

**НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
ПРАВИТЕЛЬСТВО НОВОСИБИРСКОЙ ОБЛАСТИ**

**МАТЕРИАЛЫ
53-Й МЕЖДУНАРОДНОЙ
НАУЧНОЙ СТУДЕНЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ**

МНСК–2015

11–17 апреля 2015 г.

ФИЗИКА СПЛОШНЫХ СРЕД

**Новосибирск
2015**

УДК 553
ББК 22.3

Материалы 53-й Международной научной студенческой конференции МНСК-2015: Физика сплошных сред / Новосиб. гос. ун-т. Новосибирск, 2015. 84 с.

ISBN 978-5-4437-0158-5

Конференция проводится при поддержке Сибирского отделения Российской Академии наук, Правительства Новосибирской области, инновационных компаний России и мира, Фонда «Эндаумент НГУ».

Научный руководитель секции – д-р физ.-мат. наук, проф.,
академик РАН А. К. Ребров
Председатель секции – канд. физ.-мат. наук, доцент Д. Ф. Сиковский
Ответственный секретарь секции – М. А. Клыкова

Экспертный совет секции:

д-р физ.-мат. наук С. Г. Миронов
канд. физ.-мат. наук Д. Ф. Сиковский
канд. физ.-мат. наук В. В. Приходько
д-р физ.-мат. наук К. В. Лотов
д-р физ.-мат. наук А. А. Чернов
канд. физ.-мат. наук А. А. Шошин

ISBN 978-5-4437-0158-5

© Новосибирский государственный
университет, 2015

**NOVOSIBIRSK STATE UNIVERSITY
SIBERIAN BRANCH OF RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES
NOVOSIBIRSK OBLAST GOVERNMENT**

**PROCEEDINGS
OF THE 53rd INTERNATIONAL STUDENTS
SCIENTIFIC CONFERENCE**

ISSC-2015

April, 11–17, 2015

PHYSICS OF CONTINUOUS MEDIA

**Novosibirsk, Russian Federation
2015**

Proceedings of the 53nd International Students Scientific Conference. Physics of continuous media / Novosibirsk State University. Novosibirsk, Russian Federation. 2015. 84 pp.

ISBN 978-5-4437-0158-5

The conference is held with the significant support of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Novosibirsk Oblast Government.

Section scientific supervisor – Acad. RAS, Dr. Phys. Math., Prof. A. K. Rebrov

Section head – Cand. Phys. Math., Assoc. Prof. D.Ph. Sikovsky

Responsible secretary – M. F. Klykovav

Section scientific committee:

Dr. Phys. Math. S. G. Mironov

Cand. Phys. Math. D.Ph. Sikovsky

Cand. Phys. Math. V. V. Prikhod'ko

Dr. Phys. Math. K. V. Lotov

Dr. Phys. Math. A. A. Chernov

Cand. Phys. Math. A. A. Shoshin

ФИЗИКА ПЛАЗМЫ

УДК 533.9.01, 537.562

РАСЧЁТ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПОДВИЖНОСТИ АЭРОЗОЛЬНЫХ ЧАСТИЦ, ЗАРЯЖЕННЫХ В КОРОННОМ РАЗРЯДЕ

А. В. Алексеенко

Новосибирский государственный университет

Определение электрической подвижности аэрозольных частиц представляет интерес в задачах, связанных с очисткой газов и классификацией аэрозолей по размерам. Заряженный аэрозоль осаждается на пластинах электропреципитаторов или на волокнах фильтров с эффективностью тем большей, чем больше его электрическая подвижность.

В промышленных и лабораторных устройствах широко используются зарядители аэрозольных частиц с коронным разрядом. В таких зарядителях аэрозоль приобретает заряд благодаря двум механизмам: диффузионной и полевой зарядке частиц. Диффузионная зарядка частиц происходит за счет диффузии ионов к поверхности аэрозольной частицы. Интенсивность диффузионной зарядки частиц зависит от произведения $n \cdot t$, где n – концентрация униполярных ионов, t – время пребывания частицы в униполярной ионной среде. При полевой зарядке частиц, ионы газа в дрейфовой зоне коронного разряда осаждаются на поверхности аэрозольных частиц электрическим полем. Интенсивность такой зарядки зависит от концентрации униполярных ионов и величины напряженности электрического поля.

Компьютерное моделирование процессов переноса заряда в коронном разряде позволяет рассчитывать распределения величины напряженности электрического поля и концентрации ионов коронного разряда в зарядителе, а также линии тока воздуха, что даёт возможность определения электрической подвижности проходящих через него частиц.

