

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

ул. Ленина, д.13А, г. Пермь, 614000
тел. (342) 212-60-08, факс 212-50-90
E-mail: psc@permisc.ru, http://www.permisc.ru
ОКПО 48420579, ОГРН 1025900517378
ИНН 5902292103, КПП 590201001

Г «УТВЕРЖДАЮ»

Директор Федерального государственного
бюджетного учреждения науки Пермского
федерального исследовательского центра
Уральского отделения Российской академии наук
член-корреспондент РАН, д.ф.-м.н.



/ О.А. Плехов /

2026 г.

13.05.2026

№337/2171-225

на № _____

от _____

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного бюджетного учреждения науки Пермского федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук на диссертацию Квона Александра Зедоновича «Структура и эволюция трехмерных волн на поверхности стекающих пленок жидкости», представленную 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 использованию пленочных течений для интенсификации тепломассообмена в различных промышленных приложениях. Эффективное применение пленочных течений требует решения целого ряда фундаментальных задач, связанных с эволюцией таких течений и их устойчивости.

Научная новизна связана с исследованием трехмерных волновых режимов пленочного течения при умеренных числах Рейнольдса на больших длинах пробега. Описаны сценарии эволюции, в том числе обнаружен полностью установившийся трехмерный волновой режим. Разработана и реализована новая методика получения трехмерных полей скорости одновременно с формой волны. Впервые экспериментально получены объемные распределения скорости жидкости в трехмерных регулярных волнах, что позволило выявить ключевые элементы структуры течения: области возвратного течения, поперечных потоков в трехмерной волне, а также сложную структуру течения в капиллярной ряби. Проанализирована структура течений в трехмерной волне и проведено сравнение с результатами моделирования.

Достоверность полученных результатов обеспечивается применением современных методов измерений, проведением тестовых измерений на хорошо изученных типах течения, сравнением полученных результатов с результатами других исследователей.

Значимость полученных результатов.

Полученные экспериментальные результаты и определение области существования установившегося трехмерного режима дают широкие возможности для корректной верификации существующих и развития новых теоретических моделей волновых пленок и важны для практического использования пленочных течений. Предложенный новый комбинированный метод существенно расширяет возможности экспериментального изучения как пленочных течений, так и других видов течений, требующих объемных измерений скорости.

Структура диссертации: диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы (82 наименования). Объем работы составляет 100 страниц машинописного текста, в ней содержится 58 рисунков и 3 таблицы.

Во введении обоснована актуальность данного направления исследований, подчеркнута практическая и теоретическая значимость работы. Сформулированы цель диссертации и решаемые задачи. Представлены основные результаты работы и положения, выносимые автором на защиту.

В первой главе дан подробный обзор современного состояния исследований двумерных и трехмерных волновых режимов пленочного течения. Отмечена недостаточная изученность трехмерных волновых режимов, обусловленная как особенностью такого типа течения, так и ограничениями существующих методов диагностики. На основе проведенного анализа литературы сформулированы цели и задачи исследования.

Во второй главе приведены схемы экспериментальных установок, описаны применяемые методики измерений и физические свойства используемых жидкостей. Представлен принцип работы высокоскоростного метода лазерно-индуцированной флуоресценции (ЛИФ), применяемого для определения мгновенной формы поверхности волновой пленки. Подробно описана реализованная схема измерений, позволяющая проводить полевые измерения формы волновой поверхности при пленочном течении на больших длинах пробега с высоким пространственно-временным разрешением. Также подробно описывается разработанная автором уникальная методика одновременного определения формы волновой поверхности и измерения трёхмерных полей скорости. Особое внимание уделено тестированию разработанной методики на хорошо изученных типах течения, что позволило подтвердить корректность её использования до перехода к исследованию более сложных трехмерных волн.

В третьей главе представлены результаты систематического исследования волновых режимов на поверхности пленок жидкости на больших длинах пробега. На

основе результатов обработки и анализа эволюции волновой картины и статистических характеристик формы поверхности соискателем выделены два трехмерных волновых подрежима течения (с устойчивыми и затухающими струями) при умеренных числах Рейнольдса и определена область параметров их существования. Важным результатом является обнаружение и описание установившегося трехмерного волнового подрежима (с затухающими струями), реализующегося в диапазоне чисел Рейнольдса $40 < Re_1 < 60$, при котором статистические характеристики принимают стационарные значения, а волновая картина не чувствительна к начальным возмущениям.

