

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Шатского Евгения Николаевича «Влияние термокапиллярных эффектов на характеристики течения нагреваемой пленки жидкости», выполненную по специальности 01.04.14 – теплофизика и теоретическая теплотехника.

Пленки различных жидкостей на твердых поверхностях определяют режим теплопередачи и главным образом условия теплообмена в широкой группе приложений, в частности, в тепломассобменных установках и агрегатах, испарителях, конденсаторах, аппаратах химических производств, системах топливоприготовления, транспортировки и распыления, а также при тушении пожаров. Наиболее востребованными для специалистов в области математического моделирования являются достоверные экспериментальные данные о характеристиках теплообмена данных пленок, скоростей отвода тепла, пиковых значений температуры, временах охлаждения поверхностей и др. Особую ценность представляют экспериментальные данные, получаемые для стекающих пленок в широком диапазоне варьирования чисел Рейнольдса, если судить по статьям, опубликованным в 2014–2018 гг. в таких журналах, как Chemical Engineering Science, Experimental Thermal and Fluid Science, International Journal of Heat and Mass Transfer, International Journal of Thermal Sciences, Journal of Mechanics, Physics of Fluids и др. Пока не разработаны адекватные модели, позволяющие достоверно и в полной мере прогнозировать условия и характеристики термокапиллярных структур и их взаимодействия с волнами на поверхности стекающих нагреваемых пленок жидкости. Соответственно, не так активно развивается данное направление на стыке современных теорий тепломассобмена и механики жидкости и газа. По этим причинам выбранная автором **тема диссертации**, заключающаяся в экспериментальном исследовании формирования термокапиллярных структур и их взаимодействия с волнами на поверхности стекающей

нагреваемой пленки жидкости при малых и умеренных числах Рейнольдса ($0.1 < Re < 50$), **актуальна и перспективна.**

Следует также отметить, что тема рецензируемой диссертации соответствует приоритетному направлению развития науки в Российской Федерации (Указ Президента России от 07.07.2011 № 899): «Энергоэффективность, энергосбережение, ядерная энергетика», а также находится в сфере критической технологии федерального уровня, получившей высокий рейтинг по перспективам развития: «Технологии создания энергосберегающих систем транспортировки, распределения и использования энергии». **Актуальность тематики исследований также подтверждает** их выполнение в рамках большой группы грантов, обозначенных в автореферате и диссертации (всего перечислено 16 грантов и 1 стипендия). Не часто можно встретить такое большое количество и многообразие проектов: РНФ, РФФИ, Министерство образования и науки РФ, Совет при Президенте РФ и т.д.

Диссертация Е.Н. Шатского **состоит из введения, четырех глав и заключения.** Полный объем диссертации составляет 111 страниц с 75 рисунками и 2 таблицами. Список литературы содержит 101 наименование. Следует отметить хорошую структурированность рукописи диссертации и уместное использование автором разделов и подразделов в каждой главе. Довольно полно и информативно сформулированы выводы по каждой из глав диссертации. В тоже время можно отметить, что автор по каким-то причинам не использует нумерацию ни в выводах по главам, ни в заключении диссертации.

Во введении автор формулирует проблему, на решение которой направлены диссертационные исследования, и обосновывает целесообразность проведения экспериментов и обобщения результатов на основе собственных подходов, базирующихся на применении известных и хорошо апробированных методов.

В первой главе рецензируемой диссертации проведен анализ современных достижений в области течений пленок жидкости и соответствующих теплообменных процессов. Отмечены основные этапы развития теорий волнового течения пленок жидкости, а также течений неизотермической пленки. Перечислены труды наиболее известных специалистов в области исследований, в том числе коллег соискателя по ИТ СО РАН. Сформулированы нерешенные задачи. Обозначена ниша диссертационной работы.

Во второй главе диссертации приведено описание экспериментального стенда и использованных методик исследований ключевых параметров, представлены систематические и случайные погрешности определения характеристик.

В третьей главе приведены результаты исследований процессов формирования термокапиллярных структур разных типов с акцентом на влияние температуры, чисел Рейнольдса и других определяющих факторов. Продемонстрированы достижения автора в направлении управления термокапиллярными структурами.

В четвертой главе диссертации представлены результаты изучения характеристик взаимодействия трехмерных волн с термокапиллярными структурами разных типов. Основное внимание уделено исследованию влияния на эти характеристики градиента температуры.

В заключении приведены основные выводы диссертационной работы.

