

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
Федеральное государственное  
бюджетное учреждение науки  
Пермский федеральный  
исследовательский центр  
Уральского отделения  
Российской академии наук  
(ПФИЦ УрО РАН)

ул. Ленина, 13а, г. Пермь, 614990  
тел. (342) 212-60-08, факс (342) 212-93-77  
E-mail: psc@permisc.ru, http://www.permisc.ru  
ОКПО 48420579, ОГРН 1025900517378  
ИНН 5902292103, КПП 590201001

«УТВЕРЖДАЮ»

Директор Федерального государственного  
бюджетного учреждения науки Пермского  
федерального исследовательского центра  
Уральского отделения Российской академии наук,  
Член-корреспондент РАН



/ О.А. Плехов

2025 г.

05.12.2025      № 337/2171-680

на №

□ □

от

### ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

«Института механики сплошных сред Уральского отделения Российской академии наук» –  
филиала Федерального государственного бюджетного учреждения науки Пермского  
федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук  
о диссертационной работе 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.

**Актуальность темы диссертации** определяется возрастающим интересом к двухфазным  
газожидкостным течениям в микромасштабных системах, обусловленным их широким  
применением в современных технологиях — от микрофлюидных аналитических систем  
(лабораторий на чипе) и систем теплоотвода в микроэлектронике с интенсивным  
тепловыделением до компактных микрореакторов и микромиксеров. Несмотря на значительный  
прогресс в изучении двухфазных течений в круглых микроканалах вопросы, связанные с  
плоскими микроканалами с большим соотношением сторон, остаются недостаточно  
исследованными. Такая геометрия характерна для многих промышленных и лабораторных  
устройств, при этом именно в ней проявляются уникальные гидродинамические эффекты,  
обусловленные большой ролью капиллярных сил, влиянием сжимаемости газовой фазы и  
анизотропией поперечного сечения канала.

**Научную и практическую значимость** исследования представляет уточнение карт  
режимов течения в диапазоне высот каналов 10–55 мкм, где традиционные критерии перехода  
между режимами (например, для пузырькового, сегментированного, вспененного и плёночного  
течений) зачастую теряют применимость. Кроме того, остаются слабо изученными такие  
ключевые характеристики, как механизмы формирования режимов, особенности распределения  
фаз и закономерности гидравлического сопротивления в условиях доминирования межфазных и  
поверхностных явлений над инерционными и гравитационными.

## **Общая характеристика работы**

Объем диссертации составляет 111 страниц, включая 56 рисунков и 12 таблиц. Список литературы содержит 104 наименования. Структурно диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения.

*Во введении* отражена актуальность исследования, сформулирована цель работы, поставлены задачи исследования, сформулированы научная новизна и практическая значимость работы и основные положения, выносимые на защиту.

*Первая глава* посвящена обзору современного состояния исследований двухфазных течений в мини- и микроканалах, выявлены пробелы в знаниях, особенно в области плоских микроканалов высотой 10–55 мкм, и обоснована необходимость экспериментального изучения режимов течения, гидравлического сопротивления и влияния сжимаемости газа.

*Вторая глава* посвящена описанию экспериментальной установки и методик исследования. Описаны экспериментальные стенды, методики визуализации (шлирен-метод, высокоскоростная съёмка) и изготовления рабочих участков с микроканалами высотой 17,5–51,2 мкм, включая технологические особенности герметизации, характеризацию поверхностей и измерения высот микроканалов.

*В третьей главе* представлены результаты экспериментального исследования режимов двухфазных течений. Предложена новая классификация, основанная на выявленной капиллярно-модуляционной неустойчивости (модифицированной неустойчивости Саффмана–Тейлора). Проведен анализ режимов и построены обобщённые карты режимов на плоскости параметров капиллярное число жидкости - число Вебера по газу. Выявлены характерные особенности течений в диапазоне 10–55 мкм, такие как отсутствие классического пузырькового режима течения в сравнении с каналом большей высоты, новая разновидность струйного режима, стабилизация вспененного режима в зоне несжимаемого течения, а также значительное влияние сжимаемости газовой фазы на границы режимов течений.

