

УТВЕРЖДАЮ
Директор ИТ СО РАН
член-корр. РАН Д.М. Маркович



2017 г.

Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Института теплофизики им. С.С. Кутателадзе
Сибирского отделения Российской академии наук (ИТ СО РАН)

Диссертация на соискание степени кандидата физико-математических наук «Экспериментальное исследование эволюции волн на поверхности стекающих пленок жидкости» выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук (ИТ СО РАН).

В период подготовки диссертации с 2000 - 2008 гг. соискатель Харламов Сергей Михайлович работал в лаборатории физических основ энергетических технологий ИТ СО РАН в должности научного сотрудника. В 1981 г. окончил Новосибирский государственный университет по специальности «физика».

Справка о сдаче кандидатских экзаменов по специальности 01.02.05 — Механика жидкости, газа и плазмы выдана в 2017 г. в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук. Научный руководитель – академик РАН, доктор физико-математических наук, Алексеенко Сергей Владимирович, работает заведующим отделом в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук.

По итогам обсуждения принято следующее заключение:

Целью работы является экспериментальное исследование волновых режимов, реализующихся при пленочном течении жидкости, и получение волновых характеристик,

позволяющих проводить прямое сравнение результатов эксперимента и теоретического анализа.

Актуальность темы

Интерес к пленочным течениям жидкости обусловлен как прикладной, так и фундаментальной значимостью этого класса течений. С практической точки зрения такие течения реализуются при различных технологических процессах и присутствуют в технологических установках различного назначения. При этом волновая структура пленочного течения оказывает существенное или определяющее воздействие на режимные особенности работы установок. Например, за счет влияния волн на поверхности жидких пленок, стекающих под действием гравитации, происходит значительная интенсификация тепломассопереноса через свободную поверхность жидкости, а в присутствии высокоскоростного газового потока межфазный коэффициент трения за счет волн на поверхности пленки может возрастать в несколько раз. Волны, образующиеся при течении жидких пленок, являются классическим объектом для изучения нелинейных эффектов, дисперсии, накачки и диссипации энергии, что делает этот вид течений привлекательным для теоретических исследований, результаты которых могут применяться для развития теории нелинейных волновых явлений в других физических системах.

В связи с высоким интересом к волновым процессам при пленочных течениях жидкости, такие режимы интенсивно исследуются на протяжении нескольких последних десятилетий. Поскольку моделирование пленочных течений в полной постановке уравнений Навье-Стокса с заданием граничных условий на свободной поверхности волновых пленок является чрезвычайно сложной задачей, требующей больших вычислительных ресурсов, для теоретического исследования волновых режимов течения в основном используются модельные системы уравнений пониженной размерности или эмпирические модели, основанные на статистическом анализе экспериментальных данных. При этом предлагаемые различными авторами эмпирические зависимости сильно различаются между собой, что оставляет открытым вопрос о правомерности использования предлагаемых корреляций для описания режимов течения с параметрами, отличными от условий проведения экспериментов. Наиболее плодотворным подходом оказалось сочетание анализа моделей пониженной размерности с экспериментальными исследованиями волновых режимов, выполненными в постановке, позволяющей проводить прямое сравнение результатов моделирования и эксперимента.

В настоящее время теория двумерных волновых режимов пленочного течения жидкости под действием силы тяжести разработана достаточно полно. В то же время, трехмерные волновые режимы гравитационного пленочного течения, как и волновые режимы течения пленок, обдуваемых газовым потоком, исследованы в гораздо меньшей степени, что отчасти связано с отсутствием в литературе достаточного количества экспериментальных данных, необходимых для проверки развиваемых применительно к таким режимам теоретических моделей. Получение таких данных является актуальной задачей при исследовании указанных режимов пленочного течения.

Личный вклад автора

Лично автором разработаны и отлажены системы диагностики пленочного течения с использованием локальных датчиков измерения толщины пленки, проанализирована и изготовлена оптическая система диагностики на основе метода ЛИФ, написаны и протестированы программы обработки полученного экспериментального материала.

