

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по науке и
стратегическим проектам

Национального исследовательского
Томского политехнического
университета, кандидат физико-
математических наук

Гоголев А.С.

2024 г.



ЗАКЛЮЧЕНИЕ

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

Диссертация «Агломерирование и разделение компонентов суспензий при соударении капель жидкостей и твердых частиц в технологиях теплотехники» по специальности 2.4.6 – Теоретическая и прикладная теплотехника выполнена в Научно-образовательном центре И.Н. Бутакова Инженерной школы энергетики федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет».

Соискатель Ткаченко Павел Петрович, 1996 года рождения, с 01.09.2020 обучается в очной аспирантуре федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» по направлению подготовки «2.4. Энергетика и электротехника».

Справка о сдаче кандидатских экзаменов выдана в 2023 г. федеральным государственным автономным образовательным учреждением высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет».

Тема диссертационной работы утверждена решением ученого совета Инженерной школы энергетики Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» от «4» декабря 2023 г., номер протокола 26.

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.

Диссертация Ткаченко П.П. является научно-квалификационной работой, в которой изложены результаты экспериментальных и теоретических исследований, совокупность которых можно квалифицировать как новые научные достижения в

области тепломассообмена при агломерировании и разделении компонентов суспензий при соударении капель жидкостей и твердых частиц в оборудовании, предназначенном для производства, преобразования, передачи и потребления теплоты. 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 технических наук.

По итогам обсуждения принято следующее заключение.

- Актуальность темы и направленность исследования.

Изучению вопросов интенсификации теплообменных и физико-химических процессов и фазовых превращений за последние 50 лет посвящено большое количество работ российских и зарубежных исследователей. Область практического применения газопарокапельных смесей включает борьбу с природными и техногенными пожарами, интенсификацию процессов в химической и нефтяной промышленности, повышение эффективности тепломассообменного оборудования и др. Большой интерес вызывает применение многокомпонентных смесей в системах впрыска топлива в двигателях внутреннего сгорания и котельных агрегатах. В условиях ограниченности водных ресурсов актуальны задачи термической очистки жидкостей. В теплоэнергетике подобные процессы протекают в градирнях, деаэраторах, смешивающих подогревателях, испарителях, гравитационных и гидравлических классификаторах, пылеулавливающих установках и других тепломассообменных аппаратах. В настоящее время неизученными остаются закономерности взаимодействия капель жидкостей и твердых частиц в энергетических блоках и агрегатах. Они представляют значительный интерес для решения задач интенсификации процессов тепломассопереноса. Взаимодействие капель и частиц позволяет существенно менять дисперсность газопарокапельных потоков и, как следствие, варьировать условия и характеристики тепломассообменных процессов. Однако пока не установлены интегральные характеристики соответствующих процессов в энергетических установках. Как следствие, пока не разработаны технологии приготовления газопарокапельных потоков при раздельной подаче компонентов в составе струй, спреев, взвесей, аэрозольных облаков и др. Изучение агломерирования и разделения компонентов суспензий при соударении капель и частиц в энергетических блоках и агрегатах представляет значительный интерес для решения задач интенсификации процессов тепломассопереноса в системах и установках, использующих тепло, оптимизации параметров тепловых технологических процессов и схем установок, с целью экономии энергетических ресурсов и улучшения качества продукции в технологических процессах.

Диссертационные исследования агломерирования и разделения компонентов суспензий при соударении капель жидкостей и твердых частиц в смесительных блоках и агрегатах выполнены при поддержке гранта Российского научного фонда (Проект № 18–19–00056), их взаимодействия в режимах отскока, коалесценция,

разлета и дробления с интенсификацией тепломассопереноса в камерах сгорания, реакторах, теплообменном оборудовании – при поддержке гранта РФФИ (проект № 18–71–10002, проект № 18–71–10002П), изучение компонентного состава и интегральных характеристик вторичных фрагментов при слиянии и распаде капель жидкостей – в рамках проекта РФФИ № 21-71-10008, определение размеров капель при фрагментации и распаде жидкостных массивов – в рамках проекта ВИУ_ИШФВП_ТПУ_60/2019, а взаимодействие капель водо-угольных суспензий – при поддержке проекта ВИУ_ИШФВП_ТПУ_299/2018.

- Личное участие соискателя в получении результатов, изложенных в диссертации.

Личный вклад состоит в постановке и планировании экспериментальных исследований, проведении серии опытов, обработке результатов, оценке систематических и случайных погрешностей, анализе и обобщении полученных результатов, разработке рекомендаций использования полученных результатов, формулировке защищаемых положений и выводов.

- Степень достоверности результатов проведенных исследований.

Достоверность полученных в ходе экспериментальных исследований результатов подтверждается оценками систематических и случайных погрешностей результатов измерений, удовлетворительной повторяемостью опытов при идентичных начальных значениях основных параметров, использованием современных высокоточных оптических методов и программно-аппаратных комплексов, а также сравнением с теоретическими заключениями других авторов.

- Новизна результатов проведенных исследований.

