



«УТВЕРЖДАЮ»
директор ИТ СО РАН
д.т.-корр. РАН Д.М. Маркович

« 21 » марта 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 «Гидродинамическая структура и теплообмен двухфазных газожидкостных потоков» 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 1986 по 2018 гг. соискатель Рандин Вячеслав Валерьевич работал в лаборатории физической гидродинамики ИТ СО РАН в должности старшего научного сотрудника. В настоящее время работает в должности старшего научного сотрудника в лаборатории проблем тепломассопереноса ИТ СО РАН.

В 1986 г. окончил физический факультет Новосибирского государственного университета по специальности «физика». В 1993 году защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.14 – Теплофизика и молекулярная физика.

По итогам обсуждения принято следующее заключение:

Актуальность темы:

Газожидкостные течения встречаются в целом ряде промышленных установок в химической и микробиологической промышленности, в энергетике, а также при совместном сборе и транспорте нефти и газа.

Структура газожидкостного течения в значительной степени зависит ориентации канала и направления движения фаз. В частности, имеется большое различие между характеристиками восходящего и опускного течения в вертикальной трубе. В пузырьковом течении одним из основных факторов, определяющих распределение фаз по сечению трубы, является боковая сила, действующая на всплывающий относительно жидкости пузырь газа. Знак этой силы противоположен для восходящего и опускного течения. Это приводит к различному характеру распределения газовой фазы по сечению трубы. Для восходящего пузырькового потока в вертикальной трубе характерны профили газосодержания с пиками у стенки. Введение в поток газовой фазы может существенно изменить как осредненные, так и пульсационные характеристики течения. Иная картина наблюдается для опускного пузырькового течения, где обычно имеет место ситуация с концентрацией пузырей в центре канала. Это вызывает значительные различия в структуре потока вблизи стенки. Большинство экспериментальных работ посвящено изучению восходящего течения, тогда как опускное течение исследовано

значительно слабее. В литературе известны только несколько статей, детально исследующих эту проблему.

Большинство исследований опускного потока, известных в литературе, было проведено в условиях развитого турбулентного режима течения. В этом случае турбулентность двухфазной смеси являлась композицией собственной турбулентности жидкости и псевдотурбулентности, вызванной перемешиванием жидкости пузырями. Чтобы отделить влияние перемешивания жидкости пузырями от собственной турбулентности жидкости требуются эксперименты при ламинарных режимах течения.

Газожидкостное снарядное течение в трубах существует в широком диапазоне расходных скоростей жидкости и газа. Отличительной особенностью снарядного режима является наличие в потоке газовых снарядов, часто называемых пузырями Тейлора. Газовый снаряд занимает почти все поперечное сечение трубы. Снарядный режим течения характеризуется квазипериодическим чередованием газовых снарядов и жидких пробок. В вертикальных трубах газовые снаряды имеют скругленную носовую часть, тогда как кормовая зона практически плоская. Они разделяются жидкими пробками, газовая фаза в которых существует в виде пузырей. Структура течения в жидкой пробке существенно отличается как от однофазного течения в трубе, так и от двухфазного пузырькового течения. Жидкость, обтекающая газовый снаряд, движется в виде падающей пленки. При этом направление трения на стенке может не совпадать с направлением основного потока. Для двухфазных газожидкостных потоков характерно образование крупномасштабных структур, обусловленных взаимодействием фаз. В случае снарядного течения такие структуры, как газовые снаряды и разделяющие их жидкие пробки, наиболее четко выделены. Исследованию снарядного режима течения посвящено большое количество работ. Следует отметить, что большинство исследований было посвящено изучению характеристик газовой фазы (длины и скорости снарядов, частоты их прохождения). В то же время значительный интерес представляют характеристики жидкой фазы. В работах по изучению снарядного потока практически не исследована пристенная зона течения.

В литературе широко и подробно представлены экспериментальные исследования восходящего газожидкостного течения в вертикальных трубах и каналах. Большая часть экспериментальных исследований пузырьковых потоков посвящена течениям в вертикальных трубах. В этом случае распределение газовой фазы формируется с помощью боковых сил, действующих на всплывающие пузыри при наличии градиента скорости. Намного меньше внимания было уделено пузырьковым газожидкостным потокам в горизонтальных и наклонных каналах, хотя именно в этом случае ориентация канала может быть очень важна.