В данной работе была проведена оценка эффективности работы некоторых конструкций зарядителей, применяемых в промышленных установках очистки воздуха. Изучено влияние его геометрических параметров на получаемое распределение подвижностей аэрозольных частиц, проведено сравнение с экспериментально измеренными распределениями.

Научный руководитель – канд. физ.-мат.наук С. А. Якимов

РАЗРАБОТКА ИОННО-ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ФОКУСИРОВКИ КЛАСТЕРНЫХ ПУЧКОВ НА УСТАНОВКЕ ЛЭМПУС-1

М. А. Аникеев

Новосибирский государственный университет

К настоящему моменту установлено, что кластерные пучки различных газов могут использоваться в высоких технологиях для полировки и отчистки поверхностей, травления материалов, имплантации и инициации химических реакций [1].

С помощью имплантации кластеров можно изменять полупроводниковые свойства материала, что крайне важно в современной микроэлектронике. В отличие от молекулярных или атомарных ионных пучков, ионно-кластерные пучки обладают важной особенностью: в процессе формирования пучка, можно изменять размеры кластеров и удельную энергию [1], что и позволяет использовать данную технологию, как для полировки, так и для имплантации.

Целью данной работы является разработка системы формирования интенсивных ионно-кластерных пучков и регистрация получаемых кластеров. Экспериментальные исследования проводились на установке ЛЭМПУС-1 в ОФП НГУ с кластерными ионами аргона массой от $4 \cdot 10^3$ до $1.2 \cdot 10^5$ а.е.м. при различных начальных условиях. Для достижения поставленной задачи было предложено усовершенствовать установку и использовать ионно-оптическую систему для фокусировки пучка.

В результате проделанной работы получены следующие результаты:

- 1) Проведены расчёты для оптимального построения ионно-оптической системы
- 2) Разработана конструкция, изготовлена и смонтирована на экспериментальном стенде ионно-оптическая система.
- 3) Проведены эксперименты по формированию ионно-кластерных пучков аргона с использованием новой системы.
- 4) Получены масс-спектры кластерных пучков при различном фокусирующем напряжении и давлении газа в газовом источнике.
- 5) Проведены расчёты для использования системы магнитной сепарации кластерных ионов по массам.

1. Isao Yamada, Historical milestones and future prospects of cluster ionbeam technology // Applied Surface Science. 2014. V.310. P.77–88.

Научный руководитель – канд.физ.-мат. наук Н. Г. Коробейщиков

ЭФФЕКТИВНЫЙ РЕЖИМ ГЕНЕРАЦИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН В ЗАМАГНИЧЕННОЙ ПЛАЗМЕ С РЕЛЯТИВИСТСКИМ ЭЛЕКТРОННЫМ ПУЧКОМ

В. В. Анненков

Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН, г. Новосибирск
Новосибирский государственный университет

Генерация электромагнитного излучения при взаимодействии электронного пучка с плазмой играет важную роль в различных физических системах, таких как гамма-вспышки, солнечные радиовсплески, открытые ловушки с турбулентным нагревом плазмы. Сложность изучения процессов такого рода сопряжена с их существенно нелинейной природой и требованием правильного учёта релятивистских и кинетических эффектов.

Наш интерес к данной проблеме обусловлен необходимостью интерпретации данных радиометрической диагностики плазмы в открытой магнитной ловушке ГОЛ-3 (ИЯФ СО РАН), а также поиском наиболее эффективных режимов генерации электромагнитного излучения в системах данного типа.

Для изучения такого рода физических систем нами разработан уникальный вычислительный алгоритм решения дисперсионного уравнения в рамках точной релятивистской кинетической теории. Данный алгоритм позволяет находить наиболее благоприятные для генерации излучения параметры системы в режиме со встречной инжекцией пучков.

Нелинейная стадия исследуется посредством 2D3V релятивистского вычислительного кода, построенного на методе частиц-в-ячейках. Его характерной особенностью является реализация инжекции длинных пучков релятивистских электронов и наличие диагностик, направленных на изучение выходящих из плазмы электромагнитных волн. Разработка нового параллельного алгоритма на основе графических ускорителей позволила повысить число модельных частиц, скорость вычислений, а также число одновременно работающих программ.