*В четвертой главе* приведены данные по перепадам давления в одно- и двухфазных течениях. На основе анализа параметра межфазного взаимодействия предложена модификация модели раздельного течения Локхарта–Мартинелли, позволяющая учесть квазисжимаемость газа. Показано, что предложенная модификация позволяет корректно определять параметр межфазного взаимодействия с точностью 10%. В рамках модифицированной модели установлена связь между параметром межфазного взаимодействия и безразмерными параметрами, определяющими динамику межфазных границ (капиллярным числом, отношением вязкостей и числом Вебера), позволяющая предсказывать перепад давления в двухфазных течениях со средним абсолютным отклонением, не превышающим 12%. Исследовано влияние плотности теплового потока на перепад давления при локальном нагреве при различных массовых скоростях газа.

*В заключении* приведены основные результаты работы.

Все полученные результаты обладают научной новизной и значимостью. Особенно следует отметить результаты по классификации и обобщению новых режимов течений, не зарегистрированных ранее.

**Достоверность** обеспечивается использованием современных апробированных методов, проведением калибровочных измерений, анализом неопределенностей, повторяемостью полученных экспериментальных данных. Используемые методики предварительно тестировались, а результаты сравнивались с известными теоретическими зависимостями.

### **Публикации**

По теме диссертации опубликована 31 работа, включая 15 статей в печатных изданиях, входящих в перечень ведущих рецензируемых журналов и изданий, рекомендованных ВАК.

### **Соответствие автореферата диссертации**

Основные разделы работы, результаты и выводы представлены в автореферате. Автореферат соответствует содержанию диссертации и удовлетворяет требованиям ВАК.

### **Рекомендации по использованию результатов диссертации**

Результаты работы могут быть рекомендованы к ознакомлению в научных подразделениях университетов (физический и механико-математический факультеты МГУ, Московский энергетический институт, МГТУ им. Н.Э. Баумана, Пермский государственный университет и др.), а также в академических институтах РАН (Институт механики сплошных сред УрО РАН, Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского, Институт высоких температур РАН, Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН).

### **Замечания по диссертационной работе**

По содержанию работы имеются следующие замечания:

1. Некорректное название используемого оптического метода – «шлирен-система». Любая оптическая схема с использованием шлирен метода предполагает наличие непрозрачного экрана (обще устоявшееся название «нож Фуко»), как раз и позволяющего визуализировать неоднородности показателя преломления или деформации поверхности. Ничего подобного на схемах экспериментальной установки (Рис. 2.1 на стр. 42 и Рис. 2.3 на стр. 45) не обнаружено.
2. Непонятно, почему исследуемая в работе геометрия полости называется «микроканалом». Традиционным названием полостей с размерами в двух направлениях много большими, чем в третьем, является «ячейка Хеле-Шоу».
3. Согласно разъяснениям ВАК, на защиту выносятся Положения, т.е. высказывания в утвердительной форме, коротко передающие полученные в работе новые знания, справедливость которых как раз и доказывается в ходе защиты. Вместо этого диссертант выносит на защиту «результаты», которые должны быть перечислены в Заключение. А между тем этот пункт является наиболее важным в диссертации, хотя бы потому, что позволяет самому диссертанту четко сформулировать полученные в работе новые знания.
4. Непонятно, что диссертант называет модифицированной неустойчивостью Сафмана-Тейлора и чем она отличается от классической неустойчивости Саффмана-Тейлора, которая хорошо изучена как для межфазных, так и диффузионных границ. Существует множество гидродинамических неустойчивостей, развитие которых приводит к формированию

пальчиковой структуры. Может ли диссертант перечислить критерии, качественные или количественные, по которым он отнес формирование наблюдаемых в его экспериментах структур именно, как результат развития неустойчивости Сафмана-Тейлора?

