



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

10 2018 г.

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

Диссертация на соискание степени доктора физико-математических наук «Волновая структура пленки жидкости и процессы обмена дисперсной фазой в дисперсно-кольцевом газожидкостном течении» 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 2006 по 2018 гг. соискатель Черданцев Андрей Викторович работал в Лаборатории физических основ энергетических технологий и в Лаборатории процессов переноса в должности старшего научного сотрудника.

В 2003 году соискатель окончил магистратуру Новосибирского государственного университета Физического факультета по направлению «физика». В период с 2003 по 2006 год проходил обучение в очной аспирантуре физического факультета Новосибирского государственного университета. После окончания аспирантуры в 2006 году защитил диссертацию на соискание степени кандидата физико-математических наук.

По итогам обсуждения принято следующее заключение:

Актуальность проблемы. Дисперсно-кольцевой режим газожидкостного течения в каналах характеризуется наличием тонкой пленки жидкости на стенках канала, высокоскоростного потока газа в ядре канала и дисперсной фазы в виде капель жидкости, уносимых с поверхности пленки в ядро газового потока, а также пузырьков газа, захваченных пленкой жидкости. Поверхность пленки жидкости покрыта сложной системой волн, включающей крупномасштабные волны возмущения и мелкие волны ряби. Такой режим реализуется при течении газожидкостной смеси с высоким содержанием газовой фазы в каналах различной формы и размеров, при различных ориентациях потока. Течение характеризуется большой площадью межфазной поверхности (возмущенная поверхность жидкой пленки, поверхность капель в ядре газового потока и поверхность пузырьков газа), высокой интенсивностью перемешивания (турбулентное течение в газовой фазе и в крупных волнах, процессы отрыва/осаждения капель), высокими коэффициентами теплоотдачи и сравнительно малыми затратами на прокачку жидкости через установку. По этим причинам дисперсно-кольцевой режим часто используется в аппаратах теплообмена (системы охлаждения, в т.ч. компактные теплообменники, химическая промышленность). Формирование жидкой пленки может происходить как при подаче жидкости непосредственно на стенки канала, так и за счет осаждения капель из ядра газокapельного потока, за счет конденсации пара или за счет испарения и выкипания жидкости в нагреваемом канале. В результате такой режим может реализоваться в системах добычи и транспортировки нефти и газа, в штатном и аварийном режимах течения теплоносителя в ядерных реакторах на кипящей воде и водо-водяных реакторах, в тепловых трактах солнечных коллекторов с прямой генерацией пара и т.д. Утоньшение пленки жидкости вследствие уноса капель в ядро газового потока, усиленные возмущениями, вызванными ударами капель и захватом пузырьков газа, может привести к

формированию сухих пятен на стенках канала и последующему перегреву и разрушению стенок промышленного аппарата.

Ввиду высокой сложности течения, обусловленной многообразием и многомасштабностью физических явлений, имеющих место в дисперсно-кольцевом течении, модели, предсказывающие поведение интегральных характеристик такого течения, представлены, главным образом, эмпирическими корреляциями. Как правило, такие модели работают лишь в той области условий, в которой были получены, а попытки их обобщения на более широкие диапазоны параметров дают значительное расхождение между предсказанными и измеренными значениями. Физически обоснованные модели волнового течения пленок жидкости, как правило, работают лишь для случаев малых чисел Рейнольдса жидкости и скоростей потока газа, и их результаты не могут быть экстраполированы на условия, характерные для дисперсно-кольцевого течения.