Полученные результаты дают возможность судить о механизмах, протекающих в подобном пучково-плазменном взаимодействии и представляют интерес как с фундаментальной, так и с практической точки зрения.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук И. В. Тимофеев

МОДЕРНИЗАЦИЯ МЕТОДИКИ ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТОВ ПО ЛАЗЕРНОМУ ПОЛЯРИЗАЦИОННОМУ ЗОНДИРОВАНИЮ АТМОСФЕРЫ

И. Д. Брюханов

Томский государственный университет

Облака верхнего яруса (ОВЯ) активно изучаются учёными разных стран ввиду их значительного влияния на радиационный баланс Земли. Особый интерес представляют перистые облака, состоящие из кристаллов льда. Оптические характеристики таких облаков существенно зависят от формы, размеров кристаллов и, самое главное, от степени ориентированности микрочастиц льда, форма которых далека от сферической. В 2011-2014 гг. на уникальном поляризационном лидаре НИ ТГУ исследованы оптические и геометрические характеристики облаков с аномальным (зеркальным) обратным рассеянием и произведены оценки метеорологических условий их возникновения [1]. Было показано, что «зеркальные» облака, как правило, состоят из горизонтально ориентированных гексагональных пластинок и столбиков.

Матрицы обратного рассеяния света (МОРС) ОВЯ, получаемые экспериментально, имеют зависимость от азимутальной ориентации кристаллов льда в облаке, что не позволяет сопоставлять параметры облаков, получаемые в ходе различных серий экспериментов. Решить эту проблему позволяет операция приведения МОРС облаков к собственному базису [2]. В настоящем докладе обсуждаются вопросы, связанные с алгоритмом и методикой приведения МОРС к собственному базису. Кроме того, приводятся результаты обработки экспериментально полученных МОРС перистых облаков с аномальным обратным рассеянием.

Работа выполнена в рамках базовой части государственного задания при финансовой поддержке Минобрнауки России (код проекта 1975) и фонда Д. Зимина «Династия».

1. Samokhvalov I.V., Bryukhanov I.D., Nasonov S.V., Zhivotenyuk I.V., Stykon A.P. // Russian Physics Journal. – 2013. – Vol. 55, No. 8. P. 925–929.

2. Кауль Б.В., Самохвалов И.В. // Оптика атмосферы и океана. 2006. Т. 19. № 1. С. 39–48.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. И. В. Самохвалов

МОДЕЛЬ ЭФФЕКТИВНЫХ АНОДОВ С НИЗКОЙ РАБОТОЙ ВЫХОДА – БУДУЩЕЕ ПЛАЗМЕННОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ

С. В. Жигульский, К. Я. Булахова, К. В. Карасева
Национальный минерально-сырьевой университет «Горный»,
г. Санкт-Петербург

Термоэмиссионный преобразователь энергии с межэлектродной средой в виде паров цезия продемонстрировал трехкратное увеличение к.п.д. до значения 25-30% при $T_s=1600$ К и $T_k=700$ К. Увеличение к.п.д. главным образом связано с уменьшением работы выхода электронов никелевого коллектора до величины порядка 1 эВ.

Лабораторный термоэмиссионный преобразователь был оснащен перфорированным коллектором, покрытым микро-чешуйками графита, это позволило в одном эксперименте сравнить характеристики преобразователя как при прокачке паров цезия через коллектор (динамическая подача), так и при статической подаче паров цезия в МЭЗ из цезиевого резервуара (равновесная подача).

Эффект снижения работы выхода электронов коллектора до столь anomalно низкой величины может быть достигнут лишь при условии динамической подачи паров цезия через перфорированный коллектор, который предварительно был покрыт углеродной суспензией аквадаг.

Продолжая исследования в этом направлении был проведен анализ состояния поверхности никелевого коллектора, покрытой слоями графита. После откачки паров цезия, охлаждения и извлечения коллектора из ТЭП, он был подвергнут анализу на сканирующем растровом электронном микроскопе Merlin фирмы Zeiss с энергодисперсионным рентгеновским детектором Oxford Instruments X-Max для получения распределения химических элементов в приповерхностном слое.

