий каждый район подвергнут кластеризации конкретно в своей группе и по заданному критерию.

Кластерный анализ по направлениям и сферам жизнедеятельности улусов проведен на базе 20 индикаторов. При проведении анализа учитывались три сферы: сельскохозяйственная деятельность, промышленная сфера и группа улусов, в которых сельское хозяйство и промышленность развиты примерно в равной степени. Например, анализ по блоку направления «Топливообеспеченность», в сельскохозяйственной группе, показал, что 67% имеют наименее хорошие показатели, как при общей кластеризации, так и при разделении улусов по видам деятельности. В районах со смешанным типом производства - 89% улусов.

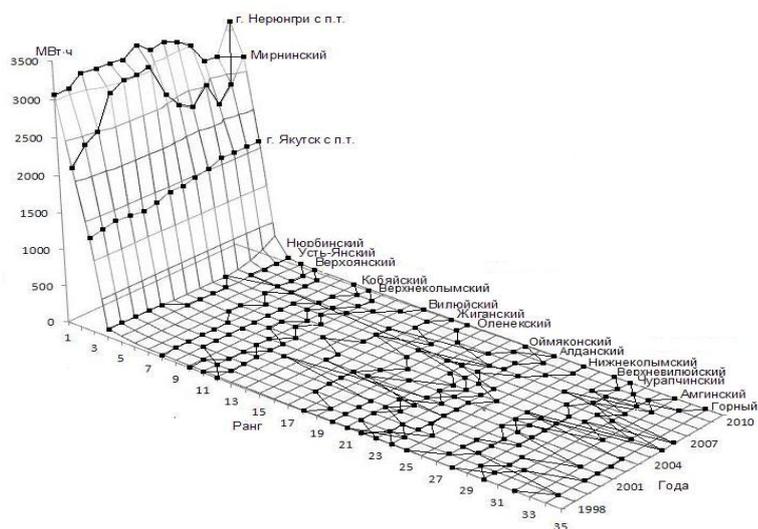


Рисунок 6. – Структурно-топологическая динамика электропотребления улусов

Данный анализ был углублен по принципу «доступности и достаточности» в котором было задействовано 22 индикатора ЭНБ. Произведено приравнение ЭНБ к совокупному обеспечению следующих позиций: ресурсная достаточность; экономическая доступность; экологическая достижимость. Многомерная классификация показателей энергетической безопасности была произведена с географической привязкой к административно-территориальному делению Якутии. Результаты сведены в карты-схемы для каждой позиции.

Для общего представления ситуации произведена интегральная оценка состояния энергетической безопасности кластеров Республики Саха (Якутия). Созданная модель интеллектуального анализа ЭНБ в программе ArcGIS, представлена на рисунке 7. Анализ результатов диагностирования состояния территорий улусов Якутии по уровням безопасности сведен к районированию по отдельным значениям соответствующих индикативных блоков и показан для отдельных на рисунке 8.

**Пятая глава** посвящена оценке роли возобновляемых энергоресурсов в обеспечении энергетической безопасности децентрализованных энергетических районов. Многомерная классификация показателей по потенциалу ВИЭ произведена с географической привязкой к административно-территориальному делению Якутии. Созданы модели интеллектуального анализа ресурсов ВИЭ, которые могут быть интерпретированы в целях их использования для принятия решений развития энергообеспечения районов. Для анализа состояния энергетики Якутии в геоинформационном программном продукте ArcGIS создана интерактивная карта (рисунок 9).

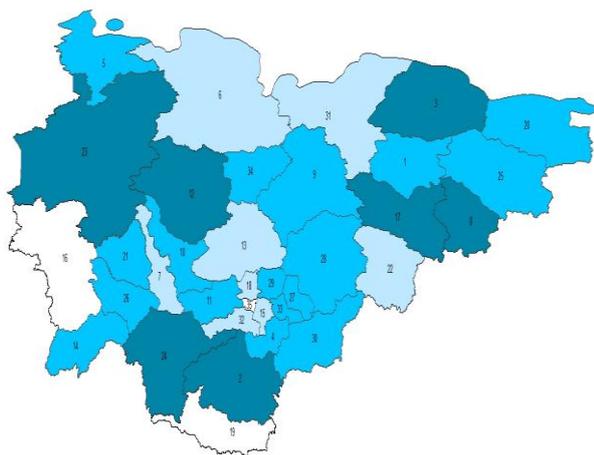


Рисунок 7. – Модель интеллектуального анализа ЭнБ



Рисунок 8. - Карты результатов диагностирования состояния территорий улусов Якутии по индикативному блоку состояния ОПФ АСЭС

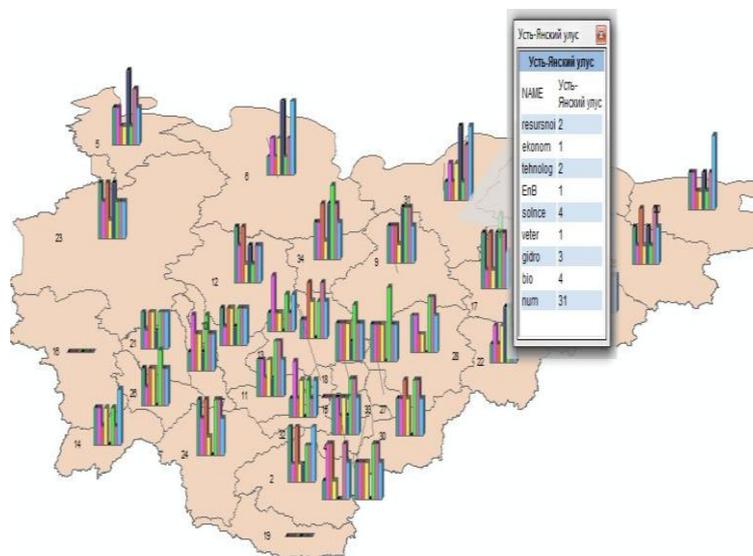


Рисунок 9 - Интерактивная сводная карта в программе ArcGIS результатов кластерного анализа ЭнБ и потенциала возобновляемой энергии РС (Я):

