

ОТЗЫВ

официального оппонента доктора технических наук академика РАН

Филиппова Сергея Петровича

на диссертационную работу

Баяр Бат-Эрдэнэ

«НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОБОСНОВАНИЯ КОМПЛЕКСНОГО РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ МОНГОЛИИ В НОВЫХ УСЛОВИЯХ»,

представленную на соискание учёной степени доктора технических наук по специальности 2.4.5. Энергетические системы и комплексы

Актуальность темы

Актуальность диссертационной работы Б. Бат-Эрдэнэ определяется необходимостью разработки концепции и методологии, формирования системы вычислительных инструментов для выполнения научно-методических исследований и обоснования перспективного развития электроэнергетики Монголии в новых изменяющихся условиях.

Научно-методические подходы, методы и модели для исследования и обоснования развития электроэнергетики разрабатывались в разных странах мира, в т.ч. отдельные вопросы из данной проблематики изучались в Монголии. Однако, специфика электроэнергетики этой страны не позволяет полноценно использовать полученные в других странах разработки в области методологии обоснования развития электроэнергетики. При этом выполненные до сих пор монгольскими специалистами работы в данной области неполны, охватывая лишь отдельные аспекты рассматриваемой проблематики. В связи с этим, для формирования целостной научной базы обоснования развития электроэнергетики Монголии требуется трансформация имеющихся в других странах научно-методических подходов, методик, вычислительных инструментов и разработка новых для широкого и конструктивного использования в стране в современных условиях и в перспективе. Этим обусловлены необходимость и важность в национальном масштабе выполнения исследований, представленных в данной диссертационной работе.

Изложенное определяет актуальность диссертационной работы и ее востребованность, прежде всего, монгольским учёными, инженерами и практиками, работающими в электроэнергетической отрасли, работниками государственного аппарата управления и отраслевых энергетических организаций.

Научная новизна исследований и полученных результатов

Научная новизна исследований состоит в том, что диссертантом предложена совокупность оригинальных подходов и методик, а также сформирован комплексный вычислительный инструментарий для проведения многосценарных, в т.ч. оптимизационных, исследований для многоас-

пектного технического и энерго-экономического изучения и обоснования перспективного развития электроэнергетики Монголии. Научная новизна полученных результатов определяется тем, что они создают теоретико-методическую основу и используются для формирования новых технически и экономически обоснованных решений по развитию электроэнергетических систем (ЭЭС) Монголии, а также систем их мониторинга и оперативного управления.

1. На основе системного подхода проведен глубокий хронологический анализ развития энергетики и электроэнергетики Монголии. В результате выделены два временных периода и пять этапов развития, начиная от стартового этапа первоначального использования электроэнергии в стране, и заканчивая этапом посткризисного восстановления и последующего роста (периоды относятся к принципиально различающимся по содержанию временным интервалам, а этапы – к интервалам, которые определяются какими-либо изменениям электроэнергетики внутри периода).

2. Сформированы методы и получены результаты прогнозирования электропотребления в Монголии с учетом национальной специфики (включая малую плотность территориального распределения, масштабность территории, исторически сложившийся вид основной хозяйственной деятельности; слабое развитие энергоемких отраслей промышленности).

3. Разработаны методологический подход, методика моделирования и сформирован вычислительный инструментарий для комплексного многоценарного исследования и обоснования развития электроэнергетических систем Монголии в указанных выше специфических условиях, и базирующиеся в своей основе на четырёхуровневой вложенной иерархии ЭЭС, включающий региональный уровень ЭЭС Монголии, затем уровень Единой электроэнергетической системы (ЕЭЭС) страны, далее – схему с внешними электрическими связями, обеспечивающими совместную работу ЕЭЭС Монголии с ЭЭС сопредельных стран и, наконец, на верхнем уровне иерархии – вхождение ЕЭЭС Монголии в «супер-сеть» стран Северо-Восточной Азии (СВА).

4. В работе впервые сформирована и представлена концептуальная схема ЕЭЭС Монголии, включающая три объединённых укрупнённых (по сравнению с существующим состоянием) региональных энергосистемы, с оптимальной топологией системообразующих линий электропередачи и структурой энергоисточников, размещаемых в 12 энергоузлах схемы.