На поверхности никелевого коллектора после пробития отверстий лазером и нанесения аквадага в процессе активации в атмосфере паров цезия образуются модифицированные зерна графита, которые состоят из «стопки» слоев графена, интеркалированных атомами Cs. Накопленная экспериментальная база характеристик цезиевых ТЭП с наноструктурами графена на коллекторе, впервые открывает реальную возможность создания низкотемпературных высокоэффективных термоэмиссионных электрогенерирующих систем.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. А. С. Мустафаев

ИЗУЧЕНИЕ ПРОДОЛЬНЫХ ПОТЕРЬ БЫСТРЫХ ИОНО- ВО ВРЕМЯ РАЗВИТИЯ АЛЬФВЕНОВСКОЙ ИОННО- ЦИКЛОТРОННОЙ НЕУСТОЙЧИВОСТИ В ГАЗОДИНАМИЧЕСКОЙ ЛОВУШКЕ

О. А. Коробейникова

Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН, г. Новосибирск
Новосибирский государственный университет

На установке Газодинамическая ловушка (ГДЛ) проводятся эксперименты с нагревом плазмы при помощи инжекции пучков дейтерия. Эти исследования направлены на создание модели генератора термоядерных нейтронов с высокой плотностью потока [1]. Плазма в ГДЛ состоит из двух компонент: относительно холодной мишенной плазмы с температурой около 200 эВ, плотностью $2.5 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-3}$, и быстрых ионов со средней энергией 10 кэВ, плотностью в точках остановки $5 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-3}$, и энергосодержанием более 2 кДж; образующихся при захвате инжектируемых атомов.

В ряде экспериментальных выстрелов наблюдается развитие Альфвеновской ионно-циклотронной неустойчивости (АИЦ), регистрируемой магнитными зондами. Одним из способов получения информации о влиянии АИЦ на продольные потери является изучение энергетического спектра ионов, движущихся вдоль силовых линий магнитного поля. Для измерения потоков ионов, покидающих плазму, применяются атомные анализаторы [2]. В торце расширителя был установлен доработанный анализатор на основе пятиканального анализатора атомных частиц, разработанного в ФТИ им. А. Ф. Иоффе [3]. Анализ полученных энергетических спектров позволил зафиксировать развитие неустойчивости. При развитии АИЦ наибольшие потери частиц зафиксированы на энергиях 7-12 кэВ (при энергии инжекции 25 кэВ). Было установлено, что относительная мощность потерь при развитии неустойчивости составляет менее 1%, что является малым эффектом на фоне общего энергетического баланса установки.

1. A. A. Ivanov, I. A. Kotelnikov, E. P. Kruglykov, et al. In Proc. Of XVII Symp. on Fusion Technology, Rome, Italy, v. 2. (1992) 1394.

2. В. И. Давыденко, А. А. Иванов, Г. Вайсен// “Экспериментальные методы диагностики плазмы”. МО РФ НГУ. 1999. стр. 57-80.

3. В. В. Афросимов, В. Л. Березовский, И. П. Гладковский и др.// ЖТФ. 1975. Т. 45. Вып. 1. стр, 56-63.

Научный руководитель — канд. физ.-мат. наук С. В. Мурахтин

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРОННОЙ ИОНИЗАЦИИ НА МАССОВОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ КЛАСТЕРОВ

В. Н. Мильчаков

Новосибирский государственный университет

Кластерами называют объединенные силами Ван-дер-Ваальса комплексы атомов и молекул. Благодаря необычным свойствам, кластеры широко используются во многих технологических процессах, а также открывают новые перспективы для изучения строения вещества. Для формирования кластерных потоков широко применяется процесс расширения сверхзвуковых газовых потоков в вакуум. Масс-спектрометрия является наиболее удобным методом исследования размерного распределения кластеров. Однако ионизация электронным пучком, используемая в масс-спектрометрии, приводит к разрушению кластеров.

Данная работа посвящена изучению процессов ионизации и разрушения кластеров под действием электронного пучка. Конечной целью является получение метода восстановления истинного распределения кластеров по размерам из результатов масс-спектрометрического анализа, а также нахождения условий ионизации с минимальным разрушением кластеров.

Для исследования использован стенд ЛЭМПУС-2, состоящий из камеры расширения, в которой происходит формирование кластерного пучка; послескиммерной и детекторной камеры, в которой осуществляется анализ пучка. Вакуум в камерах обеспечивается криогенным и турбомолекулярными насосами.

Проведено исследование процесса формирования кластеризованного молекулярного пучка из сверхзвуковых струй аргона в режимах с различными условиями конденсации. Проведена масс-спектрометрия сверхзвуковых потоков аргона в режимах формирования кластеров различных размеров в интересующем диапазоне энергий ионизирующих электронов. Из полученных результатов сделаны выводы о влиянии разрушения кластеров электронным пучком на их распределение по размерам. Найдены параметры оптимальных режимов ионизации, выдвинуты предположения об истинном массовом составе кластеризованного аргонового пучка.

