

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.129.01, СОЗДАННОГО НА БАЗЕ
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ
ИНСТИТУТА ТЕПЛОФИЗИКИ ИМ. С.С. КУТАТЕЛАДЗЕ СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ
СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 08.06.2022 № 11/2022

О присуждении Старинской Елене Михайловне, гражданке Российской Федерации, учёной степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Тепломассоперенос при испарении капель бинарных смесей и наножидкостей» по специальности 1.3.14. Теплофизика и теоретическая теплотехника принята к защите 23.03.2022, протокол № 7/2022 диссертационным советом 24.1.129.01, созданным на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук (ИТ СО РАН) Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, 630090, г. Новосибирск, проспект Академика Лаврентьева, 1, приказы Минобрнауки России от 11.04.2012 № 105/нк, от 03.06.2021 № 561/нк.

Соискатель Старинская (до 2020 г. Бочкарева) Елена Михайловна, 09.08.1990 года рождения, на момент защиты диссертации работает в должности младшего научного сотрудника в лаборатории термогазодинамики (№ 2.2) ИТ СО РАН. В 2013 году соискатель окончила с отличием магистратуру Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Новосибирский государственный технический университет» (НГТУ) по направлению 160100 – «Авиастроение», в 2017 году окончила очную аспирантуру ИТ СО РАН по специальности 1.3.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника.

Диссертация выполнена в научно-исследовательской лаборатории термогазодинамики (№ 2.2) Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук Министерства науки и высшего образования Российской Федерации. Научный руководитель – Терехов Владимир Викторович, доктор физико-математических наук, профессор РАН, основное место работы: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии, заведующий научно-исследовательской лабораторией термогазодинамики (№ 2.2).

Официальные оппоненты:

Кузнецов Гений Владимирович – доктор физико-математических наук, профессор, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего

образования "Национальный исследовательский Томский политехнический университет", Научно-образовательный центр И.Н. Бутакова Инженерной школы энергетики, профессор;

Снегирёв Александр Юрьевич – доктор технических наук, профессор, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого", Физико-механический институт, профессор – дали положительные отзывы на диссертацию Старинской Елены Михайловны.

Ведущая организация:

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт теплофизики Уральского отделения Российской академии наук (ИТФ УрО РАН), г. Екатеринбург в своем положительном заключении, подписанном Гасановым Байрамали Мехрали оглы, доктором физико-математических наук, ведущим научным сотрудником лаборатории криогеники и энергетики ИТФ УрО РАН указала, что «Представленные в диссертации результаты могут быть использованы при разработке и оптимизации теплообменных аппаратов, при проектировании устройств, использующих капельное охлаждение или устройств для сжигания водотопливных смесей и т.д. Предложенный автором механизм испарения капель коллоидных систем может быть использован при построении физико-математических моделей испарения капель наножидкостей. Диссертация Старинской Елены Михайловны является законченной научно-квалификационной работой, в которой последовательно исследованы сложные процессы динамики испарения подвешенных капель воды, бинарной смеси и наножидкости. Проведенный автором анализ большого массива экспериментальных данных способствует пониманию физики испарения подвешенных капель жидкости в потоке газа».

Соискатель имеет 54 опубликованные работы, в том числе по теме диссертации опубликовано 33 работы, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 12 работ. Вклад автора заключается в подготовке и проведении всех представленных в работах экспериментов, обработке, анализе и интерпретации полученных результатов, подготовке текста статей для публикации. Теоретический анализ был проведен в составе научного коллектива с непосредственным участием автора.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации Старинской (до 2020 г. Бочкаревой) Елены Михайловны:

1. Бочкарева Е.М., Немцев В.А., Сорокин В.В., Терехов В.В., Терехов В.И. Снижение давления пара при конденсации на холодных каплях жидкости // Инженерно-физический журнал. – 2016. – Т. 89. – № 3. – С. 542-547 (из перечня ВАК).