В двухфазных пузырьковых течениях имеется ряд проблем, по которым в настоящее время нет удовлетворительных теоретических подходов. Это касается, в частности, задачи распределения газовой фазы по сечению канала, а также влияния дисперсной фазы на турбулентность несущей фазы. В отличие от однофазного течения, на гидродинамические характеристики газожидкостного течения существенно влияют ориентация канала и направление течения. Многообразие режимов течения существенно усложняет теоретическое предсказание гидродинамики двухфазного потока, требуя использования многочисленных гипотез, предположений и приближений. Нередко сложность структуры течения делает невозможным чисто теоретическое описание его поведения и требует использования эмпирических данных. Поэтому экспериментальное изучение газожидкостных потоков является актуальным.

Проблема надежного проектирования оборудования ставит задачу создания методов расчета газожидкостных потоков, имеющих высокую точность и

достоверность. Несмотря на большое количество работ, посвященных этому вопросу, в настоящее время не существует надежных методов расчета двухфазных течений. Существующие общепринятые полуэмпирические методы расчета двухфазных потоков являются весьма приближенными и не отражают многообразия процессов в двухфазных потоках. Появившиеся в последнее время новые методы расчета еще далеки от завершенности, поскольку они требуют обширной эмпирической информации о структуре двухфазных течений. В этих условиях решающее значение приобретает экспериментальное исследование локальной структуры газожидкостных потоков в широком диапазоне параметров и при различных режимах течения.

Цель работы:

Проведение комплексных экспериментальных исследований локальных средних и пульсационных характеристик газожидкостных потоков, получение детальной экспериментальной информации о структуре газожидкостных течений и теплообмене в широком диапазоне геометрических режимных параметров.

Поставлены и решены следующие задачи:

- Модификация методики измерений локальных гидродинамических характеристик газожидкостных течений на основе электродиффузионного метода. Оценка степени влияния порога дискриминации газовой фазы на результаты измерений. Оценка влияния параметров осреднения на значения средних и пульсационных компонент трения и скорости. Адаптация метода для измерений в пристенной зоне течений. Оценка погрешности электродиффузионного метода измерения.
- Экспериментальное исследование гидродинамической структуры опускного газожидкостного пузырькового потока в турбулентном режиме течения в широком диапазоне режимных параметров. Измерение средних и пульсационных характеристик течения. Исследование пристенной зоны течения. Изучение влияния малых добавок газа на течение жидкости.
- Экспериментальное исследование опускного пузырькового течения в «псевдоламинарном режиме» при докритических числах Рейнольдса жидкости. Исследование осредненной и пульсационной структуры течения. Сравнение результатов с известными в литературе результатами численного моделирования таких течений.
- Реализация метода условного осреднения по ансамблю для исследования структуры восходящего снарядного течения в трубе. Выбор критерия для идентификации газовых снарядов и пузырей.
- Экспериментальное исследование восходящего снарядного течения в трубе. Измерение профилей скорости жидкости в жидких пробках с использованием методики условного осреднения. Исследование изменения скорости по длине жидкой пробки. Измерение эволюции трения на стенке в пленке жидкости вокруг газового снаряда по мере движения снаряда.
- Отработка методики измерения характеристик дисперсности газовой фазы на основе скоростной видеосъемки. Разработка алгоритмов вычисления размеров газовых включений по анализу изображений. Отработка методики измерений локальной теплоотдачи к потоку в режиме постоянного теплового потока. Оценка погрешности измерений.
- Экспериментальное исследование гидродинамики и теплоотдачи от стенки в пузырьковом течении в наклонном прямоугольном плоском канале с переменным углом наклона. Измерение трения на стенке и коэффициента теплообмена при различных углах наклона и различных расходах фаз.

Научная новизна:

- Разработана методика проведения комплексного экспериментального исследования гидродинамической структуры двухфазных газожидкостных течений в различных

условиях, и детального изучения структуры пристенной области в различных режимах.