5. Впервые в рамках настоящей диссертационной работы сформулированы и представлены теоретико-методологические основы комплексного обоснования направлений развития электроэнергетической системы и электроэнергетики Монголии, позволяющие многоаспектно рассматривать, исследовать и учитывать национальные особенности Единой электроэнергетической системы и отрасли страны в процессе обоснования развития.

Методы исследования, обоснованность научных положений и достоверность выводов

Системные исследования в энергетике являются базовой методологией, используемой в диссертационной работе. В качестве конкретных инструментов получили применение математическое моделирование, регрессионный анализ, оптимизация, методы сравнительного технико-экономического обоснования вариантов решений.

Адекватность применяемых математических моделей и методов достигается за счет использования в этих моделях законов физики и электротехники, включая закон Ома, первый и второй законы Кирхгофа, а также учитывая энергетические балансы, технологические и другие виды ограничений. Выполненные в рамках диссертационной работы исследования докладывались, обсуждались и получили одобрение на многих национальных и международных конференциях, что также показывает их научно-методическую обоснованность и указывает на достоверность полученных выводов.

Теоретическая значимость работы

Диссертация вносит существенный вклад в совершенствование методического аппарата и модельного инструментария для исследования и обоснования развития электроэнергетических систем с учетом ряда специфических для развивающихся стран условий (на примере Монголии), включая: а) низкую среднюю плотность электрической нагрузки с её резким ростом (по сравнению со средним значением) для территорий с наличием городских поселений и промышленных предприятий; б) значительные расстояния между центрами электрической нагрузки; в) наличие слабых электрических связей в ЭЭС Монголии; г) перспективный внутренний спрос на электроэнергию существенно зависит от внешних факторов, таких как приход зарубежных инвесторов, вкладывающих средства в развитие промышленных предприятий (прежде всего, горнодобывающих), что, соответственно, стимулирует рост электропотребления; д) преобладание базисных маломаневренных тепловых угольных электростанций в структуре генерирующих мощностей ЭЭС Монголии; е) наличие значительного потенциала возобновляемых энергоресурсов (прежде всего, солнечных и ветровых) с возможностью его вовлечения в электроэнергетические балансы Монголии и некоторые другие.

Практическая ценность и реализация

Результаты решения поставленных в диссертационном исследовании задач и реализация предложенных направлений развития ЭЭС Монголии позволят оптимальным образом создать комплексы региональных ЭЭС и Единой национальной энергосистемы с эффективной электросетевой и энергогенерирующей структурой, которые станут базой для дальнейшего формирования мощного топливно-энергетического комплекса страны. Это

будет способствовать росту региональной экономики и обеспечению энергетической безопасности страны. Полученные в диссертации результаты использовались при выполнении технико-экономического обоснования целого ряда электросетевых и электрогенерирующих объектов электроэнергетики Монголии, а также для создания централизованной системы противоаварийного автоматического управления ЭЭС страны.

Разработанные научно-методическая база и вычислительный инструментарий могут быть использованы в дальнейших предпроектных исследованиях по обоснованию перспектив развития электроэнергетики Монголии.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности

Диссертационная работа соответствует следующим пунктам паспорта научной специальности 2.4.5. Энергетические системы и комплексы.

Пункт 1: «Разработка научных основ (подходов) исследования общих свойств и принципов функционирования, методов расчета, алгоритмов и программ выбора и оптимизации параметров, показателей качества и режимов работы энергетических систем, комплексов, энергетических установок на органическом и альтернативных топливах и возобновляемых видах энергии в целом и их основного и вспомогательного оборудования».

Разработаны методологический подход, методика моделирования для исследования и обоснования развития электроэнергетических систем Монголии в специфических условиях в рамках четырёхуровневого иерархического представления ЭЭС. Разработан целостный вычислительный инструментарий для выполнения комплексных исследований по обоснованию развития интеллектуальной ЕЭЭС Монголии.

