

**Отзыв на автореферат диссертации Донского Игоря Геннадьевича  
«Оценка эффективности энергетических технологий на основе перспективных процессов  
газификации твердых топлив с помощью кинетико-термодинамических моделей», представленной на  
соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.4.5. Энергетические системы  
и комплексы**

Парогазовые установки с внутрицикловой газификацией твердого топлива (ПГУ-ВЦГ) это класс высокомошных энергоустановок, которые наряду с пылеугольными энергоблоками на суперсверхкритических параметрах являются перспективным направлением развития твердотопливной энергогенерации. ПГУ-ВЦГ позволяют (за счет более эффективных термодинамических циклов и возможности глубокой очистки промежуточных продуктов) получать электроэнергию с КПД выше 45%, при этом существенно снизить вредные выбросы (в т.ч. парниковых газов). Разработка высокоэффективных ПГУ-ВЦГ соответствует приоритетным направлениям науки и техники РФ в части технологий эффективного производства и преобразования энергии на органическом топливе. Такими разработками занимаются ведущие производители энергетического оборудования (General Electric, Mitsubishi Hitachi Power Systems и т.д.).

Проблемы ПГУ-ВЦГ, как и многих чистых угольных технологий, заключаются в высоких капитальных затратах. Поэтому выбор схем таких установок связан с тонкими оптимизационными исследованиями разных вариантов организации узлов производства и энергетического использования генераторного газа. Естественно, что натурные исследования этих вариантов потребовали бы большого числа дорогостоящих испытаний. Более рациональным путем является сочетание таких испытаний с математическим моделированием протекающих в энергоустановках процессов. Ключевым процессом в ПГУ-ВЦГ является процесс газификации топлива. В связи с этим выбор объекта исследования представленной диссертационной работы является актуальным и практически полезным. Автором разработан набор математических моделей, позволяющих оценивать эффективность процессов газификации топлива в условиях промышленных реакторов. Эти модели занимают промежуточное место между упрощенными способами расчета (балансовыми или термодинамическими) и детальными (термогидродинамическими), что позволяет использовать их для отсева вариантов при переходе от оптимизации стехиометрии к выбору технологических решений (например, распределения потоков по ступеням или геометрических размеров реакционной зоны).

Замечания и вопросы по тексту автореферата:

1) Утилитарное («бухгалтерское») наименование темы «Оценка эффективности энергетических технологий на основе перспективных процессов газификации твердых топлив с помощью кинетико-термодинамических моделей» узкое и весьма неудачное. Полностью отвечая п. 7 паспорта специальности, оно совершенно не отражает разнообразный и глубокий творческий поиск, новые закономерности и уникальные научные результаты, изложенные в основной части работы и полностью отвечающие п.п. 1, 2 и 6 паспорта специальности.

2) О практической значимости работы. Несмотря на акцент, отмеченный в первом замечании, работа носит академический характер, и вопрос практической значимости проработан слабо, без привязки к реальному сектору экономики и не подкреплён отзывами представителей бизнеса.

3) Приведенные на рис. 15 зависимости получены в предположении об аддитивности температуры плавления золы, что является довольно грубым приближением. Чем оно обосновывается? Можно ли учесть взаимодействие минеральной части угля и биомассы в рамках модели автора?

4) Эксергетический КПД газификации в высокотемпературном дутье является малоинформативным критерием, если генераторный газ охлаждается на стадии очистки.

5) Расчеты автора (рис. 18) показывают, что при газификации бурых углей наблюдается существенный выход недожога. Означает ли это, что ПГУ-ВЦГ, описанная в седьмой главе, также работает с высоким выходом недожога?

6) Рисунок 3 и 11. Слишком мелкий размер шрифта затрудняет понимание рисунков даже в электронной версии автореферата. В печатном виде текст может быть совсем нечитабельным.