Поставлены и решены следующие задачи:

- Исследование частотной восприимчивости и получение дисперсионных зависимостей фазовой скорости и инкремента амплитуды двумерных волн на поверхности пленки на начальном участке кольцевого газо-жидкостного течения в вертикальном канале для случаев восходящего и опускающего течения газа.
- Изучение закономерностей эволюции локализованных трехмерных возмущений на поверхности вертикально стекающих пленок жидкости.
- Разработка и применение метода лазерно-индуцированной флюоресценции (метод ЛИФ) для проведения полевых измерений толщины пленки жидкости, стекающей по пластине.
- Получение количественной информации о форме уединенных трехмерных волн на пленках жидкости, свободно стекающей по вертикальной пластине.

Достоверность полученных результатов обеспечивается: проведением специальных тестовых и калибровочных экспериментов; использованием методов измерений, отработанных на близких к исследуемым объектах изучения; оценкой погрешностей измерений; воспроизводимостью результатов опытов; сопоставлением в возможных случаях полученных результатов с экспериментальными и теоретическими результатами других авторов.

Научная новизна

- Впервые экспериментально определены дисперсионные зависимости фазовой скорости и инкремента амплитуды для развивающихся регулярных двумерных волн малой

амплитуды на вертикальной пленке жидкости в присутствии турбулентного газового потока.

- Разработана система диагностики пленочных течений методом ЛИФ, позволяющая определять скорость и мгновенную форму трехмерных волн на поверхности стекающих по пластине пленок жидкости.

- Впервые экспериментально исследованы закономерности эволюции локализованных трехмерных возмущений на поверхности вертикально стекающих пленок жидкости. Впервые экспериментально показано существование уединенных стационарных трехмерных волн и измерены их характеристики.

Научная и практическая ценность

Методы измерений, разработанные и адаптированные автором для исследования пленочных течений жидкости, позволяют исследовать волновую структуру на поверхности пленок жидкости в различных условиях, в том числе в дисперсно-кольцевых газожидкостных потоках, при неизотермическом пленочном течении, при ручейковом течении жидкости по плоским поверхностям.

Результаты экспериментов по исследованию волновых характеристик на поверхности пленок, обдуваемых газом или свободно стекающих по вертикальной поверхности, получены в детерминистской постановке и позволяют проводить прямое сравнение результатов эксперимента и теоретического анализа.

Основные публикации автора по материалам диссертации

В журналах из перечня ВАК:

1. Алексеенко С. В., Маркович Д. М., Харламов С. М., Черданцев А. В.

Экспериментальное исследование линейной устойчивости течения пленки жидкости в присутствии газового потока // Изв. РАН. Механика жидкости и газа. – 2004. – № 4. – С. 119 – 129.

2. Алексеенко С. В., Антипин В. А., Гузанов В. В., Маркович Д. М., Харламов С. М.

Стационарные уединенные трехмерные волны на вертикально стекающей пленке жидкости // ДАН. – 2005. – Т. 405. – № 2. – С. 193 – 195.

3. Alekseenko S. V., Antipin V. A., Guzanov V. V., Kharlamov S. M., Markovich D. M.

Three-dimensional solitary waves on falling liquid film at low Reynolds numbers // Physics of Fluids. – 2005. – Vol. 17. – P. 121704.

4. Alekseenko S. V., Aktershev S. P., Cherdantsev A. V., Kharlamov S. M., Markovich D. M. Primary instabilities of liquid film flow sheared by turbulent gas stream // Int. J. Multiphase Flow. – 2009. Vol. 35. – P. 617 – 627.

5. Алексеенко С. В., Гузанов В. В., Маркович Д. М., Харламов С. М. Характеристики уединённых трёхмерных волн на вертикально стекающих плёнках жидкости // Письма в ЖТФ. – 2010. – Т. 36. – № 22. – С. 1 – 8.

В материалах конференций:

6. Alekseenko S., Cherdantsev A., Kharlamov S., Markovich D. Characteristics of liquid film in a vertical pipe in presence of gas flow // Proc. of 5-th World Conference on Experimental Heat Transfer, Fluid Mechanics and Thermodynamics, Thessaloniki, Greece, 24-28 September. - 2001. - Vol. 3. - P. 1991-1996.

7. Alekseenko S. V., Cherdantsev A. V., Kharlamov S. M., Markovich D. M. Linear waves on a falling liquid film in presence of turbulent gas stream. // Proc. of 3rd International Conference on transport phenomena in multiphase systems, Kielce, Poland, 23-27 of June. - 2002. - P. 349-355.

8. Alekseenko S. V., Antipin V. A., Cherdantsev A. V., Kharlamov S. M., Markovich D. M. Gas-driven disturbance waves on vertical liquid film // Proc. of 3rd international symposium on two-phase flow modeling and experimentation, Pisa, 22-24 of September. – 2004. - vol. 46, 7 P.