В четвертой главе излагаются результаты исследования структуры течений в регулярных трехмерных волнах. Представлены полученные с помощью разработанного соискателем метода LF LIF-PTV поля скорости с привязкой к форме волны. Выявлена сложная структура течения в волне: выделены области возвратного течения перед лобовой точкой волны, пространственно-разделенные области поперечных потоков под основным гребнем. Проведено прямое количественное сравнение экспериментальных данных с расчетами по полной и упрощенной WRIBL-моделям, показавшее хорошее согласие результатов расчета по полной WRIBL модели и результатов эксперимента.

В заключении сформулированы основные научные результаты и выводы.

Все полученные результаты обладают научной новизной и значимостью. Следует отметить использование передовых методов измерений, которые позволили реализовать комплексное экспериментальное исследование структуры и динамики трехмерных волн на поверхности вертикально стекающих пленок жидкости.

Содержание автореферата полностью соответствует содержанию диссертации.

Замечания по диссертационной работе

По содержанию работы имеется ряд замечаний:

1. В тексте опущен ряд важных вопросов, касающихся физических механизмов неустойчивости исследуемых волн и влияния на них различных факторов, таких как шероховатость и материал твердой подложки, неоднородность температуры. Возможно это связано с излишне лаконичным представлением результатов, рассчитанным на узких специалистов.

2. К сожалению выбранная форма представления результатов не дает возможности количественно оценить вариации толщины пленки. Для этого, помимо трехмерных волновых картин, нужны двумерные распределения толщины пленки.

3. Неудачно представлены результаты формирования струй при помощи теневого метода (Рис. 3.4). Складывается ощущение, что в случае специально возбуждаемых волн есть особые области в центральной части пленки, где собственно

и проводились основные измерения характеристик пленок. На самом деле это обусловлено поперечными движениями струй, что следовало отметить.

4. Не представлено сравнение скорости волн на основе различных подходов, теневого и LF LIF-PTV. Это позволило бы более четко определить границы применимости теневого метода при исследовании пленочных течений.

5. Наибольшую ценность работы представляют результаты измерения двух компонент скорости по всей толщине пленки, однако вертикальные профили или распределения скорости, показывающие изменения скорости с расстоянием от подложки в тексте диссертации не представлены.

Представленные замечания не снижают общего положительного мнения о работе.

Заключение

Диссертация «Структура и эволюция трехмерных волн на поверхности стекающих пленок жидкости» является законченной научно-квалификационной работой и полностью соответствует критериям, установленным «Положением о присуждении ученых степеней», утвержденным Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842 (пункты 9, 10, 11, 13, 14), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук. Автор диссертации Квон Александр Зедонович заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.9 «Механика жидкости, газа и плазмы».

Отзыв подготовлен заведующим лабораторией турбулентности «Института механики сплошных сред Уральского отделения Российской академии наук» — филиала Федерального государственного бюджетного учреждения науки Пермского федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук («ИМСС УрО РАН») доктором физико-математических наук Сухановским Андреем Николаевичем.

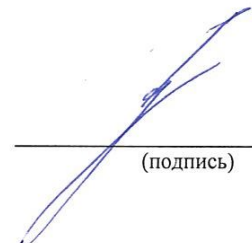
Отзыв рассмотрен и одобрен на заседании научного семинара «ИМСС УрО РАН» под руководством д.т.н., академика РАН Матвеевко В.П. 15 апреля 2026 года, протокол № 06/26. Присутствовало на заседании: 41 человек, из них 10 докторов наук и 16 кандидатов наук. Результаты открытого голосования научных работников «ИМСС УрО РАН»: «за» – 41 чел.; «против» – 0 чел.; «воздержалось» – 0 чел.

Председатель научного семинара «ИМСС УрО РАН»
доктор технических наук, академик РАН
Матвеевко Валерий Павлович



(подпись)

Директор «ИМСС УрО РАН»
доктор физико-математических наук
Мизев Алексей Иванович



(подпись)

Заведующий лабораторией турбулентности «ИМСС УрО РАН»
доктор физико-математических наук
Сухановский Андрей Николаевич



(подпись)

Подписи Матвеевко Валерия Павловича, Мизева Алексея Ивановича, Сухановского
Андрея Николаевича удостоверяю:

Главный ученый секретарь ПФИЦ УрО РАН
кандидат физико-математических наук
Вотинова Анастасия Григорьевна



(подпись)

Составители отзыва дают согласие на обработку своих персональных данных,
связанных с защитой диссертации и оформлением аттестационного дела Квона А.З.

Сведения о ведущей организации:

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

Почтовый адрес: 614000, г. Пермь, ул. Ленина, д. 13А

Телефон: +7 (342) 212-60-08

E-mail: psc@permisc.ru

Веб-сайт: <https://www.permisc.ru>