



УТВЕРЖДАЮ

И.о. проректора по науке и
стратегическим проектам

Национального исследовательского
Томского политехнического
университета, доктор технических
наук

И.Б.Степанов

« ____ » _____ 2023г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»

Диссертация «Вторичные фрагменты при микро-взрывном распаде двухжидкостных капель» выполнена в Научно-образовательном центре И.Н. Бутакова Инженерной школы энергетики федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет».

В период с 2021 по н.в. Федоренко Роман Михайлович обучается в аспирантуре федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» по направлению подготовки 03.06.01 «Физика и астрономия».

Справка о сдаче кандидатских экзаменов по истории и философии науки (физико-математические науки), иностранному языку (английский) и специальности 1.3.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника выдана в 2023 г. федеральным государственным автономным образовательным учреждением высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет».

Научный руководитель: Стрижак Павел Александрович, доктор физико-математических наук, профессор, основное место работы: федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», Инженерная школа энергетики, НОЦ И.Н. Бутакова.

По итогам обсуждения принято следующее заключение:

Общая характеристика работы

Диссертация Федоренко Романа Михайловича представляет законченную научно-квалификационную работу, в которой изложены результаты экспериментальных и теоретических исследований, совокупность которых можно квалифицировать как новые научные достижения в области интенсификации процессов теплообмена.

Полученные экспериментальные и теоретические результаты и сформулированные выводы обладают единством изложения результатов выполненных исследований. Оформление и стиль написания диссертации отвечают требованиям, предъявляемым к научно-квалификационным работам на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук.

Актуальность темы исследования

Вторичное измельчение (в режиме частичной и полной фрагментации) капель в многофазных и многокомпонентных топливных потоках является одним из перспективных подходов к развитию технологий, способствующих стабилизации распыления топлива в камере сгорания, минимизации расхода топлива, повышению динамических характеристик горения, снижению антропогенных выбросов, уменьшению износа оборудования. Микро-взрывной распад позволяет обеспечить дробление капель

многокомпонентных топлив до нескольких десятков микрон. Это позволяет кратно увеличить площадь поверхности испарения и химического реагирования.

В последние годы исследования, связанные с распылением жидкостей с разным компонентным составом, сосредоточены на изучении предельных условий, режимов и характеристик распада неоднородных капель. Изучение последствий вторичного измельчения неоднородных капель, таких как размеров вторичных фрагментов и заполненного ими аэрозольного облака, скоростей движения, энергий и компонентного состава является ещё одной важной задачей при изучении закономерностей вторичного измельчения. Для применения данных эффектов в различных технологиях необходимо определить условия, при которых образуются вторичные фрагменты с необходимыми размерами и скоростями движения. Эффекты вторичного измельчения находят активное применение в таких технологиях как сжигание жидких топлив и топливных смесей в камерах сгорания двигателей и теплогенерирующих установок; выпаривание и сушка растворов, суспензий и эмульсий; термическая и огневая очистка жидкостей от нерегламентированных примесей; тушение пожаров с применением специализированных составов и др. Пока опубликовано немного результатов исследований характеристик вторичных капель при микро-взрывном измельчении, особенно если учитывать схемы нагрева с конвективным, радиационным и смешанным теплообменом. Компонентный состав вторичных капель чрезвычайно сложно прогнозировать с высокой достоверностью. Это связано с ограничениями имеющихся экспериментальных методик и стендов, программно-аппаратных комплексов, необходимостью привлечения специализированных следящих систем и добавок-красителей.

Большинство исследований в области микро-взрывного измельчения капель неоднородных жидкостей посвящено изучению предельных условий микро-взрывной фрагментации, механизмов и влияющих факторов. При этом из поля зрения упускается важность изучения характеристик образующихся при микро-взрывной фрагментации вторичных фрагментов (размеров, скоростей движения, компонентного состава и др.). Определение условий, необходимых для образования вторичных фрагментов с заданными размерами, скоростями движения и компонентным составом, будет способствовать внедрению данных эффектов в промышленных энергетических технологиях.