- |   |   |   |   |
|---|---|---|---|
|  | - кластеры энергетической безопасности  |  | - кластеры ресурсной достаточности              |
|  | - кластеры экономической доступности    |  | - кластеры эколого-технологической допустимости |
|  | - кластеры ресурсов солнечной энергии   |  | - кластеры ветроэнергетических ресурсов         |
|  | - кластеры гидроэнергетических ресурсов |  | - кластеры биоэнергетических ресурсов           |

Карта отображает, интегрирует и синтезирует слой административно-территориального деления Якутии, основана на результатах кластерного анализа многомерной классификации индикаторов ЭнБ и потенциала возобновляемой энергии РС (Я). Карта представляет собой интерактивное окно, при помощи которого можно визуализировать, изучить и анализировать состояние локальной энергетики, выделить перспективные территории с высокими потенциалами ВИЭ и низкими показателями энергетической безопасности Республики. Данная модель

может представлять собой аппарат для предварительного мониторинга уязвимых и слабых позиций ЭнБ. Анализ сводной карты результатов позволил выделить решения для каждого кластера с низкими показателями ЭнБ в индивидуальных приоритетах.

С учетом многообразия групп потребителей, экономических и технологических условий, вида топлива, энергоносителей и т.д. выбор оптимального варианта энергоснабжения даже для одного объекта сопряжен с большим массивом сочетаний факторов. На рисунке 10 представлен алгоритм поэтапного выбора возможного варианта АСЭС, совмещенного с учетом уровня обеспечения составляющих ЭнБ и потенциала ВИЭ территории. При принятии решения необходимо учитывать свойства, определяющие эффективность использования ВИЭ в повышении уровня ЭнБ.

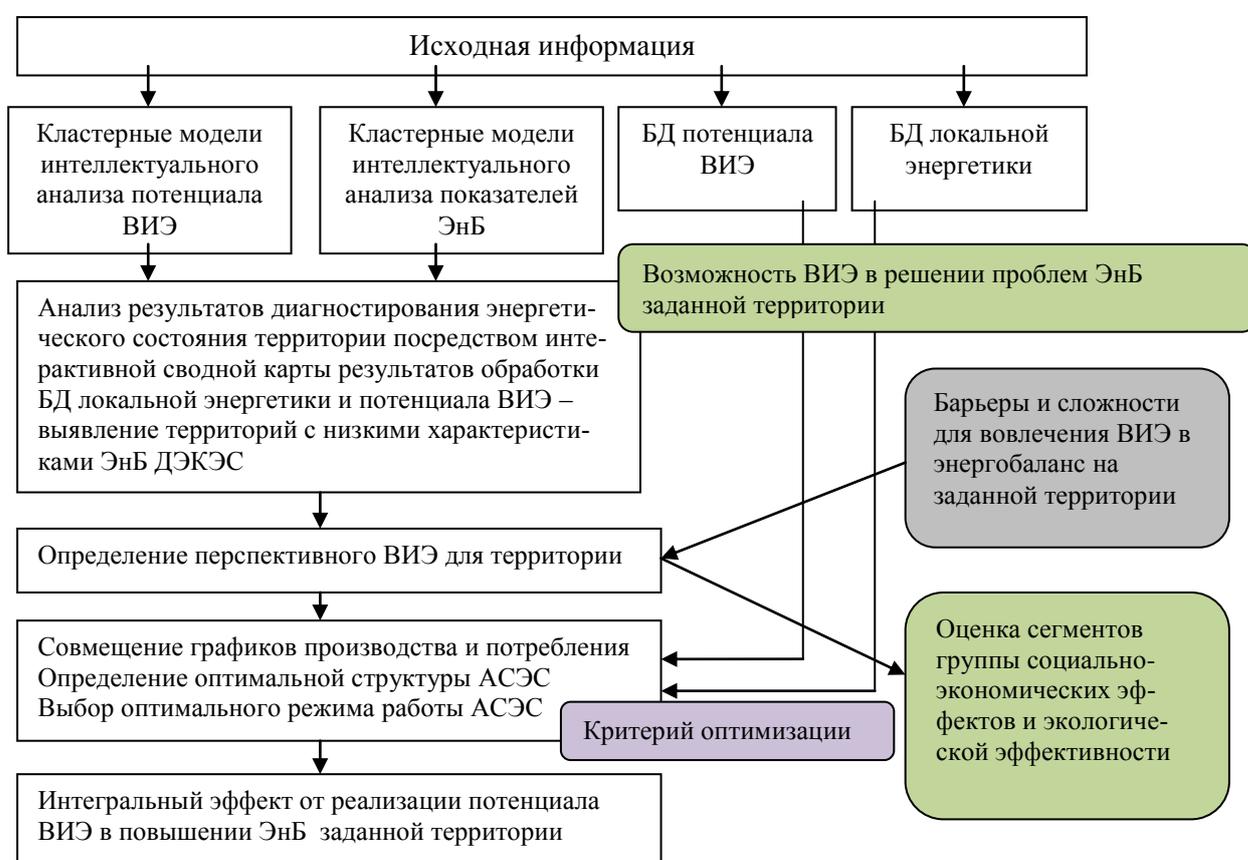


Рисунок 10 – Алгоритм выбора оптимальной структуры АСЭС для децентрализованной зоны Севера и Арктических зон

**Шестая глава** посвящена формированию принципов стратегии реализации эффективно-го повышения и укрепления уровня ЭнБ через разработку интегрированной информационной системы (ИИС) мониторинга состояния.

