

УТВЕРЖДАЮ:

первый проректор Федерального государственного
бюджетного образовательного учреждения
высшего образования «Братский
государственный университет», д.т.н., профессор,
Иванов Виктор Александрович

«21» декабря 2023 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу
Майорова Глеба Сергеевича
«Выбор рационального состава генерирующей мощности централизованных
и распределенных источников в интегрированных энергетических системах
на основе мультиагентного подхода»
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 2.4.5. Энергетические системы и комплексы

1. Актуальность темы исследования

В диссертации Майорова Г.С. рассматривается довольно сложная и актуальная задача, которая заключается в разработке методики для выбора рационального состава генерирующей мощности централизованных и распределенных источников энергии при развитии интегрированных энергетических систем (ИЭС) на основе мультиагентного подхода. ИЭС включают в себя системы электроснабжения, теплоснабжения, холодоснабжения и газоснабжения. В приведенном исследовании приводятся следующие основные положения:

- анализ существующих методов управления ИЭС;
- разработка мультиагентной системы (МАС) для изучения механизмов взаимодействия объектов в ИЭС;
- математическое формулирование задачи выбора рационального состава генерирующей мощности;
- разработка соответствующих математических моделей;
- практическое тестирование методики и программного обеспечения на тестовых и реальных схемах ИЭС.

Актуальность данной работы заключается в том, что современные тенденции в развитии энергетических систем направлены на увеличение доли возобновляемых источников энергии (ВИЭ) и снижение зависимости от ископаемых топлив. Однако, интеграция различных видов энергосистем, таких как электроснабжение, теплоснабжение, холодоснабжение и

газоснабжение, представляет сложную задачу, требующую оптимального выбора и сочетания различных источников энергии. В этом контексте разработка методики и моделей для определения рационального состава генерирующей мощности централизованных и распределенных источников энергии в ИЭС имеет большое практическое значение. Результаты работы Майорова Г.С. очевидно могут быть использованы для планирования, управления и оптимизации ИЭС, что способствует повышению их эффективности и улучшению экономической составляющей, а также снижению негативного влияния на окружающую среду.

2. Научная новизна диссертационного исследования

В работе получен ряд новых результатов, которые можно свести к следующему:

1. Предложена новая методика для выбора рационального состава генерирующей мощности централизованных и распределенных источников при развитии ИЭС на основе мультиагентного подхода. Данная методика позволяет рассматривать большое количество активных элементов со сложным поведением, в том числе распределенных источников энергии и активных потребителей с собственными источниками энергии.

2. Разработана оригинальная структура МАС для исследования взаимодействия объектов ИЭС при решении задачи выбора рационального состава генерирующей мощности централизованных и распределенных источников энергии при развитии ИЭС, определены основной состав и типы агентов МАС, их цели и задачи.

3. Выполнена математическая постановка задачи выбора рационального состава генерирующей мощности централизованных и распределенных источников в ИЭС, учитывающая зоны эффективности работы генерирующего оборудования и ограничения на выбросы вредных веществ в атмосферу. Разработаны математические модели основных агентов МАС, осуществляющих контроль и управление объектов ИЭС.

4. Разработан алгоритм формирования мультиагентной модели ИЭС в программной среде AnyLogic. На основании разработанного алгоритма сформирована мультиагентная модель ИЭС в соответствии с разработанной схемой и предложенной структурой взаимодействия агентов в МАС.

5. Выполнена апробация разработанной методики выбора рационального состава генерирующей мощности централизованных и распределенных источников энергии при развитии ИЭС с использованием мультиагентного подхода. Проведен ряд вычислительных экспериментов на двух различных схемах энергоснабжения.

3. Структура и содержание диссертационной работы

Диссертация объемом 178 страниц состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 101 наименования, 4 приложений на 12 листах, основной текст изложен на 152 страницах.

Во введении обосновывается актуальность работы, формулируется цель исследования, а также ставятся задачи, необходимые для ее достижения.

Формулируются научная новизна и основные положения, выносимые на защиту. Приводится общая характеристика работы.

Первая глава носит обзорно-постановочный характер. Рассмотрены различные вопросы, которые отражают разные аспекты, связанные с разработкой и исследованием ИЭС. Выполнено сравнение ИЭС с существующими энергетическими системами и приведены основные преимущества ИЭС. Рассмотрены современные методы и модели для управления ИЭС. В связи с широким развитием распределенной генерации энергии приводятся современные методы для проектирования ИЭС, учитывающие распределенные источники энергии и активных потребителей. Рассмотрены основные преимущества и принципы создания МАС, выполнен анализ публикаций, в которых мультиагентный подход успешно применяется для решения сложных задач.