- Впервые получены экспериментальные данные о гидродинамической структуре опускного пузырькового течения в развитом турбулентном режиме, включая пристенную зону течения.
- Показано наличие механизмов демпфирования турбулентных пульсаций в пристенной зоне газожидкостного потока. Показано существенное влияние дисперсности газовой фазы на пульсационные характеристики трения и скорости.
- Впервые получены экспериментальные данные о структуре опускного пузырькового течения при докритических числах Рейнольдса жидкой фазы. Показано качественное подобие структур течения в развитом турбулентном и псевдоламинарном режимах.
- Получены результаты исследования восходящего снарядного течения методом условного осреднения по ансамблю реализаций. Получена осредненная структура течения в жидких пробках и в пленках жидкости вокруг газовых снарядов.
- Получены новые результаты по трению и теплообмену в пузырьковом газожидкостном течении в прямоугольном канале при различных углах наклона. Показано, что наиболее существенное влияние газовой фазы наблюдается при промежуточных углах наклона относительно вертикали.
- Показано значительное влияние малых концентраций газовой фазы на гидродинамические характеристики и теплообмен пузырькового течения в различных условиях.

Достоверность полученных результатов основана на использовании отработанных методов измерений и строгом анализе погрешностей. Используемые методики измерений тестировались в однофазных потоках и сравнивались с известными в литературе зависимостями. Полученные экспериментальные результаты качественно совпадают с известными в литературе расчетами других авторов. Достоверность полученных результатов обусловлена также публикацией результатов исследований в жестко рецензируемых научных журналах.

Научная и практическая ценность:

Анализ экспериментальных данных позволяет создать реальную физическую картину вертикального пузырькового течения и может служить основой разработки современных термогидравлических кодов, что поможет при создании технологического оборудования.

На защиту выносятся:

- Результаты экспериментального исследования локальных средних и пульсационных характеристик опускного пузырькового потока в вертикальной трубе в турбулентном режиме течения.
- Результаты экспериментального исследования опускного пузырькового течения при докритических числах Рейнольдса в «псевдо-ламинарном» режиме.
- Результаты измерения локальных гидродинамических характеристик в жидких пробках и под газовыми снарядами в восходящем снарядном течении.
- Результаты исследования влияния пузырей и угла наклона канала на гидродинамику и теплообмен в пузырьковом течении в наклонном плоском канале.

Личный вклад автора:

Основные научные результаты, включенные в диссертацию и выносимые на защиту, получены соискателем лично. Им получены экспериментальные данные, проведен их анализ и интерпретация, оценка погрешностей измерений, сформулированы заключения, послужившие основой выводов диссертации. Постановка решаемых задач проводилась диссертантом как лично, так и совместно с д.ф.-м.н. О.Н. Кашинским. Автор принимал непосредственное участие в создании и отладке систем измерения на основе электрохимического метода. Он разработал алгоритмы обработки данных, подготовил экспериментальные установки и измерительное оборудование, провел измерения и

обработку экспериментальных данных, подготовил публикации по результатам исследований.

Публикации по материалам диссертации:

1. Кашинский О.Н., Горелик Р.С., Рандин В.В. Скорости фаз в пузырьковом газожидкостном течении // ИФЖ, 1989, т.57, N 1, с.12-15, (из перечня ВАК).
2. Kashinsky O.N., Timkin L.S., Randin V.V., Yerycheva O.N. Direction-specific characteristics of three-component electrodiffusional velocity probe // J. Appl. Electrochem., 1994, N 24, p.694-696, (из перечня ВАК).
3. Kashinsky O.N., Gorelik R.S., Randin V.V. Upward bubbly flow in a small diameter vertical pipe // Russ. J. Eng. Thermophysics, 1995, Vol.5, N 2, p.177-193, (из перечня ВАК).
4. Nakoryakov V.E., Kashinsky O.N., Randin V.V., Timkin L.S. Gas-liquid bubbly flow in vertical pipes // Journal of Fluids Engineering, 1996, Vol.118, p.377-382, (из перечня ВАК).
5. Kashinsky O.N., Randin V.V. Downward bubbly gas-liquid flow in a vertical pipe // Int. J. Multiphase Flow, 1999, Vol. 25, No. 1, p. 109-138, (из перечня ВАК).
6. Кашинский О.Н., Рандин В.В. Опускное газожидкостное пузырьковое течение в вертикальной трубе // Теплофизика и аэромеханика, 1999, т. 6, N 2, с. 235-246, (из перечня ВАК).
7. Kashinsky O.N., Randin V.V. Downward bubbly flow at low liquid velocities // Russ. J. Eng. Thermophysics, 1999, Vol. 9, N 1-2, p.113-128, (из перечня ВАК).
8. Kashinsky O.N., Gorelik R.S., Randin V.V. Structure of upward slug flow in a vertical pipe // J. Eng. Thermophysics, 2002, Vol. 11, N 1, p.105-113, (из перечня ВАК).
9. O.N. Kashinsky, V.V. Randin, A.S. Kurdyumov The structure of an upward slug flow in a vertical tube // Thermophysics and Aeromechanics, 2004, Vol. 11, No. 2, p.269-278, (из перечня ВАК).
10. Кашинский О.Н., Рандин В.В., Лобанов П.Д., Чимитов Т.Д. Опускное пузырьковое течение при малых расходных газосодержаниях // Теплофизика и аэромеханика, 2004, Т. 11, N 4, с. 619-624, (из перечня ВАК).
11. Кашинский О.Н., Рандин В.В., Лобанов П.Д., Богословцев Г.В. Влияние дисперсности газовой фазы на характеристики опускного пузырькового течения // Теплофизика и аэромеханика, 2005, Т. 12, № 4, с.637-643, (из перечня ВАК).
12. O.N. Kashinsky, V.V. Randin, P.D. Lobanov, M.A. Pakhomov, V.I. Terekhov. Experimental and numerical study of downward bubbly flow in a pipe // Int. J. Heat and Mass Transfer, 2006, Vol. 49, p. 3717-3727, (из перечня ВАК).
13. Кашинский О.Н., Рандин В.В., Курдюмов А.С. Трение на стенке в восходящем снарядном течении в вертикальной трубе. // Теплофизика и Аэромеханика, 2006, Т.13, № 3, с. 411-416.
14. O.N. Kashinsky, V.V. Randin, P.D. Lobanov. The influence of a small gas addition to the structure of gas-liquid downward flow in a tube // Journal of Engineering Thermophysics, 2008, Vol. 17, No 2, p. 120-125, (из перечня ВАК).
15. O.N. Kashinsky, V.V. Randin, A.V. Chinak. The effect of channel orientation on heat transfer and wall shear stress in the bubble flow // Thermophysics and Aeromechanics, 2013, Vol. 20, No. 4, p. 401-408, (из перечня ВАК).
16. O. N. Kashinsky, V.V. Randin, A. V. Chinak. Heat transfer and shear stress in a gas-liquid flow in an inclined plane channel // Journal of Engineering Thermophysics, 2014, Vol. 23, No. 1, pp. 39-46, (из перечня ВАК).
17. А. Е. Гореликова, О. Н. Кашинский, М. А. Пахомов, В. В. Рандин, В. И. Терехов, А. В. Чинак. Турбулентная структура течения и теплоперенос в наклонном пузырьковом потоке. Экспериментальное и численное исследование // Известия РАН. Механика жидкости и газа, 2017, Т. 52, № 1. с. 117–129, (из перечня ВАК).
18. A.V. Chinak, A.E. Gorelikova, O.N. Kashinsky, M.A. Pakhomov, V.V. Randin, V.I. Terekhov. Hydrodynamics and heat transfer in an inclined bubbly flow // International Journal of Heat and

Mass Transfer, 2018, 118, pp. 785–801, (из перечня ВАК).

