

В диссертационный совет Д 003.053.01
при Институте теплофизики им. С.С.
Кутателадзе СО РАН
630090, г. Новосибирск, проспект
Академика Лаврентьева 1

ОТЗЫВ

официального оппонента

**доктора физико-математических наук Калайдина Евгения Николаевича
на диссертационную работу Харламова Сергея Михайловича
«Экспериментальное исследование эволюции волн на поверхности стекающих
пленок жидкости», представленную на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук по специальности
01.02.05 – «механика жидкости газа и плазмы»**

Диссертационная работа Харламова С.М. посвящена экспериментальному исследованию характеристик волн, развивающихся на поверхности стекающих пленок жидкости.

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

Во **введении** показана актуальность темы исследования, сформулирована цель и поставлены задачи диссертационной работы, определена научная новизна и практическая значимость полученных результатов, представлены основные положения, выносимые на защиту, обоснована достоверность результатов и описан личный вклад автора работы.

В **первой главе** проведен обзор литературы и рассмотрено современное состояние исследований, посвященных волновым режимам пленочных течений жидкости.

Во **второй главе** приведено описание экспериментальных установок и измерительных методик, использованных в работе. Приведены погрешности измерений. Подробно описан метод лазерно-индуцированной флуоресценции (метод ЛИФ), применявшийся для полевых измерений толщины пленок жидкости, проанализированы оптические искажения метода при наличии волн на свободной поверхности пленки, описан алгоритм восстановления толщины по первичным изображениям ЛИФ.

В **третьей главе** представлены результаты экспериментального исследования начальной эволюции волн на поверхности пленки жидкости при кольцевом режиме газожидкостного течения. Сформулированы критерии отбора результатов измерений, которые можно отнести к волнам, развивающимся по линейному сценарию эволюции. Полученные результаты представлены в виде дисперсионных зависимостей фазовой скорости и пространственного инкремента от волнового числа. Проведено сравнение результатов эксперимента с расчетами других авторов.

Рассмотрены особенности проведения экспериментов, которые могут приводить к расхождениям между экспериментом и моделью.

В **четвертой главе** представлены результаты по экспериментальному исследованию эволюции локализованных трехмерных возмущений на вертикально стекающих пленках жидкости. Показано существование двух основных сценариев волновой эволюции таких возмущений. Показано существование стационарных трехмерных волн и дано детальное описание их формы.

В **заключении** сформулированы основные результаты, полученные в диссертационной работе.

Вычислительная сложность при прямом моделировании пленочных течений приводит к использованию модельных уравнений рамки применимости которых не совсем четко определены из-за упрощающих предположений. Но применение такого рода течений в различных, в том числе критичных, технологиях обширно. Из указанного следует **актуальность** темы представленной диссертации и экспериментальных исследований, подтверждающих возможность использования тех или иных моделей, а также уточняющих рамки применимости моделей.

Значимость исследований и результатов экспериментов, связанных как с уединенными структурами, так и учетом обдува пленок газом связана с возможностью сравнения результатов экспериментов и теоретических моделей. Результаты диссертации позволяют покрыть дефицит экспериментальных данных для проверки теоретических моделей трехмерных волновых режимов и волновых режимов течений пленок, обдуваемых газовым потоком.

Достоверность представленных в диссертации результатов подтверждается применением автором методов адекватных проводимым экспериментам, а также сравнением с экспериментальными и теоретическими работами других авторов.

Научная новизна экспериментально определены характеристики поверхностных волн в случае вертикального течения пленки под воздействием турбулентного газового потока; актуализирован метод ЛИФ для определения характеристик трехмерных уединенных нелинейных волн на поверхности свободно стекающей пленки жидкости; экспериментально исследованы закономерности эволюции трехмерных волн на поверхности тонкой пленки жидкости и экспериментально показано существование стационарных трехмерных волн, а также измерены их характеристики.

Практическая значимость. Результаты экспериментов по исследованию эволюции волн на поверхности пленок жидкости, получены с использованием контролируемых начальных условий и могут применяться для сравнения с результатами теоретического анализа и численного моделирования.

