

Отзыв

официального оппонента на диссертационную работу Ануфриева Игоря Сергеевича «Экспериментальное исследование процессов при сжигании жидких углеводородов в горелочных устройствах с подачей перегретого водяного пара», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 01.04.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника.

Диссертационная работа Ануфриева И. С., несомненно, обладает признаками **актуальности и новизны**. Она посвящена систематическому экспериментальному исследованию физико-химических процессов, происходящих при горении жидких углеводородов в горелочных устройствах. Результаты исследований позволили научно обосновать и провести разработку нового типа горелочного устройства с подачей перегретого водяного пара, которое обеспечивает энергоэффективное сжигание некондиционных жидких топлив и горючих производственных отходов с минимизацией количеств вредных продуктов горения. Очевидно, что выбранное направление исследований прямо 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».

Диссертационная работа включает 4 основных раздела и пять приложений, содержит 254 страницы текста, 70 рисунков и 34 таблицы. Список литературы содержит 201 источник, в том числе 31 публикацию автора по теме диссертации.

В первом разделе в рамках обзора научно-технической литературы перечислены особенности и проблемы, возникающие при сжигании жидких топлив, и продемонстрирована актуальность создания специальных способов распыления топлива для эффективного смешения компонентов горючей смеси в камере сгорания. Показано, что использование водяного пара позволяет снизить содержание оксидов азота и углерода в продуктах сгорания. Из обзора литературы следует недостаточность имеющихся представлений о влиянии пара на процессы в горелочных устройствах на жидких топливах. Сделан вывод о патентной чистоте

предлагаемого нового типа горелки, и обоснованы направления экспериментальных исследований, которые призваны продолжить работу в области создания макетных образцов горелочных устройств с подачей водяного пара в зону смешения с жидким топливом.

Второй раздел диссертации посвящен исследованию характеристик частиц сажи, образующихся при вариации режимов сжигания топлива в лабораторном образце автономного горелочного устройства. Приведены результаты определения концентрации и дисперсного состава, а также морфологии частиц сажи, отобранных на различных расстояниях от среза горелки. Получены данные о высокой степени полноты горения топлива в режиме с подачей пара.

В третьем разделе приведены результаты измерений параметров газокпельного потока при диспергировании жидкого топлива струей водяного пара в условиях усовершенствованного проточного горелочного устройства, в котором физически разделены подача топлива и водяного пара. Это обеспечивает отсутствие коксования и засорения каналов подачи топлива и существенно повышает устойчивость режимов работы горелочного устройства. С помощью дополняющих друг друга оптических методов получены данные о размерах и дисперсном составе капель, скорости несущей и дисперсной фаз, угле раскрытия струи. Проведено сопоставление результатов измерений на устройствах с подачей пара и сжатого воздуха. Получены данные об эволюции формы разрушающихся частиц топлива при воздействии паровой струей при вариации вязкости исходного топлива. Показано, что при изменении в конечном диапазоне величин расхода газа и температуры водяного пара, а также концентрации топлива дисперсный состав капель практически не изменяется. Замена пара на сжатый воздух также оставляет неизменным характерный размер капель топлива (10-20 мкм).

Четвертый раздел посвящен результатам исследования теплотехнических и энергетических характеристик процесса горения жидкого топлива при распылении его струей перегретого пара. Представлен образец горелочного устройства лабораторного масштаба с цилиндрической формой выпускного сопла. Измерение тепловыделения при сгорании жидкого топлива проведено с использованием проточного калориметра. Дан детальный анализ теплового баланса и оценены погрешности калориметрических измерений. Температура в факеле измерена с

использованием тепловизионной камеры и с помощью платина-платинородиевой термопары. На основе полученных данных построена карта режимов горения дизельного топлива при использовании струи перегретого пара и построены распределения концентраций CO и NO_x в форме диаграммы массовый расход пара – массовый расход топлива. Аналогичные измерения, проведенные на горелке с использованием струи сжатого воздуха, дали качественно подобные результаты, но содержание NO_x в продуктах горения в установке со сжатым воздухом оказалось в 2 раза более высоким, чем в установке с водяным паром.

В целом диссертационная работа представляет собой добротное выполненное законченное научное исследование, дающее основу для проектирования новых горелочных устройств с высокими энергетическими характеристиками и сниженными, по сравнению с известными из литературы, параметрами экологического ущерба. Автор продемонстрировал большую активность в использовании современных средств физико-химических исследований, что обеспечило получение совокупности характеристик процесса горения, позволяющих построить экспериментально обоснованную и наиболее **достоверную** на данное время картину явления. Практически **впервые** в практике такого рода исследований получены данные о распределении по размерам и концентрации частиц углерода (сажи) в продуктах горения жидкого углеводородного топлива. Большой **научный и практический интерес** представляют предложенные в диссертационной работе схема организации рабочего процесса в горелочном устройстве с отдельной подачей горючего и измеренные характеристики газового потока и дисперсного состава капель горючего. Обнаруженная в работе слабая зависимость дисперсного состава от режимных параметров имеет значительную ценность для проектирования различных модификаций горелок.

