

УТВЕРЖДАЮ

Директор ИТ СО РАН
Академик РАН Маркович Д.М.



«10» декабря 2021 г.
М.П.

Заключение

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе
Сибирского отделения Российской академии наук

Диссертация на соискание степени кандидата физико-математических наук «Тепломассоперенос при испарении капель бинарных смесей и наножидкостей» выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук (ИТ СО РАН).

Старинская Елена Михайловна начала заниматься научной деятельностью на четвертом курсе обучения в Федеральном государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Новосибирский государственный технический университет» (НГТУ), в 2011 году была принята на работу в научно-исследовательскую лабораторию термохимической аэродинамики (2.1) ИТ СО РАН в должности лаборанта. В 2013 году Старинская Е.М. окончила обучение на факультете летательных аппаратов по направлению 160100 – «Авиа- и ракетостроение», получив диплом с «отличием», присуждена квалификация магистр.

В период подготовки диссертации с 2013 года и по настоящее время, соискатель, Старинская Елена Михайловна, работает в лаборатории термогазодинамики (2.2) в должности младшего научного сотрудника.

В 2017 году Старинская Е.М. окончила очную аспирантуру по специальности 01.03.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника, нормативный период обучения с 09.07.2013 г. по 08.07.2017 г.

Справка о сдаче кандидатских экзаменов № 2021/3 выдана в 2021 году Федеральным государственным бюджетным учреждением науки Институте теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук.

Научный руководитель: доктор физико-математических наук, профессор РАН Терехов Владимир Викторович, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии, заведующий лабораторией термогазодинамики (2.2).

Актуальность темы.

Исследования в области испарения капель различных жидкостей проводятся десятилетиями и в настоящее время вызывают все возрастающий интерес. Это связано с важной ролью, которую этот процесс играет в многочисленных технологических приложениях, например, при капельном охлаждении поверхностей, при распыле жидких топлив в двигателях внутреннего сгорания, в тепло-и массообменных аппаратах и т.д. Несмотря на огромное количество исследований в данной области, остается множество нерешенных задач. Анализ имеющихся работ по исследованию скорости испарения, показал, что результаты экспериментов зачастую противоречивы и разрознены. В настоящее время имеется значительное число работ, рассматривающих задачу испарения многокомпонентных капель, но при этом не создана единая теория испарения капель

сложного состава, которая отражала бы все эффекты, полученные исследователями в экспериментах.

Наножидкости интересны для современной науки, что обусловлено растущим кругом приложений, в которых такие жидкости могут быть использованы. В последнее время актуальной задачей является создание новых видов топлива для двигательных установок высокой мощности. Так, в традиционные жидкие топлива добавляют наночастицы различных материалов для улучшения производительности. Также испарение капель наножидкостей нашло применение в окраске, нанесении покрытий, формировании рисунка на поверхности, осаждении частиц и т. д. Однако стоит отметить, что имеющиеся данные о влиянии концентрации наночастиц на эффективность испарения капель обладают крайней противоречивостью. Исследователи наблюдают как значительную интенсификацию процесса испарения, так и существенное уменьшение скорости испарения при добавлении наночастиц в жидкость. В настоящее время нет исчерпывающего объяснения этим результатам, что является следствием исключительно сложной физики явлений и многофакторности изучаемого процесса.

Целью диссертационной работы является экспериментальное исследование испарения одиночной многокомпонентной капли в условиях сложного теплообмена

Задачи, поставленные в соответствии с целью работы:

1. Создать стенд для проведения экспериментов по испарению капель различных жидкостей в условиях свободной и вынужденной конвекций. Отработать методику проведения экспериментов. Выделить основные параметры, влияющие на неопределенность получаемых данных.
2. Многопараметрическое исследование тепломассообмена при испарении капель бинарного раствора этанол-вода в широком диапазоне условий (скорость и температура окружающей среды, концентрация летучего компонента в растворе).
3. Исследование влияния температуры и скорости окружающей среды на эффективность испарения капель наножидкостей. Оценка влияния концентрации наночастиц в жидкости на скорость испарения.

Научная новизна.

1. Получены новые данные о динамике испарения подвешенных капель неидеального раствора этанол-вода в широком диапазоне концентраций летучего компонента при вариации скорости потока воздуха и его температуры. Проведен параметрический анализ влияния основных факторов на тепло- и массообмен в процессе испарения капель бинарных растворов. Установлено слабое влияние начальной концентрации этанола на изменение температуры поверхности капли во времени. Показано, что скорость испарения имеет немонотонный характер в зависимости от концентраций летучего компонента в растворе. При этом, численные модели расчета, основанные на решении сопряженной задачи тепломассопереноса в газовой и жидкой фазах, дают качественное согласие с результатами экспериментов.

2. Впервые получены данные о динамике испарения подвешенных капель коллоидных систем вода/наночастицы SiO_2 . Получены зависимости скорости испарения от концентрации наночастиц при различных температурах и скоростях воздуха, обтекающего каплю. Проведена аналогия эволюции температуры для бинарных смесей двух жидкостей и коллоидной системы. Показано, что при малых концентрациях наночастиц в жидкости (0,1 wt. %) испарение происходит менее интенсивно по сравнению с базовой жидкостью. В области концентраций свыше 2 wt. % обнаружено немонотонное влияние содержания наночастиц в жидкости на скорость испарения из-за сильного воздействия теплофизических свойств.

3. Предложен механизм испарения наножидкости с низкой концентрацией наночастиц. Уменьшение интенсивности испарения жидкости в капле с постепенным выходом на плато обусловлено накоплением частиц вблизи поверхности. Показано, что лимитирующим фактором является диффузия наночастиц в жидкости. Данный механизм может быть использован для построения физико-математических моделей.