Во второй главе приводится постановка задачи выбора рационального состава генерирующей мощности централизованных и распределенных источников энергии при развитии ИЭС и математические модели основных объектов ИЭС. Выполнено описание типа и архитектуры управления МАС, и предложена новая структура мультиагентной системы для исследования взаимодействия объектов ИЭС. Приведено подробное описание работы блока расчета схемы ИЭС и блока управления развития ИЭС. На основании проведенных исследований разработана методика выбора рационального состава генерирующей мощности централизованных и распределенных источников энергии при развитии ИЭС. Представлен алгоритм поиска оптимальной траектории развития интегрированных энергетических систем на долгосрочный период.

Третья глава посвящена разработке мультиагентной модели ИЭС в программной среде. Выполнен анализ программного обеспечения. Из трех основных программных сред (JADE, NetLogo, AnyLogic) для реализации мультиагентного подхода выбрана программная среда AnyLogic, как наиболее удобная и доступная для реализации разработанных алгоритмов. Разработан алгоритм формирования мультиагентной модели ИЭС в программной среде AnyLogic. Приведено описание алгоритмов работы для каждого типа агента в виде блок-схем диаграмм состояний.

В четвертой главе выполнена практическая апробация разработанного методического и программного обеспечения для решения задачи развития ИЭС. Проведен ряд вычислительных экспериментов, анализ результатов которых показал эффективность и работоспособность предложенных принципов и механизмов при решении задачи выбора рационального состава генерирующей мощности централизованных и распределенных источников при развитии ИЭС.

В заключении приведены основные результаты диссертационной работы.

В приложении представлены исходные данные и результаты расчетов для двух схем энергоснабжения ИЭС.

4. Теоретическая и практическая ценность диссертационной работы

В работе развиваются теоретические основы разработки и развития ИЭС. На основании проведенных исследований разработана методика для выбора рационального состава генерирующей мощности централизованных и распределенных источников в ИЭС с использованием агентных технологий. Полученные модели, алгоритмы и методика позволят упростить процесс создания и исследования ИЭС. Благодаря новой методике для поиска решения удастся учитывать интересы всех объектов ИЭС и находить компромиссное решение между ними, что позволяет учитывать сложный характер поведения активных элементов ИЭС, к которым в большой мере относятся активные потребители и источники распределенной генерации энергии.

Практическая значимость результатов работы определяется тем, что они могут быть использованы при исследовании и моделировании реальных схем энергоснабжения ИЭС. Разработка программного прототипа МАС для выбора рационального состава генерирующей мощности централизованных и распределенных источников при развитии ИЭС позволит значительно ускорить и упростить процесс формирования схем ИЭС на долгосрочный период с учетом возрастающей роли распределенной генерации энергии и активных потребителей.

5. Соответствие паспорту специальности

Диссертация Майорова Г.С. соответствует паспорту научной специальности 2.4.5. Энергетические системы и комплексы, следующим пунктам паспорта специальности:

п. 1. *Разработка научных основ (подходов) исследования общих свойств и принципов функционирования и 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.* Предложена новая методика для выбора рационального состава генерирующей мощности централизованных и распределенных источников в ИЭС на основе мультиагентного подхода. Разработана оригинальная структура мультиагентной системы для исследования механизмов взаимодействия объектов в ИЭС при решении задач ее развития. Разработана мультиагентная модель ИЭС и сформированы диаграммы состояний каждого типа агента при решении задачи развития ИЭС.

п. 2. *Математическое моделирование, численные и натурные исследования физико-химических и рабочих процессов, протекающих в энергетических системах и установках на органическом и альтернативных топливах и возобновляемых видах энергии, их основном и вспомогательном оборудовании и общем технологическом цикле производства электрической и тепловой энергии.* Выполнена математическая постановка задачи выбора рационального состава генерирующей мощности централизованных и распределенных источников в ИЭС и разработаны соответствующие математические модели.

п. 5. *Разработки и исследования в области энергосбережения и ресурсосбережения при производстве тепловой и электрической энергии, при транспортировке тепловой, электрической энергии и энергоносителей в энергетических системах и комплексах.* Выполнены исследования схем энергоснабжения ИЭС в соответствии с предложенной методикой выбора рационального состава генерирующей мощности централизованных и распределенных источников энергии.

