

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Свищева Дениса Алексеевича «Термодинамический анализ и исследование механизма слоевой обращенной газификации биомассы», выполненную по специальности «01.04.14 – теплофизика и теоретическая теплотехника» на соискание ученой степени кандидата технических наук.

Вопросы активного вовлечения биомассы в топливно-энергетический цикл достаточно активно обсуждаются мировым научным сообществом на протяжении последних 20–30 лет. Предложен ряд интересных научно-обоснованных, энергетически, экономически и экологически выгодных решений как в интересах объектов малой энергетики, так и энергетических сетей целых государств. В этом направлении особенно сильно продвинулись в Европе (Дания, Швеция, Германия и др.). Такое состояние дел обусловлено несколькими причинами. Ключевой из них является то, что у указанных государств имеется сильная зависимость от других стран в энергоресурсах. За счет вовлечения биомассы такую зависимость можно несколько ослабить. Прямое сжигание биомассы приемлемо во многих случаях, но такой подход ее применения сложно считать оптимальным и тем более эффективным. Нужно развивать соответствующие технологии вовлечения биомассы в топливный цикл с учетом комплексных индикаторов, учитывающих экологические, экономические и энергетические факторы. В рецензируемой диссертации Д.А. Свищева развивается один из интересных подходов, заключающийся в слоевой обращенной газификации биомассы. В связи с этим можно сделать обоснованный вывод о том, что **тема диссертации, безусловно, актуальна.** Следует также подчеркнуть, что тема диссертации **соответствует приоритетному направлению развития науки в Российской Федерации** (Указ Президента России от 07.07.2011 № 899): «Энергоэффективность, энергосбережение, ядерная энергетика».

Диссертация Д.А. Свищева **состоит из введения, пяти глав и заключения.** Полный объем диссертации составляет 142 страницы с 28 рисунками и 15 таблицами. Список литературы содержит 240 наименований.



Можно дополнительно отметить хорошую структурированность рукописи диссертации.

**Во введении** автор формулирует проблему отсутствия научно-обоснованных оптимальных решений в области слоевой обращенной газификации биомассы. Прокомментированы цель, задачи, научная новизна, практическая значимость исследований, защищаемые положения и вклад автора диссертации.

**В первой главе** проведен сравнительный анализ работ известных научных центров и коллективов в области газификации биомассы. Прокомментированы современные тенденции исследований. Отражен задел мирового научного сообщества в области изучения влияния на интегральные характеристики газификации биомассы таких параметров и факторов, как температура нагрева, тонина помола твердых частиц, интенсивность дутья, влажность и химический состав биомассы. Обсуждены основные сложности экономического обоснования перспектив широкого применения данных технологий. Выполнены оценки КПД соответствующих установок. Сформулированы ключевые проблемы и обозначены пути их решения в рамках диссертационной работы.

**Вторая глава** диссертации посвящена описанию использованного при выполнении диссертационных исследований стенда и основных методик измерений, а также составления материального и энергетического балансов, принципов построения термодинамической модели.

**В третьей главе** приведены основные полученные на стенде результаты, выполнен их анализ, а также валидация равновесной модели. Ключевой научный результат состоит в формулировании гипотезы о нетипичном механизме газификации биомассы.

**Четвертая глава** диссертации содержит результаты исследований отдельных реакционных зон слоя при слоевой обращенной газификации древесной биомассы. Выполнено обоснование причин формирования таких зон и анализ условий, при которых можно управлять данными эффектами.



**В пятой главе** диссертации представлены результаты экспериментальных исследований горения частиц древесины в потоке фурменного воздуха для воспроизведения условий протекания соответствующих физико-химических процессов в прифурменном пространстве слоевого реактора.

**В заключении** приведены основные выводы диссертационной работы, а также обсуждены результаты выполненного термодинамического анализа и экспериментов.

Из анализа содержания автореферата и рукописи диссертации можно заключить, что **научная новизна** рецензируемой диссертации Д.А. Свищева заключается в следующем:

1. Предложена оригинальная методика термодинамического анализа экспериментальных режимов на множестве расчетных. Новизна в сравнении с известными аналогами состоит в том, что комплексно учитывается влияние группы перечисленных в работе факторов на характеристики процесса конверсии древесной биомассы.
2. Уточнен механизм процесса газификации твердого топлива в части демонстрации закономерностей термохимических процессов и их связей с равновесной термодинамикой. Выделены факторы, процессы и эффекты, замедляющие газификацию древесной биомассы.
3. Сформулирована гипотеза о нетипичном механизме слоевой конверсии древесного топлива в реакторе обращенного типа. Обоснована правомерность последней с использованием экспериментальных данных и результатов термодинамического анализа.