19. Кашинский О.Н., Шевченко В.И., Рандин В.В. Турбулентная структура пузырькового газожидкостного течения в вертикальных трубах // Тез. докл. VIII Всесоюз. конф. "Двухфазный поток в энергетических машинах и аппаратах". Ленинград, 1990, с.10-12.
20. Nakoryakov V.E., Kashinsky O.N., Timkin L.S., Randin V.V. Gas-liquid bubbly flow in vertical pipes // FED-Vol. 180, Experimental and computational aspects of validation of multiphase flow CFD codes, Ed. I. Celic et al., 1994, p.101-106.
21. Nakoryakov V.E., Kashinsky O.N., Randin V.V. Downward slug flow in vertical pipe // Proceedins of The Second International Conference on Multiphase Flow '95-Kyoto. April 3-7, 1995, Kyoto, Japan, p. IF2-39 - IF2-42.
22. Randin V.V., Chinak A.V. Spectral method of wall shear stress measurements by electrodiffusional probes // Proceedings of the 4th International Workshop on Electrochemical Flow Measurements – Fundamentals and Applications, Lahnstein, Germany, 17-20 March 1996, Ed. E. Heitz and K. Juttner, Lahnstein, 1996, p. 1.9.
23. Kashinsky O.N., Chinak A.V., Randin V.V. Downward bubbly flow in a vertical pipe // Third International Conference on Multiphase Flow, Lyon, France, June 8-12, 1998, CD-ROM of full texts.
24. Kashinsky O.N., Randin V.V. Downward bubbly gas-liquid flow in a vertical pipe // 13th International Congress of Chemical and Process Engineering, Praha, Czech Republic, 23-28 August 1998, CD-ROM of full texts.
25. Kashinsky O.N., Randin V.V. Downward bubbly gas-liquid flow in a vertical pipe // Transactions of the International Symposium "Actual problems of physical hydrodynamics", Novosibirsk, Russia, 19-23 April 1999, p. II-55.
26. Kashinsky O.N., Randin V.V. Bubbly flows in chemical and biochemical engineering // Transactions of the International Symposium "Actual problems of physical hydrodynamics", Novosibirsk, Russia, 19-23 April 1999, p. I-27-I-29.
27. Kashinsky O.N., Randin V.V. Downward bubbly flow at low liquid velocities // Two-Phase Flow Modelling and Experimentation. Proc. of the Second International Symposium. Pisa, Italy, 23-26 May, 1999, Vol. 2, p. 1063-1069.
28. Kashinsky O.N., Randin V.V. Downward laminar gas-liquid flow in a vertical pipe // Heat Transfer Science and Technology 2000, ed. Bu-Xuan Wang, Hier Education Press, Beijing, China, 2000, p. 524-529.
29. Kashinsky O.N., Randin V.V. Downward bubbly flow in a vertical pipe // Dynamics of Multiphase Systems. Proceedings of International Conference on Multiphase Systems, June 15-17, 2000. Ufa, p. 65-70.
30. Kashinsky O.N., Gorelik R.S., Randin V.V. Structure of upward slug flow in a vertical pipe // Experimental Heat Transfer, Fluid Mechanics, and Thermodynamics 2001, ed. G.P. Celata, P.O. Marko, A. Goulas, A. Mariani, Edizioni ETS, Pisa, 2001, p. 1471-1475.
31. Kashinsky O.N., Randin V.V. Downward laminar gas-liquid flow in a vertical pipe // Experimental Heat Transfer, Fluid Mechanics, and Thermodynamics 2001, ed. G.P. Celata, P.D. Marko, A. Goulas, A. Mariani, Edizioni ETS, Pisa, 2001, p. 1369-1373.
32. Kashinsky O.N., Randin V.V. Hydrodynamic structure of downward bubbly flow // EUROMECH 421 Colloquium "Strongly Coupled Dispersed Two-Phase Flows", 10-12 September, 2001, Grenoble, France, p. 4.1-4.2.
33. Кашинский О.Н., Рандин В.В. Гидродинамическая структура опускающего пузырькового течения // XXVI Сибирский теплофизический семинар. Новосибирск, 17-19 июня 2002 г. CD-ROM тексты докладов.
34. Кашинский О.Н., Горелик Р.С., Рандин В.В. Структура восходящего снарядного течения в вертикальной трубе // Труды третьей Российской национальной конференции по теплообмену, Москва, 21-25 октября 2002 г., Москва: изд. МЭИ, 2002, с. 68-71.
35. V. Artemyev, Y. Kornienko, O. Kashinsky, V. Randin. Numerical and experimental investigation of anomalous shear stress and heat transfer behavior in two-phase bubble flows //

10th International Topical Meeting on Nuclear Reactor Thermal Hydraulics (NURETH-10), Seoul, Korea, October 5-9, 2003.

