

«Институт механики сплошных сред
Уральского отделения
Российской академии наук»
- филиал Федерального государственного
бюджетного учреждения науки Пермского
федерального исследовательского центра
Уральского отделения Российской академии наук
(ИМСС УрО РАН)

614013, г. Пермь, ул. Академика Королева, д. 1.
Телефон, факс (3422) 37-84-61, (3422) 37-84-87

E-mail: mvp@icmm.ru

ОКПО 15727771, ОГРН 1025900517378,
ИНН/КПП 5902292103/590243001

"УТВЕРЖДАЮ"

Директор Института механики
сплошных сред УрО РАН – филиала
Федерального государственного
бюджетного учреждения науки

Пермского федерального
исследовательского центра Уральского
отделения Российской академии наук,
академик РАН

19.11.2018 № 17700/22-М190

На № _____ от _____



/В.П. Матвеев

"19" ноября 2018 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Института механики сплошных сред УрО РАН – филиала Федерального государственного бюджетного учреждения науки Пермского федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук
о диссертационной работе **Шатского Евгения Николаевича**

«Влияние термокапиллярных эффектов на характеристики течения нагреваемой пленки жидкости», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника.

Актуальность темы диссертации Шатского Е.Н., посвященной экспериментальному исследованию формирования термокапиллярных структур и их взаимодействия с волнами на поверхности стекающей нагреваемой пленки жидкости при малых и умеренных числах Рейнольдса ($0.1 < Re < 50$), не вызывает сомнения. Течения тонких пленок жидкости реализуются во многих технологических процессах и установках разного назначения. Спектр практических приложений пленочных течений непрерывно расширяется, что стимулирует постановку и проведение новых экспериментальных и теоретических исследований. Пленки определяют режим теплопередачи в оросительных градирнях, абсорберах, скрубберах,

ректификационных колоннах, испарителях, конденсаторах, аппаратах химической технологии, при движении парожидкостных смесей в трубах. В связи с этим для широкого круга технических приложений важное значение имеет понимание гидродинамики и теплообмена в стекающих пленках жидкости.

Диссертационная работа состоит из введения, четырёх глав и заключения. Полный объём диссертации составляет 111 страниц с 75 рисунками и 2 таблицами. Список литературы содержит 101 наименование.

Во **Введении** обоснована актуальность работы, сформулированы цель и задачи, определены новизна и практическая значимость результатов.

В **главе 1** приведён аналитический обзор известных экспериментальных и теоретических результатов по течению изотермических и нагреваемых пленок жидкости. В заключении к главе сделаны выводы, на основании которых уточнены цель и задачи диссертационной работы.

В **главе 2** даётся детальное описание экспериментального стенда и методик измерения, использованных в работе. Приведены особенности рабочих участков с различными нагревательными элементами. Описано используемое контрольно-измерительное оборудование.

В **главе 3** приведены экспериментальные данные по формированию термокапиллярных структур при различных температурных и механических возмущениях пленок жидкостей. На нагревателях с различными условиями на поверхности нагрева проведены эксперименты в условиях безволновой пленки жидкости. В данных экспериментах впервые структуры типа Б (согласно терминологии автора) зафиксированы в условиях безволнового течения при малых значениях чисел Рейнольдса $0.1 < Re < 5$. При этом показано, что продольные градиенты температуры на поверхности пленки являются одним из основных факторов, влияющих на формирование структур разного типа. Приведено обобщение известных данных по безразмерному расстоянию между струями при формировании термокапиллярных структур типа Б.

Проведено исследование влияния внешних искусственных возмущений в виде ряда цилиндров на структуру течения. Выполнено экспериментальное исследование воздействия периодических искусственных возмущений на нагреваемую пленку жидкости при малых числах Рейнольдса. Показано, что развитие термокапиллярных возмущений при внесении искусственных

возмущений с "наиболее опасной" длиной волны приводит к перемещению струй и воздействует на контактную линию, ограничивающую сухое пятно в вертикально стекающей нагреваемой пленке. Установлено, что искусственные возмущения с "наиболее опасной" длиной волны при достаточно высоких тепловых потоках оказывают существенное влияние на изменение структуры течения и повторное орошение сухих зон.

В главе 4 выполнено экспериментальное исследование влияния термокапиллярных сил на распространение трехмерных волн. Показано, что вследствие действия термокапиллярных сил на поверхности происходит деформация трехмерных волн и переход к струйному течению. Обнаружены различные сценарии деформации волн в зависимости от их геометрических параметров. Установлено, что длина волны неустойчивости меняется вдоль нагревателя. Найдено, что величина критического теплового потока, соответствующего появлению первого устойчивого сухого пятна, в исследуемых условиях может возрастать с увеличением числа Рейнольдса пленки и при высоких значениях Re существенно превосходить данные по разрыву в отсутствие термокапиллярных структур типа А.

Выводы по диссертации приведены по главам, основные результаты сформулированы в общем **заключении** по диссертации.

