

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию 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

Диссертация посвящена установлению основных механизмов и закономерностей сушки слоя угля посредством нагрева слоя влажного угля источником СВЧ-излучения. Сушка угля является одним из этапов подготовки топлива для сжигания в котлах и энергетических установках в процессе его обогащения, или в особенности для бурых углей, которые имеют всегда повышенную влажность при его добыче. Сушка высоковлажных углей весьма медленный и энергозатратный процесс, поэтому изучение способов и средств сушки угля является актуальной задачей.

Автором диссертации была поставлена цель теоретического исследования тепло- и массопереноса в слое влажного угля при воздействии микроволнового излучения, оценка влияния теплофизических и электрофизических свойств угля на характеристики протекания процесса сушки.

Актуальность темы исследований также подтверждается тем, что она выполнялась в соответствии Государственным заданием ИТ СО РАН, а также была поддержана грантом РФФИ № 17-08-00752.

Общая характеристика диссертации

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 55 источников и 20 авторских публикаций.

Во **введении** обоснована актуальность темы работы, сформулированы цель и задачи исследования, определена научная новизна работы и представлены основные положения, выносимые на защиту.

В **первой главе** на основе обзора литературных источников даётся описание способа сушки угля с использованием СВЧ-излучения. Приведены

данные из научной литературы об известных экспериментальных результатах использования СВЧ-излучения для сушки, указаны перспективные для этого частоты, описан механизм взаимодействия микроволн с органическими материалами, приведены данные о глубине проникновения микроволн, определены существенные факторы, влияющие на эффективность микроволнового нагрева и сушку. Отдельно представлены математические модели СВЧ-нагрева и сушки влажных пористых материалов.

Во второй главе приведены результаты исследований электрофизических, теплофизических свойств и состава бурого угля Таловского месторождения Сибири. Данный вид угля можно использовать в качестве топлива для тепловых электростанций, котельных, но нуждается в предварительной подготовке (сушка, дробление, удаление примесей). Исследования проводились в соответствии с ГОСТ на определение влажности, зольности, выхода летучих компонентов, химического состава золы, получены конкретные теплофизические величины. Исследования проводились на стандартном оборудовании. Отдельно изучены электрофизические свойства угля при различных значениях его влажности. Электрофизические параметры угля меняются по мере роста температуры и падения влажности.

Третья глава посвящена моделированию СВЧ-обработки угольного слоя. Проведено моделирование процесса сушки СВЧ-воздействием на стадиях прогрева и сушки в квазистационарном режиме. На внешней границе учтен сложный режим теплообмена конвективный и лучистый. Решение задачи проводится аналитически с использованием преобразования Лапласа. С использованием преобразования Лапласа построены асимптотические решения для больших и малых времен. Автор обосновывает правильность полученных решений с аналитическими решениями других авторов для упрощенных частных случаев решенной задачи.

Автор диссертации показал квалифицированное владение эффективным инструментом аналитического решения уравнений в частных производных второго порядка – преобразование Лапласа.

Четвертая глава посвящена численному моделированию процесса сушки с учетом всех особенностей процессов прогрева СВЧ-излучением и процесса удаления влаги из пористого тела за счет диффузии и конвекции. Расчеты проведены с использованием свойств бурого угля Таловского месторождения, измеренных и приведенных в главе 2 диссертации. Приводятся сравнения полученных аналитических решений на стадиях прогрева и начала сушки угля. Получено, что аналитические решения с удовлетворительной точностью совпадают с численными, и обоснованно могут быть использованы для экспресс анализа основных характеристик процесса сушки (времени прогрева, времени начала сушки, времени окончания сушки).

В заключении сформулированы основные результаты работы

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций. Диссертантом проведен аналитический обзор современного состояния исследований в области сушки влажных пористых материалов. Обзор дает достаточно полное представление о современном состоянии исследований по теме диссертации. Обоснованы постановки задач исследования. Для определения теплофизических и электромагнитных свойств материала использованы стандартное оборудование, методы и методики согласно ГОСТам. Автор корректно использует известные научные методы обоснования полученных экспериментальных данных, выводов и рекомендаций. При математическом моделировании используются апробированные численные методы, проверенные на тестовых расчетах.

Оценка новизны. Результаты исследований, которые представлены в диссертационной работе выполнены на высоком научном уровне и обладают несомненной научной новизной. Впервые были выполнены численные расчеты процессов тепло- и массопереноса при микроволновом нагреве бурого угля Таловского месторождения, учитывающие зависимости теплофизических и электрофизических свойств топлива от температуры. Проведены измерения теплофизических и электрофизических свойств угля Таловского месторождения в условиях существенной вариации температуры нагрева и

влажности образца. Разработаны математические модели СВЧ-нагрева и СВЧ-сушки плоского угольного слоя, получены новые приближенно-аналитические решения, которые позволяют с высокой степенью достоверности определить влияние ряда факторов (напряженность электрического поля, время обработки и т.д.) на динамику этих процессов.

Теоретическая и практическая значимость. По результатам диссертационной работы разработаны приближенно-аналитические решения задач СВЧ-нагрева и СВЧ-сушки угля, которые позволяют провести параметрический анализ с целью нахождения энергоэффективных режимов обработки. Были получены численные решения задачи СВЧ-нагрева угля с учетом зависимостей теплофизических и электрофизических свойств угля от температуры.

Достоверность полученных результатов подтверждена сравнением с экспериментальными и теоретическими данными других исследователей, а также воспроизводимостью полученных экспериментальных результатов и тестовыми расчетами. Свойства бурого угля Таловского месторождения измерены на стандартном оборудовании с использованием методов и методик согласно ГОСТам.