36. Кашинский О.Н., Рандин В.В., Курдюмов А.С. Эволюция локальных характеристик восходящего снарядного течения в вертикальной трубе // Материалы V Минского международного форума по тепло- и массообмену, Минск, 24-28 мая 2004 г., докл. 5-25.
37. Kashinsky O.N., Randin V.V., Kurdumov A.S. Evolution of local characteristics of upward slug flow in a vertical pipe // Proceedings of 3rd International Symposium on Two-Phase Flow Modeling and Experimentation. Pisa, 22-24 September 2004, paper ven06.
38. Kashinsky O.N., Gorelik R.S., Randin V.V. Structure of an ascending slug flow in a vertical pipe // Heat Transfer Research, 2004, Vol. 35, 11&2, p. 85-91.
39. Кашинский О.Н., Рандин В.В., Лобанов П.Д., Пахомов М.А., Терехов В.И. Исследование структуры газожидкостных опускных течений // Тезисы 13-ой Межд. Конференции "Потоки и Структуры в Жидкостях", М.: Изд-во ИПМ РАН. 2005. С. 250-253.
40. Кашинский О.Н., Рандин В.В., Лобанов П.Д., Богословцев Г.В. Пульсационные характеристики опускного течения при малых расходных газосодержаниях // Труды XXVIII Сибирского теплофизического семинара СТС-28. Новосибирск. 2005. CD-ROM. Доклад № 048.
41. Кашинский О.Н., Рандин В.В., Курдюмов А.С. Трение на стенке в восходящем снарядном течении в вертикальной трубе // Теплофизика и Аэромеханика, 2006, Т.13, № 3, с. 411-416.
42. Рандин В.В., Курдюмов А.С. Трение на стенке в восходящем снарядном течении в вертикальной трубе // Труды четвертой Российской национальной конференции по теплообмену, Москва, 23-27 октября 2006 г., Москва: Изд-во МЭИ. 2006. Т. 5. С. 269-271.
43. O.N. Kashinsky, P.D. Lobanov, M.A. Pakhomov, V.V. Randin, V.I. Terekhov. Effect of bubbles on the turbulence modification in a down-ward gas-liquid pipe flow // Advances in Turbulence XI. Springer Proceedings. Physics 01/2007; Volume 117, p 762.
44. O.N. Kashinskii, V.V. Randin, A.S. Kurdyumov. Evolution of local characteristics of an ascending slug flow in a vertical pipe // Heat Transfer Research, 2007, Vol. 38, No 5, p. 473-482.
45. O.N. Kashinsky, V.V. Randin, P.D. Lobanov, M.A. Pakhomov, V.I. Terekhov. Flow and local void fraction in downward bubbly turbulent flow in a pipe // 6th International Symposium on Multiphase Flow, Heat Mass Transfer and Energy Conversion, Xi'an, China, 11-15 July 2009, Paper No. MF-14.
46. Кашинский О.Н., Рандин В.В., Чинак А.В. Теплообмен и трение в газожидкостном течении в наклонном плоском канале // Тезисы докладов и сообщений. Минский международный форум по тепло-массообмену ММФ-XIV, Минск, 10-13 сентября 2012 г. с. 131-134.
47. А.Е. Гореликова, О.Н. Кашинский, В.В. Рандин, А.В. Чинак. Влияние пузырей на теплообмен и гидродинамику течения в плоском наклонном канале // Шестая российская национальная конференция по теплообмену (РНКТ-6). 27-31 октября 2014 года, Москва. [Электронный ресурс]. CD-ROM. Доклад № 221.
48. Гореликова А. Е., Кашинский О. Н., Рандин В. В., Чинак А. В. Газожидкостное течение в наклонном плоском канале // Всероссийская конференция XXXI «Сибирский теплофизический семинар», 17-19 ноября 2014, Новосибирск. [Электронный ресурс]. CD-ROM. Доклад № 8-4-03. С. 327-330.
49. Гореликова А. Е., Кашинский О. Н., Рандин В. В., Чинак А. В. Влияние расхода газа на диаметр газовых пузырей в восходящем пузырьковом течении в плоском наклонном канале. Вестн. Новосиб. гос. ун-та. Серия: Физика. 2014. Т. 9, вып. 2. С. 136-144.
50. Гореликова А. Е., Рандин В. В., Чинак А. В. Влияние коалесценции на диаметр газовых пузырей в наклонном плоском канале // Все-российская конференция XXXII «Сибирский теплофизический семинар», 19-20 ноября 2015, Новосибирск. С. 105-106.

