

ОТЗЫВ

Официального оппонента на диссертационную работу

Дементьева Юрия Анатольевича

«Экспериментальное исследование двухфазных течений в плоских микроканалах»,
представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по
специальности 1.1.9. «Механика жидкости, газа и плазмы»

Диссертационная работа Ю.А. Дементьева посвящена экспериментальному исследованию газожидкостных двухфазных течений, в том числе в условиях локального теплового воздействия, в плоских микроканалах. Актуальность работы обусловлена развитием возможностей применения сверхкомпактных теплообменных систем для охлаждения электронных компонентов и развитием микрофлюидных технологий, что требует в том числе изучения особенностей течений на микромасштабном уровне. Выполненные автором экспериментальные исследования охватывают ранее малоизученный диапазон высот плоских микроканалов (10–55 мкм), что подчёркивает актуальность и практическую значимость выполненной работы.

Структура диссертации. Диссертация состоит из введения, четырёх глав и заключения. Объём диссертации составляет 111 страниц, содержащих 56 рисунков и 12 таблиц. Список литературы содержит 104 наименования.

Во введении обоснована актуальность темы диссертационного исследования, сформулированы цель, задачи, научная новизна и практическая значимость работы, а также перечислены основные положения, выносимые на защиту.

Первая глава посвящена анализу современного состояния исследований в области двухфазных течений в мини- и микроканалах. Приведён подробный критический обзор существующих экспериментальных работ, посвящённых классификации режимов течения, физике режимобразующих гидродинамических неустойчивостей, а также перепаду давления в однофазных и двухфазных потоках. Показаны как достижения, так и недостатки известных подходов, что позволило обосновать необходимость проведения данного исследования.

Вторая глава посвящена описанию используемых экспериментальных установок, рабочих участков, оптических методик, а также методам определения высот каналов, характеристики внутренних поверхностей каналов и анализу неопределённостей. Подробно описаны технологии сборки рабочих участков с применением современных технологий фотолитографии, глубокого анизотропного травления, анодного бондинга и контролируемой УФ-склейки,

В третьей главе представлены экспериментальные результаты о визуализации двухфазных режимов течений. Выполнено описание и классификация обнаруженных режимов двухфазных течений и их особенностей. На основе обнаруженных особенностей предложена новая классификация режимов течения, основанная как на качественных, так и на количественных характеристиках двухфазных потоков. Представлены карты режимов течения, построенные в безразмерных координатах и выделены особенности течений в сравнении с микроканалами большей высоты.

В четвертой главе представлены экспериментальные результаты по измерению перепада давления в плоских микроканалах для однофазных и двухфазных течений. Детально проанализирован параметр межфазного взаимодействия и предложена модификация модели раздельного течения с учётом сжимаемости газа. В рамках предложенной модели была разработана корреляция для параметра межфазного взаимодействия позволившая выполнить обобщение данных по двухфазному перепаду давления на трение в исследуемой группе каналов. Исследован перепад давления в условиях локального нагрева стенки рабочего участка, показан механизм его снижения с ростом массовой скорости газа.

В заключении сформулированы основные выводы диссертационной работы.

Научная новизна диссертации обусловлена получением новых экспериментальных данных о режимах течения и потерях давления в плоских микроканалах в диапазоне высот от 10 до 55 мкм, которые ранее не исследовались. Используются уникальные методики для создания рабочих участков и визуализации двухфазного течения. Выявлены новые эффекты при течении двухфазного газо-жидкостного потока, выявлена капиллярно-модуляционная неустойчивость, определяющая пальцеобразование пленки жидкости в потоках, предложена новая классификация наблюдаемых режимов. Выполнена модификация модели раздельного течения Локхарта–Мартинелли для расчета двухфазного перепада давления с учётом сжимаемости газовой фазы.

Достоверность полученных результатов обоснована применением современных отработанных методов измерений и визуализации (высокоскоростная съёмка, шпирен-методика), проведением калибровок, анализом неопределённостей, повторяемостью данных, публикацией результатов в ведущих рецензируемых научных журналах, включая публикации в журналах первого квартиля.

