

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.118.01, СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ИНСТИТУТ СИСТЕМ ЭНЕРГЕТИКИ ИМ. Л.А. МЕЛЕНТЬЕВА СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК, МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ, ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 30.01.2024 г. № 1

О присуждении **Майорову Глебу Сергеевичу**, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация **«Выбор рационального состава генерирующей мощности централизованных и распределенных источников в интегрированных энергетических системах на основе мультиагентного подхода»** по специальности 2.4.5. Энергетические системы и комплексы принята к защите 08.11.2023 г. (протокол заседания № 11) диссертационным советом 24.1.118.01, созданным на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева Сибирского отделения Российской академии наук, Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, 664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 130, совет создан приказом Минобрнауки РФ № 78/нк от 26.01.2023 г.

Соискатель **Майоров Глеб Сергеевич**, «09» мая 1994 года рождения. В 2016 году соискатель окончил бакалавриат Федерального государственного образовательного учреждения высшего образования «Иркутский национальный исследовательский технический университет» по направлению подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника. В 2018 году соискатель с отличием окончил магистратуру Федерального государственного образовательного учреждения высшего образования «Иркутский национальный исследовательский технический университет» по направлению подготовки 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника. В 2022 году соискатель окончил очную аспирантуру Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева Сибирского отделения Российской академии наук по направлению подготовки 13.06.01 Электро- и теплотехника, направленность Энергетические системы и комплексы (по научной специальности 05.14.01 в соответствии с номенклатурой, утвержденной приказом № 1027 от 23.10.2017 г.). В период с 27.03.2023 г. по 27.04.2023 г. был прикреплен к отделу аспирантуры Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева Сибирского отделения Российской академии наук для сдачи кандидатских экзаменов по научной специальности 2.4.5. Энергетические системы и комплексы, отрасль науки – технические (в соответствии с номенклатурой, утвержденной приказом Минобрнауки РФ от 24.02.2021 г. № 118).

В настоящее время Майоров Глеб Сергеевич работает в должности младшего научного сотрудника в отделе трубопроводных систем энергетики Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева Сибирского отделения Российской академии наук, Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.

Диссертация выполнена в отделе трубопроводных систем энергетики Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева Сибирского отделения Российской академии наук, Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель – кандидат технических наук, доцент **Барахтенко Евгений Алексеевич**, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева Сибирского отделения Российской академии наук, старший научный сотрудник отдела трубопроводных систем энергетики, ученый секретарь института.

Официальные оппоненты:

Фишов Александр Георгиевич, доктор технических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский государственный технический университет», кафедра автоматизированных электроэнергетических систем, профессор;

Суворов Алексей Александрович, кандидат технических наук, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», отделение электроэнергетики и электротехники, доцент,

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Братский государственный университет», г. Братск. **В своем положительном отзыве**, подписанном Булатовым Юрием Николаевичем, кандидатом технических наук, доцентом, заведующим кафедрой энергетики и утвержденном Ивановым Виктором Александровичем, доктором технических наук, профессором, первым проректором Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Братский государственный университет», указала, что диссертация Майорова Глеба Сергеевича является завершенной научно-квалификационной работой и соответствует критериям пп. 9-14 Положения «О порядке присуждения ученых степеней», утвержденном Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842 (с изм. и доп.), а ее автор заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.5. Энергетические системы и комплексы.

Соискатель имеет 19 опубликованных работ по теме диссертации, в том числе 6 статей в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ по специальности 2.4.5. Энергетические системы и комплексы (из них 3 статьи в журналах из категории К1 и 2 статьи в журналах из категории К2), 6 статей в рецензируемых изданиях, индексируемых в международных базах цитирования Scopus и Web of Science Core Collection.

Вклад диссертанта в подготовку статей в соавторстве оценивается как существенный. В коллективных публикациях автору принадлежат результаты, которые непосредственно относятся к теме диссертации. В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации. Текст диссертации не содержит заимствований без ссылки на соответствующий первоисточник.

Наиболее значимые работы:

Публикации в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ по специальности 2.4.5. Энергетические системы и комплексы:

1. Майоров, Г.С. Разработка мультиагентной модели интегрированной энергоснабжающей системы в программной среде AnyLogic / В.А. Стенников, Е.А. Барахтенко, Г.С. Майоров // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2020. – Т. 24. – № 5. – С. 1080–1092.

2. Майоров, Г.С. Применение мультиагентного подхода для моделирования интегрированных энергетических систем / В.А. Стенников, Е.А. Барахтенко, Г.С. Майоров // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2020. – Т. 22. – № 6. – С. 29-42.