7) Рисунок 4. На данном рисунке приведены результаты валидации разработанной модели по экспериментальным данным, полученным на слоевой и поточной установке. При этом поточный реактор назван просто «двухступенчатый», что на самом деле определяет этот реактор меньше, чем его поточный режим. В тексте к этому рисунку не даётся пояснений, как одна и та же модель одинаково хорошо применима для принципиально разных процессов газификации (слоевого и поточного). С термодинамической точки зрения слоевые и поточные процессы могут быть близки, но кинетические ограничения делают их сильно отличными друг от друга. В первую очередь это обуславливается уровнем температур внутри установки и на выходе из неё. Если для поточных воздушных установок 1100–1200°C на выходе считается нормой, то для слоевых 800–900°C уже является большой температурой. На первый взгляд небольшая разница в температурах приводит к существенному изменению скоростей реакций, создавая другой расклад в их конкурировании. В связи с этим принято использовать разные модели для слоевых и для поточных процессов. Создание одной большой универсальной модели выглядит неоправданным шагом, так как она будет проигрывать в скорости и точности нескольким специализированным моделям.

8) Рисунок 7. Избыток воздуха обозначен символом  $\alpha$ . При этом на рисунке 9. Символом  $\alpha$  уже обозначен коэффициент избытка окислителя. Отсюда возникает вопрос, величины, обозначенные символом  $\alpha$  вычислялись по одной формуле? Если да, то эту формулу следовало бы привести, и везде в работе использовать один термин. При исследовании такого широкого круга режимов принято пользоваться термином «коэффициент расхода окислителя», так как именно он наиболее полно отражает физику исследуемых процессов.

9) На страницах 19 и 21 указано на исследования агломерации различных топлив. При этом в описании модели не сказано, что она содержит подмодели, способные отражать процесс образования агломератов. Кинетическая и термодинамическая модели могут лишь косвенно описывать возникновение агломераций. В связи с этим становится не понятно, какой метод использовался для моделирования образования агломераций.

10) На странице 23 написано, что проведено моделирование поточной парокислородной газификации биомассы с использованием литературных экспериментальных данных. Однако, в этих экспериментах в качестве топлива использовалась пелетированная и/или торрефицированная биомасса, которая существенно отличается по составу от сырой биомассы и близка к угольному топливу. Применение пелетированной и торрефицированной биомассы обусловлено как раз их улучшенными топливными характеристиками по сравнению с сырой биомассой, соответственно, в этих исследованиях не описано решение проблем, присущих биомассе. Без указания данного момента (специальной подготовки биомассы) дальнейший анализ не полностью отражает действительность.

Указанные замечания не снижают ценности работы.

Диссертация Донского И.Г. «Оценка эффективности энергетических технологий на основе перспективных процессов газификации твердых топлив с помощью кинетико-термодинамических моделей»

выполнена на высоком научно-техническом уровне и представляет собой значительный вклад в область исследования. Работа полностью удовлетворяет требованиям, предъявляемым ВАК РФ к докторским диссертациям (п. 9-14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Правительством РФ от 24.09.2013 №842 с изм. и доп.). Соискатель Донской Игорь Геннадьевич заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 2.4.5. Энергетические системы и комплексы.

Рыжков Александр Филиппович  
доктор технических наук, профессор  
620002, Екатеринбург, ул. С. Ковалевской, 5  
+7(343)375-47-31, +7(343)359-18-79, tes.urfu@mail.ru  
профессор кафедры тепловых электрических станций Уральского  
энергетического института (УралЭНИИ)  
Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования "Уральский федеральный  
университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина"

Я, Рыжков Александр Филиппович, автор отзыва на автореферат диссертации Донского И.Г. «Оценка эффективности энергетических технологий на основе перспективных процессов газификации твердых топлив с помощью кинетико-термодинамических моделей», в соответствии с Федеральным законом от 27.07.2006 № 152-ФЗ «О персональных данных» настоящим даю согласие Федеральному государственному бюджетному учреждению науки Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева Сибирского отделения Российской академии наук (ИСЭМ СО РАН), место нахождения: 664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 130, на базе которого создан диссертационный совет 24.1.118.01, на обработку моих персональных данных, связанных с работой диссертационного совета.

Дата

15 ФЕВ 2024

Подп

Ф.И.О.

Рыжков Александр Филиппович

ПОДПИСЬ  
ЗАВЕРЯЮ.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕ  
МОРОЗОВА

*Рыжков А.Ф.*

*А.Ф.*

