

Отзыв

официального оппонента

о диссертации **Копьева Евгения Павловича «Исследование горения жидкого топлива в условиях паровой газификации»**, представленной на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 01.04.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника

В настоящее время основной вклад в загрязнение окружающей среды вносит автомобильный транспорт, накопление отработанных моторных и трансмиссионных масел, смазочных жидкостей, нефтяных шламов, отходов нефтедобычи и нефтепереработки. Значительная часть этих отходов может подвергаться сжиганию. Технологии утилизации этих дешевых энергоносителей с производством тепловой энергии должны иметь низкий уровень токсичных выбросов. Известные технологии не всегда соответствуют этому требованию. Поэтому **актуальной задачей** является проведение исследований и создание на их основе технологий, обеспечивающих высокую полноту сгорания и относительную безвредность продуктов.

Например, разработка перспективных горелочных устройств для сжигания жидких углеводородов требует изучения ряда взаимосвязанных процессов, таких как формирование пространственной структуры турбулентного реагирующего потока, тепло- и массообмен, образование частиц сажи, смесеобразование, воспламенение, газификация и выгорание топлива, производство продуктов сгорания без нарушения нормативов по вредным выбросам. Эти процессы служат предметом многочисленных современных исследований, одним из которых является метод впрыска пара при сжигании низкокачественных видов жидкого углеводородного топлива и опасных промышленных отходов. Этот метод давно используется в дизельных двигателях, в газотурбинных установках, при газификации твердого топлива и биотоплива. Однако на сегодняшний день упомянутые процессы недостаточно хорошо изучены.

Тема диссертационной работы Копьева Е.П. является **актуальной** и соответствует приоритетному направлению Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации «Переход к экологически чистой и

ресурсосберегающей энергетике, повышение эффективности добычи и глубокой переработки углеводородного сырья, формирование новых источников, способов транспортировки и хранения энергии». **Целью** работы является изучение влияния водяного пара на показатели горения жидких углеводородов в горелочных устройствах испарительного типа. Проведенное комплексное экспериментальное исследование на примере дизельного топлива и отработанного масла подтверждает перспективность способа сжигания с подачей пара. Результаты исследований вносят вклад в развитие научных основ решения задач экологически чистой и ресурсосберегающей теплоэнергетики.

Представленная на отзыв диссертация изложена на 130 страницах, содержит 41 рисунок и 7 таблиц, состоит из введения, 3-х глав, заключения и 3-х приложений. Список литературы составляет 170 источников. По теме диссертации опубликовано 32 работы, включая статьи в ведущих рецензируемых научных журналах (из них 7 – в изданиях, рекомендованных ВАК), получено 3 патента РФ.

Во введении обоснована **актуальность** темы диссертации, определены основные цели и задачи работы и используемые методы исследования. Коротко описаны основные научные результаты, их научная новизна и приведены основные положения, выносимые на защиту.

В главе 1 представлено современное состояние проблемы: обзор научно-технической литературы, анализ отечественных и зарубежных источников по теме диссертации. Описаны основные особенности сжигания жидкого и твёрдого топлива, а также эффекты, достигаемые при использовании воды (пара) в процессе горения углеводородов. Проанализированы методы исследования тепловых, газодинамических и экологических характеристик горения. Приведен обзор патентов на жидкотопливные горелочные устройства с указанием недостатков аналогов, сделан вывод о том, что исследуемое горелочное устройство обладает новизной и изобретательским уровнем, соответствует условию промышленной применимости.

Глава 2 посвящена описанию экспериментального стенда и лабораторных образцов горелочных устройств (ГУ), применяемых методик измерений поля скорости и распределения температуры в факеле, тепловыделения и состава

уходящих газов при горении жидкого углеводородного топлива с паровой и с воздушной газификацией.

В работе использованы два типа горелочного устройства: с *самоподогревом* воды и водяного пара от продуктов горения и с *принудительным* нагревом. В первом случае паровой нагреватель обеспечивал подачу водяного пара с фиксированными параметрами. Вместо пара мог использоваться воздух. Время непрерывной работы автономного горелочного устройства доведено до 6 часов, при этом время его выхода на установившийся режим сокращено до пяти минут за счёт использования специального пускового устройства. Тем самым были существенно улучшены характеристики ГУ, важные для практического применения. В случае принудительной подачи пара от электрического парогенератора обеспечивается возможность регулирования параметров пара в широком диапазоне расхода и перегрева. Это необходимо для получения зависимостей характеристик горения от параметров пара. Управление экспериментом автоматизировано, данные обрабатываются компьютером.

В главе 3 представлены результаты исследования горения дизельного и некондиционного жидкого топлива (отработанного масла) в струе перегретого водяного пара или воздуха в испарительном прямоточном *автономном* горелочном устройстве, а также в ГУ с *принудительной подачей* пара или воздуха.

Для диагностики потоков используется двухкомпонентная PIV-система «ПОЛИС», основанная на современном оптическом методе цифровой трассерной визуализации (particle image velocimetry, PIV). Для визуализации в жидкое топливо добавлялось силиконовое масло, дающее при испарении микронные частицы диоксида кремния. Точность измерения скорости потока – около 10%.