Значимость результатов для науки и практики. Получены новые знания о физических механизмах сушки СВЧ-излучением слоя влажного угля. Представлены количественные величины о времени сушки, энергетических характеристиках СВЧ-излучателя. Получены приближенные аналитические решения, совпадающие с результатами моделирования, которые обоснованно могут быть применены для экспресс-анализа параметров и времени процесса сушки влажного пористого материала.

Полнота опубликования результатов исследований.

Результаты диссертационного исследования Карелина В. А. апробированы на научных конференциях различного уровня и публиковались в журналах, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ для публикации материалов кандидатских и докторских диссертаций (Journal of Engineering

Physics and Thermophysics; Journal of Engineering Thermophysics; Известия ТПУ и т.д.). Всего по теме диссертации опубликовано 20 работ, включая 11 статей, – в изданиях, входящих в перечень ведущих рецензируемых журналов, рекомендованных ВАК, а также входящих в базы данных Scopus и WoS.

Автореферат.

Содержание автореферата соответствует содержанию диссертации.

Замечания по диссертационной работе:

1. В третьей главе диссертации автор, получив решение в изображениях по Лапласу, проводит асимптотический анализ для больших и малых времен. На рисунках 30, 31, 32 приводятся температуры от времени в интервале чисел Фурье от 0 до 3.0 для асимптотического решения задачи при больших Фурье. На сколько это корректно автор не обсуждает.
2. В разделе 3.3 диссертации приводится постановка задачи СВЧ сушки угольного массива (3.36)-(3.45). Результаты численного решения этой системы уравнений приведено в 4.1.2, где в частности на рисунке 43 представлены зависимости скорости испарения на разной глубине слоя. Однако в постановке задачи (3.36)-(3.45) нет величин, определяющих испарение воды в толще угольного массива.
3. В п. 4.3 диссертации приведена модель тепло- и массопереноса при сушке угольного массива. В п. 4.6 представлены результаты численного решения. Однако в диссертации не указано, каким методом решалась система уравнений математической модели, какие проведены тестовые расчеты, исследование на сеточную сходимость, возможно, использовался какой-то пакет программ, что тоже не указано.
4. В диссертации следовало бы привести сравнительный технико-экономический анализ технологий сушки при микроволновом воздействии и при конвективном нагреве.
5. На рисунке 52 видно, что с повышением мощности источника СВЧ излучения отклонения теоретических и экспериментальных результатов существенно снижаются. При этом не указано с чем это может быть связано.

6. На стр. 49 «На основе полученного значения (температуропроводности) и ранее измеренного значения плотности образца рассчитывается теплоемкость и теплопроводность.» Как из двух значений определялся коэффициент теплопроводности и теплоемкость?
7. Стр. 76: «Увеличение мощности (рисунок 32) приводит к увеличенному темпу роста, но главное, при необходимости, позволяет увеличить максимальную температуру, достигаемую в материале.» Температура по-видимому ограничена температурой испарения?
8. На рисунке 38 сравнение распределений в разные моменты времени (88 с и 84.35 с).
9. В работе имеются опечатки: на стр. 16: «амплитуда излучения падает в $1/e$ раз...»; на стр. 30 в формуле (1.15) « $Пар: \frac{\partial}{\partial t} \left[\rho_v \phi (1-s) + \frac{\partial}{\partial x} [\rho_v u_v] \right] = \dot{n}$ » (квадратная скобка); на стр. 36 на рисунке 7 нет описания обозначенных кривых; на стр. 63 «d) неизотермичность угольного массива учитывается.» - она определяется из уравнения!!!; на стр. 78 «Суть данного метода заключается в том, что смещение подвижной границы фазового перехода регулируется квазистационарное температурное распределение.»

Общая характеристика диссертационной работы.

Указанные замечания не снижают научной и практической значимости представленных результатов и общей положительной оценки работы. Замечания продиктованы интересом к полученным результатам, а также дальнейшему развитию работы.

Диссертационная работа Карелина Вадима Александровича является законченной научно-квалификационной работой. Тема диссертационной работы Карелина В.А. «Исследование тепломассопереноса в слое угля при воздействии СВЧ-излучения», соответствует паспорту специальности 1.3.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника (П.1, П.8). В

рецензируемой диссертации содержится решение научной задачи определения параметров сушки слоя влажного угля с использованием СВЧ-излучения, имеющей значение для развития теплофизики и теоретической теплотехники.

На основании анализа содержания рукописи и автореферата диссертации В.А. Карелина можно сделать вывод, что данная работа соответствует требованиям п. 9-11, 13, 14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства РФ № 842 от 24 сентября 2013 г. (ред. от 01.10.2018 г.), а ее автор Карелин Вадим Александрович заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.14. Теплофизика и теоретическая теплотехника.

Официальный оппонент

Заведующий кафедрой математической физики
ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский
государственный университет»

Доктор физико-математических наук (специальность 01.04.14 –
Теплофизика и теоретическая теплотехника), профессор

 21.02.2023

Крайнов Алексей Юрьевич

Я, Крайнов Алексей Юрьевич, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с защитой диссертации Карелина Вадима Александровича, и их дальнейшую обработку.



Подпись Крайнова Алексея Юрьевича заверяю

Ученый секретарь ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский
Томский государственный университет»

Сазонтова Наталья Анатольевна, канд. геол.-минерал. наук

21.04.2022

ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский
Томский государственный университет»

634050, г. Томск, пр. Ленина, 36

Тел: 8-3822-529-845

E-mail: akrainov@ftf.tsu.ru