Пункт 3: «Разработка, исследование, совершенствование действующих и освоение новых технологий и оборудования для производства электрической и тепловой энергии, использования органического и альтернативных топлив, и возобновляемых видов энергии, водоподготовки и водно-химических режимов, способов снижения негативного воздействия на окружающую среду, повышения надежности и ресурса элементов энергетических систем, комплексов и входящих в них энергетических установок».

Сформирована оптимальная перспективная многоузловая схема ЕЭЭС Монголии, включающая региональные электроэнергетические системы, имеющие достаточные электрогенерирующие мощности с учетом первичных региональных энергетических ресурсов для покрытия их спроса на электроэнергию, и необходимые межсистемные электрические связи, обеспечивающие обмен мощностью и энергией между ними.

Пункт 5: «Разработки и исследования в области энергосбережения и ресурсосбережения при производстве тепловой и электрической энергии, при транспортировке теплоты и энергоносителей в энергетических системах и комплексах».

Проведены детальные исследования характеристик энергопотребления и ретроспективной динамики его роста, в результате чего была получена математическая зависимость (в виде уравнения линейной регрессии) для прогноза роста электропотребления. В итоге получены научно-обоснованные уровни электропотребления страны и регионов на долгосрочную перспективу для трёх сценариев, необходимые для исследования и обоснования развития электроэнергетики Монголии.

Пункт 7: «Исследование влияния технических решений, принимаемых при создании и эксплуатации энергетических систем, комплексов и установок на их финансово-экономические и инвестиционные показатели, региональную экономику и экономику природопользования».

Предложена пирамида стратегии создания интеллектуальной энергосистемы (ИЭС) – одного из ключевых направлений достижения цели энергетической стратегии Монголии по трансформации отраслей энергетического комплекса в современную высокотехнологичную и эффективную инфраструктуру, способствующую количественному и качественному росту национальной экономики.

Анализ содержания работы

Диссертационная работа состоит из введения, семи глав, заключения, списка литературы, содержащего 141 наименование и восьми приложений. Материал изложен на 289 страницах, из которых основной текст занимает 271 страницу, приложения изложены на 18 страницах.

Во введении автор обосновывает актуальность диссертационного исследования, ставит цель и формулирует задачи исследований, представляет положения, выносимые на защиту, отмечает новизну полученных результатов, их научную и практическую значимость.

В первой главе диссертации выполнен ретроспективный хронологический анализ зарождения, формирования и последующего поэтапного развития электроэнергетического сектора Монголии, включая его современное состояние. Представлены полученные в результате анализа развернутые характеристики ЭЭС Монголии, основные показатели современного и прогнозного электропотребления страны и пр. Показаны роль и значение энергетики в экономике страны и проблемные вопросы ее развития. Указано на необходимость укрепления топливно-энергетической базы страны путем создания крупных региональных ЭЭС, способных обеспечить формирование ЕЭЭС и усиление электрических связей с ЭЭС сопредельных стран с учетом последующего подключения к будущему Азиатскому суперэнергообъединению.

Во второй главе анализируются существующие методические подходы, математические модели и программные комплексы для обоснования развития электроэнергетических систем. В т.ч. рассматриваются комплексно-энергетический подход, сформулированный научной энергетической школой Г.М. Кржижановского ещё в первой четверти

прошлого века в СССР. Позднее, в семидесятых годах под руководством академика Л.А. Мелентьева в СССР была сформирована структура и определено содержание системных исследований в энергетике. За в других развитых странах сформировался и активно использовался для обоснования развития вертикально интегрированных энергокомпаний метод интегрированного планирования ресурсов. При переходе к либерализованной энергетике за рубежом получил распространение метод холистического планирования. Вместе с тем, как отмечено диссертантом, системный подход в энергетике не теряет своей актуальности и продолжает оставаться востребованным.

Третья глава посвящена разработке методологии исследования и обоснования развития электроэнергетики и электроэнергетических систем Монголии. Ядром методологии выступает комплекс математических моделей, предназначенных для получения оптимальных объёмных, структурных, схемных и режимных решений по развитию электрогенерирующих и электросетевых объектов Монголии с использованием иерархической технологии и привлечением существующих методов моделирования и программных инструментов.

