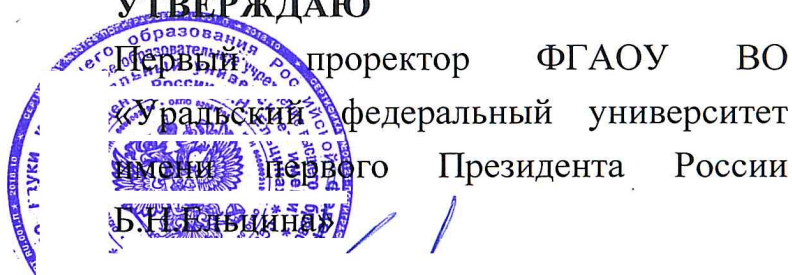


УТВЕРЖДАЮ



С. В. Кортов

« 02 » июня 2026 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» на диссертацию Баденко Владислава Вадимовича «Разработка методов и вычислительных инструментов для кинетического анализа и математического моделирования термохимической конверсии биомассы в гибридных энергетических системах», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

1. Актуальность темы диссертации.

Диссертационная работа Баденко Владислава Вадимовича направлена на разработку математических моделей реакторов термохимической конверсии низкосортных твердых топлив и численных методов обработки данных термического анализа (термогравиметрия, масс-спектрометрия), интеграция разработанных моделей и численных методов в системы генерации энергии, использующих возобновляемые источники энергии, в частности биомассу. Актуальность работы обусловлена необходимостью разработки эффективных способов энергетической переработки различных отходов, которые могут быть использованы как вторичные ресурсы.

2. Научная новизна

Результаты диссертационной работы соискателя имеют следующую новизну:

1. Модифицированный вычислительный метод Коутса-Редферна для расчета кинетических коэффициентов термохимической конверсии биомассы, внедряющий расширенный набор входных данных и позволяющий учесть нелинейные эффекты и рассчитать кинетику образования каждого газообразного продукта реакции. Метод направлен на решение обратной кинетической задачи в условиях изменения температуры и протекания комплексных реакций конверсии.
2. Комплексная математическая модель реактора пиролиза учитывает термохимические процессы, гидродинамику, тепломассоперенос, и позволяет проводить численные эксперименты, необходимые для оптимизации режимов работы реакторов и масштабирования их мощностного ряда. Модель позволяет использовать новые данные о термохимической конверсии биомассы, полученные модифицированным методом Коутса-Редферна.
3. Проведенное экспериментальное исследование работы электрогенератора в составе гибридной микросети лабораторного масштаба позволило получить данные об эффективности данного узла и энергосистемы в целом, необходимые для дальнейшей оптимизации системы.

Кроме того, предложенные в работе программно-вычислительные комплексы направлены на расширение возможностей для проведения аналитических исследований в контексте термохимической конверсии и энергетических систем с возобновляемыми источниками энергии.

Из этого следует, что научная новизна диссертационной работы заключается в комплексном подходе, объединяющем усовершенствованные методы кинетического анализа, моделирование на основе уравнений вычислительной гидродинамики и разработку программных решений, направленном на повышение эффективности энергетических систем на основе возобновляемых ресурсов. Для этого разработаны новые и усовершенствованы имеющиеся подходы к проведению численных экспериментов, а также предложены программно-вычислительные комплексы.

3. Структура и содержание диссертационной работы

Диссертационная работа объемом 150 страниц состоит из введения, трех глав, заключения, списка сокращений и условных обозначений, списка литературы из 179 наименований, четырех приложений.

Во *введении* обоснована актуальность исследований, при сформулированы ее цель и задачи, отражены научная новизна, теоретическая и практическая значимость результатов, апробация полученных результатов, сформулированы выносимые на защиту положения, дано краткое содержание работы.

В *первой главе* поставлены задачи исследования и возникающие в ходе их решения подзадачи, рассмотрены применяемые аналитические, расчетные и инструментальные методы и подходы, приведены примеры исследований по тематике термохимической конверсии. В главе проанализирована предметная область энергетического использования биомассы, рассмотрены виды конверсии и их продукты, особое внимание уделено термическому анализу и кинетическим методам обработки данных. Рассмотрены математические основы моделирования процессов конверсии, включая ключевые уравнения и принципы вычислительной гидродинамики. Также дана характеристика гибридных микросетей, в том числе использующих биомассу: выбор технологий и оборудования, сильные и слабые стороны источников энергии и применяемые программные комплексы.