3. Майоров, Г.С. Управление распределением нагрузки между централизованной и распределенной генерацией в интегрированной энергетической системе с применением мультиагентных технологий / В.А. Стенников, Е.А. Барахтенко, Г.С. Майоров // Промышленная энергетика. – 2021. – № 10. – С. 2-8.

4. Майоров, Г.С. Влияние распределенной генерации энергии на процесс энергоснабжения потребителей в интегрированной энергетической системе / Е.А. Барахтенко, Г.С. Майоров // iPolytech Journal. – 2022. – Т. 26. – № 4. – С. 612-625.

5. Майоров, Г.С. Распределение нагрузки между источниками в иерархической интегрированной энергетической системе с использованием мультиагентных технологий / В.А. Стенников, Е.А. Барахтенко, Г.С. Майоров // Энергетик. – 2022. – № 11. – С. 39-44.

6. Майоров, Г.С. Методический подход к построению программной платформы для управления развитием интегрированных энергетических систем / В.А. Стенников, Е.А. Барахтенко, Д.В. Соколов, Г.С. Майоров // Информационные и математические технологии в науке и управлении. – 2022. – № 4(28). – С. 19-31.

Публикации в изданиях, индексируемых Scopus и Web of Science Core Collection:

7. Mayorov, G. Coordinated management of centralized and distributed generation in an integrated energy system using a multi-agent approach / V. Stennikov, E. Barakhtenko, G. Mayorov, D. Sokolov, B. Zhou // Applied Energy. – 2022. – Vol. 309. – P. 118487.

8. Mayorov, G. Principles of Building Digital Twins to Design Integrated Energy Systems / V. Stennikov, E. Barakhtenko, D. Sokolov, G. Mayorov // Computation. – 2022. – Vol. 10(12). – P. 222.

9. Mayorov, G. An approach to energy distribution between sources in a hierarchical integrated energy system using multi-agent technologies / V. Stennikov, E. Barakhtenko, G. Mayorov // Energy Reports. – 2023. – Vol. 9. – P. 856-865.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

1. От **Федосова Дениса Сергеевича**, кандидата технических наук, доцента, заведующего кафедрой электрических станций, сетей и систем, и **Федчишина Вадима Валентиновича**, кандидата технических наук, доцента, доцента кафедры электрических станций, сетей и систем Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Иркутский национальный исследовательский технический университет» (г. Иркутск). Отзыв содержит *пять замечаний*: 1) В названии работы упомянут выбор рационального состава генерирующего оборудования, но из описания второй главы диссертации следует, что автор решает оптимизационную задачу. В чем, по мнению автора, различие между рациональным и оптимальным составом генерирующего оборудования? 2) Из автореферата непонятно, учтены ли показатели надежности различных централизованных и распределенных источников в математической постановке задачи выбора рационального состава генерирующей мощности источников при развитии интегрированных энергетических систем (ИЭС)? 3) Почему в условиях баланса энергии (11)-(14) используются нестрогие неравенства вместо равенств, несмотря на учет потерь энергии в каждом из уравнений? 4) Какой видится автору перспектива взаимодействия агентов для развития ИЭС по оптимальной траектории? Предусматриваются ли при создании и взаимодействии агентов исключительно рыночные механизмы, или понадобится государственное регулирование? 5) На рисунке 3 автореферата при описании связей между блоком управления развитием и блоком расчета схемы не указаны временные рамки операций, каковы они? Какие из обозначенных на рисунке задач могут и должны выполняться в режиме реального времени?

2. От **Ядыкина Игоря Борисовича**, доктора технических наук, профессора, главного научного сотрудника лаборатории № 82 Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова Российской академии наук (г. Москва). Отзыв содержит *одно замечание*: В автореферате не отражены связи между разработанными моделями на каждом уровне; недостаточно описано как решение, полученное для одного элемента системы, влияет на состояние другого.

3. От **Беляева Андрея Николаевича**, доктора технических наук, доцента, профессора высшей школы электроэнергетических систем Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого» (г. Санкт-Петербург). Отзыв содержит *три замечания*: 1) Каким образом в представленной методике учитывается стохастический характер выработки электроэнергии возобновляемыми источниками? 2) Какие режимы работы именно электроэнергетической системы (зимние максимумы / летние минимумы и т.д.) принимаются во внимание в работе? 3) Возможен ли учет в

разработанных алгоритмах так называемых «виртуальных электростанций», распределенных по сети, но для диспетчера являющимся единым объектом?

4. От **Гордина Сергея Александровича**, кандидата технических наук, доцента, доцента кафедры «Прикладная математика» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Комсомольский-на-Амуре государственный университет» (г. Комсомольск-на-Амуре). Отзыв содержит *два замечания*: 1) Формулировка практической значимости слабо коррелирует с целью диссертационной работы, хотя из работы непосредственно следует наличие практической значимости, поскольку предложенная методика позволяет снизить суммарные затраты на энергоснабжение при выполнении технических и технологических ограничений (стр. 24 автореферата). 2) В таблице 1 приведены результаты расчета по предлагаемой автором методике, но при этом не приводятся данные по существующим затратам (или данные по иной методике), что не позволяет сделать вывод о величине достигнутого практического эффекта.