9. Alekseenko S. V., Antipin V. A., Cherdantsev A. V., Kharlamov S. M., Markovich D. M. Waves on vertical liquid film sheared by turbulent gas flow // Proc. of 16th International Congress of Chemical and Process Engineering, Praha, 22-26 of August. – 2004. - P5.205, 12 P.

10. Alekseenko S. V., Antipin V. A., Markovich D. M., Kharlamov S. M. Experimental Study of the Evolution of Three-Dimensional Waves on a Falling Film // Proc. of the 2nd Int. Berlin Workshop – IBW2 on Transport Phenomena with moving Boundaries. 9-10 October 2003, Berlin, Germany. VDI Verlag GmbH Dusseldorf. – 2004. - P. 49-61

11. S. Alekseenko, V. Antipin, S. Kharlamov, D. Markovich. Evolution of Three-Dimensional Waves on a Falling Film // Proc. of 5th International Conference on Multiphase Flow, ICMF'04 Yokohama, Japan, May 30–June 4. – 2004.

12. Алексеенко С. В., Антипин В. А., Маркович Д. М., Харламов С. М. Уединённые трёхмерные волны на вертикально стекающей плёнке жидкости // Тезисы докладов всероссийской конференции Задачи со свободными границами: теория, эксперимент, приложения. Бийск, 4 – 8 июня 2005 г.

13. S. Alekseenko, V. Antipin, V. Guzanov, S. Kharlamov, D. Markovich. Solitary waves in falling liquid films // Book of abstracts of The International Topical Team Workshop

Two-phase Systems for Ground and Space Applications. Brussels, Belgium, 19-21 September 2006, P.8-9.

14. S. Kharlamov, V. Guzanov, D. Crey. On applicability of LIF method for field measurement of local thickness of liquid films // Book of abstracts of The International Topical Team Workshop Two-phase Systems for Ground and Space Applications. Brussels, Belgium, 19-21 September 2006, p.100-101.

15. S. Alekseenko, V. Antipin, V. Guzanov, S. Kharlamov, D. Markovich. Evolution of solitary three-dimensional waves on vertically falling liquid films // Proc. of 6th International Conference on Multiphase Flow. Leipzig, Germany, July 9-13, 2007. S5_Wed_C_37, 4 P.

Апробация работы

Основные результаты диссертации докладывались и обсуждались на следующих конференциях: 5th International Conference on Experimental Heat Transfer, Fluid Mechanics and Thermodynamics (Thessaloniki, Greece, 2001); 3rd International Conference on Transport Phenomena in Multiphase Systems (Kielce, Poland, 2002); 2nd International Berlin Workshop On Transport Phenomena With Moving Boundaries (Berlin, Germany, 2003); 16th International Congress on Chemical and Process Engineering (Prague, Czech Republic, 2004); 3rd International Congress on Two-Phase flow Modelling and Experimentation (Pisa, Italy, 2004); 5th International Conference on Multiphase Flow (Yokohama, Japan, 2004); Всероссийской конференции «Задачи со свободными границами: теория, эксперимент, приложения» (Бийск, Россия, 2005); International Topical Team Workshop Two-phase Systems for Ground and Space Applications (Brussels, Belgium, 2006); 6th International Conference on Multiphase Flow (Leipzig, Germany 2007).

Решение о рекомендации работы к защите

Диссертация «Экспериментальное исследование эволюции волн на поверхности стекающих пленок жидкости» Харламова Сергея Михайловича рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 — Механика жидкости, газа и плазмы.

Заключение принято на заседании семинара Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук под руководством члена-корреспондента РАН Д.М. Марковича.

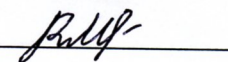
3

Присутствовало на заседании 59 чел., в том числе 1 академик РАН, 1 член-корреспондент РАН, 12 докторов и 16 кандидатов наук. Результаты голосования: «за» - 59 человек, «против» - нет, «воздерж.» - нет, протокол № 46/5-2017 от «27» июня 2017 г.



Председатель семинара

Маркович Д.М., д.ф.-м.н., чл.-корр. РАН,



Секретарь семинара

Мулляджанов Р.И., к.ф.-м.н., н.с.

лаборатории физических основ

энергетических технологий ИТ СО РАН