Развитие теоретических и численных моделей может быть проведено при помощи упрощающих базовых предположений, выработанных на основе детальной экспериментальной информации о разнообразных гидродинамических процессах, реализующихся в таком течении. Список таких процессов включает в себя: формирование, развитие и взаимодействие волн различных типов в режимах с уносом жидкости в дисперсную фазу и без уноса жидкости; срыв капель с поверхности пленки; удары капель, осаждающихся из ядра газового потока на поверхность пленки; захват пузырьков газа пленкой жидкости. Сложность и многомасштабность течения предъявляют высокие требования к методам измерений локальной толщины пленки жидкости и параметров дисперсной фазы. Помимо отсутствия искажений и высоких требований к временному и пространственному разрешению методики, необходима возможность проведения полевых измерений пленки жидкости и совместимость данной методики с методикой исследования дисперсной фазы, поскольку различные волновые процессы и процессы обмена дисперсной фазой находятся в тесной взаимосвязи.

Цели и задачи исследования. Целью работы является выявление и прямое экспериментальное изучение волновых процессов и процессов обмена дисперсной фазой, определяющих гидродинамику дисперсно-кольцевого режима течения и оказывающих влияние на его интегральные характеристики. Полученные результаты должны послужить материалом для валидации и модификации существующих теоретических и численных моделей, для создания новых моделей, а также для анализа существующих корреляционных зависимостей. Для этого должны быть решены следующие задачи:

1. Выбор, развитие и адаптация методик, позволяющих проводить полевые измерения локальной толщины пленки жидкости одновременно с измерением параметров дисперсной фазы с достаточным разрешением и без существенных искажений.
2. Исследование волновой структуры в режимах с числами Рейнольдса жидкости ниже критического (т.е., в отсутствие уноса жидкости в дисперсную фазу).
3. Исследование структуры волн возмущения, механизма формирования волн возмущения и взаимосвязи между волнами возмущения и волнами ряби, а также трехмерной структуры волн различных типов в режимах с уносом жидкости в дисперсную фазу.
4. Определение механизмов отрыва капель с поверхности пленки и сравнительный анализ гипотез, описывающих механизм отрыва.
5. Исследование сценариев взаимодействия капель, осаждающихся из газового потока, с поверхностью пленки жидкости, роли каждого из сценариев в процессах вторичного брызгоуноса и захвата пузырьков газа.
6. Исследование сценариев захвата пузырьков газа пленкой жидкости, определение влияния сценариев захвата и волновой структуры пленки жидкости на эволюцию и характеристики захваченных пузырьков.

Методы исследования. Для полевых измерений локальной толщины пленки жидкости использовались различные модификации метода лазерно-индуцированной флюоресценции (ЛИФ-метод). Этот же метод применялся для исследования динамики элементов дисперсной фазы с привязкой к волновой структуре пленки жидкости. Для анализа волновых режимов в опускном потоке и кросс-валидации ЛИФ-метода использовался метод планарной лазерно-индуцированной флюоресценции (ПЛИФ). Для исследования совместной эволюции волн различных типов применялись двумерная и трехмерная модификации ЛИФ-метода. Для прямого измерения волновых характеристик использовались специально разработанные алгоритмы автоматической идентификации пространственно-временных траекторий индивидуальных волн, а также адаптированные методы спектрального, кросскорреляционного и статистического анализа. Для исследования актов уноса / осаждения капель дополнительно применялась стереоскопическая модификация ЛИФ-метода. Для измерения поля скорости в волне возмущения применялся метод PTV с использованием в качестве трассеров твердых флюоресцентных частиц либо захваченных пленкой пузырьков воздуха.