5. От **Рожина Игоря Ивановича**, доктора технических наук, кандидата физико-математических наук, доцента, главного научного сотрудника лаборатории техногенных газовых гидратов Института проблем нефти и газа Сибирского отделения Российской академии наук – обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федеральный исследовательский центр «Якутский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук» (г. Якутск). Отзыв содержит *одно замечание*: Не понятно, как учитываются интересы активных потребителей в разработанной методике при поиске решения.

6. От **Юрина Александра Юрьевича**, доктора технических наук, доцента, заведующего лабораторией информационно-телекоммуникационных технологий исследования техногенной безопасности Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт динамики систем и теории управления имени В.М. Матросова Сибирского отделения Российской академии наук (г. Иркутск). Отзыв содержит *одно замечание*: Достаточно лаконичное описание в автореферате использованных решателей и области их применения (решаемых с их помощью задач).

7. От **Суслова Константина Витальевича**, доктора технических наук, доцента, профессора кафедры гидроэнергетики и возобновляемых источников энергии Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования Национальный исследовательский университет «МЭИ» (г. Москва). Отзыв содержит *одно замечание*: Не упоминаются вопросы согласования решений в разработанной мультиагентной системе для случая высокой размерности решаемой задачи, когда количество агентов может быть больше, чем в рассмотренных примерах.

Замечания не снижают научной ценности и практической значимости диссертационной работы. На замечания оппонентов и ведущей организации, а также на замечания в отзывах, поступивших на автореферат и диссертацию, соискатель привел исчерпывающие ответы.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается сферой их научных интересов и исследований в области энергетических систем, распределенной генерации энергии, возобновляемых источников энергии и разработки программного обеспечения, что подтверждается научными публикациями официальных оппонентов и сотрудников ведущей организации и их способностью определить научную и практическую ценность диссертации.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработана методика для выбора рационального состава генерирующей мощности централизованных и распределенных источников при развитии ИЭС на основе мультиагентного подхода, которая позволяет рассматривать большое количество активных элементов, в том числе распределенные источники энергии и активные потребители с собственными источниками энергии и регулируемой мощностью;

предложена оригинальная структура мультиагентной системы для исследования взаимодействия объектов ИЭС при решении задачи выбора рационального состава генерирующей мощности централизованных и распределенных источников энергии при развитии ИЭС, определен основной состав агентов мультиагентной системы, их цели и задачи;

доказана возможность применения разработанных алгоритмов блока расчета схемы ИЭС и блока управления развитием ИЭС для решения задачи выбора рационального состава генерирующей мощности централизованных и распределенных источников энергии при развитии ИЭС;

введены и исследованы новые типы агентов для решения задач, связанных с управлением развитием объектов ИЭС.

Теоретическая значимость исследований обоснована тем, что:

доказаны эффективность и целесообразность использования математических моделей и численных методов при поиске компромиссного решения в ИЭС для различных иерархических уровней с учетом большого количества активных потребителей и распределенных источников энергии;

применительно к проблематике диссертации результативно использованы: методы системного анализа, имитационное моделирование, математическое программирование, мультиагентный подход, теория графов;

изложены предлагаемые автором алгоритмы и программы, реализованные в виде программного комплекса в среде AnyLogic, для решения задачи выбора рационального состава генерирующей мощности централизованных и распределенных источников энергии при развитии ИЭС;

раскрыто и обосновано применение мультиагентного подхода для исследования ИЭС, выявлены основные особенности данного подхода при решении поставленных задач;

изучено влияние активных потребителей и распределенных источников энергии на функционирование централизованных энергетических систем;

проведена модернизация существующих математических моделей и численных методов для решения задачи развития энергетических систем с учетом наличия активных потребителей и распределенных источников энергии.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

разработаны и внедрены принципы моделирования и исследования ИЭС при выполнении гранта Российского фонда фундаментальных исследований № 20-38-90266 «Исследование свойств интегрированных энергетических систем на основе мультиагентного подхода» и проекта Российского научного фонда № 22-29-01611 «Интеллектуальный синтез цифрового двойника для проектирования интегрированных энергетических систем»;

определены зоны эффективной работы и состав централизованных источников энергии в зависимости от доли распределенной генерации энергии в системе;

создан алгоритм поиска оптимальной траектории развития ИЭС на долгосрочный период, позволяющий учитывать различные изменения и события, происходящие в ходе реализации мер по строительству объектов ИЭС;