Личный вклад автора заключается в самостоятельном выполнении исследований. Автор разработал и собрал экспериментальные стенды и рабочие участки, выполнил все предусмотренные в работе эксперименты, провёл всестороннюю обработку и интерпретацию полученных данных.

Научная значимость выполненной работы заключается в получении новых экспериментальных закономерностей газожидкостных течений в микроканалах с характерными размерами от 10 до 55 мкм. Автором получены оригинальные данные о режимах двухфазных течений и их характерных особенностях, а также о специфике перепада давления в рассматриваемых условиях микромасштаба. Дементьевым Ю.А. модифицирована модель раздельного течения, позволяющая. По уровню использованных технологий изготовления рабочих участков, методик визуализации течения и измерений работа соответствует мировому уровню. Можно отметить использование нескольких жидкостей и газов, расширивших область полученных результатов.

Практическая значимость работы определяется возможностью применения разработанной корреляции для расчёта перепада давления в плоских микроканалах, что представляет интерес при проектировании микроканальных систем охлаждения. Полученные результаты могут быть использованы при создании новых микроэлектромеханических систем, микроканальных систем теплопередачи, микротеплообменников и других микрофлюидных устройств, а также при оптимизации устройств, основанных на использовании двухфазных теплоносителей.

При прочтении работы у оппонента не сформировалось принципиальных вопросов по диссертации, выполненной в целом на очень высоком уровне, остались некоторые методические, редакционные и общие замечания:

1. Датчики давления установлены до микроканала, есть ли потери давления на входе (повороте потока) в рабочий канал?
2. В диссертации используется термин «фактор трения» вместо привычного в русскоязычной литературе «коэффициент трения», именной закон (формула 1.10) не назван, встречаются фразы «мгновенно подавал сигнал», «шестеренчатым расходом», «подачей электричества» (стр. 45-46), использование в одной таблице 2.1 для характеристик шероховатости чисел, содержащих от одной до четырех значащих цифр.
3. Подход Локхарта-Мартинелли является аппроксимационным (математическим) между течением чистых жидкости и газов, автор в работе приводит физическое толкование наблюдаемых эффектов для одной из переменных в аппроксимации, насколько это оправдано?
4. Для двухфазных течений в каналах (любого размера) характерно использование однокомпонентной среды в технических приложениях (обеспечивается простота замыкания циркуляции), насколько исследование автора для смеси HFE7100 и азота может быть востребовано в практике? Если выбор 40 % В-С раствора понятен, то как обоснован выбор 92,8 % В-С раствора?

Указанные замечания не снижают общего положительного заключения по работе.

Диссертация Ю.А. Дементьева на соискание степени кандидата физико-математических наук является научно-квалификационной работой, в которой решена задача определения режимов течения и потерь давления в двухфазном газо-жидкостном потоке в плоских микроканалах, имеющая важное значение для развития механики двухфазных потоков и разработке компактных теплообменных систем для охлаждения электронных компонентов. Основные результаты диссертации опубликованы в 15 статьях в ведущих рецензируемых журналах и апробированы на конференциях.

Диссертационное исследование Дементьева Юрия Анатольевича отвечает требованиям п. 9-11, 13, 14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 №842 (в действующей редакции), а его автор бесспорно заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.9. «Механика жидкости, газа и плазмы».

Доктор технических наук

(01.04.14 Теплофизика и теоретическая теплотехника)

профессор, член-корреспондент РАН

заведующий кафедрой ОФиЯС

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ»

05.12.2025



Дедов Алексей Викторович

Подпись _____
Заместитель начальника Управления
по работе с персоналом Л.И. Полевая

Почтовый адрес: 111250, Россия, г. Москва, ВН.ТЕР.Г. МУНИЦИПАЛЬНЫЙ ОКРУГ ЛЕФОРТОВО, УЛ КРАСНОКАЗАРМЕННАЯ, Д.14, СТР.1

Эл. почта: dedovav@mpei.ru

Телефон: +7 495 362-78-65

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение науки "Национальный исследовательский университет "МЭИ"

Я, Дедов Алексей Викторович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с защитой диссертации Дементьева Ю.А. и их дальнейшую обработку.