2. Бочкарева Е.М., Лей М.К., Терехов В.В., Терехов В.И. Особенности методики экспериментального исследования процесса испарения подвешенных капель жидкости // Инженерно-физический журнал. – 2019. – Т. 92. – № 5. – С. 2208-2217 (из перечня ВАК).
3. Бочкарева Е.М., Миськив Н.Б., Лукашов В.В. Особенности конвективной сублимации в газовых смесях // Теплофизика и аэромеханика. – 2020. – Т. 27. – № 6. – С. 883-890 (из перечня ВАК).
4. Bochkareva E.M., Miskiv N.B., Nazarov A.D., Terekhov V.V., Terekhov V.I. Experimental study of evaporating droplets suspended ethanol-water solution under conditions of forced convection // Interfacial Phenomena and Heat Transfer. – 2018. – V. 6. – №. 2. – P. 115-127 (из перечня ВАК).
5. Starinskaya E.M., Miskiv N.B., Nazarov A.D., Terekhov V.V., Terekhov V.I., Rybdylova O., Sazhin S.S. Evaporation of water/ethanol droplets in an air flow: Experimental study and modelling // International Journal of Heat and Mass Transfer. – 2021. – V. 177. – P. 121502 (из перечня ВАК).

На автореферат диссертации поступило 6 отзывов. Все отзывы положительные. В отзывах отмечено, что диссертация выполнена на высоком уровне, тема исследования является актуальной, результаты работы обладают научной новизной и могут восполнить имеющиеся пробелы в области тепло- и массообменных процессов при испарении капель сложного состава.

В отзыве на автореферат д.ф.-м.н. Стрижака П.А. - профессора Научно-образовательного центра И.Н. Бутакова, заведующего лабораторией тепломассопереноса ФГАУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» содержится 3 замечания: «1. В автореферате используется термин «интенсивность испарения». Важно однозначно прописать единицу измерения или заменить на общепринятый термин – «скорость испарения», если эти термины считались синонимами. Аналогичный комментарий можно дать по используемому нетипичному термину «динамика размера капли». 2. Целесообразно привести пояснения с количественными оценками влияния конфигурации и материала держателя капли на скорости испарения и агломерации твердых частиц в составе капли. Известно, что имеются температурные условия, при которых данное влияние является определяющим. В таком случае результаты опытов сложно перенести на реальные приложения с движущимися каплями в камерах и реакторах. 3. Схема размещения капли на держателе, объем жидкости и концентрации твердых частиц в составе капли, температура и скорость движения внешней газовой среды влияют на форму поверхности капли, отклоняя ее от сферической. Капли чаще принимают форму эллипсоида. В связи с этим важно обосновать условия, при

которых правомерно принятое предположение о сферической форме капли, слежении за средним диаметром. В автореферате указаны очень малые диапазоны варьирования входных параметров. Возможно, соответствующие ограничения и связаны с контролем сферичности капли. Может быть, в диссертации они шире. Необходимо описать границы применимости полученных результатов с заявленной достоверностью».

В отзыве на автореферат к.т.н. Кондратьева А.В. - инженера-конструктора I категории ЗАО НПВП «Турбокон» и д.т.н. Мильмана О.О. - директора по науке ЗАО НПВП «Турбокон» имеется одно замечание: «Был ли проведен анализ причин немонотонности полученной скорости испарения раствора этанол-вода, рис.5а? Выполнялись ли повторные опыты в точке 50 град. С, концентрации этанола 70% с целью исключения грубого промаха?»

В отзыве на автореферат д.т.н. Кузмы-Кичты Ю.А. - профессора кафедры инженерной теплофизики ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ», содержится два замечания: «1. Учитывалось ли влияние конвекции внутри капли на скорость испарения? 2. В автореферате отсутствуют информация об однородности наночастиц и оценка влияния их неоднородности на характеристики тепло- и массообмена».

В отзыве на автореферат д.т.н., чл.-корр. Академии наук Республики Татарстан Республики Татарстан Попова И. А. - профессора кафедры теплотехники и энергетического машиностроения ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н.Туполева - КАИ», содержится 3 замечания: «1. Работа экспериментальная. Однако в автореферате не указаны неопределенности измерений основных параметров – скорости и температуры потока, концентраций компонентов, диаметра капель. Причем диаметр капель определяется в ходе высокоскоростной макросъемки и по частоте точек на графиках видно, что съемка осуществлялась довольно часто и практически нет выбросов и даже вариаций точек. Какой был диапазон начальных диаметров капель, с какой точностью и каким образом измерялся диаметр (по пикселям?), как производился пересчет размеров эллиптических капель в характерный диаметр капли? Часто автор по тексту говорит о хорошем «согласии» экспериментальных и расчетных данных, но практически ни разу в автореферате не указывает численные значения расхождений. 2. Диссертационная работа в области физико-математических наук. Однако в автореферате автор не показывает математических моделей, методик, обобщений. В основном представлены теоретические рассуждения на основе обсуждения результатов экспериментов. Например, [не рассмотрена] математическая модель испарения капли, для замыкания которой, наверное, и получены результаты работы; методики учета составляющих тепломассопереноса. А