Для работы использован вариант геоинформационной платформы SakhaGis и РНРМуAdmin, представляющий собой веб-интерфейс с помощью которого можно администрировать сервер MySQL, запускать команды и просматривать содержимое таблиц и БД через

браузер. В качестве баз данных были выбраны различные информационные фронты. Для эффективного управления и мониторинга состояния АСЭС и энергетической безопасности разработана интегрированная информационная система (ИИС). Для наглядности работы системы была разработана блок-схема её функционирования (рисунок 11).

Для удобства использования возможностей ИИС была разделена на подсистему администрирования и Web-приложение ИИС (сайт, в большей степени ориентированный на пользователей). Веб-портал, включающий ИИС, состоит из следующих тематических разделов: базовый модуль, массивы данных, модуль экозоны, модуль потенциала возобновляемых источников энергии, модуль энергетической безопасности, аналитический модуль ввода данных, экспертный модуль и модуль системно-программных решений.

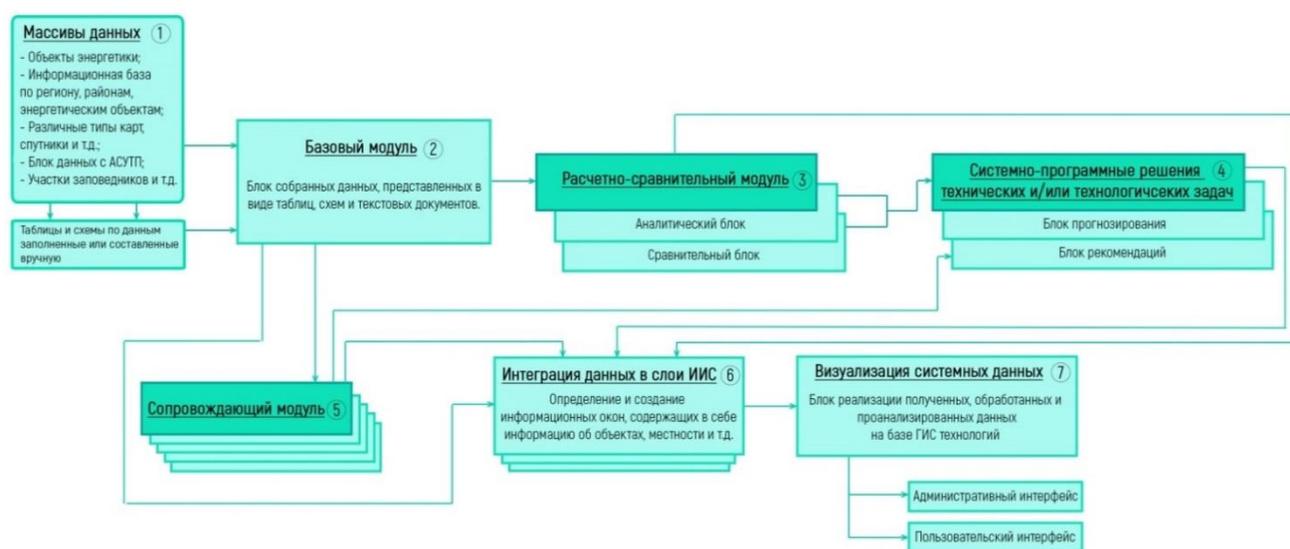


Рисунок 11 — Обобщенная Блок-схема функционирования ИИС

Возможность работы в системе с различными ее блоками отдельными пользователями организована в соответствии с разграничением прав доступа с определением уровней категорий пользователей: заинтересованные физические или юридические лица; государственные и отраслевые структуры; научно-исследовательские структуры. Это позволит консолидировать и связать в единое пространство отдельно взятых групп, лиц, коллективов, ведомств для получения общего эффективного решения в развитии региональной энергетической политики.

ИИС поддерживает единый репозиторий, выполняющий функции создания, ведения и предоставления пространственных данных (рисунок 12а), необходимых для анализа и оценки показателей в мониторинге уровня энергетической безопасности объектов и, к примеру, возможности ВИЭ в уязвимых кластерах (рисунок 13) с географической привязкой.

Исходя из анализа модели оценки уровня энергетической безопасности и методологии ее исследования, ключевую позицию системы представляет Расчетно-сравнительный модуль. Мо-

дуль представляет собой информационно-аналитическую систему (ИАС) (рисунок 12б) с реализацией автоматизации расчетов оценки индикативных показателей для определения положения их современных значений при обновлении исходных данных. ИАС разработана в виде веб-сайта. В качестве языков программирования были использованы HTML и CSS для создания интерфейса и содержимого модулей системы, JavaScript позволил реализовать механизмы расчетов значений индикаторов (рисунок 14) и выполнения сравнительного анализа с пороговыми уровнями.

Разработанная система позволяет в перспективе перейти к моделированию различных форм визуализации индикативных показателей территории или объекта, например, последствий аварийных ситуаций, оптимизации структуры автономных систем электроснабжения. Необходимость оцифровки архивов исходных данных ясна и очевидна, но эффективность решения этой задачи зависит от «системности» подхода в рамках не только самого сообщества, района, реализующих данную систему для пользователей, но и региона в целом.

