

ОТЗЫВ

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

1. Актуальность темы

Проблемы снижения выбросов загрязнителей как тепловых, так и токсичных от энергоисточников на органическом топливе обостряются последние десятилетия, особенно в связи с потеплением климата на земле. Политиками и энергетиками разных стран, в том числе в России принимаются решения об уменьшении доли ископаемых органических топлив в энергобалансах этих стран. Альтернативой отмеченным топливам являются возобновляемые ресурсы типа древесных опилок и мусорных отходов. Другим направлением снижения выбросов является кардинальное повышение эффективности сжигания органических топлив, которые пока невозможно заменить. Так в прогнозе научно-технического развития ТЭК России (до 2035 г.) предусмотрена разработка эффективных технологий газификации угля (ПГУ). Рассматриваемая диссертация посвящена как раз развитию технологий вышеуказанных направлений, а инструментом исследований являются математические модели, разрабатываемые автором. Таким образом, тема рассматриваемой диссертации является важной и актуальной.

2. Новизна исследований и полученных результатов

Представленные исследования являются комплексными: и с точки зрения методологии, включающей моделирование термодинамических процессов и уравнений химической кинетики, вычислительную математику, системный анализ и натурный эксперимент; и с точки зрения обширности изучаемых технологий, которые охватывают газификацию в слое и потоке угля, древесных отходов, их смесей со шламами сточных вод и полиэтиленом, технико-экономические расчеты угольных ПГУ и другие аспекты.

Автором предложен новый гибридный кинетико-термодинамический подход к моделированию различных энерготехнологических процессов. В рамках представленных исследований этот подход включает следующий набор субмоделей для описания процесса газификации: (1) блок сушки, представленный уравнением массопереноса между частицами топлива и газовой фазой;

(2) блок пиролиза, включающий одностадийное кинетическое уравнение; (3) блок газификации, включающий три кинетических уравнения для реакций коксозольного остатка с O_2 , CO_2 и H_2O ; (4) блок химических превращений в газовой фазе – равновесная термодинамическая модель.

Автором оценены области применимости указанных субмоделей, проведена их верификация. С их помощью проведены многофакторные численные расчеты для новых процессов газификации. В частности показаны преимущества ступенчатых процессов газификации, выявлены доли вторичного дутья и место его подачи в слой (для повышения качества генераторного газа).

При проведении натуральных экспериментов получено, что агломерация смесей биомассы и полиэтилена происходит при доле полиэтилена 20% и выше.

Автором рассчитаны показатели угольных ПГУ с внутрицикловой газификацией как оборудованных установками декарбонизации, так и без них. Лучшие значения КПД составили для двухступенчатой схемы, соответственно, 38,7 и 47,23%. Таким образом, проведенные исследования имеют высокую новизну.

3. Теоретическая и практическая значимость полученных автором результатов.

Теоретическая значимость заключается в разработке четырех вышеуказанных групп субмоделей и их комплексном использовании для оценки эффективности процессов газификации. Кроме того предложены схема и модель повышения химического КПД газификации в ПГУ путем оптимизации доли первичного топлива (50-60%) и значения коэффициента избытка окислителя (0,35-0,4), а также добавления в газифицирующую среду углекислого газа или водяных паров (вместо азота воздуха).

Другим важным примером моделирования является разработка уравнения разложения смолы при газификации биомассы в зависимости от геометрических характеристик реактора (слоя) и параметров реакции (энергии активации, температуры, времени).

Практическая значимость заключается в возможности применения полученных теоретических оценок при разработке и совершенствовании энерготехнологических установок.

4. Оценка содержания диссертации, ее завершенность.

Диссертация состоит из введения, 7 глав, заключения и списка литературы из 784 наименований.

