

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу

Сафронова Андрея Александровича

«ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ФОРМИРОВАНИЯ КАПЕЛЬНОГО ПОТОКА И РАДИАЦИОННОГО ТЕПЛООБМЕНА В БЕСКАРКАСНЫХ СИСТЕМАХ ОТВОДА НИЗКОПОТЕНЦИАЛЬНОГО ТЕПЛА В КОСМОСЕ»,

представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 - «Механика жидкости, газа и плазмы»

Актуальность работы.

Одной из важнейших задач в области космических систем и технологий является создание новых перспективных систем теплоотвода от космических аппаратов. С точки зрения максимального теплоотвода особый интерес представляют радиационные капельные холодильники излучатели - КХИ. Рабочим телом в таких излучателях являются монодисперсные капельные потоки из вязких жидкостей.

Использование в системах охлаждения монодисперсных капельных потоков может оказаться весьма эффективным, поскольку делает системы охлаждения более компактными и легкими по сравнению с обычными пластинчатыми и трубчатыми теплообменными аппаратами (ТОА). Кроме того, КХИ обладают следующими важными преимуществами перед традиционными ТОА: излучающая поверхность КХИ не чувствительна к воздействию потоков микрометеоритов и оружия направленного действия; простота развертывания в космосе – в сложенном положении элементы КХИ занимают малый объем в грузовом отсеке транспортного корабля. Особенно эффективно использование КХИ в тех случаях, когда мощность теплоотвода от космического аппарата превышает 100 кВт , а при мощностях больших 10 МВт конкуренцию КХИ не может составить ни одна из существующих систем теплоотвода.

Основными показателями эффективности применения КХИ являются: величина теплового излучения от капельной пелены, сбрасываемая тепловая мощность и стабильность при взаимодействии с метеоритными потоками.

Все вышеперечисленные показатели эффективности зависят от количества струй теплоносителя и геометрической структуры капельной пелены. Однако большое количество близко расположенных струй может привести к

экранированию капельных потоков друг другом и к уменьшению сбрасываемой тепловой мощности. Поэтому очень важно правильно выбрать структуру пелены, её размеры и количество рабочих струй теплоносителя.

В рецензируемой работе рассматривается комплекс научных и практических аспектов, связанных с выбором характеристик капельной пелены. Полученные результаты позволили автору сформулировать практические рекомендации, необходимые для создания нового вида теплообменников – КХИ излучателей.

На основании выше перечисленного, можно считать рецензируемую работу, несомненно, **актуальной**.

Научная новизна и ценность. Учитывая слабую проработанность вопросов радиационного теплообмена монодисперсных потоков капель, автор диссертации большое внимание уделяет изучению особенностей радиационного охлаждения капельных потоков различной структуры. В силу этого можно утверждать, что **научную** ценность работы представляют: аналитические зависимости, описывающие поле температуры в капельной пелене, и методика расчета кинетических коэффициентов переноса излучения в структурированном капельном потоке низкопотенциального КХИ.

Практическая ценность заключается в том, что полученные экспериментальные результаты, разработанные расчётные модели и программы позволяют обоснованно выбирать для радиационных капельных космических теплообменников с различной структурой, размером частиц и теплофизическими характеристиками рабочего тела оптимальные геометрические параметры. В частности, результаты работы могут быть использованы в работах Госкорпорации "РОСКОСМОС" при разработке перспективных систем охлаждения.

Публикации и апробация работы. Основные научные результаты диссертационной работы опубликованы в рецензируемых научных изданиях. Содержание диссертации отражено в 12 печатных работах, в том числе 6 – в изданиях международных систем цитирования Web of Science и Scopus. Материалы работы были апробированы на 8 российских и международных конференциях.

Содержание работы. Структурно работа состоит из введения, 4-х глав, заключения и списка литературы. Работа содержит 163 страницы текста, в том числе: 45 рисунков и 5 таблиц. Библиография насчитывает 104 наименования.

Первая глава посвящена обзору литературы по вопросам использования капельных потоков для решения проблем теплоотвода от космических аппаратов.

Дано описание принципа работы, преимуществ, основных характеристик возможных конструкций установок теплоотвода от космических аппаратов –

капельных холодильников излучателей.

Проведен обзор работ, посвященных численному и аналитическому моделированию радиационного остывания дисперсных потоков.

Также обсуждены исследования капиллярного распада вязких струй. Отмечено отсутствие в настоящее время обоснованного решения задачи вынужденного капиллярного распада при $Oh \sim 1$.

Предметом исследования второй главы является вынужденный капиллярный распад струй ньютоновых жидкостей с числом Онезорге, близким к единице. Главными решаемыми задачами являлись: разработка метода расчета размеров основных и сателлитных капель; экспериментальное определение размеров капель и сравнение полученных результатов с результатами расчетов; выявление закономерностей формирования микросателлитов при капиллярном распаде струй.