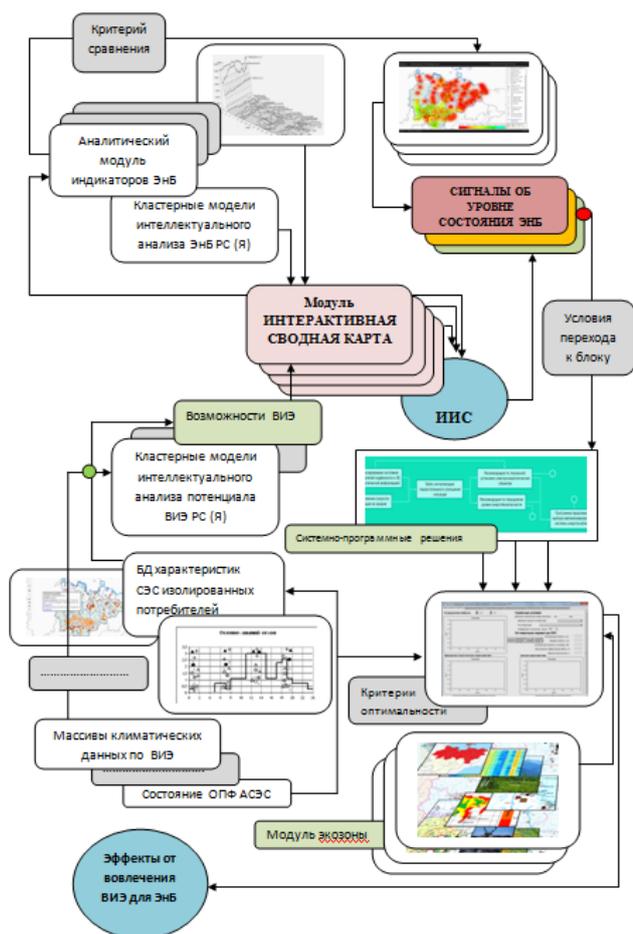


Рисунок 12а. – Фрагмент отдельных базовых и сопровождающих модулей в блок-схеме ИИС

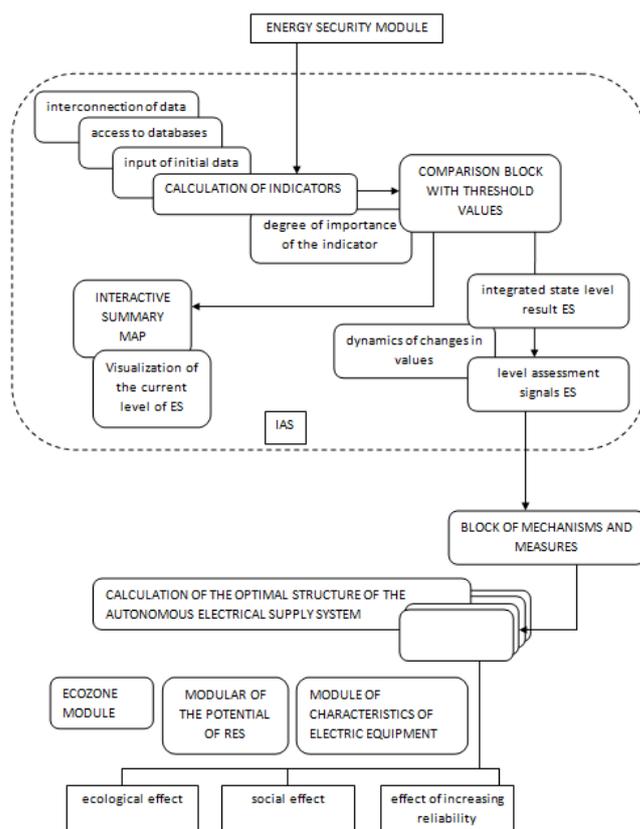


Рисунок 12б. – Алгоритм информационно-аналитической системы (ИАС) оценки уровня энергетической безопасности

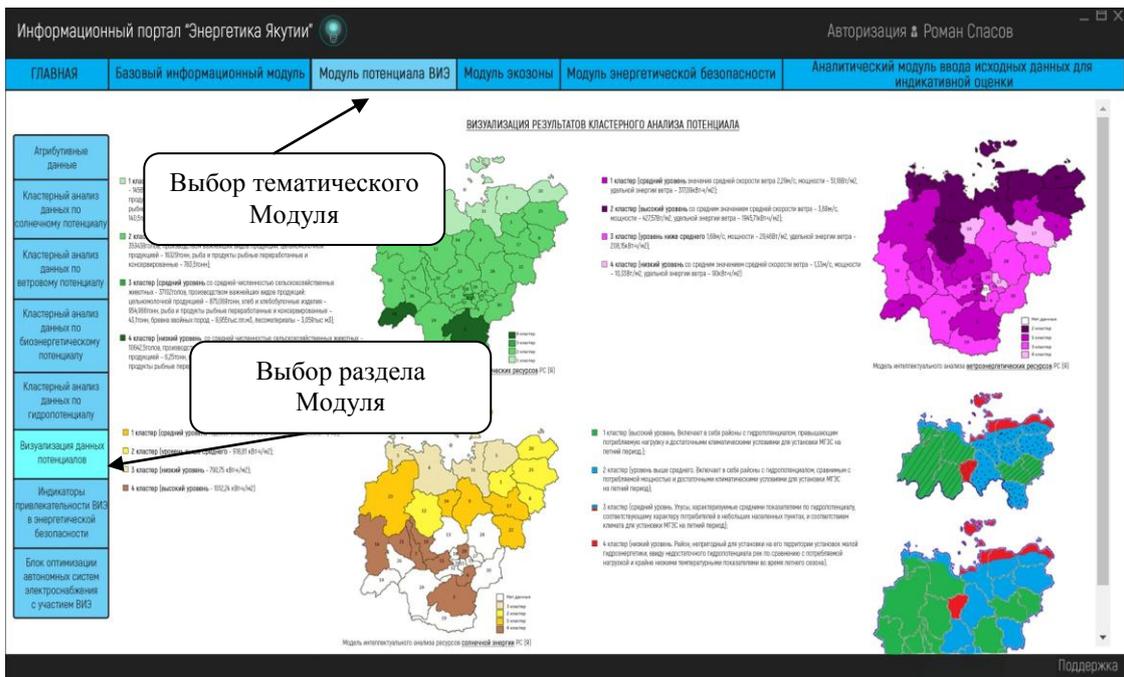


Рисунок 13. – Информационное окно ИИС «Результаты кластерного анализа потенциальных возможностей ВИЭ»