главное – все основные результаты – это зависимости параметра K от времени, начального диаметра капли, скорости обдува, температуры окружающей среды, концентрации компонентов представлены в графическом виде, которые тяжело использовать при математическом моделировании. Почему не сделаны попытки обобщить экспериментальные данные? 3. При испарении капля происходит их охлаждение. В автореферате не замечены данные по изменению температуры капли во времени».

В отзыве на автореферат д.ф.-м.н. Фисенко С.П. - главного научного сотрудника лаборатории радиационно-конвективного переноса Института тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова НАН Беларуси, отмечено два замечания: «1. Неясно, наблюдалось ли влияние на испарение бинарной капли значительного уменьшения эффективного коэффициента поверхностного натяжения в смеси вода-этанол при увеличении концентрации этанола? В частности через колебания формы капли при обтекании газовым потоком? 2. Эффект концентрации наночастиц вблизи поверхности капли обнаружен около 10 лет [назад]. В работе Фисенко и Ходыко (Инженерно-Физический Журнал, 2013, т. 86, сс. 331-337) показано, что концентрация наночастиц вблизи границы капли зависит от безразмерного параметра: $D_b / R_d v$, где D_b – коэффициент броуновской диффузии наночастицы, R_d – радиус капли, v – скорость изменения радиуса капли. Неясно, какое значение имел этот безразмерный параметр в экспериментах диссертанта?»

В отзыве на автореферат к.т.н. Гольцман А.Е. - старшего научного сотрудника и к.т.н. Саушина И.И. - старшего научного сотрудника лаборатории гидродинамики и теплообмена Исследовательского центра проблем энергетики ФГБУН «Федеральный исследовательский центр «Казанский научный центр Российской академии наук», имеется 5 замечаний «1. В описании экспериментальной установки сказано, что влажность воздуха контролировалась за счет закрытого короба. Однако в автореферате нет информации о величине влажности воздуха, при которой проводились эксперименты с широким диапазоном изменения температуры набегающего потока. Эксперименты проводились в условиях схожей величины влажности набегающего потока? Если нет, то могло ли это оказать влияние на полученные в работе результаты? 2. Не кажется ли автору очевидным сформулированное на странице 13 автореферата утверждение, что скорость испарения капли смеси вода/этанол с малым содержанием воды близка к скорости испарения капли этанола, а с малым содержанием этанола к скорости испарения капли воды? И можно ли называть «малой» концентрацию фазы 30%, например, также «малой» в работе называется концентрация 0.1% частиц SiO_2 ? 3. На графиках рисунка 5 автореферата наблюдается локальный экстремум скорости испарения при 70% и 80% концентрации этанола. Автор объясняет это возможной неидеальностью раствора. Не совсем понятно, что это значит. Судя по графику, вместо 70% или 80 % раствора там был чистый этанол.

Это надо было обязательно перепроверить, ведь из этого следует выдвинутый тезис о «немонотонном поведении скорости для разных концентраций». Без этих экстремумов графики зависимостей можно назвать монотонными с допущением на неопределённость экспериментальных измерений. 4. Может ли добавление наночастиц в жидкость приводить к обратному эффекту уменьшения интенсификации за счет формирования слоя из «освобожденных» наночастиц на стенке поверхности теплообмена? 5. Прочие замечания: в первом абзаце страницы 12 автореферата неудачные стилистические допущения: «... угол наклона фазы...», «...угол наклона чистой воды...». И, в целом, в тексте присутствует разговорная лексика, что бросается в глаза. Также, допущен ряд грамматических и пунктуационных ошибок, а также неточностей. Перечисленные журналы в конце автореферата не все являются журналами из перечня ВАК».