Вторая глава посвящена решению нелинейной и некорректной обратной задачи кинетики с помощью оригинальной модификации метода Коутса–Редферна. Ключевое преимущество подхода заключается в использовании данных в кинетическом анализе, которые позволяют связать масс-спектрометрию с параметрами термического эксперимента и определить кинетические коэффициенты реакций образования газообразных соединений. Описаны как классический метод, так и его модификация, а также программный комплекс для автоматизированной обработки данных и реализации предложенного метода.

В *третьей главе* описана математическая модель реактора термохимической конверсии, проведено её сравнение с натурным экспериментом и даны выводы о применимости и развитии. Для верификации выполнено экспериментальное исследование на лабораторном реакторе пиролиза с анализом образцов лигноцеллюлозной биомассы (элементный,

технический, термогравиметрический анализы и масс-спектрометрия). Приведено детальное описание реактора и результатов эксперимента.

В четвёртой главе исследована работа гибридной микросети, использующей возобновляемые источники энергии, в том числе биомассу. Проведены тестовые эксперименты с запусками системы на двух видах газообразного топлива, проанализированы основные электрические характеристики и поведение узла электрогенерации, описаны структура сети, возникающие эксплуатационные проблемы.

В заключении приведены основные выводы по результатам исследований.

4. Теоретическая и практическая значимость результатов диссертации

Теоретическая значимость работы заключается в предложенном методе, позволяющем получить новые данные о термохимической конверсии биомассы и открывающем новые возможности для моделирования сложных многостадийных процессов конверсии биомассы. Практическая значимость работы заключается в том, что проведенные экспериментальные исследования, связанные с фундаментальными исследованиями, прикладным программированием и инженерными разработками, способствуют развитию возобновляемой энергетики, оптимизации термохимических процессов и внедрению цифровых технологий в энергетику.

5. Соответствие паспорту специальности

Диссертационная работа Баденко Владислава Вадимовича «Разработка методов и вычислительных инструментов для кинетического анализа и математического моделирования термохимической конверсии биомассы в гибридных энергетических системах» соответствует паспорту научной специальности 1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ. Работа соответствует следующим направлениям исследований, указанным в паспорте специальности:

- пункт 3. Реализация эффективных численных методов и алгоритмов в виде комплексов проблемно-ориентированных программ для проведения вычислительного эксперимента;
- пункт 4. Разработка новых математических методов и алгоритмов интерпретации натурального эксперимента на основе его математической модели;

- пункт 9. Постановка и проведение численных экспериментов, статистический анализ их результатов, в том числе с применением современных компьютерных технологий (технические науки).

6. Обоснованность и достоверность результатов работы

Научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные в диссертационной работе Баденко Владислава Вадимовича, являются в достаточной степени обоснованными и подтвержденными результатами теоретических и практических исследований.

Выводы по главам диссертационной работы логично вытекают из представленного материала, адекватно отражают содержание проведенных исследований и в совокупности подтверждают достижение поставленной цели и решение сформулированных задач. Представленные научные положения и результаты обладают внутренней согласованностью, методической целостностью и достаточной степенью обоснованности для их использования в дальнейших научных и прикладных исследованиях.

7. Апробация и публикации результатов диссертационной работы

Результаты работы докладывались и обсуждались на 5 мероприятиях международного уровня и на 8 мероприятиях всероссийского уровня. Результаты были отмечены призовыми местами на конференциях и конкурсах научно-исследовательских работ, повышенной и именной стипендиями ИСЭМ СО РАН (2023,2024), стипендией Губернатора Иркутской области (2024), стипендией Президента Российской Федерации (2025). Результаты работы использовались в рамках 9 проектов, в том числе международных. По теме диссертационной работы опубликовано 16 статей, в том числе 4 – в рецензируемых научных изданиях журналах, рекомендованных ВАК РФ по специальности 1.2.2 (К2), 3 – в рецензируемых изданиях, индексируемых в Scopus и Web of Science (Q1 и Q2), 9 – в иных изданиях. Получено одно авторское свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

8. Вопросы и замечания по содержанию диссертационной работы

По содержанию диссертации имеются следующие замечания:

1. В целях и задачах и далее в работе происходит путаница с понятиями моделирования. Указывается, что результаты ТГА обрабатываются численным методом, хотя слово «численный» обычно относят к CFD-методу.

А CFD-метод назван «математической моделью», что вводит читателя в замешательство.

2. В таблице 3.1 на странице 82 приведён состав биомассы, но без влажности, азота и серы. При этом азот и серу автор предлагает использовать, например, в формуле 3.1 на той же странице. А влажность для биомассы является важнейшим показателем, так как может колебаться в широком диапазоне от 5% (в сухом помещении) до 50–60% (под открытым небом).