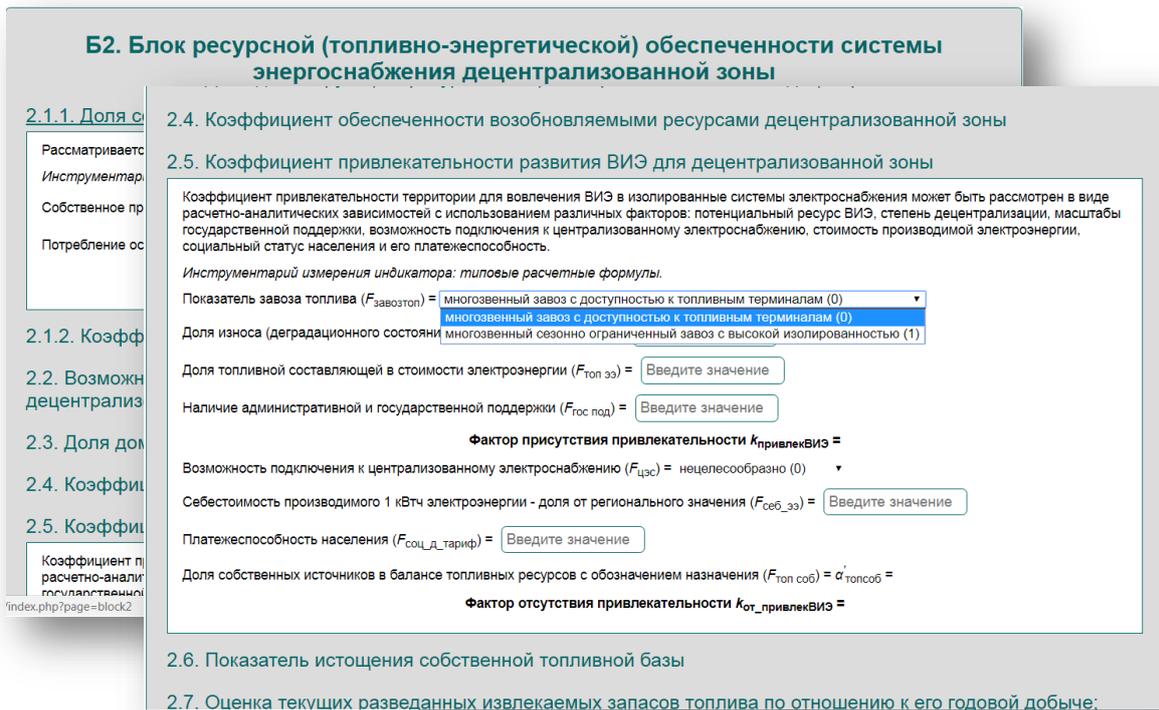


Рисунок 14. – Окно расчета значений индикаторов по Блоку 2.

Итоговым этапом ИАС при выполнении своих функций является определение удачных с точки зрения укрепления энергетической безопасности мероприятий. Сводная схема (рисунок 15) отражает алгоритм реагирования системы на уровень состояния ЭНБ: визуализация уровня состояния на основе результирующих значений индикаторов дает пользователю возможность перехода к блоку мероприятий. Требование системы введения данных по оптимизации АСЭС –

не допуск перехода к другому уровню без произведения оптимизации чрезвычайного. Стратегия такой работы системы основана на идее первоочередности получения и реализации решения проблем в обеспечении ЭНБ тех объектов или территорий, где уровень ее состояния настолько критический, что обеспечение минимальных условий жизнедеятельности и функционирования уже находится под угрозой. Переход к одному из видов механизмов воздействия по улучшению ситуации сопровождается определением предполагаемых отдельных эффектов для предложенного комплекса мероприятий.



Рисунок 15. – Сводная схема фиксации уровня ЭНБ и запроса перехода к модулю рекомендаций и системно-программных решений

При этом в первостепенности мероприятий заложен ранг важности индикаторов, значение чрезвычайного уровня которых приводит к высоким рискам и воздействиям угроз для объекта и жизни людей. Разработанная структура (примеры отдельного блока представлены на рисунок 16) сочетания сформированных элементов и возможных локальных рисков  $R_i$  сведена в укрупненные кластеры мероприятий (Роста локальной экономики; Организационно-управленческого развития; Технической модернизации), сгруппированные по характерным сторонам функционирования энергетических комплексов и преследующие достижение социально-экономических, экологических, энергосберегающих эффектов. Среди множества факторов выделились наиболее значимые (рисунок 17), взаимосвязанные с иными факторами различного характера, усиливающими или смягчающими воздействие определенной угрозы, и в тоже время сами влияющие на стабилизацию других.

На основании факторов обоснования мероприятий и полученных экспертных оценок разработаны структуры (рисунок 18), которые наглядно показывают возможное сочетание состояний характеристик децентрализованных энергетических комплексов электроснабжения в пространстве индикаторов.

Это дает интегральную оценку ЭНБ в определенных группах (например, группа надежности «ГН», ресурсная группа «РГ», группа энергоэффективности «ГЭЭ»).

Направленность мер на поддержание условий реализации ЭНБ инфраструктурно изолированных ДЭКЭС территорий Севера и АЗ РФ



Рисунок 16. Схема - обоснование мероприятий повышения ЭНБ и эффекты реализации по отдельным блокам.



Рис. 17. Влияющие факторы на состояние ЭНБ ДЭКЭС

При этом, ключевые индикаторы, выделенные в схеме в своем множестве, определяют допуск опасной ситуации для ДЭКЭС, остальные усиливают угрозу при приближении их зна-

чений к пороговому уровню «чрезвычайности» или ослабляют ее находясь в диапазоне значений «условно безопасное».