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их высокой квалификацией в областях науки, непосредственно связанных с темой диссертации. Ведущая организация является одним из лидеров в области тепло- и массообменных процессов при фазовых переходах, в ней работают специалисты, которые могут дать полноценную экспертную оценку научной и практической значимости результатов работы (д.ф.-м.н. Скрипов П.В., д.ф.-м.н. Гасанов Б.М., д.ф.-м.н. Виноградов А.В., д.ф.-м.н., член-корреспондент Коверда В.П., д.т.н. Майданик Ю.Ф., к.ф.-м.н. Каверин А.М. и др.). Официальные оппоненты д.ф.-м.н., профессор Г.В. Кузнецов и д.т.н., профессор Ю.А. Снегирёв являются признанными специалистами в области теплофизики и теплоэнергетики, в частности, в вопросах тепломассообмена и фазовых превращений. Оппоненты имеют научные работы в области, изучению которой посвящена диссертационная работа, опубликованные в рецензируемых научных изданиях.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований разработана и обоснована методология экспериментальных измерений характеристик подвешенных в потоке испаряющихся капель различных жидкостей, проанализированы соотношения относительных тепловых потоков. Получен значительный массив экспериментальных данных по тепло- и массообмену в процессах испарения подвешенных капель неидеального раствора этанол-вода в условиях вынужденной конвекции для различных концентраций летучего компонента. Впервые получены данные по скорости испарения и динамике температуры в случае подвешенной капли наножидкости в широком диапазоне концентраций наночастиц и условий окружающей среды (температуры и скорости набегающего потока). Соискателем предложен и обоснован механизм испарения наножидкости с низкой концентрацией наночастиц.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что разработана упрощенная математическая модель тепломассопереноса испаряющейся подвешенной капли чистой жидкости, которая учитывает тепловые потери от подвеса, лучистый теплообмен, а также позволяет оценить влияние свободной и вынужденной конвекций.

Значимость полученных соискателем результатов для практики определяется тем, что представленные в диссертации данные могут быть использованы при разработке и оптимизации теплообменных аппаратов, при проектировании устройств, использующих капельное охлаждение и др.. Полученные результаты важны для развития методов осаждения наночастиц за счет испарения капель коллоидных растворов, а также могут применяться для уточнения современных математических моделей.

Оценка достоверности результатов исследования выявила: экспериментальные данные получены с использованием сертифицированного высокоточного оборудования, что позволяло минимизировать неопределенность и обеспечить удовлетворительную повторяемость результатов экспериментов при идентичных параметрах. Используются программные методы обработки результатов. Теоретические результаты в предельном случае соответствуют известным математическим моделям тепломассопереноса для однородных жидкостей, согласуются с экспериментальными данными, представленными в диссертации, а также с известными в литературе опытными данными других авторов.

Личный вклад соискателя состоит в проведении экспериментальных и теоретических исследований, включая отладку экспериментальных методик, обработку данных, участие в анализе полученных результатов, а также в подготовке публикаций. Научные результаты и выводы, послужившие основой диссертации и выносимые на защиту, получены соискателем самостоятельно. Постановка решаемых задач проводилась диссертантом как лично, так и совместно с научным руководителем д.ф.-м.н., профессором РАН В.В. Тереховым.

Диссертационным советом 24.1.129.01 сделан вывод о том, что диссертация Старинской Елены Михайловны представляет собой научно-квалификационную работу, в которой содержатся новые результаты комплексных исследований динамики испарения подвешенных капель неидеального бинарного раствора и коллоидных систем «вода/наночастицы», имеющие важное значение для развития теории тепломассообмена при фазовых превращениях. Представленная диссертационная работа соответствует критериям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24.09.2013.

На заседании 8 июня 2022 года диссертационный совет 24.1.129.01 принял решение присудить Старинской Елене Михайловне ученую степень кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 21 человека, из них 13 докторов наук по профилю специальности 1.3.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника, участвовавших в заседании, из 27 человек, входящих в состав совета, проголосовали за присуждение ученой степени - 21, против - 0, не действительных бюллетеней - 0.

Председатель
диссертационного совета
академик РАН

Алексеев Сергей Владимирович

И.о. ученого секретаря
д.т.н.



Низовцев Михаил Иванович

8 июня 2022 года