3. На странице 90 указано, что «для описания сопротивления слоя использовалась подмодель Gidasrow». Подмодель сопротивления является одной из ключевых при моделировании пористых тел. На основании чего была выбрана именно эта подмодель, и рассматривались ли другие?

4. Страница 94. На рисунках 3.8. и 3.9 приведены распределения температур в газификаторе. Чем объясняется неоднородность (несимметричность) распределение температуры? Граничные условия были тоже несимметричные? Сложно провести анализ результатов без подробного описания граничных условий.

5. Как поддерживался постоянным коэффициент избытка воздуха для работы ДВС? Почему выбран именно такой коэффициент избытка воздуха для работы ДВС?

6. Как используемые при моделировании данные измерения температуры и состава газа соотносятся с изменением массы? Как именно (за счёт каких программ) данные с ТГА передавались на CFD-моделирование? Какой набор реакций при этом был заложен в CFD-модель?

7. В энергетике традиционно исследуют кинетику реагирования топлива при постоянной температуре. Чему будет равняться параметр «скорость нагрева» в этом случае? Какая подмодель конверсии углерода была использована при CFD-моделировании? Как была учтена при этом энергия активации? Как соотносятся полученные результаты с данными других исследователей?

Приведенные замечания не снижают научно-практической значимости диссертационной работы и не влияют на положительное впечатление от нее.

9. Соответствие диссертации критериям «Положения о присуждении ученых степеней»

По п. 9. Диссертация является научно-квалификационной работой, в которой отражено решение научных и технических задач, имеющих значение для развития технологий возобновляемой энергетики.

По п. 10. Диссертация написана автором самостоятельно в виде рукописи, содержит новые научные результаты и положения, заслуживающие публичной защиты. Содержание диссертации и опубликованные работы свидетельствуют о достаточном вкладе автора в науку. В диссертации имеются сведения о практической полезности выполненных исследований, подтвержденные актами внедрения.

По п. 11 – 13. Основные научные результаты достаточно полно отражены в 16 публикациях, в том числе 4 в изданиях, рекомендованных ВАК РФ.

По п. 14. Диссертация соответствует указанным критериям.

10. Заключение

Диссертация Баденко Владислава Вадимовича «Разработка методов и вычислительных инструментов для кинетического анализа и математического моделирования термохимической конверсии биомассы в гибридных энергетических системах» является законченной научно-квалификационной работой.

Диссертация выполнена на высоком теоретическом уровне по тематике, актуальной для энергетики России и мира, обладает научной новизной, содержит оригинальные результаты, имеет теоретическое и практическое значения.

Содержание диссертации соответствует заявленной цели и поставленным задачам и отражает последовательность их решения. Диссертационная работа оформлена в соответствии со всеми требованиями. Автореферат соответствует содержанию диссертационной работы и полностью отражает основные научные и практические результаты исследований. Отмеченные замечания имеют частный характер и не снижают в целом положительной оценки рассматриваемой диссертационной работы.

Диссертационная работа соответствует критериям, установленным в соответствии с Федеральным законом от 23.08.1996 № 127-ФЗ «О науке и государственной научно-технической политике», отвечает утвержденным критериям раздела II «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 № 842 (с изменениями и дополнениями), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, а Баденко Владислав Вадимович заслуживает присуждения ученой степени

кандидата технических наук по специальности 1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Отзыв на диссертацию Баденко Владислава Вадимовича «Разработка методов и вычислительных инструментов для кинетического анализа и математического моделирования термохимической конверсии биомассы в гибридных энергетических системах» обсужден и одобрен на расширенном заседании кафедры Тепловых электрических станций Уральского энергетического института федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» 2 июня 2026 г, протокол № 7.

Заведующий кафедрой Тепловые электрические станции,
доцент, кандидат технических наук
(специальность 2.4.5 (05.14.14.) Тепловые электрические станции, их энергетические системы и агрегаты)

 Богатова Татьяна Феокистовна

Профессор кафедры Тепловые электрические станции,
профессор, доктор технических наук

(специальность 1.3.14 (01.04.14) Теплофизика и теоретическая теплотехника)

 Рыжков Александр Филиппович

ФГАО ВО «УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»,
Уральский энергетический институт.

Адрес: 620062, г. Екатеринбург; ул. Софьи Ковалевской, 5.

Тел.: +7(343)375-47-31

e-mail: t.f.bogatova@urfu.ru

ПОДПИСЬ
ЗАВЕРЯЮ,

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ УРФУ
МОРЗОВА В.А.

02.06.2026