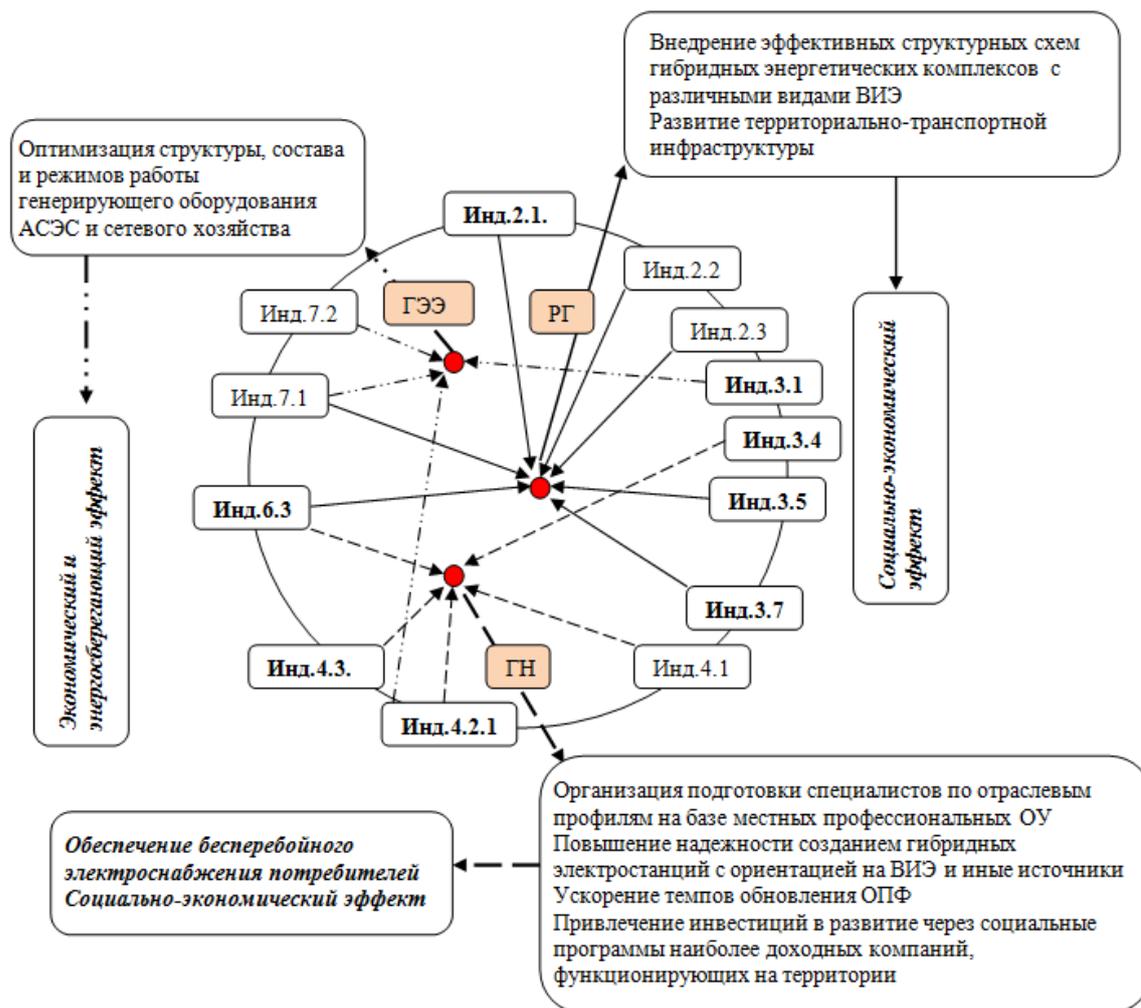


Рисунок 18 – Структурная схема сочетания индикаторов в оценке определенной позиции ЭнБ

Интерактивно отслеживать вариацию блоков энергетической безопасности территорий и более оперативно производить переориентацию путей, направленных на ее повышение, позволит организационное мероприятие по формированию геоинформационно-интерактивных систем регионов через созданную ИИС с применением электронных баз данных, построением интеллектуальных моделей и их комплексных сочетаний по состоянию объектов энергетических хозяйств, различных кластеров с характерно-специфической структурой (территориальной, ресурсной, мощностного ряда, вида деятельности и т.д.), исходных показателей, дополнением изменяющимися факторами и т.п.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований разработаны научно обоснованные решения по повышению энергетической безопасности децентрализованных энергетических комплексов

электроснабжения на основе учета их особенностей и специфики функционирования в условиях суровости климата и инфраструктурной изоляции. Основные результаты работы заключаются в следующем:

- Разработана модель совокупности специфических особенностей и условий функционирования автономных систем электроснабжения децентрализованных зон, позволяющая определить способность к преодолению воздействия вероятностных угроз и предотвращению рисков для состояния энергетической безопасности Северных территорий и Арктических зон в условиях суровости климата, ограниченной доступности. Модель является базовой структурой для выявления рисков, определением меры уязвимости объекта при их реализации, для их анализа и соответственно принятия решения в управлении.

- Введена научно-обоснованная понятийная основа энергетической безопасности изолированных территорий Северных районов и Арктических зон, позволяющая выделять ДЭКЭС в подходе к содержательной сути оценки. Структурные элементы понятийной основы фиксируют значимые факторы в обеспечении функционирования локальных энергетических комплексов и их места в позициях экологической уязвимости территории, в социально-экономическом эффекте от повышения уровня энергетической безопасности. Через «предмет ЭНБ» позволяет сформировать направленность системы мониторинга за текущим и перспективным состоянием ЭНБ ДЭКЭС на инфраструктурно изолированных территориях.

- Предложен перечень индикативных показателей оценки энергетической безопасности ДЭКЭС, с участием ВИЭ, отличающийся учетом специфических условий энергообеспечения и индивидуальных характеристик энергохозяйств. Разработана и обоснована схема группирования индикаторов в оценке обеспеченности характеристик количества и качества энергоснабжения потребителей, а так же характеристик обеспечения эффекта от использования энергетических ресурсов для энергоснабжения потребителей. Ранжирование индикаторов по степени важности представляет собой основу для разработки направленности первоочередных мер по поддержанию условий обеспечения энергетической безопасности через анализ в реальном времени факторов, усиливающих угрозу перехода к чрезвычайному или пограничному состоянию.