Для создания научно-обоснованной методологии диссертантом была предложена концепция четырехуровневой вложенной иерархии ЭЭС. Согласно этой концепции ЭЭС представляются как иерархические системы с четырьмя иерархическими уровнями, находящимися один в другом, причем внутренние, и одновременно более низкие уровни, охватываются более высокими уровнями. Каждый уровень вложенной иерархии имеет определённые качественные и количественные параметры, а также связь с временной иерархией.

В четвёртой главе представлен вычислительный инструментарий, разработанный для обоснования развития ЭЭС Монголии, в котором учтены представленные в предыдущей главе методические особенности, а также внутренние и внешние влияющие факторы, и который позволяет определить эффективные направления и рациональную технологическую структуру перспективной ЕЭЭС страны.

Вычислительный инструментарий включает в себя расчётно-аналитические блоки и математические модели, увязанные информационными связями в единый вычислительный комплекс. К расчётно-аналитическим блокам относятся блок качественного анализа влияющих на развитие ЭЭС внутренних и внешних факторов (включая потребление электроэнергии и топлива, энергосбережение, инвестиции, экспорт/импорт электроэнергии, мировые тенденции в электроэнергетике и пр.), блок расчёта прогнозного электропотребления (на основе уравнения линейной регрессии) и блок расчёта показателей региональных ЭЭС (в т.ч., потребление угля электростанциями, добыча топлива в регионе, обеспеченность собственными региональными топливно-энергетическими ресурсами и др.). Математические модели включают оптимизационные модели разви-

тия электроэнергетических систем и электрических сетей, а также программно-вычислительный комплекс для расчёта электроэнергетических режимов.

Пятая глава посвящена вопросам прогнозирования перспективного электропотребления Монголии. Для оценки прогнозного спроса на электроэнергию используется блок расчёта электропотребления, разработанный на предыдущем этапе. Ожидаемые вводы новых предприятий (в основном горнодобывающих и горноперерабатывающих), а также возрастающее электропотребление в коммунально-бытовом секторе Монголии, особенно в южных, юго-восточных и восточных районах, приводят к значительному росту электропотребления в стране. Прогноз электропотребления выполнялся сценарно на долгосрочную перспективу.

В шестой главе представлены результаты исследований перспектив развития ЕЭЭС Монголии и ее интеграции в энергетическое пространство СВА. Выполнялись оптимизационные расчёты на системной математической модели развития ЭЭС с формированием оптимальной структуры генерирующих мощностей и топологии системообразующих электрических связей. С использованием оптимизационной математической модели развития электрических сетей уточнялись состав и параметры межузловых электрических связей, а с использованием модели электроэнергетических режимов уточнялись их технические параметры, включая, главным образом, пропускная способность. В результате была сформирована двенадцатиузловая схема ЕЭЭС Монголии, включающая три укрупнённых объединённых региональных энергосистемы, и имеющая внешние электрические связи, дальнейшее развитие которых позволит ЕЭЭС Монголии интегрироваться в перспективное энергообъединение СВА.

Седьмая глава посвящена формированию интеллектуальной энергосистемы Монголии. На основе модельных исследований предложена схема оперативного управления и регулирования формирующейся в перспективе интеллектуальной ЕЭЭС путем внедрения автоматизированных систем, основанных на цифровых технологиях, адаптированных к местным условиям. Предложено комплексное использование системы релейной защиты и автоматики для обеспечения надежной параллельной работы электроэнергетических систем Монголии для исключения системных аварий, как подготовительный этап для формирования и дальнейшего развития будущей интеллектуальной ЕЭЭС.

В заключении сформулированы основные теоретические и прикладные выводы, полученные в результате выполнения диссертационного исследования.

В приложениях приведены исходные данные для расчётов на математических моделях, результаты этих расчётов, а также представлены документы, подтверждающие использование результатов исследований диссертационной работы.

Личный вклад автора

Основные результаты, представленные в диссертационной работе, получены лично автором, либо под его непосредственным руководством и при его личном участии.