Во введении обоснована актуальность темы исследования, определена научная новизна, сформулированы задачи исследования, перечислены основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе рассмотрены тенденции развития энергетики на твердом органическом топливе. Среди перспективных направлений выделены ступенчатые способы газификации низкосортных топлив. Выполнен обзор основных типов математических моделей, которые используются для исследования процессов горения и газификации твердых топлив. В частности сделан вывод о необходимости разработки приближенных моделей, учитывающих специфику исследуемых процессов.

Во второй главе дается подробное описание математических моделей газификации в слое и потоке окислителя. Детализируются значения коэффициентов теплопереноса, построен вычислительный алгоритм, основанный на методах расщепления по физическим процессам. Проведена верификация математических моделей на экспериментальном материале.

Третья глава посвящена исследованию перспективных способов снижения выхода смол в слоевых процессах газификации. Рассмотрены технологии: вторичного дутья, ступенчатой газификации бурого угля и древесной биомассы, каталитической слоевой газификации биомассы. Получено аналитическое решение для определения концентрации смолы на выходе из слоя. Для кокса и биомассы определены способы подачи вторичного воздуха и его оптимальные значения.

В четвертой главе экспериментально и теоретически исследуется переработка отходов. Рассматривается явление агломерации слоя частиц при сжигании и газификации отходов, содержащих спекающиеся материалы (полимеры, золу). Получены расчетные зависимости расхода газа и средней доли расплавившегося полимера от времени при различных условиях нагрева засыпки (слоя). По результатам экспериментов сделаны выводы: спекание слоя из опилок и полиэтилена происходит при его доле 20%; спекание слоя из бурого угля и полиэтилена – при его доле 10%.

В пятой главе моделируются перспективные процессы газификации пылевидного топлива в потоке дутья. Рассмотрены следующие процессы газификации: древесной пыли в потоке парокислородного дутья; каменного угля и биомассы (совместно); ступенчатая для каменного угля при высоких температурах; каменного угля в высокотемпературном паровоздушном потоке; бурых углей в паровоздушном потоке. Для каждого из рассмотренных процессов выявлены оптимальные условия (давление, поддержание температур

газа при температурах плавления золы (для повышения надежности газогенераторов) и другие факторы).

В шестой главе рассмотрены процессы газификации угольной пыли с рециркуляцией продуктов сгорания. Расчетами, в частности, показано, что при переходе от воздушных смесей (в потоке) к кислородно-углекислым температура процесса снижается на 200–300 К, а химический КПД увеличивается на 10-20%.

Рассчитаны схемы ПГУ с внутрицикловой газификацией угля как без установок улавливания CO_2 , так и с ними. Определен КПД ПГУ, который, соответственно, составил 43–47% и 25–39%. Сделан вывод, что двухступенчатый процесс газификации является более эффективным для угольных ПГУ из-за лучшего качества генераторного газа.

В седьмой главе представлены оптимизационные исследования ПГУ с внутрицикловой газификацией бурых углей, заданным расходом топлива и одноступенчатым процессом газификации с воздушным дутьем. В исследовании сопоставляются три типа моделей. В том числе кинетико-термодинамическая модель, разработанная автором. Показано, что последняя модель позволяет получить более реалистичную оценку качества генераторного газа сравнительно с другими моделями (конечного термодинамического равновесия). Расчетный КПД производства электроэнергии при использовании кинетико-термодинамической модели составил 40-50%, а удельные капиталовложения – 2500–3000 долл за кВт.

В заключении представлены основные результаты и выводы диссертационной работы, а также перечислены дальнейшие предполагаемые направления исследований автора.

В целом диссертация представляет законченную научно-квалификационную работу.

5. Обоснованность и достоверность полученных результатов

Обоснованность полученных результатов обеспечивается 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.

6. Соответствие паспорту специальности 2.4.5.

