

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по науке и трансферу
технологий
Национального исследовательского
Томского политехнического
университета

Сухих Л.Г.

«08» _____ 2022г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

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

Диссертация «Испарение капли воды с шероховатых нагретых поверхностей сплавов» 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 подготовки диссертации соискатель Войткова Ксения Артуровна работала в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» в должности инженера Научно-образовательного центра И.Н. Бутакова Инженерной школы энергетики.

В период с 2018 по 2022 год она 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 01.04.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника по направлению подготовки 03.06.01 Физика и астрономия выдана в 2022 г. федеральным государственным автономным образовательным учреждением высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет».

Научный руководитель:

Кузнецов Гений Владимирович, 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.

В ходе обсуждения были заданы следующие вопросы:

1. Профессор НОЦ И.Н. Бутакова, д.т.н., Заворин А.С.
 1. Расшифруйте что такое АМгб.
 2. Как добивались идентичности при обработке поверхностей подложек различными способами?
2. Профессор НОЦ И.Н. Бутакова, д.ф.-м.н., Борисов Б.В.
 3. Сколько опубликовано статей?
 4. Вы выдвинули гипотезу о переориентации частиц полистирола или вы наблюдали эти течения?
3. Доцент НОЦ И.Н. Бутакова, к.ф.-м.н., Пискунов М.В.
 5. Чем обусловлен переход капель из гетерогенного режима смачивания в гомогенный?
 6. С чем связана переориентация частиц полистирола ближе к краю капли?
 7. Почему выбран объем капель 5 мкл?
 8. Почему не использовались капли других объемов?
4. Профессор НОЦ И.Н. Бутакова, д.ф.-м.н., Стрижак П.А.
 9. Вы научились управлять процессом отвода тепла или нет?
 10. Какая должна быть плотность орошения поверхности, чтобы мы эффективно отводили от нее тепло. Капельки должны плотно ложиться и образовывать пленку или должен быть какой-то зазор между ними?
 11. Проводились ли эксперименты с двумя, с тремя каплями?
 12. Приведено базовое уравнение Герца-Кнудсена. Вы анализировали каковы границы его применимости (по давлению, по свойствам жидкости, по температурным диапазонам)?
5. Доцент НИЦ «Экоэнергетика 4.0.», д.т.н., Пак А.Я.
 13. Характеристики шероховатости регламентируются для реальных изделий?
 14. Та шероховатость, которую вы достигли была выше или ниже характеристик шероховатости реальных поверхностей?
6. Профессор НОЦ И.Н. Бутакова, д.ф.-м.н., Коротких А.Г.
 15. Что за число Вебера у вас обозначено?
 16. Если мы поменяем подложку (возьмем не алюминиево-магниевый сплав, а простой алюминий) как изменятся характеристики процесса испарения?
 17. В чем преимущество алюминиево-магниевого сплава и в чем отличие от других сплавов?
 18. Если испарение капли происходит с поверхности материала, то ключевым должен быть не материал, а шероховатость его поверхности?
 19. Какая была окружающая среда?
 20. При каких условиях проводился эксперимент (температура, влажность, скорость движения воздуха)?
 21. Какая стоит задача: быстрее испарить каплю и отвести тепло с поверхности?

22. Какие существуют способы для охлаждения поверхностей микроконтроллеров, микрочипов?
23. Какие необходимо создать условия для интенсификации процесса отвода тепла от теплонагруженной поверхности?
24. Чтобы быстрее охладить поверхность нужно чтобы капля быстрее растекалась с поверхности и быстрее испарилась?
25. Может быть лучше создать условия, чтобы капля быстрее растекалась с поверхности и быстрее испарялась?
26. Как решалось уравнение диффузии?
27. Как определялась концентрация водяных паров над каплей?
28. На сколько задаваемая концентрация водяных паров соответствовала реальным условиям?
29. Как измерялась концентрация водяных паров?
30. Как рассчитывался коэффициент диффузии?

По итогам обсуждения принято следующее заключение:

Общая характеристика работы

Диссертация Войтковой Ксении Артуровны представляет законченную научно-квалификационную работу, в которой изложены результаты экспериментальных и теоретических исследований, совокупность которых можно квалифицировать как новые научные достижения в области теплофизики и промышленной теплоэнергетики. В диссертации выполнен анализ современного состояния и перспектив развития экспериментальных и теоретических исследований в области интенсификации процесса испарения капель жидкостей с поверхностей твердых тел с различной шероховатостью. Обоснована возможность управления процессом охлаждения локальных участков нагретых поверхностей энергонасыщенного оборудования при испарении капель воды в результате изменения шероховатости поверхности алюминий-магниевого сплава. Установлены режимы испарения, вычислены скорости испарения и установлены температуры испаряющихся с шероховатых нагретых поверхностей подложек капель воды. Установлено влияние наночастиц полистирола в капле воды на выполнение условия ее нерастекания по поверхностям подложек из алюминий-магниевого сплава. Сформулирована автономная замкнутая математическая модель, в которой локальные скорости испарения капли жидкости с поверхности твердого тела рассчитывались в явном виде с использованием математического выражения закона Герца-Кнудсена.

