



УТВЕРЖДАЮ

Проректор по науке и трансферу
технологий ФГАОУ ВО НИ ТПУ,
доктор физико-математических наук
Суших Л.Г.

« 14 » февраля 2023 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ
на диссертационную работу
Карелина Вадима Александровича
«Исследование тепломассопереноса в слое угля при
воздействии СВЧ-излучения»,
представленную на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук по
специальности 1.3.14 – Теплофизика и теоретическая
теплотехника

Актуальность темы диссертационной работы

Кардинальные изменения в стратегиях обеспечения своей энергетической безопасности ведущими государствами мирового сообщества достаточно наглядно иллюстрируют «отрезвление» большинства руководителей этих государств. Руководители Евросоюза в 2022 году наконец то поняли достаточно простую истину – эффективное использование нетрадиционных возобновляемых источников энергии (ветроустановок и солнечных электростанций) без накопителей электрической энергии большой мощности невозможно. Точнее, возможно только в условиях очень большого дефицита электроэнергии, что для промышленности и транспорта просто неприемлемо. Мощности же накопителей электрической энергии в Европе в 2022 году было почти в 150 раз меньше необходимой для обеспечения энергоснабжения континента в результате работы ветроустановок и солнечных электростанций. Более того, к 2022 году не сформировалась даже стратегия создания хранилищ электрической энергии большой емкости (нет результатов научно-

исследовательских работ, обеспечивающих переход к опытно-конструкторским работам по разработке таких накопителей).

В связи с этим многие развитые государства уже в 2021-2022 годах начали восстанавливать угольную энергетику и наращивать объемы производства электроэнергии угольными тепловыми электростанциями. Но уголь объективно является «грязным» топливом, в отличие, например, от газа. При сжигании углей в топках паровых и водогрейных котлов образуются большие объемы антропогенных оксидов и летучей золы, от которых не удастся в полной мере очищать дымовые газы ТЭС. Поэтому совершенствование технологий сжигания углей в топках котельных агрегатов тепловых электростанций является актуальной задачей теплотехники настоящего времени. В этой связи тема диссертации В.А. Карелина, целью которой является теоретические исследования тепло- и массопереноса в слое влажного угля при воздействии микроволнового излучения, а также оценка влияния теплофизических и электрофизических свойств угля на характеристики протекания процесса сушки, актуальна.

В дополнение к изложенным выше аргументам целесообразно отметить, что по своим цели, задачам, методам их решения, защищаемым положениям и основным результатам исследований диссертация В.А. Карелина в полной мере соответствует приоритетному направлению развития науки, технологий и техники в Российской Федерации «Энергоэффективность, энергосбережение, ядерная энергетика» (утверждено Указом Президента РФ № 899 от 07 июля 2011 года). Также тема диссертации В.А. Карелина соответствует «Перечню критических технологий Российской Федерации» в части технологии «Энергоэффективного производства и преобразования энергии на органическом топливе».

Общая характеристика диссертации

Диссертационная работа В.А. Карелина состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы. Рукопись включает 119 страниц текста с 52 иллюстрациями и 5 таблицами.

Во введении сформулированы цель и задачи исследования, обоснована актуальность темы диссертации, приведены выносимые на защиту основные положения.

В первой главе автор провел оценку современного состояния исследований процессов микроволновой обработки угля.

Во второй главе приведены результаты исследований электрофизических и теплофизических свойств угля Таловского месторождения. Описаны методики экспериментальных исследований и использующиеся средства регистрации основных контролируемых параметров и определяемых характеристик в экспериментах исследовавшихся процессов. Также определен экспериментально элементный состав угля, выход летучих и золы.

Третья глава посвящена представлению результатов математического моделирования процесса нагрева и сушки угольного массива умеренных размеров при воздействии СВЧ-излучения. Задача решена аналитически с использованием для описания фазового перехода (испарения) условия Стефана на границе раздела влажного и сухого угля. Предложен новый подход к решению такой задачи – смещение границы раздела регулируется квазистационарным температурным распределением (слой угля разделяется при этом на три зоны). При постановке задачи принято, что энергия СВЧ-излучения поглощается на границе фазового перехода. Полученное «приближенно-аналитическое» решение обеспечивает приемлемую для инженерной практики достоверность результатов моделирования.

