

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования



**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Направление подготовки/профиль: 03.06.01 Физика и астрономия / 01.04.14 Теплофизика
и теоретическая теплотехника

Школа: Инженерная школа энергетики

Отделение: Научно-образовательный центр И.Н. Бутакова

**Научный доклад об основных результатах подготовленной
научно-квалификационной работы**

Тема научно-квалификационной работы	
Особенности испарения капли воды и растворов с шероховатых поверхностей алюминиево-магниевого сплава	

УДК 536.423:669.715:669.721:62-408.8

Аспирант

Группа	ФИО	Подпись	Дата
A8-11	Войткова Ксения Артуровна		

Руководитель профиля подготовки

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор НОЦ И.Н. Бутакова	Коротких Александр Геннадьевич	д.ф.-м.н., доцент		

Руководитель отделения

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель НОЦ И.Н. Бутакова	Заворин Александр Сергеевич	д.т.н., профессор		

Научный руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор НОЦ И.Н. Бутакова	Кузнецов Гений Владимирович	д.ф.-м.н., профессор		

Томск – 2022 г.

Актуальность работы базируется на том факте, что 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. Достижение регламентного температурного режима энергонасыщенного оборудования возможно с использованием перспективной технологии охлаждения в которой и подача охлаждающей жидкости на теплонагруженный участок энергонасыщенного оборудования (прямое жидкостное охлаждение). В эту группу входят технологии охлаждения, в которых жидкость подается на разогретую поверхность в виде капель или струй. В основе указанных выше технологий охлаждения лежит принцип наиболее эффективного применения тепловых эффектов фазовых переходов (типа «Вода-Пар»).

Цель работы является установление в результате экспериментального исследования и математического моделирования возможности управления процессом охлаждения локальных нагретых поверхностей элементов конструкции энергонасыщенного оборудования специальной обработкой этих участков и последующем осаждении на эти участки капель испаряющихся при нагреве жидкостей.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

1. Установление режимов испарения капель воды с шероховатых нагретых поверхностей подложек.
2. Разработка автономной замкнутой математической модели процесса теплопереноса в испаряющейся с нагретой поверхности подложки капле жидкости.
3. Определение по результатам экспериментального исследования и математического моделирования скоростей испарения и температур капель воды при их испарении с нагретой поверхности подложки.
4. Определить влияние микро- и наночастиц в капле воды на характеристики ее испарения с шероховатых поверхностей подложек для определения необходимости очистки охлаждающих жидкостей от твердых включений.

Сформулированы основные результаты и выводы.

1. По результатам экспериментального исследования установлено, что при обработке поверхности подложки из алюминиевого сплава шлифовальной машиной, шлифовально-полировальными дисками и лазерным излучением выполняется условие нерастекания капли воды – 95% времени своего существования капля воды испарялась в режиме постоянного контактного диаметра (пиннинг контактной линии).
2. Анализируя характерные времена диффузии и конвекции при испарении капель воды с нагретых до 343 К поверхностей подложек установлено, что в условиях проведенных экспериментов процесс испарения капли являлся диффузионным. Экспериментально определены скорости убыли массы капель воды (dm/dt , кг/с) с поверхностей алюминий-магниевого сплава при наличии перепада температур в экспериментальной камере. Получены параметры аппроксимационного выражения,

описывающего зависимости скорости испарения капель воды от перепада температур в камере.

3. По результатам математического моделирования установлено, что температуры испаряющейся капли охлаждающей жидкости могут быть в течение достаточно длительного времени существенно ниже (на 10-15 %) температур поверхностей теплонагруженных элементов. Перепад температур по угловой координате испаряющейся с нагретой до 343 К поверхности подложки капли воды может достигать 35 К. Последнее приводит к существенному снижению (более чем в 10 раз) локальных скоростей испарения капли охлаждающей жидкости при увеличении угловой координаты от $\varphi = 0^\circ$ (контактная линия) до $\varphi = 90^\circ$ (точка, соответствующая максимальной толщине капли).

4. После дозирования капель воды с полистирольными частицами диаметрами 50 нм, 100 нм и 1000 нм как на гладкие, так и на шероховатые поверхности подложек они испарялись в режиме постоянного контактного диаметра более 90 % времени существования капли вследствие осаждения частиц вблизи контактной линии капли. Установлено, что при испарении капель воды с полистирольными частицами концентрацией 0,025 % с поверхностей исследуемых подложек образовывались твердые осадки в виде колец. Наличие на сатинированной и обработанных лазерным излучением поверхностях подложек текстуры привело к образованию вытянутых параллельно вектору движения луча лазера или полировального инструмента осадков под действием капиллярной силы. Увеличение концентрации относительно крупных полистирольных частиц диаметром 1000 нм в даже до 0,3% привело к изменению вида твердого осадка только на обработанной лазерным излучением с шагом 50 мкм гидрофобной поверхности вследствие наличия на ней многомодальной шероховатости. При испарении капель воды с частицами образовался слой.

5. Результаты выполненных теоретических и экспериментальных исследований иллюстрируют возможность управления процессами охлаждения локальных нагретых до высоких температур участков поверхностей элементов конструкции энергонасыщенного оборудования при специальной обработке этих участков и последующем осаждении на эти участки капель испаряющихся при нагреве жидкостей.