Научный руководитель — канд. физ.-мат. наук А. Е. Зарвин

ЭВОЛЮЦИЯ ДИФРАКЦИОННО-ЛУЧЕВЫХ ТРУБОК ПРИ ФИЛАМЕНТАЦИИ МОЩНОГО ФЕМТОСЕКУНДНОГО ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В ВОЗДУХЕ

О. В. Минина

Институт оптики атмосферы им В. Е. Зуева СО РАН
Томский государственный университет

Мощное фемтосекундное лазерное излучение (МФЛИ) при его распространении в среде подвергается ряду нелинейных преобразований, в результате которых происходят пространственно-временная самомодуляция лазерных импульсов, изменение спектрального состава излучения и образование филаментов (высокоинтенсивных плазменных каналов).

Однако использование явления филаментации МФЛИ для решения прикладных задач, в том числе для задач атмосферной оптики, осложняется из-за отсутствия модели, объясняющей результаты различных экспериментов и позволяющей прогнозировать распространение МФЛИ на атмосферных трассах. Для решения данной проблемы был применен подход на основе построения дифракционно-лучевых трубок, который является развитием метода дифракционных лучей.

Взаимодействие дифракционно-лучевых трубок вдоль дистанции распространения лазерного излучения приводит к образованию областей локализации световой энергии с различными физическими и геометрическими параметрами. Другими словами, формирование границ филамента, постфиламентационного канала и энергетического резервуара происходит за счет совместного проявления эффектов дифракции и самофокусировки.

Достоинством дифракционно-лучевой описания является возможность визуализировать численное решение задачи распространения МФЛИ, что способствует прояснению его физического содержания. Также данный подход позволяет проследить эволюцию пространственной области, из которой филамент получает энергию, что в свою очередь дает возможность выявить роль энергетического резервуара и периферии пучка в формировании филамента, а также количественно оценить влияние начальных параметров лазерного излучения на характеристики филамента.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. А. А. Землянов

ВЛИЯНИЕ РАЗМЕРОВ КАПЕЛЬ НА ИНТЕНСИВНОСТЬ СИГНАЛА ДВУКРАТНОГО РАССЕЯНИЯ

Е. В. Ни

Томский государственный университет

Облака оказывают существенное влияние на многие атмосферные процессы и на радиационный баланс Земли. Для определения микроструктуры (фазового состава, формы и размеров частиц) облаков широко используются контактные методы, но у них есть недостатки: они имеют низкую оперативность, не могут определить ориентацию частиц в пространстве и вносят изменения в исследуемый объект. Методы дистанционного лазерного зондирования позволяют получить информацию об оптических и метеорологических параметрах существенных объемов среды за короткое время, не внося возмущения в исследуемый объем.

Сотрудниками Института оптики атмосферы СО РАН (г. Томск) и Национально исследовательского Томского государственного университета был разработан метод поляризационного лазерного зондирования. Данный метод заключается в последовательном облучении исследуемого аэрозольного образования излучением с определенным состоянием поляризации, регистрации рассеянного средой излучения и дальнейшем анализе полученных данных.

В настоящее время для интерпретации данных поляризационных лидарных экспериментов используется уравнение лазерного зондирования в векторной форме [1], но оно справедливо для сред с малой оптической плотностью $\tau \leq 1$. Однако, при зондировании плотных аэрозольных образований (облаков плотных дымок) необходим учет многократно рассеянного излучения. Во многих практически значимых случаях наземного зондирования тропосферных облаков можно ограничиться приближением двукратного рассеяния.

В докладе приводятся результаты исследования распределения интенсивности сигнала двукратного рассеяния от капельных облаков имеющих различную микроструктуру при различных состояниях поляризации зондирующего пучка.

1. Зуев В.Е., Кауль Б.В., Самохвалов И.В. и др. Лазерное зондирование промышленных аэрозолей – Н.: Наука, 1986 – 185 с.

КИНЕТИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ТРАВЛЕНИЯ ПОЛИПРОПИЛЕНА В НЕРАВНОВЕСНОЙ ПЛАЗМЕ АРГОНА

А. А. Овцын, С. А. Шibaев

Ивановский государственный химико-технологический университет

Низкотемпературная плазма пониженного давления в аргоне широко используется в различных приложениях, связанных с физическим распылением поверхности материалов и модификации поверхности полимеров. На внутренние параметры разряда и кинетику травления полимерных материалов влияет поток продуктов деструкции в газовую фазу, а также степень загрузки реактора. Целью данной работы являлось исследование кинетики травления полипропилена в плазме аргона и влияния продуктов деструкции на параметры плазмы.