5. Непонятно, как проведены границы на обобщенной карте режимов течений, приведенной на Рис. 3.12. Это результат визуального наблюдения за двухфазным потоком или все-таки есть определенные количественные критерии?
6. В пункте «Научная новизна» указан диапазон высот 10 до 55 мкм и ширина 10 мм канала, при этом не указывается исследуемые длины каналов, однако, как показано в диссертационной работе Роньшина Фёдора Валерьевича «Двухфазные течения в коротких прямоугольных микроканалах» данная характеристика является значимой при исследовании процессов в микроканалах. Являются ли исследуемые каналы короткими или длинными?
7. На странице 40 указано, что канал с размерами  $0.05 \times 10$  мм<sup>2</sup> ранее исследовался, по неустойчивость Сафмана-Тейлора не считалась режимобразующей, следовало указать работу и описать, что именно не было исследовано. Указано, что «Не рассматривались также неустойчивости, вызванные сжимаемостью газа.», нужно указать, почему не рассматривались такие неустойчивости? Работа проводилась для расходов, для которых данные эффекты оказывают слабое воздействие и ими можно пренебречь? Необходимо указать диапазон параметров, для которых пальцеобразование и сжимаемость влияют на режимы течения.
8. На Рисунке 3.1г область 2 указана в потоке, получается, что за после щели, из которой поступает жидкость осушенной области нет.
9. В тексте диссертации имеется много некорректных выражений. Что, например, означает фраза «разработана корреляция»? Корреляция – это статистическая взаимосвязь между двумя или более переменными, показывающая, насколько изменения в одной величине сопровождаются изменениями в другой. Корреляцию можно обнаружить, но как ее разработать непонятно. Или часто встречающееся выражение «двухфазный перепад давления», являющееся вводящим в заблуждение жаргонизмом. Кроме того, имеется множество ошибок, небрежностей и опечаток в тексте.

Приведенные замечания не снижают общего положительного впечатления о работе.

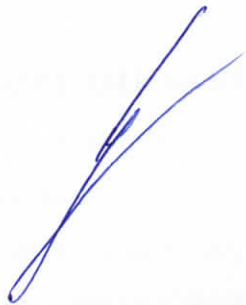
#### **Заключение**

Диссертация Дементьева Юрия Анатольевича «Экспериментальное исследование двухфазных течений в плоских микроканалах» является законченной научно-исследовательской работой.

Содержание диссертации соответствует требованиям «Положения о порядке присуждения учёных степеней», предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата наук. Дементьев Юрий Анатольевич заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.9 – Механика жидкости, газа и плазмы.

Отзыв обсужден и одобрен на заседании Научного семинара ИМСС УрО РАН 3 декабря 2025 г. (Протокол № 38/25 от 3 декабря 2025 г.). Присутствовало 39 человек, в том числе 7 докторов и 19 кандидатов наук. Результаты голосования: "за" - 39, "против" - 0, "воздержался" - 0.

Директор «Института механики сплошных сред  
Уральского отделения Российской академии наук» –  
филиала Федерального государственного бюджетного  
учреждения науки Пермского федерального исследовательского центра  
Уральского отделения Российской академии наук  
доктор физико-математических наук,  
Мизев Алексей Иванович



/ А.И. Мизев

Заведующий лабораторией  
Вычислительной гидродинамики ИМСС УрО РАН,  
Заслуженный деятель науки РФ,  
доктор физико-математических наук, профессор  
Любимова Татьяна Петровна



/ Т.П. Любимова

Сведения о ведущей организации:  
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Пермский федеральный исследовательский центр  
Уральского отделения Российской академии наук  
(ПФИЦ УрО РАН)

Почтовый адрес:

614013, Пермь, ул. Академика Королева, 1

тел.: +7 (342) 237 84 61;

e-mail: [psc@permisc.ru](mailto:psc@permisc.ru)

Веб-сайт: [http:// www.permisc.ru](http://www.permisc.ru)