- Определена методология исследования и качественной оценки введенных групп индикаторов, обеспечивающая максимальное отражение характерных сторон функционирования рассматриваемых децентрализованных энергозон.

- Разработана структура построения и реализована компьютерная модель интегрированной информационной системы визуализации, изучения многофакторной информации и мониторинга уровня ЭНБ децентрализованных энергетических комплексов электроснабжения Северных территорий и Арктических зон, позволяющая производить расчеты текущих показателей индикаторов. Модель и инструментарий диагностики децентрализованных территорий ис-

следуемых кластеров может быть использована на прединвестиционной стадии цикла повышения уровня ЭНБ. Сформированы модели интеллектуального анализа многомерной классификации индикаторов ЭНБ и потенциала возобновляемой энергетики (на примере РС (Я)), сведенные в интерактивную сводную карту. Это позволило получить графическую интерпретацию сочетания «проблем и возможностей» для повышения ЭНБ ДЭКЭС с определением места ВИЭ в критериях оптимизации структуры АСЭС.

- Предложен комплекс рекомендаций по направлениям повышения энергетической безопасности в структурной схеме сочетания степени важности индикатора, проявляющихся факторов, приоритетности рисков и социального, экологического и экономического эффекта для децентрализованных зон электроснабжения территорий Северных регионов и Арктических зон. Схема обозначает направленность мер в формировании мероприятий по повышению качества жизни, эффективного и доступного пользования природно-ресурсными возможностями Севера и Арктических зон, организации стабильной и надежной эксплуатации АСЭС Севера и Арктических зон. Позволяет сформировать индивидуальную траекторию каждой территории в успешных для нее позициях повышения ЭНБ.

**Научные результаты работы отражены в следующих основных публикациях:**

*Публикации в журналах, включенных в Перечень рецензируемых научных изданий, рекомендованных ВАК:*

1. Мировые тенденции в области построения автономных систем электроснабжения с использованием возобновляемых источников энергии / Сурков М.А., Лукутин Б.В., Сарисикеев Е.Ж., **Киушкина В.Р.** // Наукoведение\* (электронный журнал). – 2012 – №4 (13) – Режим доступа: <http://naukovedenie.ru/PDF/42tvn412.pdf>.

2. Индикативный анализ энергетической безопасности Республики Саха (Якутия) в составе Дальневосточных регионов / **Киушкина В.Р.** // Вестник ТОГУ\*. – 2013 – №4 (31) – С.75-82

3. Оценка состояния энергетической безопасности Республики Саха (Якутия) на основе индикативного анализа структурно-режимного блока / **Киушкина В.Р.**, Шарипова А.Р. // Наукoведение\* (электронный журнал). – 2013 – №1 (14) – Режим доступа: <http://naukovedenie.ru/PDF/38tvn113.pdf>.

4. Индикативный анализ топливо- и энергообеспеченности Республики Саха (Якутия) / **Киушкина В.Р.**, Старостина Л.В. // Наукoведение\* (электронный журнал). – 2013 – №1 (14) – Режим доступа: <http://naukovedenie.ru/PDF/39tvn113.pdf>.

5. Ранговый анализ распределенных потребителей электроэнергии Республики Саха (Якутия) / **Киушкина В.Р.**, Антоненков Д.В. // Промышленная энергетика. – 2013 – №6 – С.12-15

\* - включен в Перечень рецензируемых научных изданий, рекомендованных ВАК, действующий до 30.11.2015г.

6. Оценка основных производственных фондов малой энергетики Северного энергорайона Республики Саха (Якутия) / **Киушкина В.Р.**, Шарипова А.Р. // Промышленная энергетика. – 2013 – №9 – С.11-13

7. Тенденция децентрализации энергетики и пути ее совершенствования / **Киушкина В.Р.**, Шарипова А.Р. // Промышленная энергетика – 2014 – №5 – С.2-8

8. Кластерный анализ потенциала возобновляемых источников энергии в Республике Саха (Якутия) / **Киушкина В.Р.**, Ощепкова Я.О. // Наукоеведение\* (электронный журнал). – 2014 – №4 (23) – Режим доступа: <http://naukovedenie.ru/PDF/12TVN414.pdf>

9. Эффективность децентрализации электроснабжения северного энергорайона республики Саха (Якутия) / **Киушкина В.Р.**, Шарипова А.Р. // Промышленная энергетика – 2014 – №4 – С.2-6.

10. Кластеризация группы сельскохозяйственных районов изолированных территорий Республики Саха (Якутия) / **Киушкина В.Р.**, Шарипова А.Р., Старостина Л.В. // Промышленная энергетика – 2015 - №4 – С.9-13

11. Кластерный анализ индикаторов энергетической безопасности районов Якутии со смешанным типом производства / Шарипова А.Р., Старостина Л.В. , **Киушкина В.Р.** // Промышленная энергетика – 2015 – №10 – С.2-6

12. Кластеризация промышленных районов Якутии по индикаторам энергетической безопасности / Старостина Л.В. , Шарипова А.Р., **Киушкина В.Р.** // Промышленная энергетика. – 2016 – № 2 – С.19-23

13. Индикативная оценка возобновляемых источников энергии при анализе энергетической безопасности локальных энергозон. / **Киушкина В.Р.** // Промышленная энергетика. – 2016 – № 9 – С.44-49

14. Специфика анализа энергетической безопасности автономных систем электроснабжения севера / **Киушкина В.Р.** // Энергетическая политика. – 2016 – № 5 – С.52-62

15. Эффекты вовлечения ВИЭ в мониторинге состояния энергетической безопасности северных и арктических зон РФ / **Киушкина В.Р.** // Энергетическая политика. – 2018 – Выпуск 4 «Синергия Арктики» – С.109-117

*Публикации в рецензируемых изданиях, индексируемых и входящих в наукометрическую базу Scopus:*