Связь работы с научными программами и грантами

Исследования вторичных фрагментов при нагреве композиционных жидких топлив с добавлением твердых частиц, различных видов воды и газонасыщением в составе двухжидкостных капель выполнены в рамках проекта Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, соглашение № 075-15-2020-806. Экспериментальные исследования вторичных фрагментов при микро-взрывном распаде неоднородных капель выполнены при финансовой поддержке гранта Российского научного фонда № 21-71-10008. Теоретические исследования вторичных фрагментов выполнены при финансовой поддержке гранта Российского научного фонда № 23-69-10006. Исследования вторичных фрагментов при микро-взрывной фрагментации капель с биокомпонентами проведены при финансовой поддержке гранта Президента РФ МД-1616.2022.4.

Личное участие автора в получении результатов, изложенных в диссертации

Автор проводил лично и непосредственно участвовал в проведении экспериментальных и теоретических исследований, включая отладку экспериментальных методик и вычислительных кодов, проведении численных расчетов, участвовал в совместных обсуждениях при получении результатов исследований. Автором подготовлены публикации и доклады, сформулированы основные защищаемые результаты, положения и выводы.

Степень достоверности результатов проведенных исследований

Достоверность полученных результатов подтверждается оценкой систематических и случайных погрешностей измерений, удовлетворительной повторяемостью результатов экспериментов при идентичных начальных параметрах системы, а также использованием современного высокоточного оборудования. Также выполнено сравнение части

полученных экспериментальных и численных результатов с известными теоретическими и экспериментальными заключениями других авторов.

Новизна результатов проведенных исследований

Научная новизна изложенных в работе результатов заключается в следующем: экспериментально и теоретически установлены размеры, количество, скорости движения и компонентный состав вторичных фрагментов при микро-взрывном распаде неоднородных капель при различных условиях подвода тепла – с доминированием кондуктивного, радиационного, конвективного и смешанного теплообмена. С применением разработанных экспериментальных методик на базе высокоскоростной регистрирующей аппаратуры и бесконтактных оптических методов диагностики потоков установлены распределения размеров и скоростей вторичных фрагментов при микро-взрывном распаде неоднородных капель, установлен компонентный состав вторичных фрагментов, образующихся в результате микро-взрывного распада неоднородных капель. Установлено влияние состава и свойств компонентов исходной капли (двухжидкостная неперемешанная капля или эмульсия) на количество и размеры вторичных фрагментов при микро-взрывном распаде. Определено влияние вязкости и поверхностного натяжения жидких компонентов исходных капель на количество и размеры вторичных фрагментов. Выделены значительные коллективные и каскадные эффекты совместного влияния исходных капель в спреях на характеристики их микро-взрывного распада. Выделены отличия количества и размеров вторичных фрагментов при реализации различных режимов микро-взрывного распада (микро-взрыв, паффинг). Определены характерные значения соотношений площадей поверхности испарения жидкости после и до микро-взрывного распада неоднородных капель.

Практическая значимость диссертации и использование полученных результатов

Полученные результаты экспериментов и сделанные заключения являются информационной базой для разработки перспективных высокотемпературных газопарокапельных технологий, а также совершенствования и развития существующих. К ним относятся: топливные технологии, а именно топочные устройства и двигатели внутреннего сгорания (использование новых видов топлива на основе воды и топлива для совместного улучшения экологических, энергетических и экономических характеристик); термическая или огневая очистка воды; пожаротушение с применением неоднородных капель (за счет реализации микро-взрывной фрагментации капель жидкости и последующего образования аэрозоля, способствующих увеличению площади покрытия очага горения и вытеснению окислителя).