В четвертой главе приведены результаты решения основной задачи диссертации численным методом с учетом зависимости электрофизических и теплофизических свойств угля от температуры и влажности. В этой же главе приведено решение задачи прогрева и сушки угля при воздействии

СВЧ-излучения в существенно более сложной постановке с использованием модели пористой среды. Для решения задачи использовался метод конечных элементов. В этой же главе представлены результаты верификации результатов аналитического и численного решений с использованием известных экспериментальных данных.

В заключении приведены основные результаты и выводы диссертационного исследования В.А. Карелина.

Общая методология и методика исследования.

Автор диссертации выполнил комплекс теоретических и экспериментальных работ. Особенность диссертации заключается в том, что В.А. Карелин решил основную задачу диссертации «приближенно-аналитически» и численно, а необходимые для математического моделирования исходные данные получил в результате собственных оригинальных экспериментов. При численном решении задачи автор использовал современный метод конечных элементов. Эксперименты проведены с использованием современных средств регистрации основных контролируемых параметров и характеристик исследовавшихся процессов.

Научная новизна результатов, выводов и защищаемых положений.

В.А. Карелин получил группу результатов, соответствующих критерию научной новизны. Наиболее значимыми являются следующие.

1. Сформулирована математическая модель процессов тепло- и массопереноса во влажном угле в условиях СВЧ-нагрева. Модель учитывает комплекс основных физических процессов, протекающих в угле при его объемном нагреве.
2. Получено приближенное решение задачи нагрева и сушки влажного угля в условиях СВЧ-нагрева.
3. Проведено решение задачи прогрева и сушки угля при СВЧ-нагреве численно методом конечных элементов.

4. Экспериментально определены электрофизические и теплофизические свойства бурого угля Таловского месторождения, которые в дальнейшем использовались при получении приближенного и численного решений задачи тепломассопереноса во влажном угле при СВЧ-нагреве последнего.

Совокупность полученных В.А. Карелиным при выполнении своего диссертационного исследования результатов можно квалифицировать как решение новой научной задачи, имеющей существенное значение для повышения энергоэффективности процессов подготовки углей к сжиганию в топках котельных установок тепловых электростанций.

Степень обоснованности и достоверности результатов, научных положений и выводов, сформулированных в диссертации.

Автор диссертации провел верификацию полученных им в результате приближенного и численного решений задачи тепломассопереноса в слое угля при воздействии СВЧ-излучения путем сравнения с результатами экспериментов других авторов. Сравнение показало хорошее соответствие результатов теоретических исследований автора и известных экспериментальных данных по изменению влажности угля с ростом времени в условиях СВЧ-нагрева.

Практическая значимость.

Угольная энергетика, как показывают происходящие в последние 2-3 года изменения в энергетической стратегии мирового сообщества, будет многие десятилетия одним из краеугольных камней мировой энергетики. Поэтому любые фундаментальные исследования, связанные с процессами подготовки к сжиганию в топках котельных агрегатов тепловых электростанций углей, имеют практическое значение как база для проведения в будущем опытно-конструкторских работ по разработке новых и модернизации использующихся технологий топливосжигания на угольных электростанциях.

Замечания по диссертации.