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

Развитие электроники связано с постоянно увеличивающимися требованиями повышения удельной мощности электронных устройств, расширения температурного диапазона их работы и уменьшения габаритов. Увеличение энергонасыщенности электронного оборудования инициирует интенсивные локальные тепловыделения. Применение традиционных технологий охлаждения для конкретных изделий или их элементов в системах обеспечения тепловых режимов современного энергонасыщенного оборудования (например, воздушное охлаждение) во многих случаях не может обеспечить достаточно эффективный отвод тепла. Возникает объективная необходимость высокой интенсивности отвода тепла от локально теплонагруженных участков оборудования, температура которых в определенных условиях работы может подниматься выше предельно допустимых. Перспективной технологией охлаждения является подача охлаждающей жидкости на теплонагруженный участок энергонасыщенного оборудования в виде струй или капель. Но до настоящего времени не разработана теория процессов охлаждения локальных участков нагретых поверхностей энергонасыщенного оборудования при использовании для этого капель жидкости.

Тематика исследований соответствует приоритетному направлению развития науки в Российской Федерации (указ Президента РФ № 899 от 7 июня 2011 г.): Энергоэффективность, энергосбережение, ядерная энергетика. Результаты исследования могут использоваться для разработки рекомендаций к нормативным методам расчета систем капельного охлаждения энергонасыщенного оборудования.

Личное участие автора в получении результатов, изложенных в диссертации

Личный вклад автора состоит в совместной с руководителем постановке цели и задач; выборе методик экспериментальных исследований характеристик процесса испарения капель жидкостей с шероховатых поверхностей подложек; постановке и планировании экспериментов; проведении экспериментов; обработке полученных результатов; оценке систематических и случайных погрешностей; анализе и обобщении результатов исследований; получении зависимостей скоростей испарения капель воды от температуры поверхности подложки; установлении режимов испарения капель воды на специально обработанных шероховатых поверхностях подложек; формулировке математической модели процесса теплопереноса в капле; разработке метода решения; установлении температур испаряющейся с поверхности подложки капли; формулировке основных защищаемых положений и выводов.

Степень достоверности результатов проведенных исследований

Достоверность полученных результатов обусловлена применением современных средств измерений, методов анализа и обработки опытных данных. Оценка достоверности полученных экспериментальных данных проводилась по результатам расчетов погрешностей измерений регистрируемых физических величин. Также проводилось сравнение полученных результатов с теоретическими следствиями и экспериментальными данными авторов, полученных ими для других материалов, жидкостей и температур нагрева. С целью обоснования достоверности результатов математического моделирования проведен сравнительный анализ с полученными в настоящей работе результатами экспериментов.

Новизна результатов проведенных исследований

Новизна результатов заключается в обосновании возможности управления процессом охлаждения локальных участков нагретых поверхностей энергонасыщенного оборудования при испарении капель воды в результате изменения шероховатости поверхности алюминий-магниевого сплава. Установлены режимы испарения, вычислены скорости испарения и установлены температуры испаряющихся с шероховатых нагретых поверхностей подложек капель воды. Сформулирована автономная замкнутая математическая модель, в которой локальные скорости испарения капли жидкости с поверхности твердого тела рассчитывались в явном виде с использованием математического выражения закона Герца-Кнудсена. Установлено влияние наночастиц полистирола в капле воды на выполнение условия ее нерастекания по поверхностям подложек из алюминий-магниевого сплава.

Практическая значимость диссертации и использование полученных результатов

Практическая значимость работы заключается в возможности использования полученных результатов для разработки рекомендаций к нормативным методам расчета систем капельного охлаждения энергонасыщенного оборудования.

Апробация результатов исследования

Основные положения и результаты диссертационного исследования докладывались и обсуждались на следующих научных мероприятиях: XVI Всероссийская школа-конференция молодых ученых с международным участием «Актуальные вопросы теплофизики и физической гидрогазодинамики» (Новосибирск, 2020 г.), Международная молодежная научная конференция «Тепломассообмен в системах обеспечения тепловых режимов энергонасыщенного технического и технологического оборудования» (Томск, 2022 г.), Седьмая российская национальная конференция по теплообмену (Москва, 2018 г.), 14th International Forum on Strategic Technology (Томск, 2019 г.), Международная молодежная научная конференция «Теплофизические основы энергетических технологий» (Томск, 2019 и 2020 гг.), III международная конференция «Современные проблемы теплофизики и энергетики» (Москва, 2020 г.), Международная молодежная научная конференция «Тинчуринские чтения – 2022. Энергетика и цифровая трансформация» (Казань, 2022 г.).