Научная новизна основных положений, результатов и выводов, полученных в диссертации. В данной работе при помощи новых модификаций ЛИФ-метода впервые проведено исследование элементов дисперсной фазы (капель, пузырьков) одновременно с исследованием эволюции волн различных типов на поверхности обдуваемой газом пленки жидкости. Впервые получено экспериментальное подтверждение наличия эффекта зеркала и показано влияние трехмерности волн на результаты измерений толщины пленки ПЛИФ-методом. В режимах течения тонких пленок жидкости, обдуваемых высокоскоростным потоком газа, впервые обнаружена вторичная неустойчивость задних склонов долгоживущих нелинейных волн, в результате которой генерируются короткоживущие вторичные волны меньших масштабов. Показана возможность моделирования вторичной неустойчивости задних склонов первичных волн в рамках простых моделей. Впервые экспериментально показано подавление капиллярного предвестника нелинейных волн при сильном обдуве. В режимах с уносом жидкости в дисперсную фазу впервые обнаружена неустойчивость заднего склона волн возмущения, приводящая к генерации волн быстрой и медленной ряби. Показано, что такая генерация происходит в потоках различной ориентации в каналах различной формы и размеров. Развита метод автоматической идентификации пространственно-временных траекторий волн возмущения на основе преобразования Радона, и измерены характеристики волн быстрой и медленной ряби с привязкой к фазе волны возмущения. Впервые экспериментально показано, что волны возмущения формируются благодаря слиянию начальных высокочастотных волн вблизи входа в канал, а также выявлены аналогичные явления, связанные с переходом к уносу жидкости и формированием эфемерных волн вдали от входа в канал. Обнаружена зона повышенного трения на стенке под задним склоном волны возмущения, в области генерации волн ряби. Впервые определена связь между механизмами отрыва капель, известными как bag break-up и ligament break-up, и трехмерной структурой волн быстрой ряби на поверхности волн возмущения. Обнаружено, что осаждение капель из газового потока под малыми углами на поверхность пленки жидкости сопровождается интенсивным захватом пузырьков газа пленкой жидкости. Показано, что сценарий захвата не соответствует известным механизмам захвата воздуха при ударе капли. Обнаружено, что широкий спектр размеров захваченных пленкой жидкости пузырьков газа возникает не вследствие дробления крупных пузырей, захватываемых волнами возмущения, а вследствие захвата мелких пузырьков при наклонных ударах капель. Впервые проведено сравнение характеристик захваченных пузырьков газа в волнах возмущения и в остаточном слое жидкости.

Теоретическая и практическая значимость результатов. Результаты, полученные в данной работе, могут быть использованы для создания новых физически обоснованных моделей течения, а также для тестирования и модификации уже существующих моделей. Такой подход требует последовательного развития моделей, предсказывающих генерацию начальных волн на входном участке, слияние начальных волн с формированием волн возмущения, неустойчивость заднего склона волн возмущения и генерацию волн быстрой и медленной ряби, трехмерную эволюцию системы волн быстрой ряби на поверхности волн возмущения, различные сценарии разрушения волн быстрой ряби газовым потоком, возмущение поверхности пленки ударами капель, осаждающихся из газового потока, сопровождающееся вторичным брызгоуносом и захватом пузырьков газа. Такие модели могут быть использованы в расчетных кодах нового поколения, предсказывающих поведение течения в конкретных промышленных установках в атомной энергетике, химической промышленности, аппаратах теплообмена, системах добычи и транспортировки нефти и газа, солнечной энергетике, и т.д. Также экспериментальные результаты могут быть использованы для валидации и модификации численных моделей, предсказывающих динамику дисперсно-кольцевого течения, критического анализа физических моделей и эмпирических корреляций, предсказывающих поведение волн и процессы отрыва капель. Кроме того, отдельные результаты данной работы могут быть использованы для тестирования и модификации моделей, описывающих другие физические задачи, такие как наклонный удар капель по жидкой поверхности (например, в системах спрейного охлаждения или при обледенении поверхностей в авиации) и захват воздуха при наклонных ударах капель / твердых тел по поверхности жидкости.

Достоверность результатов диссертационной работы обеспечивается использованием современных методов измерения локальной толщины пленки жидкости с высоким пространственным и временным разрешением, позволяющим проведение полевых измерений, разрешенных по двум пространственным координатам и времени, а также в стереоскопической постановке. Надежность измерений толщины пленки подтверждается анализом погрешностей измерения в различных зонах течения, моделированием хода лучей прямого и отраженного света для лазерного излучения и флюоресценции, а также прямой кросс-валидацией независимых методов ЛИФ и ПЛИФ. Надежность измерений волновых характеристик обеспечивается применением специально разработанных методов автоматической идентификации пространственно-временных траекторий волн различных типов, и визуальной верификацией эффективности работы алгоритмов. Измерения характеристик волн различных типов и элементов дисперсной фазы проводились на больших выборках при помощи адаптированных к задаче методов анализа..