1. Автор неоднократно использует при описании постановок задач приближенного и численного решения словосочетания «при достижении температуры фазового перехода» и «полностью прогретое тело до температуры фазового превращения». В диссертации рассматривается одно фазовое превращение (или другими словами, один фазовый переход) – испарение. Испарение же жидкостей происходит при любой температуре, если есть градиент концентрации паров вблизи поверхности испарения. С изменением температуры, меняется скорость испарения. Поэтому вышеприведенные словосочетания искажают картину реальных физических процессов, протекающих во влажных углях при СВЧ-нагреве.
2. В диссертации параллельно используются три термина «аналитическое» решение, «приближенно-аналитическое» решение и «приближенные аналитические» решения, хотя автор говорит об одном решении. В современной математике используются три определения решений: аналитическое, приближенное и численное. Автор диссертации используя преобразования Лапласа и получая асимптотические ряды, таким образом получает приближенные решения. Использование термина аналитические решения в диссертации не обосновано.
3. При постановке задачи третьей главы принимается без обоснований допущение, что энергия СВЧ-излучения поглощается на границе раздела «вода-пар» (стр.79). В реальных процессах такой процесс поглощения теплоты маловероятен.
4. Для верификации разработанной автором математической модели и методов решения соответствующей краевой задачи математической физики автор диссертации использовал экспериментальные данные по зависимости влажности угля от времени, не указав доверительные интервалы этих экспериментальных данных.

5. При приближенном решении задачи сушки автор описывает процесс в рамках нелинейной задачи Стефана с фазовым переходом. Но задача Стефана корректна для фазовых переходов, происходящих при фиксированных температурах (например, плавление или кристаллизация). Стефан решал задачи промерзания и таяния грунта. Использование подхода Стефана к решению задачи с процессом испарения в диссертации не обосновано.
6. Нумерация рисунков в рукописи не соответствует современным требованиям.

Сделанные замечания не снижают высокой в целом оценки научной и практической значимости результатов диссертации В.А. Карелина. Исследования автора диссертации выполнены на высоком научном уровне, положения, выносимые на защиту, и выводы обоснованы.

Тема диссертационного исследования соответствует паспорту специальности 1.3.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника.

Основные результаты диссертационного исследования В.А. Карелина опубликованы в журналах, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ для публикации материалов кандидатских и докторских диссертаций.

Оформление диссертации в целом соответствует современным требованиям по подготовке рукописей и авторефератов кандидатских диссертаций.

Заключение

На основании анализа содержания рукописи и автореферата диссертации В.А. Карелина «Исследование тепломассопереноса в слое угля при воздействии СВЧ-излучения» можно сделать обоснованное заключение о ее соответствии требованиям пунктов 9-11, 13, 14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства РФ №842 от 24.09.2013 (ред. от 01.10.2018), а ее автор Вадим Александрович Карелин заслуживает присуждения ученой степени

кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника.

Настоящий отзыв обсужден и утвержден на расширенном семинаре Научно-образовательного центра И.Н. Бутакова Инженерной школы энергетики ФГАОУ ВО НИ ТПУ (протокол № 8 от «10» февраля 2023 г.)

Ведущая организация

федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ФГАОУ ВО НИ ТПУ),
634050, г. Томск, пр. Ленина, 30; сайт: <https://tpu.ru/>,
телефон: +7 (3822) 60-63-33, +7 (3822) 60-64-44, e-mail: tpu@tpu.ru

Отзыв составили:

Профессор Научно-образовательного центра И.Н. Бутакова
Инженерной школы энергетики
Федерального государственного автономного
образовательного учреждения высшего образования
«Национальный исследовательский
Томский политехнический университет»
профессор, доктор физико-математических наук

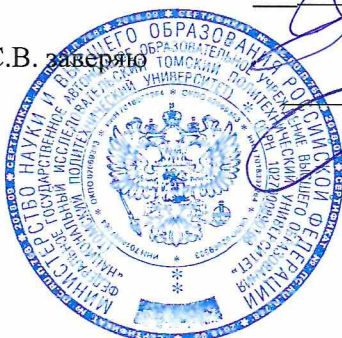


Кузнецов Гений Владимирович

Подпись проф., д.ф.-м.н. Кузнецова Г. В. заверяю
Ученый секретарь ТПУ

Кулинич Е.А.

Доцент Научно-образовательного центра И.Н. Бутакова
Инженерной школы энергетики
Федерального государственного автономного
образовательного учреждения высшего образования
«Национальный исследовательский
Томский политехнический университет»,
доктор технических наук



Сыродой Семен Владимирович

Подпись д.т.н. Сыродоя С.В. заверяю
Ученый секретарь ТПУ

Кулинич Е.А.