Метод ЛИФ, разработанный автором для исследования пленочных течений жидкости, позволяет исследовать структуру трехмерных волн на поверхности пленок жидкости с высоким пространственным разрешением и может применяться для исследования волновых режимов течения тонких слоев жидкости в различных условиях.

В диссертации полно представлено состояние теоретических и экспериментальных исследований течений тонких пленок жидкости по твердой поверхности с учетом и без воздействия газового потока. Также представлены полученные автором экспериментальные данные для построения дисперсионных зависимостей фазовой скорости и пространственного инкремента волн малой амплитуды от частоты при различных скоростях газового потока.

Проанализированы недостатки и ограничения различных методов экспериментальных исследований пленочных течений. Представлена система диагностики пленочных течений методом ЛИФ, позволяющая определять скорость и мгновенную форму трехмерных волн на поверхности стекающих по пластине пленок жидкости. Проанализированы основные источники погрешностей метода, включая оптические искажения, возникающие из-за волнистости свободной поверхности пленки. Показана возможность применения метода ЛИФ для исследования эволюции локализованных трехмерных возмущений.

В широком диапазоне чисел Рейнольдса пленочного течения проведено экспериментальное исследование эволюции локализованного трехмерного возмущения на вертикально стекающих пленках жидкости. Экспериментально подтверждены два основных сценария эволюции – развитие волнового пакета и формирование уединенной трехмерной волны подковообразной формы.

В области малых чисел Рейнольдса экспериментально зарегистрированы уединенные стационарные трехмерные волны характерной подковообразной формы и измерены их характеристики. Указано, что сравнение измеренных характеристик уединенных стационарных волн с теоретически предсказанными значениями показывает хорошее соответствие.

Автореферат диссертации соответствует её содержанию. Основные результаты диссертации опубликованы в ведущих российских и международных научных журналах, рекомендованных ВАК (Известия РАН. Механика жидкости и газа, Доклады Академии Наук, Письма в ЖТФ, Physics of Fluids, Int. J. Multiphase Flow).

Замечания по содержанию диссертации:

1. Датчики проводимости с вделанными заподлицо электродами обладают достаточно низким пространственным разрешением. Было бы полезно обсудить влияние разрешения датчиков на результаты, полученные в 3 главе. Такое обсуждение в диссертации отсутствует.

2. По современным представлениям поверхностное натяжение воды, использовавшейся при проведении ряда экспериментов, не является постоянным в обычных условиях (нужны специальные условия, обеспечивающие чистоту поверхности воды). Из диссертации непонятно, учитывался ли этот факт, и к каким последствиям для результатов это могло привести.

3. Влияние кривизны поверхности на оптические искажения проанализированы в двумерной постановке. Трехмерный анализ позволил бы точнее оценить уровень погрешностей, возникающих из-за таких искажений.

Сделанные замечания не уменьшают достоинств работы, она представляет собой завершенное научное исследование, выполненное на высоком уровне, а ее тематика и содержание отвечают паспорту специальности 01.02.05. – Механика жидкости, газа и плазмы.

В результате можно сделать вывод о соответствии диссертации Харламова Сергея Михайловича «Экспериментальное исследование эволюции волн на поверхности стекающих пленок жидкости», выполненную в ФГБУН Институте теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН и представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 – механика жидкости газа и плазмы критериям, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней п.9, утвержденным постановлением Правительства РФ от 24.09.13 №842, а ее автор Харламов Сергей Михайлович заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 – механика жидкости газа и плазмы.

Официальный оппонент

д. ф.-м. н., специальность 01.02.05 – «Механика жидкости, газа и плазмы»,
профессор кафедры прикладной математики
ФГБОУ ВО Кубанский государственный университет
350040, г. Краснодар, ул. Ставропольская 149
e-mail: kalaidin@econ.kubsu.ru
тел. +7(918)4333507
04.06.2018

/Евгений Николаевич Калайдин