6. Обоснованность и достоверность положений, выносимых на защиту

Достоверность и обоснованность результатов исследования сомнений не вызывает. Достоверность численных результатов подтверждается результатами расчетов в программных комплексах. Теоретической основой для решения задач математического моделирования трубопроводных систем энергетики различного типа и назначения является разработанная и успешно развиваемая в ИСЭМ СО РАН теория гидравлических цепей, которая является базой для моделирования, расчета, оценивания и оптимизации трубопроводных и гидравлических систем различного типа. Для исследования трубопроводных систем в составе интегрированной энергетической системы использовалось методическое обеспечение, разработанное в рамках теории гидравлических цепей. В том числе выполнена разработка, развитие и применение методов теории гидравлических цепей для моделирования интегрированных энергосистем.

Для решения задач математического моделирования систем электроснабжения разного уровня, использовалась теория электрических цепей, основанная на уравнениях электрического равновесия токов и напряжений, в которую входят задачи анализа и синтеза электрических цепей, изучение, как с качественной, так и с количественной стороны установившихся и переходных процессов в различных элементах электрической системы.

7. Апробация и публикации результатов диссертационной работы

Основные выводы по теме диссертационного исследования докладывались и обсуждались на 13 научных конференциях и семинарах

всероссийского и международного уровня. По теме исследования опубликованы 19 статей, из них 6 публикаций в журналах из списка ВАК, 6 в изданиях, индексируемых в Scopus и Web of Science, и 7 статей в журналах, индексируемых в РИНЦ.

8. Замечания и вопросы по тексту диссертации

1. В Главе 2 приводится основная математическая постановка решаемой комплексной оптимизационной задачи, в частности, приводится математическая модель активных потребителей и принципы их взаимодействия с централизованной энергетической системой. В Главе 1 автор отмечает, что ряд исследователей прибегают к стохастическим постановкам, чтобы учесть неопределённости, связанные с наличием распределённой генерации – ВИЭ, поведение активных потребителей. Однако неясно как учитываются подобные неопределенности в предлагаемом автором подходе. Помимо ВИЭ и активных потребителей, неопределенность может возникать в долгосрочном периоде, который автор в своей модели также хочет охватить. Важно было эти вопросы прояснить в работе.

2. В главе 2 представлен ряд моделей, относящихся к объектам ИЭС. Каждая из моделей построена на отдельной постановке для соответствующего элемента системы, при этом непонятно, каким образом эти модели связаны между собой и как решение, полученное для одного элемента системы, влияет на состояние другого.

3. Каковы функции активного потребителя в рассматриваемых ИЭС и задаче выбора генерирующей мощности (как в моделях, так и вычислительных экспериментах)?

4. В разделе 2.1 исходные данные задаются множествами J , I – но эти множества изменяются в процессе расчета (новые потребители, источники, сети). Или они заранее входят в эти множества – не ясно.

5. Программная среда AnyLogic сама решает или обязателен внешний решатель? Что сделано автором в данном разделе.

В целом, указанные замечания не снижают высокой оценки диссертационной работы

9. Заключение

Общее содержание диссертационной работы Майорова Глеба Сергеевича «Выбор рационального состава генерирующей мощности централизованных и распределенных источников в интегрированных энергетических системах на основе мультиагентного подхода» и полученные в ней новые результаты, имеющие несомненную практическую значимость, позволяют считать, что она является завершённой научной квалификационной работой и соответствует критериям, установленным положением «О порядке присуждения ученых степеней», утвержденном Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842 (с изм. и доп.).

Все разделы диссертации взаимосвязаны и отвечают поставленной цели. Диссертация логично структурирована, имеет внутреннее единство и свидетельствует о личном вкладе автора. Диссертационная работа

оформлена в соответствии со всеми требованиями. Автореферат соответствует содержанию диссертационной работы и полностью отражает основные научные и практические результаты исследований. В работах, опубликованных в соавторстве, соискателю принадлежит разработка моделей и методов, реализация и тестирование методов в программно-вычислительных комплексах.

Автор диссертации Майоров Глеб Сергеевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.5. Энергетические системы и комплексы.

Отзыв на диссертацию Майорова Г.С. «Выбор рационального состава генерирующей мощности централизованных и распределенных источников в интегрированных энергетических системах на основе мультиагентного подхода» обсужден и одобрен на заседании кафедры энергетики Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Братский государственный университет» (ФГБОУ ВО «БрГУ») «18» декабря 2023 г., протокол №4.

Заведующий кафедрой
энергетики ФГБОУ ВО
«БрГУ», кандидат
технических наук, доцент



Булатов Юрий Николаевич

«21» декабря 2023 г.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Братский государственный университет» (ФГБОУ ВО «БрГУ»).

665709, Иркутская область, г. Братск, ул. Макаренко, 40.

Тел. +7 (3953) 344-011.

E-mail: rector@brstu.ru

Я, Булатов Юрий Николаевич, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с защитой диссертации Майорова Глеба Сергеевича, и их дальнейшую обработку.



Булатов Юрий Николаевич