Опубликованность основных результатов диссертационной работы

По материалам диссертации опубликовано 33 печатные работы, из которых 11 статей опубликовано в научных журналах, включенных в актуальный перечень ВАК по специальности 2.4.5., в том числе 10 – в журналах категории К1, К2; 4 статьи в научных журналах, включенных в РИНЦ, включая 1 – в Перечень ВАК по другим специальностям; статей на монгольском языке – 14, а также 4 публикации в трудах конференций, входящих в международные базы данных (Web of Science, Scopus).

Замечания по диссертационной работе

1. В диссертации введена и используется, как основа методологии, концепция вложенной иерархии ЭЭС. Чем эта концепция предпочтительнее традиционной вертикально-ориентированной иерархической структуры?

2. В качестве первого этапа методологии обоснования развития ЭЭС в диссертационной работе предлагается качественный анализ внутренних и внешних факторов, влияющих на развитие ЭЭС Монголии. Каким образом полученная качественная неформализованная информация учитывается далее на последующих этапах (с получением количественных оценок) обоснования решений по развитию электрогенерирующих и электросетевых объектов?

3. В разработанной схеме взаимодействия расчётно-аналитических блоков и математических моделей указан обмен информацией между этими блоками/моделями. Каким образом организуется передача/обмен исходными данными/результатами расчётов (в т.ч. итерационно) в комплексе расчётно-аналитических блоков и математических моделей?

4. В проведенных исследованиях определяющим фактором являются исходные данные для расчётов. Каким образом, из каких конкретных источников осуществлялась информационная поддержка исследований перспективного развития электроэнергетики Монголии? Оценивалась ли достоверность и непротиворечивость данных?

5. Проведенные в диссертации исследования позиционируются автором как комплексные, учитывающие различные условия и факторы, и базирующиеся в своей основе на методологии системных исследованиях в энергетике. В связи с этим требует пояснения, каким образом учитывалось в указанных исследованиях такое важное свойство ЭЭС, как надёжность.

**Соответствие диссертации критериям
"Положения о присуждении учёных степеней"**

Диссертационная работа Баяр Бат-Эрдэнэ отвечает требованиям пп. 9 - 14 "Положения о присуждении учёных степеней", утверждённого Постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 (с изменениями и дополнениями), предъявляемым ВАК к диссертациям на соискание учёной степени доктора наук.

Общее заключение

Сделанные замечания не снижают высокой в целом научной ценности работы. Автореферат достаточно полно отражает содержание диссертационной работы. В диссертации решена важная научно-техническая проблема – разработан методический аппарат и сформирован модельно-вычислительный инструментарий для предпроектного исследования и обоснования развития электроэнергетических систем с учетом ряда специфических для развивающихся стран условий (на примере Монголии).

Диссертационная работа "Научно-методические основы обоснования комплексного развития электроэнергетической системы Монголии в новых условиях" является законченной научно-квалификационной работой, обладает актуальностью, внутренним единством и отличается существенной новизной, содержит оригинальные научно-методические и модельные разработки и значимые прикладные результаты, свидетельствует о личном вкладе автора в науку, в связи с чем, автор, Баяр Бат-Эрдэнэ, заслуживает присуждения учёной степени доктора технических наук по специальности 2.4.5. Энергетические системы и комплексы.

Официальный оппонент, директор ФГБУН
Институт энергетических исследований РАН,
академик РАН, доктор технических
наук по специальности 05.14.01 –

Энергетические системы и комплексы
Дата: 14.10.2024

Филиппов Сергей Петрович

Подпись С.П. Филиппова удостоверяю
Ученый секретарь ИНЭИ РАН
канд. экон. наук
14.10.2024 г.

Т.В.Новикова

Сведения

Полное наименование организации: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт энергетических исследований Российской академии наук

Юридический адрес: г. Москва, 117186, ул. Нагорная, д.31, корп.2

Сайт: <https://www.eriras.ru/>

Тел: 8 (499) 127-46-64, 8 (499) 123-98-78

Эл. почта: info@eriras.ru