Следует отметить **обоснованность сформулированных научных положений** диссертационных исследований, которая заключается в убедительных заключениях и выводах, а также непротиворечащих физике приведенных гипотезах и заключениях.

**Практическая направленность** диссертации Д.А. Свищева заключается в том, что в рамках диссертационных исследований предложен программно-



технический комплекс, позволяющий не только определять условия эффективной слоевой обращенной газификации биомассы, но и уточнять механизмы, стадии и связи между физико-химическими процессами. Как следствие, результаты исследований полезны как для научного сообщества, так и для инженеров, проектирующих и эксплуатирующих системы, предназначенные для конверсии твердых топлив. Можно отметить поддержку исследований со стороны Российского научного фонда. В диссертации приведен номер соответствующего проекта и прокомментирован объем выполненных исследований в рамках последнего.

**Достоверность** полученных автором диссертации результатов основана на выполненном анализе основных погрешностей в проводимых измерениях, сравнении с известными данными других авторов, а также в комплексном подходе прямых и косвенных оценок адекватности получаемых данных.

В диссертации и автореферате отражен личный вклад автора, а также сформулированы благодарности коллективу и коллегам, с которыми проводились эксперименты, расчеты, анализ результатов, подготавливались статьи и доклады на конференциях.

Анализ содержания рукописи и автореферата диссертации дает основание для формулирования нескольких **замечаний и рекомендаций**:

1. В тексте рукописи приводится достаточно большой объем экспериментальных данных и теоретических расчетов с использованием символов или текстовых пояснений вычисляемых параметров и характеристик. Используются количественные и буквенные индексы. При этом применяются обозначения на двух языках (русский, английский). Размерности не везде представлены. Следовало в начале диссертации привести общий список обозначений и размерностей. В таком случае удалось бы единообразно выстроить список символов и индексов.
2. Обзор литературы выполнен достаточно емко. Но для обоснования необходимости такого детального анализа задела мирового научного сообщества целесообразно было построить связи и переходы к другим



главам диссертации. Иначе возникают вопросы при прочтении первой главы о целесообразности обсуждения тех или иных деталей, если дальше в диссертации им не уделяется внимание.

3. Формулировки защищаемых положений не дают возможности понять, какие новые результаты автор диссертации получил и планирует защищать. Следовало, например, в первом положении использовать оборот «отличающийся от известных тем, что ...». В целом сложно согласиться с автором диссертации, что он предложил новый термодинамический метод. Скорее речь идет о методике. Это разные термины. Во втором и третьем защищаемых положениях можно было сформулировать конкретные результаты и закономерности, которые автор выделил. Четвертое положение, с точки зрения научной новизны, представляет основной интерес. Его следовало сформулировать в виде пояснения, в чем состоит установленное в диссертации принципиальное отличие от классического механизма газификации древесной биомассы. В тексте диссертации ответы имеются, но их следовало лаконично отразить в защищаемых положениях.
4. При планировании экспериментальных исследований не хватает обоснований выбора конструкции стенда, основных элементов, принятой схемы, их связи со свойствами биомассы и др. Остается открытым вопрос об ограничениях и дополнительных возможностях стенда. Представляется целесообразным их более подробное обсуждение.
5. Аналогичные вопросы возникают при изучении раздела с термодинамическим моделированием процесса газификации. Рассматриваемые в рамках диссертации физико-химические процессы сопровождаются фазовыми превращениями и являются очень сложными. Если анализировать публикации в авторитетных международных журналах, например, Applied Thermal Engineering, Chemical Engineering Journal, Combustion and Flame, Combustion Science and Technology, Energy, Fuel, Fuel Processing Technology и др., то подход на основе термодинамического анализа применяется нечасто. Гораздо чаще проводится численное



моделирование. Поэтому важно было привести обоснование причин выбора подхода и сравнение с известными данными, полученными при численном моделировании процессов конверсии твердых топлив (как с применением собственных программных кодов, так и коммерческих пакетов математического моделирования).