Апробация результатов исследования

Основные положения и результаты диссертации докладывались и обсуждались на следующих научных мероприятиях: Международный научный симпозиум студентов и молодых ученых имени академика М.А. Усова «Проблемы геологии и освоения недр», г. Томск, 2019, 2020 гг.; Международная молодежная научная конференция «Тепломассоперенос в системах обеспечения тепловых режимов энергонасыщенного технического и технологического оборудования», г. Томск, 2019 г.; Всероссийская научная конференция с международным участием «XI Семинар ВУЗов по теплофизике и энергетике», г. Санкт-Петербург, 2019 г.; Всероссийская конференция с элементами научной школы для молодых учёных «Сибирский теплофизический семинар», г. Новосибирск, 2019, 2021, 2022, 2023 гг.; IV Всероссийский конкурс научно-исследовательских работ студентов и аспирантов ВУЗов России по естественным, техническим и гуманитарным наукам «Шаг в науку», г. Томск, 2019 г.; XVI «Минский международный форум по тепломассообмену», г. Минск, 2020 г.; XVII Международная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Перспективы развития фундаментальных наук», г. Томск, 2020 г.; XVI Всероссийская школа-конференция молодых ученых с международным участием «Актуальные вопросы теплофизики и физической гидрогазодинамики», г. Новосибирск, 2020 г.; III международная

конференция «Современные проблемы теплофизики и энергетики», г. Москва, 2020 г.; XXIII Школа-семинар молодых ученых и специалистов под руководством академика РАН А.И. Леонтьева «Проблемы газодинамики и тепломассообмена в энергетических установках», г. Екатеринбург, 2021 г.; 6th International Conference on Combustion Science and Processes (CSP 2021), Virtual Conference, 2021 г.; Advanced Engineering Centre Workshop. Experimental studies and modelling of puffing and micro-explosion in emulsion and two-component droplets, University of Brighton, г. Брайтон, Великобритания, 2021 г.; 2nd International Conference on Fluid Flow and Thermal Science (ICFFTS'21), Virtual Conference, 2021 г.; VI Всероссийская научно-практическая конференция «Энергетика и энергосбережение: теория и практика», г. Кемерово, 2021 г.; XVII Всероссийская (IX Международная) научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «ЭНЕРГИЯ – 2022», г. Иваново, 2022 г.; VII Всероссийский молодежный форум «Наука будущего – наука молодых», г. Новосибирск, 2022 г.; XVII Всероссийская школа-конференция молодых ученых с международным участием «Актуальные вопросы теплофизики и физической гидрогазодинамики», п. Шерегеш, 2023 г.; I Всероссийская научная конференция с международным участием «Енисейская теплофизика – 2023», г. Красноярск, 2023 г.; XXIV Школа-семинар молодых ученых и специалистов имени академика РАН А.И. Леонтьева «Проблемы газодинамики и тепломассообмена в энергетических установках», г. Казань, 2023 г.; Третий Китайско-Российский Научно-Технический форум «Наукоёмкие технологии: от науки к внедрению», г. Харбин, Китай, 2023 г.

Полнота изложения материалов диссертации в работах, опубликованных соискателем

Результаты диссертационных исследований опубликованы более чем в 20 печатных работах, в том числе 4 – в журналах из списка, рекомендованного ВАК РФ: «Горение и взрыв», «Письма в Журнал технической физики» («Technical Physics Letters»), «Journal of Engineering Physics and Thermophysics», более 10 статей в высокорейтинговых журналах (входят в 1–2 квартили Web of Science)

Статьи в журналах из перечня рецензируемых научных изданий для опубликования основных научных результатов диссертаций на соискания ученой степени кандидата наук:

1. Antonov D.V., Fedorenko R.M., Strizhak P.A. Child droplets produced by micro-explosion and puffing of two-component droplets // Applied Thermal Engineering. – 2020. – V. 164. – P. 114501 (входит в базы данных Scopus и WoS).

