

ОТЗЫВ

**официального оппонента на диссертационную работу
Донского Игоря Геннадьевича «Оценка эффективности энергетических технологий
на основе перспективных процессов газификации твердых топлив с помощью
кинетико-термодинамических моделей»,
представленную на соискание учёной степени доктора технических наук
по специальности 2.4.5. Энергетические системы и комплексы**

Цель работы

Автор ставит целью своей работы решение проблемы повышения эффективности переработки твердых топлив путем разработки взаимосвязанных методических подходов и математических моделей для анализа процессов термохимической конверсии твердых топлив для энерготехнологии, а также исследование на этой основе перспективных энергетических установок с газификацией твердых топлив разного состава и происхождения. Объектом исследования является термодинамическая эффективность энергетических технологий на основе газификации твердых топлив.

Актуальность работы

Повышение технической и экологической эффективности энергетического использования твердых топлив требует применения широкого диапазона процессов его термохимической конверсии. Среди этих процессов особое место занимает газификация – превращение твердого топлива в смесь горючих газов, пригодную для питания газовых циклов (ГТУ, ПГУ). Сейчас основную долю энергетических установок на твердых топливах составляют установки для его сжигания, однако в перспективе (и особенно это характерно для малых мощностей, где шире используется низкосортное топливо) доля установок с газификацией будет возрастать. В связи с этим разработка моделей, которые позволяют теоретически оценивать эффективность конверсии топлив в процессах газификации, является актуальной научно-технической проблемой. Представленная работа направлена на решение этой проблемы и связанных с ней задач, таких как анализ конкретных технологических решений (применение ступенчатой газификации), энергетических установок (ПГУ с внутрицикловой газификацией угля), а также развитие модельного и вычислительного инструментария на базе кинетико-термодинамического подхода.

Структура и содержание

Работа содержит 370 страниц и состоит из Введения, семи глав, заключения и списка литературы из 784 наименований. Текст диссертации сопровождается иллюстративным материалом в виде 161 рисунков и 49 таблиц.

Первая глава посвящена обзорной части, в которой автор представляет опыт работы газогенераторных установок в составе энергетических и энерготехнологических комплексов. Анализируются причины, по которым технологии газификации до сих пор не стали достаточно востребованными в энергетике. Излагаются физико-химические основы процессов газификации твердых топлив, представлен обзор математических моделей, призванных описывать результат конверсии топлив в газогенераторах различных типов. Обосновывается применение комбинированных, гибридных моделей для вычислительных исследований этих процессов.

Во второй главе более подробно обсуждаются детали численных схем и структура моделей. Проводится верификация предложенных математических моделей на основе большого набора экспериментальных данных. Основным результатом главы является подтверждение работоспособности этих моделей, что позволяет использовать их в дальнейшем для анализа и оптимизации газогенераторов разных типов.

В третьей главе автор останавливается на проблеме образования смолы при газификации низкосортных топлив, в первую очередь биотоплив. Показано, что пределы подавления смолообразования в традиционных процессах термодинамически ограничены, поэтому далее автор исследует варианты модификации процессов газификации биотоплив: ступенчатая газификация, использование каталитически активного материала. Для всех случаев получены оценки эффективности подавления смолы и диапазоны условий, в которых следует искать оптимальные режимы.

В четвертой главе исследуются процессы газификации отходов, таких как полимеры, шламы, высоковлажные и высокозольные топлива. Оценена эффективность получения водорода из высоковлажной биомассы. Для смесей качественных топлив с отходами рассчитаны пороговые значения доли последних при совместной газификации. Отдельно рассматривается явление агломерации при плавлении и спекании компонентов таких смесей: для описания этого явления разработана модель течения в пористой среде, а также проведен ряд экспериментов для подтверждения выводов о путях развития агломерации в слое топлив.

Пятая глава посвящена процессам газификации угольной пыли в несущем потоке окислителя. Разработанные автором математические модели используются для определения оптимальных стехиометрических и геометрических параметров для разных

углей и разных схем реакторов газификации. В шестой главе эта модель используется для анализа процессов газификации в схемах энергетических установок с улавливанием и удалением диоксида углерода. Автором показано, что рециркуляция диоксида углерода позволяет в некоторых случаях повысить эффективность конверсии топлива и КПД энергоустановки в целом.

