

ОТЗЫВ

официального оппонента д.ф.-м.н. Кузнецова Владимира Васильевича на диссертационную работу Вожакова Ивана Сергеевича «Математическое моделирование волновых режимов течения пленок жидкости в вертикальных каналах», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 – механика жидкости, газа и плазмы.

Диссертационная работа Вожакова И.С. посвящена построению приближенных моделей для описания нелинейных волн на поверхности пленок жидкости, аналитическому и численному исследованию волновых течений пленок с использованием полученных моделей.

Актуальность данной работы обусловлена широким распространением волновых течений жидких пленок в технических устройствах и природных системах. При экспериментальном исследовании нелинейных волн необходимо проводить большое количество численных экспериментов для получения статистически достоверных результатов. Численные расчеты для полных уравнений весьма трудоемки. Поэтому возникает необходимость в построении упрощенных моделей и изучении их свойств. Достаточно общим приближенным уравнением для волн на пленке жидкости является дивергентная система уравнений в длинноволновом приближении. Исследованию свойств этой системы уравнения в двумерном случае посвящена работа И.С. Вожакова.

Из представленных Вожаковым И.С. к защите результатов исследований существенное значение для теории пленочных течений жидкости имеют следующие новые результаты:

1. Установлена дискретная симметрия дивергентной системы уравнений в длинноволновом приближении, а также численно показана симметрия ее решений в расширенной по поперечной координате области.
2. Получен новый класс модельных систем галеркинских типа на укороченном симметричном базисе. Построена новая модель галеркинских типа на базисе из двух полиномов.
3. Система уравнений сведена к одному эволюционному уравнению на толщину обдуваемой газовым потоком пленки жидкости.
4. Разработана новая интегральная модельная система уравнений в длинноволновом приближении с удержанием вязких членов второго порядка малости.

5. Дано теоретическое описание эффекта генерации медленных волн на заднем склоне быстрых волн на обдуваемой газовым потоком пленке жидкости.

6. Реализована модель плавления оболочек твэл и перемещения расплава.

Достоверность полученных результатов основана на точности применяемых аналитических методов, сравнении полученных результатов расчетов с точными решениями, с результатами расчетов других авторов и с экспериментальными данными. Основные результаты диссертационной работы обсуждались на отечественных и международных конференциях.

Практическая ценность работы состоит в возможности использования полученных комплексов программ для численного исследования пленочных течений жидкости. Разработанные методы могут быть обобщены для близкого класса задач.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы.

Во **введении** обоснована актуальность темы диссертации, отмечены цели и задачи диссертационной работы, кратко приведены основные результаты, их новизна и практическая ценность.

В **первой главе** дано описание исторического развития и современного состояния задачи построения и исследования приближенных уравнений для волн на пленках жидкости.

Вторая глава посвящена реализации модели плавления оболочек твэл и перемещения их расплава внутри тепловыделяющих сборок. Проведены аналитические тесты и кросс-верификация с кодом SAS-4. Показано хорошее соответствие полученных результатов.

В **третьей главе** проведено исследование дивергентной системы уравнений, найдены численные решения и продемонстрирована их симметрия в расширенной по поперечной координате области. Выведена новая система уравнений на укороченном симметричном базисе с помощью метода галеркина, проведено исследование ее линейной устойчивости и найдены нелинейные решения.

Четвертая глава посвящена моделированию стекающей пленки жидкости, обдуваемой газовым потоком. Дивергентная система уравнений сведена к одному эволюционному уравнению на толщину пленки жидкости. Проведены расчеты с использованием этого уравнения и найдены нестационарные эволюционные решения. Получена новая интегральная модель в длинноволновом приближении с удержанием членов второго порядка малости. В результате расчета с использованием новой модели получен и качественно описан эффект генерации вторичных волн, обнаруженный ранее только экспериментально.

В **заключении** приводятся **основные результаты работы** по всем главам:

Автореферат в целом правильно отражает содержание диссертации. Основные результаты диссертации опубликованы в журналах, входящих в Перечень ВАК изданий, рекомендованных для опубликования результатов выносимых на защиту диссертаций.

По диссертационной работе имеются следующие замечания:

1. В ряде случаев встречается недостаточная четкость формулировок и изложения. Например, в пункте 2.1 главы 2 сказано о преимуществе энтальпийной формулировке уравнения переноса: "энтальпийная формулировка является более естественной, поскольку энтальпия при фазовом переходе непрерывна". Но хорошо известно, что температура тоже непрерывна при фазовом переходе. Другой пример - на рис. 3.4 непонятно - номер 2 относится к верхней или нижней кривой. В тексте при описании данного рисунка говорится, что "в этой точке зарождается первое семейство нелинейных стационарных режимов", но на самом рисунке никакой точки не отмечено. Далее, на рис. 3.5 не указано, каким значениям числа Рейнольдса отвечают различные построенные кривые.
2. В некоторых местах изложение недостаточно подробное. Диссертация должна быть глубоким исследованием, и здесь экономия объема не всегда оправдана. Например, в пункте 3.1.2. не приведено определение числа подобия Fi . Там же весьма бегло, буквально в нескольких строчках, описаны метод численного решения линеаризованной задачи и результаты численного исследования. Подобные упрощенные изложения встречаются и в других местах.
3. В автореферате на стр. 5 сказано "В рамках выведенной модели обнаружена генерация вторичных волн малой амплитуды на заднем склоне первичных волн на тонкой пленке жидкости, стекающей под действием гравитации и спутного газового потока". Но никакой физический эффект не может быть обнаружен в расчетах. В них можно только предвидеть его наличие, а само обнаружение возможно только в опытах. Но в данной работе нет и предсказания, здесь есть только попытка объяснения выявленного в опытах эффекта.

Эти замечания не носят принципиального характера для данного исследования и не умаляют несомненных достоинств данной работы.

Считаю, что диссертационная работа И.С. Вожакова является законченной научно-исследовательской работой и выполнена автором на высоком научном уровне. Представленные в работе исследования достоверны, выводы и рекомендации обоснованы. Написана технически квалифицированно и аккуратно оформлена.

Работа удовлетворяет требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским

диссертациям по физико-математическим наукам, а также требованиям Положения о порядке присуждения учёных степеней, а ее автор Вожаков Иван Сергеевич безусловно заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 – механика жидкости, газа и плазмы.

Официальный оппонент: Кузнецов Владимир Васильевич, доктор физико-математических наук, заведующий лабораторией прикладной и вычислительной гидродинамики.

630090, г. Новосибирск, пр. академика Лаврентьева, 15, телефон:(383) 333-30-46,

e-mail: kuznetsov@hydro.nsc.ru

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки

Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева

Сибирского отделения Российской академии наук



Handwritten signature of V.V. Kuznetsov

В.В. Кузнецов

10.10.2017г.

Подпись Кузнецова В.В. удостоверяю

Ученый секретарь ИГиЛ СО РАН

кандидат физико-математических наук

Handwritten signature of I.V. Lyubashевskaya

И.В. Любашевская