На защиту выносятся:

1. Развитие и адаптация метода лазерно-индуцированной флюоресценции к исследованию обдуваемых газом пленок жидкости совместно с элементами дисперсной фазы.
2. Анализ источников ошибок при измерениях ЛИФ- и ПЛИФ-методами.
3. Результаты качественного и количественного анализа двухволновой структуры на поверхности тонких пленок жидкости, обдуваемых интенсивным газовым потоком, а также сопоставления с результатами моделирования.
4. Результаты качественного и количественного анализа процессов генерации волн быстрой и медленной ряби в дисперсно-кольцевом течении, механизма формирования волн возмущения, сравнения с результатами моделирования.
5. Метод автоматической идентификации характеристических линий волн возмущения, результаты применения метода к исследованию влияния условий экспериментов на характеристики волн возмущения.

6. Обнаружение зоны с высокой скоростью жидкости вблизи стенки канала под задним склоном волны возмущения.
7. Результаты исследования трехмерной структуры волн возмущения и волн быстрой ряби.
8. Результаты анализа гипотез, описывающих механизм отрыва капель, а также анализа физических моделей, предсказывающих интенсивность уноса жидкости в дисперсную фазу.
9. Новые сценарии взаимодействия капель, осаждающихся из газового потока, с волновой поверхностью пленки жидкости.
10. Новые сценарии захвата пузырьков газа пленкой жидкости. Полное количественное описание эволюции захваченных пленкой пузырьков газа.

Личный вклад автора

Автор диссертации внес основной вклад в постановку рассматриваемых задач, а также в планирование и проведение экспериментальных исследований. Автором проведена адаптация ЛИФ-метода к исследованию волновой структуры обдуваемых газом пленок жидкости, модификация метода с целью изучения элементов дисперсной фазы одновременно с волновой структурой, в том числе стереоскопическая модификация метода. Автор внес основной вклад в развитие алгоритмов автоматической обработки данных для режимов с уносом жидкости в дисперсную фазу и режимов без уноса. Автором проведен основной объем обработки данных, анализ полученных закономерностей, сравнение с литературными данными и результатами моделирования. Автором проведен обзор литературы по теме исследований, анализ существующих эмпирических и теоретических моделей, сформулированы выводы по диссертации.

Публикации по материалам диссертации:

1. Alekseenko, S.V., Antipin, V.A., Cherdantsev, A.V., Kharlamov, S.M., Markovich, D.M., 2008. Investigation of waves interaction in annular gas-liquid flow using high-speed fluorescent visualization technique. *Microgravity Sci. Technol.*, 20(3-4): 271-275 (из перечня ВАК).
2. Alekseenko, S.V., Antipin, V.A., Cherdantsev, A.V., Kharlamov, S.M., Markovich, D.M., 2009. Two-wave structure of liquid film and waves interrelation in annular gas-liquid flow with and without entrainment. *Phys. Fluids*, 21: 061701-061704 (из перечня ВАК).
3. Alekseenko, S.V., Cherdantsev, A.V., Cherdantsev, M.V., Markovich, D.M., 2009. Investigation of secondary waves dynamics in annular gas-liquid flow. *Microgravity Sci. Technol.*, 21(Suppl. 1): 221-226 (из перечня ВАК).
4. Alekseenko, S.V., Cherdantsev, A.V., Heinz, O.M., Kharlamov, S.M., Markovich, D.M., 2011. An Image Analysis Method as Applied to Study the Space–Temporal Evolution of Waves in an Annular Gas–Liquid Flow. *Patt. Recogn. Image Analysis*, 21(3): 441–445 (из перечня ВАК).
5. Alekseenko, S., Cherdantsev, A., Cherdantsev, M., Isaenkov, S., Kharlamov, S., Markovich, D., 2012. Application of a high-speed laser-induced fluorescence technique for studying three-dimensional structure of annular gas-liquid flows. *Exp. Fluids*, 53(1): 77-89 (из перечня ВАК).
6. Alekseenko, S.V., Cherdantsev, A.V., Heinz, O.M., Kharlamov, S.M., Markovich, D.M., 2013. Application of the Image Analysis Method to Studies of the Space–Time Wave Evolution in an Annular Gas–Liquid Flow. *Patt. Recogn. Image Analysis*, 23(1): 35–43 (из перечня ВАК).
7. Alekseenko, S.V., Cherdantsev, A.V., Heinz, O.M., Kharlamov, S.M., Markovich, D.M., 2013. Analysis of spatial and temporal spectra of liquid film surface in annular gas-liquid flow. *Exp. Fluids*, 54(9): 1-12 (из перечня ВАК).
8. Alekseenko, S.V., Cherdantsev, A.V., Markovich, D.M., Rabusov, A.V., 2014. Investigation of droplets entrainment and deposition in annular flow using LIF technique. *Atomiz. Sprays*, 24 (3): 193–222 (из перечня ВАК).