В седьмой главе рассматривается детальная схема ПГУ с внутрицикловой газификацией угля. Автор сравнивает оптимальные конфигурации энергоустановки в зависимости от сорта угля и математической модели, служащей для описания узла газификации. Результаты показывают, что кинетико-термодинамическая модель позволяет более реалистично описать зависимость состава генераторного газа от условий реагирования, что приводит к смещению технико-экономических оценок по сравнению с простыми равновесными моделями процесса газификации.

В заключении кратко описываются результаты диссертационной работы, а также дается перечень направлений, в которых автор видит ее продолжение.

Теоретическая и практическая значимость результатов

Теоретическая значимость работы заключается в разработке новых математических моделей и эффективных вычислительных алгоритмов для решения задач, связанных с горением и газификацией твердого топлива. Эти модели и алгоритмы могут быть использованы, в том числе для теоретического исследования других процессов химической технологии и энерготехнологии.

Документы, подтверждающие внедрение результатов диссертационной работы, не приложены. Разработанные математические модели могут быть применены при разработке энерготехнологических установок, а также систем управления такими установками. Полученные технико-экономические оценки перспективных парогазовых установок с внутрицикловой газификацией твердых топлив могут быть интересны в качестве обоснования поисковых и проектных исследований в данном направлении.

Соответствие содержания паспорта специальности 2.4.5. Энергетические системы и комплексы

Диссертационная работа Донского И.Г. соответствует пп. 1, 2, 6 и 7 паспорта специальности 2.4.5. Энергетические системы и комплексы.

Обоснованность и достоверность результатов работы

Обоснованность и достоверность результатов работы подтверждается обширной валидацией математических моделей с использованием полученных в ИСЭМ СО РАН и опубликованных в научно-технической литературе экспериментальных данных, а также сравнением с теоретическими результатами других авторов (в т.ч. с результатами

термодинамических расчетов и численного моделирования). Методы исследования базируются на использовании законов термодинамики и химической кинетики, системного анализа, вычислительной математики и натурального эксперимента.

Новизна результатов диссертации

1. Предложен новый гибридный кинетико-термодинамический подход к моделированию перспективных энерготехнологических процессов. С его помощью исследованы закономерности физико-химических процессов превращений при переработке органических и минеральных компонентов твердых топлив, в том числе в составе энергетических и энерготехнологических установок. Предложенный подход позволяет использовать преимущества кинетических и равновесных моделей, комбинировать их для описания сложных физико-химических систем с химическими реакциями и тепломассопереносом.

2. На основе предложенного подхода разработаны новые численные алгоритмы для решения задач, связанных с горением и газификацией твердого топлива, основанные на методах расщепления и классических методах решения алгебраических и дифференциальных уравнений. Эти алгоритмы позволяют использовать физические особенности задач для сокращения объемов вычислений. Основной особенностью разработанных алгоритмов является комбинирование субмоделей разного типа для описания физико-химических процессов с последующим согласованием решений.

3. С помощью разработанных математических моделей получены теоретические оценки эффективности для перспективных процессов переработки твердых топлив:

а) Высокотемпературная воздушная газификация топливной пыли в ступенчатых реакторах: впервые исследован переход режимов работы реактора от одностадийного к двухстадийному, выявлены новые связи между эффективностью режима и распределением топлива по стадиям; исследованы новые способы снижения выбросов диоксида углерода за счет совместной газификации угля с древесиной, а также способ утилизации диоксида углерода в качестве дутьевого агента.

б) Ступенчатая газификация высоковлажной растительной биомассы с пиролизом сырья: рассмотрены новые варианты сочетания алло- и автотермических режимов в разных ступенях процесса, в т.ч. с пирогазификацией сырья на стадии подготовки; впервые оценена предельная эффективность получения горючего газа с учетом ограничений на температуру конверсии смолистых продуктов, оценены диапазоны условий с высоким выходом углеродистого остатка.