Энергетические системы и комплексы

Диссертационная работа соответствует паспорту специальности 2.4.5. Энергетические системы и комплексы в следующих пунктах:

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;

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;

п. 6: теоретический анализ, экспериментальные исследования, физическое и математическое моделирование, проектирование энергоустановок, электростанций и энергетических комплексов, функционирующих на основе преобразования возобновляемых видов энергии (энергии водных потоков, солнечной энергии, энергии ветра, энергии биомассы, энергии тепла земли и других видов возобновляемой энергии) с целью исследования и оптимизации их параметров, режимов работы, экономии ископаемых видов топлива и решения проблем экологического и социально-экономического характера;

п. 7: исследование влияния технических решений, принимаемых при создании и эксплуатации энергетических систем и комплексов, на их финансово-экономические и инвестиционные показатели, региональную экономику и экономику природопользования.

7. Замечания и вопросы по работе

7.1) При моделировании процессов газификации и смолообразования недостаточно использованы возможности равновесных термодинамических моделей для получения данных об условиях (возможности) образования смолы при пиролизе конкретных топлив (давлениях, температурах, концентрациях и других параметрах). Подобные исследования проводились, в частности, оппонентом с помощью МЭПС применительно к процессам генерации бенз(а)пирена при пиролизе природного газа (при минимизации энергии Гиббса и ограничениях на энтальпию системы) и изложены в публикации «Термодинамический анализ экологических характеристик процессов сжигания природного газа // Теплоэнергетика – 2010. - №7. – С. 75-80.». Указанные данные могли бы уточнить и дополнить расчеты, проведенные автором.

7.2) На с. 124 автор указывает, что модельным соединением смолы служит крезол (C_7H_8O), а на с. 149 – компонент $C_{10}H_{16}O_{0,6}$. Там же автор замечает, что «конкретная формула не имеет значение, поскольку после сжигания смола разлагается». С отмеченной фразой нельзя согласиться,

поскольку смола снижает и качество генераторного газа и надежность работы оборудования уже до камеры сжигания. Точная формула помогла бы получать и более точные как кинетические, так и термодинамические результаты (в том числе по замечанию 7.1).

7.3) В работе нет оценок образования сажи при газификации. Её модельным соединением мог бы быть бенз(а)пирен, а его генерацию можно оценить с помощью МЭПС (как и смолу).

Приведенные замечания и вопросы не снижают общей положительной оценки диссертационной работы, поскольку не влияют на основные выводы и научные результаты.

Заключение

Диссертация Донского Игоря Геннадьевича «Оценка энергетических технологий на основе перспективных процессов газификации твердых топлив с помощью кинетико-термодинамических моделей» по научной специальности 2.4.5. «Энергетические системы и комплексы» является самостоятельно выполненной работой, в которой решена важная научная проблема повышения эффективности переработки твердых топлив. Содержание диссертации соответствует паспорту научной специальности 2.4.5. «Энергетические системы и комплексы» по четырём пунктам области исследования. Содержание автореферата соответствует и отражает содержание диссертации. Научные положения, выводы и рекомендации, представленные в диссертации и автореферате в полной степени, обоснованы. Достоверность и новизна полученных результатов не вызывает сомнения. Содержание диссертации в полной мере отражено в публикациях из актуального перечня журналов ВАК и прошло достаточную апробацию на конференциях и симпозиумах.

Диссертационная работа Донского Игоря Геннадьевича соответствует всем требованиям, предъявляемым к докторским диссертациям, и критериям пунктов 9-14 Положения «О порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 №842 (с изм. и доп.), а соискатель заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по научной специальности 2.4.5. Энергетические системы и комплексы.

Официальный оппонент, профессор кафедры энергетики Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Братский государственный университет», доктор технических наук, доцент


Елсуков В.К.

29 февраля 2024 г.



Контактные данные: Елсуков Владимир Константинович,
тел.: +79501493230, e-mail: elswk@mail.ru.

Место работы: Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования «Братский
государственный университет»,

Адрес: РФ, 665709, Иркутская область, г. Братск, ул. Макаренко 40.

Тел/факс: 8 (3953) 344-011

Сайт <http://brstu.ru/>

E-mail: rector@brstu.ru