2. Antonov D.V., Kuznetsov G.V., Fedorenko R.M., Strizhak P.A. Micro-explosion of a two-component droplet: How the initial temperature of the water core affects the breakup conditions and outcomes // Powder Technology. – 2021. – V. 382. – P. 378-387 (входит в базы данных Scopus и WoS).

3. Antonov D.V., Kuznetsov G.V., Fedorenko R.M., Strizhak P.A. Ratio of water/fuel concentration in a group of composite droplets on high-temperature heating // Applied Thermal Engineering. – 2022. – V. 206. – P. 118107 (входит в базы данных Scopus и WoS).

4. Antonov D.V., Kuznetsov G.V., Strizhak P. A., Fedorenko R. M. Micro-explosion of droplets containing liquids with different viscosity, interfacial and surface tension // Chemical Engineering Research and Design. – 2020. – V. 158. – P. 129–147 (входит в базы данных Scopus и WoS).

5. Antonov D.V., Fedorenko R.M., Strizhak P.A. Collective effects during the formation of child droplets as a result of puffing/micro-explosion of composite droplets // International Journal of Thermal Sciences. – 2023 – V. 183. P. 107858 (входит в базы данных Scopus и WoS).

6. Antonov D.V., Fedorenko R.M., Strizhak P.A. Micro-explosion and puffing of a group of two-component droplets // Applied Thermal Engineering. – 2020. – V. 181. P. 116023 (входит в базы данных Scopus и WoS).

7. Антонов Д.В., Федоренко Р.М., Стрижак П. А. Коллективные эффекты при формировании вторичных фрагментов в результате микровзрывной фрагментации композиционных топлив // Горение и взрыв. – 2022. – Т. 15. – № 2. – С. 22–33 (из перечня ВАК).

8. Антонов Д.В., Вершинина К.Ю., Федоренко Р.М. Микровзрывная фрагментация двухжидкостных капель на основе таллового масла // Письма в ЖТФ. – 2023. Т. 49. №. 14. – С. 3–7 (из перечня ВАК).

Соответствие содержания диссертации избранной специальности

Диссертация является завершенной научно-квалификационной работой и соответствует паспорту специальности 1.3.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника:

Соответствует направлениям исследований из паспорта специальности:

1. Фундаментальные, теоретические и экспериментальные исследования молекулярных и макросвойств веществ в твердом, жидком и газообразном состоянии для более глубокого понимания явлений, протекающих при тепловых процессах и агрегатных изменениях в физических системах.

4. Неоднородные аэродисперсные системы.

7. Теоретическая и техническая термодинамика, теория фазовых переходов при горении в гетерогенных системах.

Диссертация «Вторичные фрагменты при микро-взрывном распаде двухжидкостных капель» Федоренко Романа Михайловича рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по научной специальности 1.3.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника.

Заключение принято на заседании Теплоэнергетической секции Научно-технического совета Инженерной школы энергетики Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет».

Присутствовало на заседании 9 чел. – 9 очно, 0 чел. – онлайн.

Участвовало в голосовании 8 членов НТС.

Результаты голосования: «за» – 8 чел., «против» – 0 чел., «воздержалось» – 0 чел.

Протокол № 7 от «15» сентября 2023 г.

Профессор научно-образовательного центра
совета И.Н. Бутакова Инженерной школы
энергетики председатель теплоэнергетической
секции научно-технического совета ИШЭ ТПУ

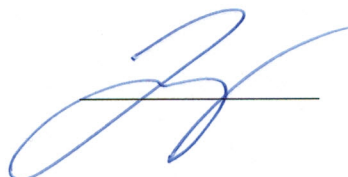
 Г. В. Кузнецов

Секретарь Научно-технического совета
Инженерной школы энергетики ТПУ

 С.В. Филимонова

Подписи Кузнецова Г. В. и Филимоновой С. В. Заверяю

Ученый секретарь Ученого совета ТПУ

 Е. А. Кулинич