Материал диссертационной работы изложен четко, ясно и подробно иллюстрирован рисунками. Содержание работы позволяет сделать заключение, что ее автор провел целенаправленную работу по решению важных задач, связанных с влиянием термокапиллярных эффектов на характеристики течения нагреваемых пленок жидкости. Содержание автореферата соответствует содержанию диссертации.

Научная новизна изложенных в диссертационной работе результатов заключается в следующем:

1. Впервые экспериментально зафиксированы структуры типа Б в условиях безволнового течения при малых значениях чисел Рейнольдса ($Re = 0,1-5$). Рассмотрено влияние физических свойств жидкости на пространственные характеристики данных структур в широком диапазоне значений числа Рейнольдса.

2. Впервые показано, что воздействие внешних возмущений в виде ряда цилиндров на пленочное течение может приводить к перемещению струй и повторному орошению осушенных зон на нагревателе.

3. Впервые детально исследована деформация трехмерных волн и переход к струйному течению. Показано доминирующее влияние термокапиллярных сил на характеристики волн.

4. Впервые с использованием синхронного измерения полей температуры и толщины проведено исследование взаимодействия трехмерных волн с термокапиллярными структурами двух типов. Для определенных режимных параметров показана возможность повышения устойчивости пленочного течения к разрыву.

Достоверность полученных результатов обеспечивается использованием современных методов диагностики, анализом погрешностей измерений, проведением калибровочных и тестовых измерений. Выбранные экспериментальные режимы характеризуются хорошей воспроизводимостью и согласуются с результатами работ других авторов.

Теоретическая и практическая значимость работы заключается в том, что полученные новые фундаментальные знания о закономерностях формирования термокапиллярных структур, а также о воздействии термокапиллярных сил на волновое течение пленки жидкости, являются полезными для широкого круга технических приложений, для которых важное значение имеет понимание гидродинамики и теплообмена в стекающих пленках. Продемонстрированный способ повышения устойчивости пленок жидкости к разрыву может быть использован в промышленных установках.

Материалы диссертации рекомендуется использовать специалистам, занимающимся проблемами течений с межфазными границами раздела (Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН, Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН, НИИ механики МГУ им. Ломоносова и др.)

Апробация работы. Основные результаты диссертационной работы в достаточной мере опубликованы в научной литературе, в том числе, в 12 рецензируемых статьях в журналах, входящих в список ВАК, а также в трудах 15 конференций, на которых они представлялись.

В качестве замечаний по диссертации можно высказать следующее:

1. В тексте диссертации и автореферата довольно часто встречаются определения «нагревательный элемент с граничным условием близким

к $T_w = \text{const}$ » и «нагревательный элемент с граничным условием близким к $q = \text{const}$ », при этом нигде нет обоснования, почему автор считает, что выполняются именно такие граничные условия.

2. В третьей главе диссертации указано, что одним из основных факторов, влияющих на формирование структур разного типа, являются продольные градиенты температуры на поверхности пленки. Однако при формировании структур типа Б, особенно в безволновой пленке жидкости при малых числах Рейнольдса, продольные градиенты температуры на поверхности пленки малы и не оказывают существенного влияния на формирование струй.
3. На ряде рисунков (рис. 2.4, рис.4.1) видны осушенные области вдоль боковых границ нагревательного элемента. При этом в тексте дано лишь короткое пояснение: «осушенные области, возникающие вследствие конечной ширины нагревателя и появления больших температурных градиентов на границе нагреватель-текстолит». Остается непонятным вносили ли эти участки существенный вклад в результаты измерений.
4. Из текста диссертации остается неясным как получены данные на рис. 4.29. По-видимому, было произведено некоторое усреднение набора данных по амплитудам волн?
5. В тексте диссертации присутствуют как пунктуационные, так и синтаксические ошибки.

Заключение

Сделанные замечания не снижают общей положительной оценки по представленной диссертационной работе и не носят принципиального характера. Диссертация Шатского Евгения Николаевича «Влияние термокапиллярных эффектов на характеристики течения нагреваемой пленки жидкости» является завершенной научно-квалификационной работой, выполненной на высоком научном уровне, и соответствует специальности 01.04.14 – «Теплофизика и теоретическая теплотехника». Результаты, полученные в диссертации, достоверны и вносят существенный вклад в понимание процессов в нагреваемых стекающих волновых пленках жидкости. Рецензируемая диссертационная работа отвечает всем

требованиям п. 9 Положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденного Постановлениями Правительства РФ № 725 от 30.07.2014 г. и № 335 от 21.04.2016 г., а ее автор – Шатский Евгений Николаевич – заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по указанной специальности.

Диссертация заслушана и обсуждена на заседании Лаборатории вычислительной гидродинамики ИМСС УрО РАН 14 ноября 2018 года, протокол № 3.

Отзыв составлен:

Зав. Лабораторией вычислительной гидродинамики «ИМСС УрО РАН»,
д.ф.-м.н. по специальности 01.02.05.

Любимова Татьяна Петровна

+7(342) 237 83 31, e-mail: lubimova@icmm.ru