51. A.E. Gorelikova, V.V. Randin, A.V. Chinak. Hydrodynamics and heat transfer of two-phase bubble flow in an inclined rectangular channel // IV International Seminar with elements of scientific school for young scientists (ISHM-IV) "Topical issues of heat and mass transfer at phase transitions and multiphase flows in modern chemical technology and energy equipment". 18-19 April 2016, Novosibirsk, Russia, p. 46.
52. А. Е. Гореликова, В. В. Рандин, А. В. Чинак. Влияние газовых пузырей и угла наклона на теплообмен в двухфазном газожидкостном течении в плоском наклонном канале // [Электронный ресурс]. CD-ROM. Доклады и сообщения. Минский международный форум по тепломассообмену ММФ-XV, Минск, 23-26 мая 2016 г. Доклад 2-09.
53. Гореликова А. Е., Рандин В. В., Чинак А. В. Изменение характеристик газожидкостного течения по длине наклонного плоского канала // Всероссийская конференция XXXIII «Сибирский теплофизический семинар», 6-8 июня 2017, Новосибирск. С. 205.
54. O.N. Kashinsky, V.V. Randin, Hydrodynamics and heat transfer in two-phase gas-liquid flows // 2nd International School of Young Scientists "Interfacial Phenomena and Heat Transfer", 11-16 September, 2017, Novosibirsk, Russia, p. 183.

Апробация работы:

Основные результаты диссертации докладывались на I Всесоюз-ной конференции "Методы диагностики двухфазных и реагирующих потоков" (Харьков 1988), на VIII Всесоюзной конференции "Двухфаз-ный поток в энергетических машинах и аппаратах" (Ленинград 1990), на международной конференции Fluid Engineering Division Summer Meeting, Experimental and computational aspects of validation of multi-phase flow CFD codes (Lake Tahoe 1993), на международной конферен-ции Second International Conference on Multiphase Flow'95-Kyoto (Kyoto 1995), на международной конференции 6th International Frumkin Symposium "Fundamental Aspects of Electrochemistry" (Moscow 1995), на международном семинаре 4th International Workshop on Electrochemical Flow Measurements – Fundamentals and Applications (Lahnstein 1996), на международной конференции Third International Conference on Multiphase Flow (Lyon 1998), на международной конференции 13th International Congress of Chemical and Process Engineering (Praha 1998), на международной конференции International Symposium "Actual problems of physical hydrodynamics" (Novosibirsk 1999), на международной конференции International Symposium "Two-Phase Flow Modeling and Experimentation" (Pisa 1999, 2004), на международной конференции "Heat Transfer Science and Technology" (Beijing 2000), на международной конференции International Conference on Multiphase Systems "Dynamics of Multiphase Systems" (Ufa 2000), на международной конференции "Experimental Heat Transfer, Fluid Mechanics, and Thermodynamics" (Pisa 2001), на международном семинаре EUROMECH 421 Colloquium "Strongly Coupled Dispersed Two-Phase Flows" (Grenoble 2001), на Сибирском теплофизическом семинаре (Новосибирск 2002, 2005, 2014, 2015, 2017), на Российской национальной конференции по теплообмену (Москва 2002, 2006, 2014), на международной конференции 10th International Topical Meeting on Nuclear Reactor Thermal Hydraulics (NURETH-10) (Seoul 2003), на Минском международном форуме по тепло- и массообмену (Минск 2004, 2012, 2016), на международной конференции "Потоки и Структуры в Жидкостях" (Москва 2005), на международной конференции 6th International Symposium on Multi-phase Flow, Heat Mass Transfer and Energy Conversion (Xi'an 2009), на международном семинаре IV International Seminar with elements of scientific school for young scientists (ISHM-IV) "Topical issues of heat and mass transfer at phase transitions and multiphase flows in modern chemical technology and energy equipment" (Novosibirsk 2016), в качестве приглашенного доклада на международной школе 2nd International School of Young Scientists "Interfacial Phenomena and Heat Transfer" (Novosibirsk, 2017).

Соответствие содержания диссертации специальности, по которой она рекомендуется к защите:

Диссертация В.В. Рандина посвящена экспериментальному исследованию

гидродинамики и теплообмена в газожидкостных потоках в каналах различной конфигурации и в различных режимах течения.

Решение о рекомендации работы к защите

Диссертация «Гидродинамическая структура и теплообмен двухфазных газожидкостных потоков» Рандина Вячеслава Валерьевича 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 чл.-корр. РАН Д.М. Марковича.

Присутствовало на заседании 70 чел., в том числе 1 академик РАН, 2 член-корреспондента РАН, 20 докторов и 25 кандидатов наук. Результаты голосования: «за» - 69 человек, «против» - нет, «воздерж.» - нет, протокол № 52/3-2018 от «14» марта 2018 г.



Председатель семинара,
Алексеев С.В., д.ф.-м.н, акад. РАН

Ученый секретарь семинара,
Мулладжанов Р.И., к.ф.-м.н., с.н.с.