Для измерения осредненной температуры в факеле используется платинородий – платинородиевая термопара. Для исследования температурных неоднородностей в нестационарном потоке проведены измерения при помощи тепловизионной камеры фирмы FLIR.

Мощность тепловыделения контролируется на созданном проточном калориметре. Проведена детальная оценка погрешностей измерения.

Применяемые газоанализаторы ТЕСТ-1 и TESTO 350 позволяют измерять концентрации основных компонентов продуктов сгорания: O_2 , H_2 , CO , CO_2 , CH_4 ,

NO и NO₂. Результаты измерений сопоставлены с современными требованиями ПДК.

Проведена оценка суммарного количества окислителя, поступающего в горелочное устройство, показавшая, что процессы происходят в условиях недостатка окислителя.

По аналогичной методике исследован процесс горения отработанного машинного масла в лабораторном образце горелочного устройства с принудительной подачей перегретого водяного пара или воздуха.

Экспериментальные данные получены в широком диапазоне режимных параметров (расход топлива, расход пара и воздуха, температура и перегрев пара).

В **заключении** обобщаются основные результаты диссертационного исследования.

Важнейшим результатом диссертационной работы служит экспериментальное обоснование перспективности способа сжигания различных жидких углеводородов с подачей перегретого водяного пара в зону реакции в горелочных устройствах испарительного типа. Основная научная новизна заключается в определении зависимостей показателей горения от режимных параметров. Результаты проведенного комплексного исследования могут служить основой для верификации математических моделей, которые позволят детально исследовать характер процессов внутри горелочного устройства, где применение экспериментальных методов сталкивается со значительными трудностями. Разработанные технические решения позволили создать усовершенствованные горелочные устройства, обладающие потенциалом практического применения в теплоэнергетике.

Диссертационная работа Е.П. Копьева выполнена на высоком научном уровне с использованием самых передовых методов диагностики реагирующих потоков. **Достоверность** результатов измерений и **обоснованность** выводов не вызывают сомнений. Полученные результаты обладают **научной новизной** и **важны** для теплофизики и механики реагирующих сред, имеют перспективы **практического применения** для развития экологически безопасных теплоэнергетических технологий утилизации горючих отходов.

По диссертации имеется ряд **замечаний**.

1. Неоправданно много *известного* материала, касающегося темы диссертации, помещено в Главе 1. Например, что такое горение, специфика горения жидкого углеводородного топлива, влияние воды на протекание химических реакций и т.д., что занимает чуть меньше половины всей содержательной части диссертации (40 страниц из 104). Можно было бы, без ущерба ценности диссертационной работы сократить эту главу минимум в 2 раза и обратить больше внимания на анализ собственных исследований.

2. В разделе 3.1 имеется описка. Относительный массовый расход пара – число, не имеющее размерности.

3. Результаты химического анализа состава образцов горючих, проведённых в НИОХ СО РАН и использованных в исследованиях (Приложение В), по-видимому, следовало бы поместить в текст при их упоминании, чтобы сразу иметь более ясное представление об этих горючих.

4. Формы патентов, приведённые в Приложении А, хорошо известны. Достаточно было исходные данные патентов оставить в списке литературы.

Приведенные замечания не влияют на общую положительную оценку диссертации. Все результаты получены при комплексном подходе – взаимопроверкой расчётных и экспериментальных данных. Основные результаты, отмеченные в диссертации, доложены на научных международных и российских конференциях, опубликованы в ведущих рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК России. Полученные Е.П. Копьевым результаты можно квалифицировать как новое достижение в области теплофизики. Несомненно, дальнейшие исследования найдут практическое использование в области теплофизики и энергетики. Диссертационная работа Е.П. Копьева по своим целям, задачам, содержанию, методикам исследования и научной новизне соответствует паспорту специальности 01.04.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника. Автореферат адекватно и достаточно полно отражает содержание диссертации. Работа написана грамотным русским языком. Результаты опубликованы в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК.

Считаю, что диссертация Е.П. Копьева соответствует требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением

Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 (ред. от 01.10.2018), а ее автор Копьев Евгений Павлович достоин присуждения ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 01.04.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника.

Официальный оппонент

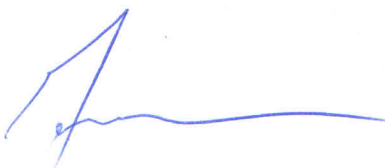
доктор технических наук по специальности 01.02.05 – механика жидкости, газа и плазмы, главный научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института гидродинамики им. М.А. Лаврентьева Сибирского отделения Российской академии наук.

Почтовый адрес: 630090, г. Новосибирск, проспект Академика Лаврентьева, д. 15. E-mail: bykovskii@hydro.nsc.ru . Тел. 8 (383) 333-24-02.

Я, Быковский Федор Афанасьевич, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с защитой диссертации Копьева Евгения Павловича, и их дальнейшую обработку.

«25» ноября 2020 г.

Быковский Федор Афанасьевич



Подпись Быковского Федора Афанасьевича заверяю.

Ученый секретарь ИГиЛ СО РАН  Любашевская Ирина Васильевна
м.п.