9. Alekseenko, S.V., Cherdantsev, A.V., Heinz, O.M., Kharlamov, S.M., Markovich, D.M., 2014. Analysis of spatial and temporal evolution of disturbance waves and ripples in annular gas-liquid flow. *Int. J. Multiphase Flow*, 67: 122–134 (из перечня ВАК).
10. Cherdantsev, A.V., Hann, D.B., Azzopardi, B.J., 2014. Study of gas-sheared liquid film in horizontal rectangular duct using high-speed LIF technique: three-dimensional wavy structure and its relation to liquid entrainment. *Int. J. Multiphase Flow*, 67: 52–64 (из перечня ВАК).
11. Alekseenko, S.V., Cherdantsev, A.V., Cherdantsev, M.V., Isaenkov, S.V., Markovich, D.M., 2015. Study of formation and development of disturbance waves in annular gas-liquid flow. *Int. J. Multiphase Flow*, 77: 65–75 (из перечня ВАК).
12. Hann, D.B., Cherdantsev, A.V., Mitchell, A., McCarthy, I.N., Hewakandamby, B.N., Simmons, K., 2016. A Study of Droplet Impact on Static Films Using the BB-LIF technique. *Exp. Fluids*, 57(4): 1-12 (из перечня ВАК).
13. Vozhakov, I.S., Cherdantsev, A.V., Arkhipov, D.G., 2016. Modelling secondary instability of thin co-current gas-sheared film. *Fluid Dyn. Res.*, 48 (6): 061420 (из перечня ВАК).
14. Cherdantsev, A.V., Hann, D.B., Hewakandamby, B.N., Azzopardi, B.J., 2017. Study of the impacts of droplets deposited from the gas core onto a gas-sheared liquid film. *Int. J. Multiphase Flow*, 88: 69–86 (из перечня ВАК).
15. Vasques, J., Cherdantsev, A., Cherdantsev, M., Isaenkov, S., Hann, D., 2018. Comparison of disturbance waves parameters with flow orientation in vertical annular gas-liquid flows in a small pipe. *Exp. Thermal Fluid Sci.*, 97: 484-501 (из перечня ВАК).
16. Hann, D.B., Cherdantsev, A.V., Azzopardi, B.J., 2018. Study of bubbles entrapped into a gas-sheared liquid film. *Int. J. Multiphase Flow*, 108: 181-201 (из перечня ВАК).
17. Alekseenko, S.V., Cherdantsev, A.V., Kharlamov, S.M., Markovich, D.M., Rabusov, A.V., Smagina, A.V. (2012). Various aspects of application of high-speed LIF-technique to studying the wavy structure of liquid film in annular gas-liquid flow. *AIP Conference Proceedings* 1428, 225 (из перечня ВАК).
18. Cherdantsev, A.V., Cherdantsev, M.V., Isaenkov, S.V., Markovich, D.M., 2017. Study of development of disturbance waves in annular gas-liquid flow. *J. Phys.: Conf. Series*, 899: 032008 (из перечня ВАК).
19. Isaenkov, S., Cherdantsev, A., Cherdantsev, M., Markovich, D., 2017. Quantitative analysis of transverse non-uniformity of liquid film at the initial stage of annular-dispersed flow. *J. Phys.: Conf. Ser.*, 894: 012105 (из перечня ВАК).
20. Cherdantsev, A.V., 2018. Overview of Physical Models of Liquid Entrainment in Annular Gas-Liquid Flow. *AIP Conf. Proc.*, 1939: 020006-1–7 (из перечня ВАК).
21. Alekseenko S.V., Cherdantsev A.V., Isaenkov S.V., Markovich D.M. Circumferential non-uniformity of waves on liquid film in annular flow without liquid entrainment. *Interfacial Phenomena and Heat Transfer*. 1 (2): 139–151 (2013).
22. Cherdantsev, A.V., Tokarev, M.P., Vasques, J.C., Hann, D.B., Hewakandamby, B.N., Azzopardi, B.J., 2017. Study of droplets entrainment and deposition in gas-sheared liquid film flow using stereo-BBLIF approach. 9th World Conf Exp Heat Transfer Fluid Mech Thermodyn, 12-15 June, 2017, Iguazu Falls, Brazil, paper OC005 (12 pages).
23. Cherdantsev, A.V., An, J.S., Charogiannis, A., Markides, C.N., 2018. Cross-Validation Of PLIF And BBLIF Towards The Detailed Study Of Gas-Sheared Liquid Films In Downward Annular Flows. *Proc. 19th Int. Symp. Appl. Laser Imag. Tech. Fluid Mech.*, Lisbon, Portugal, 16 - 19 July 2018 (14 pages).
24. Cherdantsev, A.V., Isaenkov, S.V., Cherdantsev, M.V., Markovich, D.M., 2018. Experimental Study Of Primary Instability Of Thick Liquid Films Under Strong Gas Shear Using Laser-Induced Fluorescence And Shadow Techniques. *Proc. 19th Int. Symp. Appl. Laser Imag. Tech. Fluid Mech.*, Lisbon, Portugal, 16 - 19 July 2018 (16 pages).
25. Hann, D.B., Loizou, K., Vasques, J., Tokarev, M.P., Cherdantsev, A.V. The Use Of POD Filtering To Study The Transition From 2D To 3D In Stratified Two-Phase Flow. *Proc. 19th Int. Symp. Appl. Laser Imag. Tech. Fluid Mech.*, Lisbon, Portugal, 16 - 19 July 2018 (16 pages).

