

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ЭКСПЕРТНОЙ КОМИССИИ

диссертационного совета Д 003.053.01 при ИТ СО РАН

о диссертационной работе Рандина Вячеслава Валерьевича

«Гидродинамическая структура и теплообмен двухфазных газожидкостных потоков»,
представленной на соискание ученой степени доктора физико-математических наук
по специальности 01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы

1. Диссертационная работа выполнена в лаборатории физико-химической гидромеханики (1.4) и лаборатории проблем тепломассопереноса ИТ СО РАН (лаб. 6.1).

2. Диссертационная работа посвящена экспериментальным исследованиям локальных средних и пульсационных характеристик газожидкостных потоков, получению детальной экспериментальной информации о структуре газожидкостных течений и теплообмене в широком диапазоне геометрических и режимных параметров.

В процессе выполнения были 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.

3. Основные результаты, полученные Рандиным В.В.:

- Разработана методика проведения комплексного экспериментального исследования гидродинамической структуры двухфазных газожидкостных течений в различных условиях и детального изучения структуры пристенной области в различных режимах.
- Исследования опускного пузырькового течения в развитом турбулентном режиме показали, что при всех значениях приведенных скоростей жидкости и газа наблюдается концентрация газовой фазы в центральной части трубы и выполаживание профиля скорости жидкости. Впервые обнаружен эффект подавления пульсаций трения и скорости жидкости: происходит демпфирование пульсаций по сравнению с однофазным потоком. На основе анализа полученных новых экспериментальных данных показано, что: пульсационные характеристики течения существенно зависят от дисперсности газовой фазы; универсальные профили скорости, построенные по измеренному трению на стенке, совпадая с однофазным законом в пристенной области, демонстрируют сильное отклонение в центральной части трубы, вызванное деформацией профиля скорости в присутствии пузырей газа.
- Показано, что в опускном пузырьковом течении при докритических числах Рейнольдса жидкой фазы наблюдается качественное подобие структуры течения с течением в развитом турбулентном режиме. Обнаружено развитие псевдотурбулентности, наведенной пузырями, даже при очень малых значениях расходного газосодержания. На основе полученных данных сделан вывод о том, что основным фактором, определяющим структуру течения, является дифференциальная плавучесть, вызванная неравномерным распределением газовой фазы по сечению трубы.
- Получена осредненная структура течения в жидкой пробке восходящего снарядного течения методом условного осреднения. Показано, что в начальном участке жидкой пробки образуется тороидальный вихрь, который существенно увеличивает скорость на оси трубы и приводит к ее уменьшению вблизи стенки. Выявлены следующие специфические характеристики течения: профили скорости значительно менее заполнены, чем турбулентные однофазные в начальной области жидкой пробки; при увеличении расстояния от доньшка

снаряда профили приближаются к однофазным; трение в пленке, обтекающей снаряд, уменьшается по мере удаления от носика снаряда и может принимать отрицательные значения при больших длинах снарядов; в начальном участке жидкой пленки вблизи носика снаряда наблюдается демпфирование пульсаций трения, вызванное сильным ускорением течения жидкости; вблизи доньшка снаряда интенсивность пульсаций увеличивается из-за возмущающего действия вихря за снарядом.

- Показано, что в газожидкостном течении в прямоугольном наклонном канале угол наклона канала по отношению к горизонту оказывает существенное влияние на трение и теплообмен; наибольшие значения трения и теплообмена соответствуют углам наклона канала $20 \div 50^\circ$; выявлено качественное подобие поведения трения и теплообмена при изменении угла наклона канала и объемного расходного газосодержания. Получены данные, показывающие, что: при малых добавках газа (менее 2%) происходит резкое увеличение теплоотдачи и трения на стенке; влияние газовой фазы на трение и теплообмен уменьшается с увеличением приведенной скорости жидкости; при малых значениях объемного расходного газосодержания ($\beta < 2\%$) коалесценция пузырей практически отсутствует, поэтому угол наклона канала и расстояние от места ввода газа в поток жидкости не оказывают влияния на средний диаметр газовых пузырей.

Научные результаты и выводы, послужившие основой диссертации и выносимые на защиту, получены соискателем лично. Им разработана комплексная методика проведения измерений, получены экспериментальные данные, проведен их анализ и интерпретация, дана оценка погрешностей измерений, сформулированы заключения, лежащие в основе выводов диссертации. 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.

Экспертная комиссия рекомендует принять к защите диссертационную работу Рандина Вячеслава Валерьевича «Гидродинамическая структура и теплообмен двухфазных газожидкостных потоков» по специальности 01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы, по физико-математическим наукам в диссертационном совете Д 003.053.01 при ИТ СО РАН.

04.12.2018

Председатель комиссии
д.ф.-м.н., чл.-корр. РАН

Члены комиссии:

д.ф.-м.н.

д.ф.-м.н.



Павленко А.Н.

Куйбин П.А.
Шарыпов О.В.