Эксперименты проводились в цилиндрическом реакторе из стекла радиусом 1.5 см. Тлеющий разряд постоянного тока возбуждали в потоке аргона в диапазоне давлений 50-300 Па, токов разряда 20-110 мА и линейных скоростей потока газа от 10 до 70 см/с. Образцы пленки полипропилена, толщиной 90 мкм, размещали по образующей на термостатируемой стенке реактора в зоне положительного столба. Доля поверхности реактора, занятой полимером достигала 35%. Состав стабильных продуктов в газовой фазе определяли методом масс-спектрометрии. Измерения показали, при всех параметрах разряда газообразные продукты плазменного воздействия одни и те же. Это молекулы CO_2 , CO , H_2O и H_2 . Скорость травления образцов, определяемая гравиметрическим методом, увеличивалась в пределах от $9,5 \cdot 10^{-9}$ до $2,4 \cdot 10^{-8}$ г/см²·с с увеличением тока разряда, при прочих неизменных условиях. Повышение давления газа также приводит к увеличению скорости травления полимера от $2,7 \cdot 10^{-8}$ до $4,3 \cdot 10^{-8}$ г/см²·с (примерно в 1,6 раза), при постоянном токе и температуре. Аналогичные результаты наблюдаются при изменении линейной скорости потока газа. Скорость травления в зависимости от загрузки реактора изменяется с $4,4 \cdot 10^{-8}$ до $1,1 \cdot 10^{-8}$ г/см²·с, при этом степень загрузки изменялась от 4,4% до 35%.

Напряженность электрического поля уменьшается с увеличением степени загрузки реактора примерно на 40%, при постоянном токе разряда и давлении. Интенсивности излучения линии атомарного кислорода $\text{O}(3.22\text{e}+7 \text{ } 3\text{s}^3\text{S}^0 - 3\text{p}^3\text{P})$ и линии атомарного водорода H_α ($\lambda=656 \text{ nm}$) увеличиваются с увеличением степени загрузки реактора.

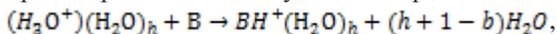
Научный руководитель – доцент, канд. хим. наук С. А. Смирнов

ОСОБЕННОСТИ ХИМИЧЕСКОЙ ИОНИЗАЦИИ МИКРОПРИМЕСЕЙ В ВОЗДУХЕ В ПОЛОЖИТЕЛЬНО ЗАРЯЖЕННОЙ ПЛАЗМЕ КОРОННОГО РАЗРЯДА

О. О. Очиров

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука
СО РАН, г. Новосибирск
Новосибирский государственный университет

Коронный разряд широко применяется в масс-спектрометрических ионных источниках с химической ионизацией при атмосферном давлении. Присущие данному методу высокие эффективность и селективность ионизации делают его уникальным при определении микропримесей в воздухе. Наиболее распространенным механизмом химической ионизации аналита В в положительной моде является образование протонированной молекулы в ходе реакции:



где ионами-реагентами являются водные кластеры иона гидроксония [1]. При этом эффективно ионизируются только вещества, имеющие газо-фазную основность (GB) значительно большую, чем у воды (GB > 200 кКал/моль). В то же время, известно, что в воздухе в коронном разряде при определенных условиях образуются и другие ионы [2], которые могут являться реагентами в процессе химической ионизации микропримеси. К настоящему времени такие альтернативные каналы химической ионизации в плазме коронного разряда малоизучены.

Целью работы являлось изучение влияния ряда параметров на выход ионов-реагентов NO^+ , NO_2^+ , O_2^+ в масс-спектрометрическом источнике ионов с коронным разрядом. На примере ряда веществ различных классов исследовано образование ионов-аддуктов молекул микропримеси с этими ионами. В частности, показано, что для этиленгликольдинитрата наблюдается рост эффективности ионизации до двух порядков при снижении концентрации воды в воздухе от 1000 до 100 ppm.

-
1. J. Sunner, G. Nicol, P. Kebarle. Anal. Chem. **60** (1988) 1300.
 2. M. M. Shahin, The J. of Chem. Phys., **45** (1966) 2600.