в) Совместная газификация отходов (бытовые отходы с высоким содержанием пластика, шламы сточных вод) вместе с качественным твердым топливом: исследованы процессы совместной конверсии угля, биомассы и муниципальных отходов; предложена новая методика оценки граничных значений эффективности и обоснованной массовой доли низкосортного топлива, обусловленной его особенностями (влажностью, спекаемостью, плавкостью золы), в смеси с более качественным.

4. В работе предложены новые модели парогазовых энергетических установок с низкотемпературной газификацией угля, с помощью которых проведены оптимизационные исследования по технико-экономическим критериям для разных условий.

Реализация результатов работы

Результаты работы использовались в ряде НИОКР, проводимых под руководством и с участием автора (гранты научных фондов РФФИ, РНФ, Минобрнауки РФ). Основные результаты работы докладывались и обсуждались на российских и международных конференциях.

Оценка изложения материала диссертации

Материал диссертации изложен понятно и логично, хорошо структурирован, дает полное представление о проведенных исследованиях. Проведенные исследования можно считать завершенными. Полученные результаты являются новыми. Оформление работы полностью соответствует установленным требованиям. Автореферат диссертации полностью соответствует содержанию диссертации.

Основные вопросы замечания по диссертации

1) Разд. 4.4: Переработка шламов требуется не только для переработки органической части, но и, что важнее, для утилизации неорганической части, которая часто содержит токсичные элементы. В связи с этим необходимо указать возможные превращения минеральной части шламов в рассматриваемых процессах газификации.

2) Разд. 4.7: На рис. 4.30 приводятся экспериментальные данные по газификации смесей угля с полиэтиленом, из которого видно, что время экспериментов ограничено ~30-40 минутами. При этом горение в случае с долей ПЭ 10% явно не завершено, что видно по составу газа. Какие критерии останковки эксперимента используются автором?

3) В разных разделах встречаются разные значения кинетических коэффициентов для рассматриваемых топлив, при этом не указываются методы их определения или источники, из которых они взяты.

Заключение

Работа Донского И.Г. выполнена на высоком научном уровне. Результаты представляют интерес для специалистов в области теплоэнергетики. Диссертация Донского Игоря Геннадьевича «Оценка эффективности энергетических технологий на основе перспективных процессов газификации твердых топлив с помощью кинетико-термодинамических моделей» соответствует специальности 2.4.5. Энергетические системы и комплексы и является завершенной научно-квалификационной работой, в которой предложены новые подходы к оценке термодинамической эффективности процессов газификации твердых топлив. Автором полностью выполнены требования ВАК в плане объема и качества публикаций, получены свидетельства о регистрации программ для ЭВМ. Диссертационная работа «Оценка эффективности энергетических технологий на основе перспективных процессов газификации твердых топлив с помощью кинетико-термодинамических моделей» по своей актуальности, ценности результатов, научной новизне, значимости и объему в полной мере удовлетворяет требованиям, предъявляемым к докторским диссертациям (пп. 9-14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Правительством РФ №842 от 24.09.2013 с изм. и доп.), а ее автор Донской Игорь Геннадьевич заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 2.4.5. Энергетические системы и комплексы.

Марьяндышев Павел Андреевич

Доктор технических наук, доцент

Профессор кафедры теплоэнергетики и теплотехники Высшей школы энергетики, нефти и газа

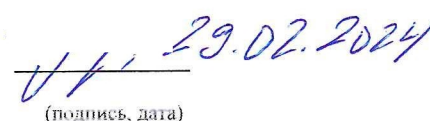
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова"

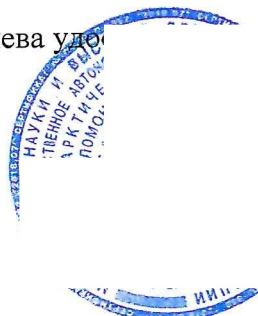
Адрес 163002, г. Архангельск, наб. Северной Двины, 17

+7(8182) 41-28-57

<http://www.narfu.ru/>

Подпись П.А. Марьяндышева


(подпись, дата)




" 29 " февраля 2024 г.