Известно, что получение количественных характеристик процессов горения, тем более в технических устройствах, сопряжено с большими техническими трудностями. В связи с этим можно высказать ряд замечаний и предложений по тексту диссертации.

1. При обсуждении результатов, полученных с использованием термопары, необходимо оценить величину радиационных потерь в окружающую среду и дать

оценку релаксационных характеристик термопары в зависимости от параметров газового потока.

2. При оценке радиационных потерь использована величина степени черноты материала кожуха, равная 0.2. Следует пояснить этот выбор и оценить возможность изменения этого показателя при нагреве кожуха до рабочих температур и далее в процессе эксплуатации.

3. При изложении раздела о суммарных тепловых потерях горелочного устройства недостаточно пояснено, какова реальная величина этого параметра.

4. При анализе результатов исследования процесса разрушения струи жидкого топлива представляет интерес рассмотреть также картину взаимодействия газового потока с образовавшимися каплями и возможность их последующего дробления.

5. Мелкие замечания касаются более строгого использования терминологии. На стр. 24 (дисс.) сказано об атмосфере, насыщенной парами горючего (точнее речь идет о газовой среде, поскольку атмосфера ассоциируется с конкретной планетой). На стр. 26 (дисс.) использованы в одном и том же значении термины термическое и тепловое расщепление углеводородов (последнее не принято в литературе). Термин пар необходимо строго адресовать исходной жидкости (стр. 3 реферата). Термин экологически безопасное (стр. 4 реферата) сжигание не соответствует действительности, поскольку практически всегда при горении выделяются вредные продукты.

Сделанные замечания не влияют на высокую, в общем, оценку представленной диссертационной работы. Автор продемонстрировал хорошее знание литературы по теме диссертации, умение и инициативу в использовании современных экспериментальных методов исследования, способность грамотно излагать и анализировать полученные результаты. Текст диссертации хорошо оформлен и написан в целом грамотным техническим языком. Материалы диссертации достаточно полно опубликованы в ведущих отечественных и мировых научных изданиях, доложены на 15 российских и международных научно-технических конференциях. Автореферат полностью соответствует материалам диссертации. Можно лишь пожелать более строго структурировать содержание заключения.

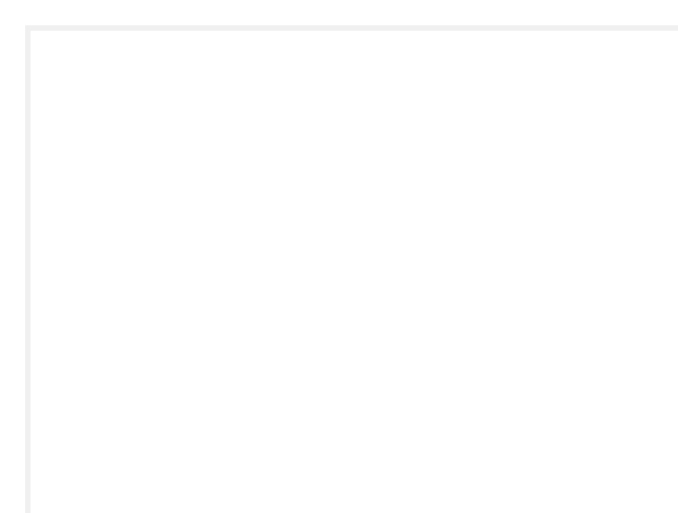
Изложенные результаты исследований можно характеризовать как существенный вклад в создание научных основ построения новых теплоэнергетических технологий, обеспечивающих повышение энергоэффективности топливных устройств при минимизации экологического ущерба в условиях использования некондиционных жидких углеводородных топлив и производственных отходов. При этом решается также **социально важная проблема** безопасной и достаточно эффективной утилизации отходов добычи, переработки и использования углеводородов, представляющих серьезную экологическую угрозу.

Основываясь на чтении текста диссертации и после ознакомления со списком опубликованных работ, а также со списком выполненных грантов и полученных диссертантом благодарностей, считаю, что диссертация Ануфриева И.С. «Экспериментальное исследование процессов при сжигании жидких углеводородов в горелочных устройствах с подачей перегретого водяного пара» по научной новизне и практической значимости результатов, а также по объему выполненных исследований полностью соответствует научной специальности 01.04.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника и требованиям пп. 9-14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 (ред. от 01.10.2018), а ее автор Ануфриев Игорь Сергеевич заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук.