Из анализа содержания рукописи диссертации можно заключить, что **научная новизна** рецензируемой диссертации Е.Н. Шатского заключается в следующем:

1. Выполнен детальный анализ условий формирования и основных характеристик термокапиллярных структур и границ их существования в стекающих и интенсивно нагреваемых пленках жидкости. Выделены структуры типа А и Б. При этом впервые экспериментально установлено

и обосновано, что структуры типа Б могут быть в условиях безволнового течения при малых значениях чисел Рейнольдса ($Re=0.1-5$).

2. Показано, что термокапиллярные структуры типа Б реализуются при малых числах Марангони в условиях малых значений градиентов температуры на поверхности пленки в широком диапазоне изменения числа Рейнольдса и физических свойств жидкости.
3. Установлено, что развитие инициированных термокапиллярных возмущений типа А приводит к перемещению струй и воздействует на контактную линию, ограничивающую сухое пятно.
4. Высокоскоростная регистрация позволила показать, что вследствие действия термокапиллярных сил на поверхности происходит деформация трехмерных волн и переход к струйному течению.
5. За счет одновременной регистрации полей температуры и толщины проведено исследование взаимодействия трехмерных волн с термокапиллярными структурами двух типов (А и Б). Установлено, что при достижении высокого градиента температуры на поверхности пленки жидкости в области передней кромки нагревателя течение плёнки меняет характер.
6. Показано, что в результате взаимодействия волн с термокапиллярными структурами возрастает значение плотности теплового потока, соответствующего появлению первого устойчивого сухого пятна. Соискатель предложил новый метод воздействия на пленочное течение, приводящий к повышению его устойчивости к разрыву.

Следует отметить **обоснованность сформулированных научных положений** диссертационных исследований, которая заключается в убедительных заключениях и выводах, а также непротиворечащих физике приведенных гипотезах.

Практическая направленность диссертации Е.Н. Шатского достаточно очевидна и заключается в том, что в работе предложен новый способ повышения устойчивости пленок жидкости к разрыву. Он может быть

использован в промышленных установках разного назначения, например, в тепломассообменных установках и агрегатах, испарителях, конденсаторах, аппаратах химических производств.

Достоверность полученных автором диссертации результатов основана на применении современных методов диагностики, детальном анализе погрешностей измерений, проведении калибровочных и тестовых измерений, а также сравнительном анализе результатов других исследователей.

Проводя оценку **научной и практической значимости** основных результатов, положений и выводов, представленных в диссертации Е.Н. Шатского, необходимо отметить, что **автором получены результаты, не имеющие аналогов в мире в данной области исследований:** влияние градиента температуры поверхности нагрева на формирование термокапиллярных структур; взаимодействие волн с термокапиллярными структурами в условиях различных градиентов температуры; влияние взаимодействия волн с термокапиллярными структурами на разрыв.

Анализ содержания рукописи и автореферата диссертации дает основание для формулирования нескольких **замечаний и рекомендаций:**

1. При формулировке задач диссертационных исследований автор полностью исключил обязательные блоки, присущие экспериментальным работам, которые заключаются в обосновании выбора методов, планировании опытов, создании стендов, подготовке участков, унификации объектов исследований в сериях опытов и др. При этом каждую ступень следует обосновывать с акцентом на реальные приложения или перспективные задачи фундаментальных исследований. Эти аспекты раскрыты в диссертации не в полной мере. Остаются вопросы после прочтения рукописи о причинах выбора и ряда решений при проведении опытов.
2. Автор использует идентичные формулировки в разделах «Научная новизна» и «Заключение». Такой подход выглядит достаточно странно,

так как назначения этих разделов и ожидания читателей от этих разделов совершенно разные. Приведенная информация, по сути, сформулирована с акцентом на то, что нового автор получил в своих исследованиях. Поэтому, скорее всего, соискатель посчитал достаточным использовать эти формулировки и при объяснении новизны работы, и при отражении заключительной части. В этой связи представляется, что диссертанту следовало разделить материал на две части, при описании новизны использовать стандартные формулировки вида «получены результаты ..., отличающиеся от известных ...», а в заключении привести выводы с акцентом не только на новизну, но и на значимость работы.

3. В автореферате и диссертации приведено довольно много рисунков. При этом применялись разные графические редакторы при подготовке последних. Это приводит к некоторой разнородности приведенного материала в части шрифтов, курсива, индексов, толщины линий, цветов и др. Желательно было все-таки выдерживать единый стиль при изложении.
4. В диссертации приведены температурные поля в черно-белом варианте. По ним сложно понять реальные значения температуры. Следовало дополнительно указать численные значения в ряде сечений для корректного понимания рисунков. Особенно вызывают сложности 3D распределения. Либо следовало приводить изотермы, либо добавит количественные значения на поверхность в реперных точках, либо использовать цветные изображения. Кроме того, в диссертационной работе довольно много распределений и профилей температуры. Большая часть из них приведена без доверительных интервалов и СКО. Следовало этот момент пояснить или приводить вместе (хотя бы в начале соответствующего раздела диссертации) средние и разовые результаты измерений для объяснений. Это особенно важно для продемонстрированных случаев скачкообразного изменения температуры

в пределах нескольких градусов (может быть, эти значения находятся в пределах погрешности средств измерений?).