Научные руководители – А. С. Кудрявцев,
канд. техн. наук А. Л. Макасы

ИЗМЕРЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОННОГО ПУЧКА, ПОЛУЧЕННОГО НА ИСТОЧНИКЕ С ДУГОВЫМ ПЛАЗЕННЫМ ЭМИТТЕРОМ

Л. П. Перепелкин, В. В. Куркучеков, И. В. Кандауров,
Ю. А. Трунев, И. А. Иванов

Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН, г. Новосибирск
Новосибирский государственный университет

В ИЯФ СО РАН разработана электронная пушка с плазменным катодом на основе дугового водородного разряда и электронно-оптической системой (ЭОС) в виде многоапретурного (многолучевого) диода со следующими параметрами: энергия электронов до 100 кэВ, ток пучка до нескольких сотен ампер при длительности импульса до 1 мс [1]. В настоящее время данный источник используется в экспериментах по взаимодействию материалов с мощными потоками энергии. Данная задача требует детальной информации о параметрах пучка. Особый интерес представляют распределение плотности тока и угловые характеристики пучка электронов.

Распределение плотности тока фиксируется с помощью рентгеновской камеры-обскуры, регистрирующей рентгеновское изображение отпечатка пучка на металлической мишени. Визуализация рентгеновского изображения осуществляется с помощью люминесцентного экрана, свечение которого фиксируется цифровой ПЗС-камерой SDU-286.

Для измерения угловых характеристик пучка был предложен метод “perreg rot”, заключающийся в разбиении пучка на бимлеты с последующей транспортировкой их на молибденовый коллектор. Зарегистрировав излучение взаимодействия электронов пучка с материалом коллектора при помощи люминофора и оптической камеры можно получить картину разлета электронов, по которой можно судить об угловом распределении скоростей электронов в пучке.

В рамках данной работы для указанного источника электронного пучка были реализованы описанные диагностики и проведены первые эксперименты по измерению характеристик пучка.

1. V. V. Kurkuchekov et al. // Fusion Science and Technology. 2013. Volume 63. Pages 292-294.

Научный руководитель – В. В. Куркучеков

ИССЛЕДОВАНИЕ СУММАРНОГО ТОКА ПОТОКА ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПАРАМЕТРОВ ИОННОГО ИСТОЧНИКА ТИПА END-HALL

И. Н. Саламатов, Н. В. Нагирный
Новосибирский государственный университет

Структура нанопленок существенно зависит от свойства потока. В связи с этим исследование и контроль потока является важной задачей. В работе решается задача исследования зарядового состава потока из ионного источника типа End-Hall [1]. Рассмотрено устройство и физические основы работы источника. Он имеет изменяемые параметры: ток эмиссии, ток разряда, магнитное поле и расход газа. Таким образом, в работе ставится задача определить, как зависит заряд потока частиц от этих параметров.

В результате проведенной работы получена вольтамперная характеристика ионного источника: установлена связь тока и напряжения анода при различных параметрах. Установлена убывающая зависимость тока потока в пределах от +16 мА до -47 мА при изменении тока эмиссии в пределах 1,5 – 2,3А и суммарный нулевой заряд потока при значении 1,7А. При изменении тока соленоида в пределах 0,1 – 3А определена убывающая зависимость тока потока от тока соленоида, что объяснено возможным появлением виртуального катода. Установлена возрастающая зависимость тока потока в пределах от -91 до +5 мА при изменении расхода газа от 6мл/с до 105 мл/с, что следует из прямой зависимости тока ионов от концентрации газа, и суммарный нулевой заряд потока при значении 81мл/с.

Таким образом, твердо установлены три режима работы источника: суммарный заряд потока отрицательный, нейтральный и положительный, установлена убывающая зависимость тока потока заряженных частиц от тока эмиссии, убывающая зависимость тока потока от магнитного поля и возрастающая зависимость тока потока от расхода газа. Полученные данные открывают перспективы для исследования влияния зарядового состава потока на структуру пленки.