Главный научный сотрудник ИХКГ СО РАН

Д.ф.-м.н., профессор

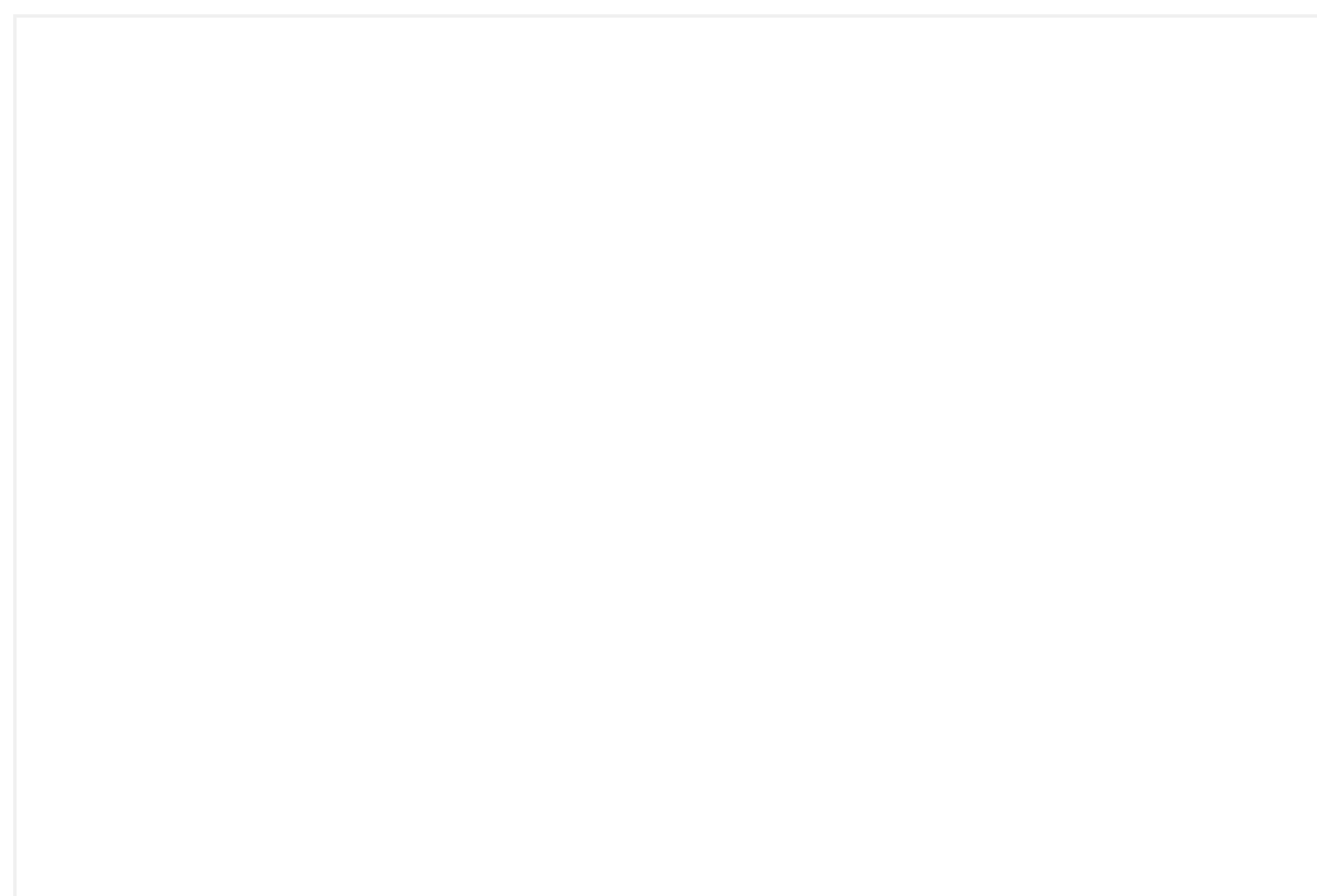
Телефон: +7 383 333-22-92



В.Е. Зарко

08.11.2019

Институт химической кинетики и горения им. В.В. Воеводского Сибирского отделения Российской академии наук, ул. Институтская, д.3, Новосибирск 630090, Россия.



Поступил в Совет 11.11.19
47 секр Ануф / Союзинзавс АН

етарь
Н.А. Какуткина
2019 г.

С отзывом ознакомлен
Ануф (Ануфриев И.С.) 11.11.2019