Научная и практическая значимость работы.

Получена база экспериментальных данных о тепло- и массообмене в процессах испарения подвешенных капель неидеального раствора этанол-вода в условиях вынужденной конвекции для различных концентраций летучего компонента. Знание закономерностей теплообмена необходимо для прогнозирования скорости испарения капель бинарных растворов, проверки теоретических моделей и повышения эффективности данного процесса.

Впервые получены данные о скорости испарения и динамике температуры в случае подвешенной капли наножидкости в широком диапазоне концентраций наночастиц и условий окружающей среды (температуры и скорости набегающего потока). Представленные в диссертации данные могут быть использованы при разработке и оптимизации теплообменных аппаратов, при проектировании устройств, использующих капельное охлаждение и т.д. Полученные результаты важны как фундаментальная основа для развития методов осаждения наночастиц за счет испарения капель коллоидных растворов, а также могут применяться для уточнения современных математических моделей.

Достоверность полученных результатов обеспечивается использованием современных методов диагностики температур и размеров испаряющейся капли, анализом неопределенностей измерений, проведением калибровочных и тестовых измерений. Результаты моделирования качественно описывают полученные экспериментальные данные. Выбранные экспериментальные режимы характеризуются хорошей воспроизводимостью и согласуются с результатами работ других авторов.

Личный вклад соискателя включает участие в постановке задач, решаемых в рамках выполнения диссертационной работы. Автор принимал участие в разработке новых и модификации имеющихся экспериментальных стендов, адаптации измерительного оборудования к условиям экспериментов, проведении экспериментальных исследований по тепло- и массообмену испаряющихся капель, обработке, анализе и интерпретации экспериментальных данных, а также подготовке научных докладов и публикаций в рецензируемых журналах. Все экспериментальные результаты, включенные в диссертацию, получены при непосредственном участии автора. Цель работы и основные методы исследования сформулированы руководителем диссертационной работы д.ф.-м.н. В. В. Тереховым. Данная работа выполнена в 2013-2021 гг. в лаборатории термогазодинамики ИТ СО РАН (зав. лаб. – д.ф.-м.н. В.В. Терехов).

Апробация работы.

Материалы диссертации были представлены на следующих международных и всероссийских конференциях: Российской национальной конференции по теплообмену РНКТ (Москва, 2014, 2018); Всероссийской школе-конференции молодых ученых «Актуальные вопросы теплофизики и физической гидрогазодинамики» (Новосибирск, 2014, 2016, 2020); Школе-семинаре молодых ученых и специалистов под руководством академика РАН А. И. Леонтьева (Звенигород, 2015, Санкт-Петербург, 2017, Москва, 2019, Екатеринбург, 2021); Сибирском теплофизическом семинаре, (Новосибирск, 2015, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021); Научно-практической конференции "Энергетика-Экология-Энергосбережение" (Калуга, 2016); XV Минский международный форум по теплообмену (Минск, 2016); International seminar with elements of scientific school for young scientists (Новосибирск, 2016); 2nd Int. School of Young Scientists "Interfacial Phenomena and Heat Transfer" (Новосибирск, 2017); Международная конференция «Современные проблемы теплофизики и энергетики» (Москва, 2017); International Heat Transfer Conference, IHTC 16 (Beijing, China, 2018); International seminar with elements of scientific school for young scientists, ISHM-VII (Новосибирск, 2018); V Всероссийская конференция «Теплофизика и физическая гидродинамика» (Ялта, Республика Крым, 2020); SWEP Workshop 2021 (Brighton, UK (online), 2021); The Second Sino-Russian Bilateral Symposium on Nano Surface Technology and Surface Effect (Новосибирск, 2021).

Основные публикации автора по материалам диссертации в научных журналах рекомендованных ВАК:

1. 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. – 121502.
2. Bochkareva (Starinskaya) 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 / Journal Interfacial Phenomena and Heat Transfer special issue “Transport Processes in Two-Phase Systems”. – 2018. – V. 6. – № 2. – P. 115–127.
3. Бочкарева (Старинская) 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.
4. Бочкарева (Старинская) 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.
5. Бочкарева (Старинская) Е.М., Миськив Н.Б., Лукашов В.В. Особенности конвективной сублимации в газовых смесях / Теплофизика и Аэромеханика. – 2020. – Т. 27. – № 6. – С. 883 – 390.

Решение о рекомендации к защите

Диссертация «Тепломассоперенос при испарении капель бинарных смесей и наножидкостей» Старинской Елены Михайловны рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.03.14 – теплофизика и теоретическая теплотехника. Решение принято на проведенном в режиме видеоконференции заседании Секции 2 Учёного совета ИТ СО РАН под руководством заместителя директора по научной работе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук д.ф.-м.н. Куйбина П.А. Всего присутствовали на заседании 17 чел., из них: 1 член-корреспондент РАН, 7 докторов наук, 4 кандидата наук.

Результаты голосования: «за» – 17 чел., «против» – нет, «воздержалось» – нет, протокол № 06/2021 от «01» декабря 2021 г.

Председатель расширенного заседания
Секции 2 Учёного совета ИТ СО РАН:

д.ф.-м.н.,

Заместитель директора по
научной работе

Куйбин П. А.

Секретарь расширенного заседания
Секции 2 Учёного совета ИТ СО РАН:

к.ф.-м.н.,

ученый секретарь ИТ СО РАН

Макаров М.С.

Подписи Куйбина П. А. и Макарова М.С. заверяю.

Начальник отдела кадров
ИТ СО РАН



Грехнева С.Ю.