Разработана методика экспериментального исследования взаимодействия движущихся капель жидкостей в газовой среде с разной температурой и влажностью, дополняющая описанные в литературе. При проведении экспериментов использовалась методика, включающая применение оптических методов визуализации («Particle Image Velocimetry» и «Interferometric Particle Imaging»). Установлены параметры (минимальные или критические значения чисел Вебера, Онезорге, Рейнольдса, капиллярности, углы атаки, скорости движения и др.), необходимые для реализации четырех режимов взаимодействия (отскок, коалесценция, разлет и дробление). Эксперименты проведены на стенде с параметрами, близкими к условиям работы типичных теплоэнергетических блоков и агрегатов. Получены аппроксимационные выражения для прогнозирования характеристик газопарокапельных потоков с учетом совокупности соударений капель и частиц.

- Практическая значимость результатов проведенных исследований.

Полученные экспериментальные данные, аппроксимационные выражения и теоретические положения представляют основу для разработки и создания блоков и агрегатов теплотехнических систем, работающих с многокомпонентными и многофазными потоками. Результаты диссертационной работы целесообразно использовать при оптимизации параметров тепловых технологических процессов и разработке оптимальных схем установок, использующих тепло, с целью экономии энергетических ресурсов и улучшения качества продукции в технологических

процессах. В частности, областью применения результатов изучения движения капель жидкостей в газовой среде с разной температурой и влажностью могут быть использованы при разработке и оптимизации параметров работы капельно-струйных оросителей, эжекционных градилен, деаэраторов и других теплотехнических аппаратов.

- Ценность научных работ соискателя и полнота изложения материалов в опубликованных работах.

По теме диссертации опубликовано 22 печатных работы, в том числе 11 статей в международных рецензируемых журналах, индексируемых базами данных «Scopus» и «Web of Science»:

1. Tkachenko P. P., Shlegel N. E., Strizhak P. A. Collisions between liquid droplets during the intersection of aerosol flows in a heated gas // *Thermal Science and Engineering Progress*. 2022. Т. 34. С. 101425.
2. Tkachenko P. P., Shlegel N. E., Strizhak P. A. Interaction between droplets of solutions in a heated gaseous medium // *Powder Technology*. 2021. Т. 390. С. 86-96.
3. Shlegel N. E., Tkachenko P., Strizhak P. A. Collision of water droplets with different initial temperatures // *Powder Technology*. 2020. Т. 367. С. 820–830.
4. Tkachenko P., Shlegel N. E., Strizhak P. A. Collisions of water droplets in the high-temperature air // *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 2021. Т. 170. С. 121011.
5. Islamova A. G., Tkachenko P. P., Shlegel N. E., Strizhak P. A. Effect of surface roughness of solid particles on the regimes and outcomes of their collisions with liquid droplets // *Experimental Thermal and Fluid Science*. 2023. Т. 142. С. 110829.
6. Islamova A. G., Tkachenko P. P., Shlegel N. E., Kuznetsov G. V. Effect of Liquid Properties on the Characteristics of Collisions between Droplets and Solid Particles // *Applied Sciences*. 2022. Т. 12. С. 10747.
7. Tkachenko P. P., Shlegel N. E., Strizhak P. A. The transition boundaries between interaction regimes of liquid droplets colliding in a gas // *Chemical Engineering Research and Design*. 2022. Т. 179. С. 201–226.
8. Kropotova S. S., Tkachenko P. P., Strizhak P. A. The Effect of Impurities on Water Droplet Collision Regimes and Behavior // *Microgravity Science and Technology*. 2022. Т. 34. С. 54.
9. Tkachenko P. P., Shlegel N. E., Strizhak P. A. Collisions of Two-Phase Liquid Droplets in a Heated Gas Medium // *Entropy*. 2021. Т. 23. С. 1476.
10. Tkachenko P. P., Shlegel N. E., Strizhak P. A. Experimental research of liquid droplets colliding with solid particles in a gaseous medium // *Chemical Engineering Research and Design*. 2022. Т. 177. С. 200–209.
11. Islamova A., Tkachenko P., Strizhak P. Interaction of water droplets with pyrolyzing coal particles and tablets // *Defense Technologies*. 2023. Т. 30. С. 1–12.

- Соответствие содержания диссертации избранной специальности.

Диссертация является завершенной научно-квалификационной работой и соответствует направлениям паспорта специальности «2.4.6 – Теоретическая и прикладная теплотехника»:

1. Процессы переноса массы, импульса и энергии при свободной и вынужденной конвекции в широком диапазоне свойств теплоносителей и характеристик теплопередающих поверхностей, в одно- и многофазных системах и при фазовых превращениях. Радиационный теплообмен в прозрачных и поглощающих средах.

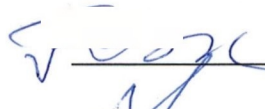
2. Научные основы и методы интенсификации процессов тепло- и массообмена и тепловой защиты. Процессы тепло- и массообмена в оборудовании, предназначенном для производства, преобразования, передачи и потребления теплоты.

3. Научные основы повышения эффективности использования энергетических ресурсов в теплотехническом оборудовании и использующих теплоту системах и установках.

Диссертация «Агломерирование и разделение компонентов суспензий при соударении капель жидкостей и твердых частиц в технологиях теплотехники» Ткаченко Павла Петровича рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по научной специальности «2.4.6 – Теоретическая и прикладная 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. Результаты голосования: «за» 8 - чел., «против» 0 - чел., «воздержалось» 0 - чел., протокол № 26 от «4» декабря 2023 г.

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

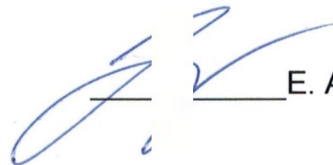
 Г. В. Кузнецов

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