Апробация работы

Материалы по теме диссертации были представлены на следующих конференциях и семинарах: Int. Conf. Multiphase Flow (Leipzig 2007, Tampa 2010, Jeju 2013, Florence 2016); Int. Symp. Applications of Laser Techniques to Fluid Mechanics (Lisbon 2010, 2012, 2014, 2016, 2018); Int. Topical Team Workshop on Two-Phase Systems for Ground and Space Applications (Brussels 2008, Novosibirsk 2009, Cava de' Tirreni 2011, Beijing 2012, Bremen 2013, Baltimore 2014, Novosibirsk 2017); World Conf. on Experimental Heat Transfer, Fluid Mechanics and Thermodynamics (Krakow 2009, Lisbon 2013, Foz do Iguaçu 2017); Euromech Fluid Mechanics Conf. (Manchester 2008, Copenhagen 2014); Annual Meeting of the APS Division of Fluid Dynamics (Pittsburgh 2013, San Fransisco 2014, Portland 2016); Triennial Int. Conf. on Liquid Atomization and Spray Systems (Heidelberg 2012, Tainan 2015); Int. Symp. on Measurement Techniques for Multiphase Flows (Tianjin 2011, Sapporo 2015); Pacific Symp. on Flow Visualization and Image Processing (Moscow 2011, Naples 2015); 2nd European Conf. on Microfluidics (Toulouse 2010); Int. Symp. on bifurcations and instabilities in fluid dynamics (Nottingham 2009); Int. Conf. on pattern recognition and image analysis: new information technologies, (Sankt-Peterburg 2010); Int. Symp. on Flow Visualization (Minsk 2012); Int. Congress on Theoretical and Applied Mechanics (Bejing 2012); Asian Symp. on Visualization (Novosibirsk 2015); Int. Symp. and School for Young Scientists Interfacial Phenomena and Heat Transfer (Novosibirsk 2016); Int. Heat Transfer Conf. (Costa del Sol, 2016); World Congress on Momentum, Heat and Mass Transfer (Barcelona 2017); Всероссийская школа-конференция молодых ученых «Актуальные вопросы теплофизики и физической гидрогазодинамики» (Новосибирск 2008, 2010, 2012, 2014, 2016); Всероссийская молодежная конференция «Устойчивость и турбулентность течений гомогенных и гетерогенных жидкостей» (Новосибирск 2008, 2010); Всероссийская конференция молодых ученых «Проблемы механики: теория, эксперимент и новые технологии» (Новосибирск 2009, 2012); Всероссийская конференция с участием зарубежных ученых "Задачи со свободными границами: теория, эксперимент и приложения" (Бийск 2011, Барнаул 2017); Всероссийская конференция «Фундаментальные основы МЭМС- и нанотехнологий» (Новосибирск 2012, 2015); Всероссийская конференция "Сибирский теплофизический семинар" (2010, 2015); Всероссийская школа-семинар молодых ученых «Физика неравновесных процессов в энергетике и nanoиндустрии» (Новосибирск 2007); Международная научно-техническая конференция «Оптические методы исследования потоков» (Москва 2015); Всероссийская научная конференция "Теплофизика и физическая гидродинамика" (Алушта 2010, Ялта 2017); Всероссийская конференция с международным участием "Современные проблемы механики сплошных сред и физики взрыва" (Новосибирск 2017); Всероссийский семинар "Динамика многофазных сред" (Новосибирск 2017), V Всероссийская конференция с международным участием "Пермские гидродинамические научные чтения" (Пермь 2018). Результаты работы обсуждались на семинарах: Института теплофизики СО РАН (рук. чл.-корр. Маркович Д.М.), на видеосеминаре ЦАГИ – ИТПМ СО РАН – СПбПУ – НИИМ МГУ – ОИВТ РАН, а также на семинарах в зарубежных университетах: University of Nottingham (prof. B.J. Azzopardi), Imperial College London (Prof. O.Matar, Prof. C. Markides), University College London (Prof. P. Angeli).

Решение о рекомендации работы к защите

Диссертация «Волновая структура пленки жидкости и процессы обмена дисперсной фазой в дисперсно-кольцевом газожидкостном течении» Черданцева Андрея Викторовича рекомендуется к защите на соискание ученой степени доктора 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 академика РАН С.В. Алексеенко.

Присутствовало на заседании 55 чел., в том числе 1 академик РАН, 2 члена-корреспондента РАН, 17 докторов и 21 кандидат наук. Результаты голосования: «за» – 55 чел., «против» – 0 чел., «воздержалось» – 0 чел., протокол № 4-2018 от 07 июня 2018 г.



Председатель семинара

Алексеев С.В., д.ф.-м.н., акад. РАН



Секретарь семинара

Мулляджанов Р.И., к.ф.-м.н., с.н.с.