Для верификации разработанной методики расчета размеров основных и сателлитных капель создана экспериментальная установка. В главе представлено описание установки и методика проведения экспериментов. Установлено, что в области значений числа Онезорге $Oh \in [0,2; 2]$ образование сателлитных капель наименее вероятно. В случае, когда $Oh > 2$, вероятность образования сателлитов быстро растёт с увеличением значения числа Онезорге. При $Oh > 10$ практически невозможно реализовать безсателлитный капиллярный распад струи.

Также в главе представлены результаты экспериментального исследования образования микросателлитов. Образование микросателлитов исследовалось на примере распада жидких плёнок. Полученные результаты использовались при проведении серии вычислительных экспериментов по определению условий образования микросателлитов. По результатам экспериментов предложена модель образования микросателлитов, объясняющая влияние числа Онезорге на процесс их образования.

Главы три и четыре посвящены исследованию теплообмена в капельной пелене – одном из основных элементов КХИ бескаркасных систем отвода низкопотенциального тепла в космосе. Эти главы наиболее объемные – составляют примерно половину всей работы. В них изложены наиболее важные результаты диссертации.

В третьей главе диссертации предложена физическая модель остывания капель и показано, что в низкопотенциальном КХИ тепло наилучшим образом отводит тонкий структурированный капельный поток с оптической толщиной, близкой к единице, и для проведения теплового расчета КХИ приемлемую точность может обеспечить использование модели геометрической оптики.

В четвертой главе диссертации представлены результаты исследования установления профиля температуры внутри капельного потока пелены КХИ

произвольной оптической толщины. Показано, что в остывающем потоке могут длительное время существовать возмущения поля температуры. Проведён анализ устойчивости процесса отвода тепла от КХИ по отношению к геометрической деформации капельного потока, вызванной не идеальностью процесса генерации капель; деформаций, связанных с наличием пространственного электрического заряда и т.д. Выявлены условия, при которых процесс установления профиля температуры оказывается неустойчивым.

Несмотря на общую положительную оценку работы, по содержанию диссертации можно отметить следующие замечания:

1. Необходимо отметить, что идея использования дисперсных потоков вещества в открытом космосе в качестве теплообменной поверхности принадлежит отечественным ученым В.Г. Базарову и А.Л. Душкину (ав. свид. 1972г., «ТЕПЛОПЕРЕДАЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО со встречно установленным распыляющим соплом и уловителем капель теплоносителя», МАИ). Работа А. Т. Mattick и А. Hertzberg на которую, как основополагающую, ссылается автор, появилась только в 1982г. К сожалению, автор этого не указал.

2. В обзоре литературы по проблемам создания КХИ и вопросам использования капельных потоков для решения проблем теплоотвода от космических аппаратов автор основной упор делает на анализ иностранных источников. К сожалению, ссылки на отечественные работы, посвящённые проблемам капиллярного распада вязких и невязких жидкостей и получению стабильных капельных потоков, отсутствуют.

3. В главе 2 (часть 2.7), посвящённой экспериментальному исследованию зависимости размеров основных и сателлитных капель от безразмерного волнового числа, описание экспериментальной установки, методики проведения и обработки экспериментов представлены недостаточно полно. Кроме того, отсутствует обоснование величины погрешности 0,5 мкм определения размеров капель.

4. Необходимо отметить некоторую небрежность, проявленную автором, к оформлению диссертации. Ряд рисунков пронумерован неправильно (рисунок 5 вместо 2.5 и т.д.). Различное обозначение числа Онезорге (есть Oh и есть On). На некоторых графиках у осей отсутствуют обозначение единиц измерения.

Заключение

Отмеченные недостатки не влияют на положительную оценку работы **Сафронова Андрея Александровича** в целом. В рецензируемой работе автор на основании теоретических и экспериментальных исследований получил важные результаты, необходимые для проектирования высокоэффективных, компактных капельных теплообменных аппаратов и, тем самым, внес существенный вклад в решение научной проблемы, имеющей важное как научное, так и хозяйственное значение.

Автореферат диссертации и публикации достаточно полно отражают основное содержание диссертации.

На основании выше изложенного считаю, что диссертационная работа Сафронова Андрея Александровича «ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ФОРМИРОВАНИЯ КАПЕЛЬНОГО ПОТОКА И РАДИАЦИОННОГО ТЕПЛООБМЕНА В БЕСКАРКАСНЫХ СИСТЕМАХ ОТВОДА НИЗКОПОТЕНЦИАЛЬНОГО ТЕПЛА В КОСМОСЕ», представляет собой законченную актуальную научно-исследовательскую работу. Диссертация полностью отвечает критериям «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Правительством РФ от 24.09.2013г. № 842, а ее автор заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 - «Механика жидкости, газа и плазмы».

Официальный оппонент:

Профессор кафедры «Низких температур»
ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ».

Доктор технических наук

Моб. телефон: 8-916-327-72-20

Электронная почта: boukharov@mail.ru

Телефон организации: +7 (495) 362-72-01

Адрес: 111250, Россия, г. Москва,

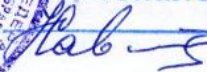
Красноказарменная улица, дом 14

<https://mpei.ru/Pages/default.aspx>




Бухаров Александр Васильевич

управления по
персоналом



Н.Г. Савин

06 марта 2019 г.