6. В главе с результатами исследований приводятся измеренные данные без демонстрации и обсуждения доверительных интервалов и СКО. В некоторых случаях изменения регистрируемых параметров ограничены малыми диапазонами, которые, скорее всего, соответствуют случайным погрешностям измерений.
7. При обосновании сформулированной гипотезы о нетипичном механизме слоевой газификации древесной биомассы целесообразно было использовать известные модели пиролиза твердых частиц при нагревании в потоке воздуха. За последние годы опубликована серия статей коллективами из России, Китая, Японии, Индии и Германии. Основные отличия состоят в учете кинетики физико-химических процессов. Об этом в диссертации практически ничего не сказано.
8. Разделы 3.1.2, 3.2.3 имеют странные заголовки “Ограничения эффективности” и несколько собирательный подход к наполнению. Следовало пояснить цели этих разделов, выстроить структуру и конкретизировать заголовки.
9. Выводы по каждой главе целесообразно усилить количественными примерами и конкретными эффектами, а также выстроить в виде строгой последовательности с соответствующей нумерацией.
10. В целом в тексте рукописи слишком много разделов с объемом по 2–4 страницы. Следовало более укрупненно готовить параграфы и выстраивать логические связи между ними.

**Сделанные замечания не снижают общей положительной оценки диссертационной работы Д.А. Свищева.** Считаю, что сформулированные замечания и вопросы помогут диссертанту в дальнейших исследованиях.



**Тема диссертации** Д.А. Свищева «Термодинамический анализ и исследование механизма слоевой обращенной газификации биомассы» **соответствует паспорту специальности «01.04.14 – теплофизика и теоретическая теплотехника»** (по части **формулы специальности:** «численное и натурное моделирование теплофизических процессов в природе, технике и эксперименте»; **области исследований:** «экспериментальные и теоретические исследования процессов взаимодействия интенсивных потоков энергии с веществом»), так как в диссертации приведены результаты экспериментальных и теоретических исследований физико-химических процессов при газификации биомассы. **По отрасли наук** диссертационная работа соответствует требованиям, предъявляемым к работам **на соискание ученой степени кандидата технических наук**, так как она направлена на разработку эффективных способов и технологий конверсии твердых древесных топлив.

**Содержание автореферата в целом соответствует содержанию рукописи диссертации.**

Результаты диссертационного исследования Д.А. Свищева регулярно **докладывались на научных конференциях различного уровня** (в университетах и исследовательских центрах России, Китая, Австрии и др.). Имеются **статьи в журналах**, рекомендованных ВАК Министерства высшего образования и науки РФ для публикации материалов кандидатских и докторских диссертаций («Физика горения и взрыва», «Химия твердого топлива», «Теплоэнергетика», «Combustion Theory and Modelling», «Fuel», «Journal of Thermal Analysis and Calorimetry» и др.).

К диссертации приложена **справка о возможности использования результатов диссертационных исследований на объектах ООО «МБА-Теплоснаб»** (г. Иркутск).

На основании анализа содержания рукописи и автореферата диссертации Д.А. Свищева можно сделать вывод о том, что **диссертационная работа соответствует требованиям п. 9 Положения о**



присуждения ученых степеней, так как является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение задачи, имеющей существенное значение для развития топливно-энергетического комплекса в направлении экологически, экономически и энергетически эффективной конверсии древесного топлива.

Считаю, что Денис Алексеевич Свищев заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.14 - теплофизика и теоретическая теплотехника.

Доктор физико-математических наук, профессор  
(01.04.14, физико-математические науки),  
профессор Исследовательской школы физики высокоэнергетических процессов  
Национального исследовательского Томского политехнического университета  
Стрижак Павел Александрович  
(3822) 606-102  
pavelspa@tpu.ru

Подпись П.А. Стрижака заверяю  
Ученый секретарь Национального  
исследовательского Томского  
политехнического университета  
Ананьева Ольга Афанасьевна

Национальный исследовательский  
Томский политехнический университет  
634050, г. Томск, пр. Ленина, д. 30  
т. 8(3822), 701-777  
<https://tpu.ru/>  
06.05.2019