16. Specifics of assessing energy security of isolated energy service areas in territories with harsh climatic conditions / **V. Kiushkina**, D.Antonenkov // International Journal of Energy Technology and Policy (Special Issue on: "Intellectual Energy Technologies: Prospects and International Experience". Vol.15 Nos.2/3, 2019, pp.236 – 253. DOI: 10.1504/IJETP.2019.098971 <https://www.inderscience.com/info/inarticle.php?artid=98971>

17. Lukutin, B., **Kiushkina, V.** Energy security of northern and arctic isolated territories. E3S Web of Conferences Regional Energy Policy of Asian Russia, volume 77 (2019), [01008]. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20197701008>

18. Lukutin, B., **Kiushkina, V.** Intellectual energy security monitoring of decentralized systems of electricity with renewable energy sources. E3S Web of Conferences Green Energy and Smart Grids (GESG 2018), volume 69 (2018), [02002]. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20186902002>

19. Rang analysis of distributed electricity consumers of decentralized energy zones of the north and arctic regions of the Russian federation / **V. Kiushkina**, D.Antonenkov// 2018 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon), DOI: 10.1109/FarEastCon.2018.8602483- 2019. - 7 January. <https://ieeexplore.ieee.org/document/8602483>

20. **Kiushkina V.**, Samokhina V., Pohorukova M. Informational and analytical system in the indicative assessment of the level of energy security of the Northern and Arctic regions. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (MSE), <http://iopscience.iop.org/journal/1757-899X>

#### *Монографии:*

21. **Киушкина В.Р.** Ветроэлектростанции в автономной энергетике Якутии / Лукутин Б.В., **Киушкина В.Р.** – Томск: Изд-во ТПУ, 2006. – 202с.

22. **Киушкина В.Р.** Энергетическая безопасность северных регионов России (на примере РС (Я)). / **Киушкина В.Р.**, Власьевский С.В., Старостина Л.В., Шарипова А.Р., Антоненков Д.В. – Хабаровск: Издательство ДВГУПС, 2015г. - 175 с. : с ил.

#### *Публикации в рецензируемых изданиях, сборниках научных трудов:*

23. **Киушкина, В.Р.** Интегральный эффект внедрения АСЭС на базе ВЭУ // Материалы международной научно-технической конференции «Электромеханические преобразователи энергии. – Томск: ТПУ, 2007. – С. 301-304.

24. **Киушкина, В.Р.** Проблемы энергетической безопасности республики Саха (Якутия) // Материалы международной научно-технической конференции «Проблемы электротехники, электроэнергетики и электротехнологии». – Тольятти: ГОУ ВПО ТГТУ, 2009 г. - С. 177-181

25. **Киушкина, В.Р.** Тенденция децентрализации на основе современных факторов // Материалы 39-ой Международной научно-практической конференции «Повышение эффективности электрического хозяйства потребителей в условиях ресурсных ограничений». – Москва: ГОУ ВПО МЭИ (ТУ), 2009 г. – С.203-213.

26. **Киушкина, В.Р.** Ценологический ранговый анализ рейтинга улусов РС(Якутия) по электропотреблению // Материалы всероссийской научно-технической конференции «Электроэнергия: от получения и распределения до эффективного использования» - НИТПУ ЭЛТИ: Томск, 2010 – С 23-25

27. **Киушкина, В.Р.** Методология эффективной реализации энергетической безопасности РС(Я) с сочетанием центральной энергетики и децентрации электроснабжения потребителей диверсифицированными возобновляемыми источниками энергии // Результаты исследований получателей грантов Президента РС(Я) и государственных стипендий РС(Я) за 2010 год. (Физико-технические науки) – Якутск, ООО «Издательство Сфера», 2011. – С.47-51.

28. **Киушкина, В.Р.**, Антоненков Д.В. Задачи создания интегрированной информационной системы РС(Я) / **В.Р. Киушкина**, Д.В. Антоненков // Труды Всероссийской конференции молодых ученых «Проблемы и перспективы управления энергетическими комплексами и сложными техническими системами в Арктических регионах». Секция. Применение инновационных технологий для развития промышленности, транспорта и энергетики РС(Я) - Якутск: Изд-во «Компания Дани АлмаС, 2012.- С. 201-202

29. **Киушкина, В.Р.** Задачи интеграции ВИЭ в энергобаланс децентрализованных зон Якутии // Материалы Международного научно-практического форума "Природные ресурсы и экология дальневосточного региона", Хабаровск, 25-26 октября 2012 г. – Хабаровск: ТОГУ, 2012.- С383-387

30. Модель оценки энергетической безопасности автономных систем электроснабжения северных территорий / **Киушкина В.Р.** // Науковедение (электронный журнал). – 2016 – Том 8, №6 – Режим доступа: <http://naukovedenie.ru/PDF/81TVN616.pdf>

31. Проблемы автономных систем электроснабжения в индикативной оценке энергетической безопасности локальной энергозоны / **Киушкина В.Р.** // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2016. – № 12 (часть 5) – С. 780-784.

32. Многофакторность показателей ресурсной обеспеченности в оценке энергетической безопасности автономных систем электроснабжения севера / **Киушкина В.Р.** // Современные наукоемкие технологии. – 2017. – № 12 – С. 22-28

33. Ранжирование приоритетности индикативных показателей энергетической безопасности децентрализованных энергозон северных / **Киушкина В.Р.** // Науковедение (электронный журнал).– 2017 – Том 9, №3 – Режим доступа: <http://naukovedenie.ru/PDF/30TVN317.pdf>

34. Оптимизация локальной энергетики децентрализованных территорий северных регионов через укрепление позиций энергетической безопасности (на примере Республики Саха (Якутия)) / **Киушкина В.Р.** // Науковедение (электронный журнал) – 2017 – Том 9, №6 – Режим доступа: <https://naukovedenie.ru/PDF/113TVN617.pdf>

35. Энергетическая безопасность изолированных территорий северных районов и арктических зон / **Киушкина В.Р.** // Региональная энергетика и энергосбережение. – 2018 – №1– С.68.