5. В диссертации достаточно много рисунков в виде полей, распределений и профилей регистрируемых параметров. При прочтении текста диссертации возникает вопрос, почему автор не продемонстрировал, как полученные новые данные позволят уточнить современные модели исследуемых процессов. Следовало решить хотя бы задачу теплопроводности пленки и стенки с акцентами на полученные эмпирические экспериментальные данные, продемонстрировать сравнение с данными других авторов при использовании других моделей или иных эмпирических констант и функций.
6. В тексте диссертации и автореферата используются дискуссионные термины «низкие градиенты», «высокие градиенты», «малые Re », «умеренные Re » и др. Автору следовало в начале диссертации все сравнительные степени описать со ссылками на ранее опубликованные статьи или монографии, а также обозначить условия, при которых будут использоваться данные термины далее.
7. После ознакомления с содержанием диссертационной работы наиболее интересным ожидался п. 3.3 «Управление формированием термокапиллярных структур», но после его прочтения можно сделать вывод о том, что он в полной мере еще не завершен, так как управление подразумевает решение ряда задач оптимизации с учетом соответствующих критериев и ограничений. Пока только продемонстрирована возможность частичного изменения термокапиллярных структур. Скорее всего, в этом направлении соискателю следует продолжать работу для получения новых и полезных знаний для мирового научного сообщества.
8. В тексте диссертации и автореферата встречаются немногочисленные опечатки в виде пропущенных знаков препинания и некорректных окончаний слов (несогласованности падежей). Целесообразно было

проверить текст диссертации и автореферата с применением нескольких редакторов.

Сделанные замечания не снижают высокой и, безусловно, положительной оценки диссертационной работы Е.Н. Шатского.

Тема диссертации Е.Н. Шатского «Влияние термокапиллярных эффектов на характеристики течения нагреваемой пленки жидкости» **соответствует паспорту специальности «01.04.14 – теплофизика и теоретическая теплотехника»** (по части **формулы специальности:** «численное и натурное моделирование теплофизических процессов в природе, технике и эксперименте»; **области исследований:** «экспериментальные и теоретические исследования процессов взаимодействия интенсивных потоков энергии с веществом»), так как в диссертации приведены результаты фундаментальных экспериментальных исследований тепловых процессов и агрегатных изменений в группе перспективных физических систем.

Содержание автореферата соответствует содержанию рукописи диссертации.

Результаты диссертационного исследования Е.Н. Шатского регулярно **докладывались** (хорошо апробированы) **на научных конференциях различного уровня** (в университетах и исследовательских центрах г. Новосибирска, Томска, Москвы, Звенигорода, Бийска, Алушты и др., также имеется опыт представления результатов на международных конференциях высокого уровня) и **публиковались в журналах**, рекомендованных ВАК Министерства высшего образования РФ для публикации материалов кандидатских и докторских диссертаций (Теплофизика высоких температур, Теплофизика и аэромеханика, Письма в журнал технической физики). Важно отметить широкий временной интервал опубликования результатов исследований – с 2010 по 2017 гг. Этот аспект отражает длительную и детальную проработку задач диссертации соискателем.

На основании анализа содержания рукописи и автореферата диссертации Е.Н. Шатского можно сделать вывод о том, что диссертационная работа соответствует 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., так как является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение задачи, имеющей существенное значение для теории процессов формирования и основных характеристик термокапиллярных структур и границ их существования в стекающих и интенсивно нагреваемых пленках жидкости.

Учитывая вышеизложенное, считаю, что Е.Н. Шатский заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.14 – теплофизика и теоретическая теплотехника.

Доктор физико-математических наук, профессор
(01.04.14, физико-математические науки),
профессор Национального исследовательского
Томского политехнического университета
Стрижак Павел Александрович
(3822) 606-102
pavelpsa@tpu.ru

Подпись П.А. Стрижака заверяю
Ученый секретарь Национального
исследовательского Томского
политехнического университета
Ананьева Ольга Афанасьевна



Национальный исследовательский
Томский политехнический университет
634050, г. Томск, пр. Ленина, д. 30
т. 8(3822), 701-777, доп. 1910.
15.11.2018