представлены результаты расчетов модернизированной схемы энергоснабжения микрорайона Академгородок г. Иркутска с активными потребителями, обладающими собственными источниками энергии. При развитии ИЭС рассмотрены случаи с учетом и без учета системных ограничений на минимальную поставку энергии от централизованных энергоисточников.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

для экспериментальных работ результаты расчетов показали приемлемую для практического использования точность моделирования; обработка результатов моделирования проведена с привлечением современных компьютерных алгоритмов в соответствии с ГОСТами;

теория опирается на фундаментальные работы отечественных и зарубежных авторов в области исследования и разработки ИЭС, проектирования сложных энергетических систем с распределенными источниками энергии, использования мультиагентного подхода для решения технических задач;

идея базируется на анализе тенденций развития энергетики, связанной с исследованием ИЭС и согласованием интересов различных объектов этой системы;

использованы данные, полученные автором в ходе исследования, элементы математического анализа, математическое и компьютерное моделирование;

установлено качественное совпадение авторских результатов вычислительных экспериментов с результатами, полученными на имитационных моделях;

использованы современные методики обработки исходной информации и профессиональный инструмент нового поколения, программная среда AnyLogic для моделирования ИЭС.

Личный вклад соискателя состоит в непосредственном участии в постановках цели и задач исследования; разработке структуры мультиагентной

системы для исследования взаимодействия объектов ИЭС; создании математических моделей основных управляющих агентов, осуществляющих контроль и координацию централизованной и распределенной генерации; обсуждении, создании и реализации методики для выбора рационального состава генерирующей мощности централизованных и распределенных источников энергии при развитии ИЭС с использованием мультиагентного подхода; разработке алгоритмов работы агентов, отражающих поведение и особенности объектов ИЭС; создании мультиагентной модели в программной среде AnyLogic; проведении вычислительных экспериментов и обсуждении полученных результатов расчета.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания:

1. Возможен ли такой вариант, чтобы у активного потребителя отсутствовал собственный источник энергии?
2. Возможно ли найти оптимальный состав источников энергии?
3. В чем особенности и преимущества мультиагентного подхода в сравнении с другими подходами?

Соискатель Майоров Глеб Сергеевич ответил на заданные ему в ходе заседания вопросы и привел собственную аргументацию:

1. Активный потребитель может не обладать собственным источником энергии, но иметь возможность управлять своим энергопотреблением. В данном исследовании рассматривались активные потребители с собственными источниками энергии, поэтому в своем докладе автор делал акцент на данном аспекте.

2. Оптимальный состав генерирующего оборудования может быть выбран относительно конкретного объекта в ИЭС, к примеру, можно выбрать оптимальный состав генерирующего оборудования для централизованной системы, но в тоже время для других участников энергоснабжения в ИЭС это решение не всегда будет оптимальным, для объектов с распределенными источниками энергии оно может быть невыгодным. Поиск рационального состава генерирующей мощности, который осуществляется согласно разработанной методики в данном исследовании, нацелен на поиск компромиссного решения между всеми участниками ИЭС, то есть осуществляется поиск такого решения, которое устроит всех участников ИЭС с учетом заданных условий и ограничений.

3. Мультиагентный подход позволяет рассматривать большое количество активных элементов, в том числе распределенные источники энергии и активных потребителей с собственными источниками энергии. Применение распределенного подхода к решению задач большой размерности и сложности позволяет представить ее в виде совокупности задач меньшей размерности. С помощью возможностей мультиагентного моделирования обеспечивается масштабируемость предложенной в диссертационной работе модели, а принципы ее формирования позволяют добавлять другие иерархические уровни. Решение по развитию ИЭС находится независимыми друг от друга центрами, отвечающими за

свою территориальную область в системе, а затем осуществляется согласование полученных решений.

На заседании 30 января 2024 г. диссертационный совет принял решение: за решение научной задачи разработка методики выбора рационального состава генерирующей мощности централизованных и распределенных источников в интегрированных энергетических системах на основе мультиагентного подхода для оптимального построения энергетических систем с централизованно-распределенной генерацией энергии и активными потребителями, имеющей существенное значение для энергетической отрасли Российской Федерации, присудить Майорову Глебу Сергеевичу ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 16 человек, из них 5 – докторов наук по специальности 2.4.5. Энергетические системы и комплексы, участвовавших в заседании, из 21 человека, входящих в состав совета, дополнительно введены в разовую защиту – 0 человек, проголосовали: за – 15, против – нет, недействительных бюллетеней – 1.

Председатель

диссертационного совета



Стенников Валерий Алексеевич

Ученый секретарь

диссертационного совета

Солодуша Светлана Витальевна

30.01.2024 г.