Полнота изложения материалов диссертации в работах, опубликованных соискателем

Результаты диссертационных исследований опубликованы в 6 печатных работах, в том числе 3 – в международных рецензируемых журналах, индексируемых базами данных «Scopus» и «Web of Science»:

1. Zaitsev D.V. Prediction of water droplet behaviour on aluminium alloy surfaces modified by nanosecond laser pulses / D.V. Zaitsev, K.A. Batishcheva, G.V. Kuznetsov, E.G. Orlova // Surface and Coating Technology. – 2019. – V. 399. – p. 126206.
2. Batishcheva K.A. Evaporation of colloidal droplets from aluminium-magnesium alloy surfaces after laser-texturing and mechanical processing / K.A. Batishcheva, G.V. Kuznetsov, E.G. Orlova, Yu.N. Vympina // Colloids and Surfaces A. – 2021. – V. 629. – p. 127301.
3. Zaitsev D.V. Effect of mechanical polishing of aluminium alloy surfaces on wetting and droplet evaporation at constant and cyclically varying pressure in the chamber / D.V. Zaitsev, K.A. Batishcheva, G.V. Kuznetsov, E.G. Orlova, O.A. Kabov // Journal of material Science. – 2021. – V. 56. – p. 20154-20168.

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

4. Батищева К.А. Испарение капель воды в изолированной от внешней среды камере / К.А. Батищева, А.Е. Нурпейис // Вестник Тюменского государственного университета. Физико-математическое моделирование. Нефть, газ, энергетика. – 2020. – Т. 6, № 3 (23). – С. 8-22
5. Батищева К.А. Влияние способа обработки алюминиево-магниевого сплава на структуру кольцевых осадков, формирующихся при испарении капель

коллоидных растворов / К.А. Батищева, Ю.Н. Вымпина // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. – 2021. – Т. 77, № 1. – С. 15-18.

6. Батищева К.А. Влияние лазерной обработки поверхности алюминиево-магниевого сплава на «самосборку» наночастиц при испарении капель коллоидных растворов / К.А. Батищева, Ю.Н. Вымпина, Е.Г. Орлова // Вестник Тюменского государственного университета. Физико-математическое моделирование. Нефть, газ, энергетика. – 2021. – Т. 7, № 1(25). – С. 26-43.

Соответствие содержания диссертации избранной специальности

Диссертация является завершенной научно-квалификационной работой, соответствует критериям, которым должны отвечать диссертации на соискание ученых степеней согласно «Порядка присуждения ученых степеней в Томском политехническом университете» и соответствует паспорту научной специальности 1.3.14. – Теплофизика и теоретическая теплотехника.

Соответствует формуле специальности:

«Теплофизика и теоретическая теплотехника» – область науки, включающая теоретические и экспериментальные исследования свойств веществ в жидком, твердом и газообразном состоянии при наличии всех видов тепло- и массообмена во всем диапазоне температур и давлений, магнитную гидродинамику электропроводных сред, неоднородные аэродисперсные системы, теплофизику низкотемпературной плазмы, теорию подобия теплофизических процессов, теоретическую и техническую термодинамику, теорию фазовых переходов при горении в гетерогенных системах, численное и натурное моделирование теплофизических процессов в природе, технике и эксперименте, расчет и проектирование нового теплотехнического оборудования.

А также следующему пункту 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.

Диссертация «Испарение капли воды с шероховатых нагретых поверхностей сплавов» Войтковой Ксении Артуровны рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по группе научной специальности 1.3. Физические науки, 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 очно на заседании 11 чел.

Результаты голосования: «за» - 10 чел., «против» - 0 чел., «воздержалось» - 0 чел.

Протокол № 14 от «06» июня 2022 г.

Борисов Борис Владимирович, д.ф.-м.н.,
профессор научно-образовательного центра
И.Н. Бутакова Инженерной школы энергетики
Заместитель председателя Теплоэнергетической
секции Научно-технического совета
Инженерной школы энергетики



Филимонова Светлана Владиславовна,
секретарь научно-технического совета,
Инженерной школы энергетики



Подписи Борисова Б.В. и Филимоновой С.В.
заверяю

Ученый секретарь Ученого совета ТПУ
Кулинич Екатерина Александровна