1. Y.Q. Pan, Y. Yin, Diamond-like carbon films with End-Hall ion source enhanced chemical vapour deposition, *Diamond & Related Materials* 16 (2007) 220-224.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, доцент А. С. Золкин

ИССЛЕДОВАНИЕ ЧИСЛЕННЫМИ МЕТОДАМИ СВОЙСТВ СИСТЕМЫ ПЫЛЕВАЯ ЧАСТИЦА – ИОННОЕ ОБЛАКО

М. В. Сальников

Институт теплофизики им. С. С. Кутателадзе СО РАН, г. Новосибирск
Новосибирский государственный университет

В данной работе исследуются свойства системы, состоящей из сильно заряженной пылевой частицы и облака ионов, захваченных данной частицей, помещённой в холодную бесстолкновительную плазму, при наличии внешнего электростатического поля. Вопрос о свойствах пылевой частицы в холодной бесстолкновительной плазме, для модели постоянной частоты, изучался в [1], а о распределении захваченных ионов пылевой частицей, в отсутствие внешнего поля, изучался в [2].

Полная энергия ионов, испытывающих столкновения вблизи пылевой частицы, может стать отрицательной, вследствие чего ионы начинают орбитировать вокруг неё, образуя систему: пылевая частица - облако ионов. Характерный размер такой системы – ионная длина Дебая.

Целью данной работы было изучение характеристик системы частица-облако, получение зависимостей самосогласованных заряда и потока ионов на пылевую частицу в зависимости от длины свободного пробега и радиуса частицы и вычисление при этих значениях зависимостей поляризации и дипольного момента от величины внешнего электрического поля, при различных длинах свободного пробега.

Задача решалась методом прямого статистического моделирования Монте-Карло процессов захвата и движения ионов в окрестности пылевой частицы. Использовалась модель постоянной средней длины свободного пробега. В результате данного моделирования рассчитаны самосогласованные значения зарядов пылевой частицы, которая имеет минимум для длины свободного пробега, равной ионной длине Дебая. Получена зависимость дипольного момента от эффективного электростатического поля. С возрастанием напряжённости поля дипольный момент возрастает и имеет максимум. Полученная зависимость коэффициента поляризации имеет две области: область постоянных значений коэффициента поляризации, соответствующую линейной области зависимости дипольного момента от внешнего эффективного поля, и область спада.

-
1. I.Hutchinson and L.Patacchini, Phys.Plasmas 14, 13505 (2007)
 2. G. I. Sukhinin, A. V. Fedoseev, S. N. Antipov, O. F. Petrov and V. E. Fortov, Physical Review E 79, 036404 2009

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук Г. И. Сухинин

ОБРАТНАЯ КРАЕВАЯ ЗАДАЧА АНАЛИТИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ В МАГНИТНОЙ ГИДРОДИНАМИКЕ

С. Г. Скрыбыкин

Северо-Восточный федеральный университет, г. Якутск

В работе рассматривается следующая задача. В плоскости z находится магнитный диполь мощности M и пара противоположно направленных токов, мощности γ . При этом допускается, что один из токов сосредоточен в малой области пространства и может быть представлен линейным током, а другой течет по поверхности плазменной полости, внутри которой магнитное поле отсутствует. Сверхпроводящая плазма. При такой постановке задача сводится к уравнению Лапласа для односвязной области, а именно для внешности единичного круга, на границе которого задается условие:

$$\frac{B^2}{8\pi} = P_0$$

P_0 -газовое давление внутри полости, а B -магнитное поле, являющемся суммой поля диполя и магнитного поля поверхностных токов, текучих по поверхности оболочки.

Таким образом мы приходим к обратной краевой задаче аналитических функций. Найти функцию по заданию на известном контуре модуля ее производной. Приведены аналитические расчеты и показана форма каверны в зависимости от газового давления и величины M .

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. Ю. А. Ромашенко

ЭВОЛЮЦИЯ ЛАЗЕРНОГО ИМПУЛЬСА В РАМКАХ КВАЗИСТАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПЛАЗМЕННОГО КИЛЬВАТЕРНОГО УСКОРИТЕЛЯ

Р. И. Спицын

Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН, г. Новосибирск
Новосибирский государственный университет

Ускорители элементарных частиц в современном мире активно используются не только в физике высоких энергий, но также применяются в прикладных областях, например, в медицине. Традиционно частицы ускоряются электрическими полями в высокочастотных резонаторах, из-за чего ускоряющие поля ограничены величиной электрического пробоя в металле. Соответственно, чтобы увеличить энергию пучка частиц, нужно ставить много ускоряющих секций, что неминуемо приводит к увеличению размеров установки.

Принципиально другим методом ускорения частиц, который изучается многими научными коллективами по всему миру, является плазменное кильватерное ускорение. Плазма – ионизованная среда, поэтому в ней на малых масштабах могут создаваться ускоряющие поля в сотни гигаВольт на метр. Такие поля можно создать, если направить в плазму пучок электронов (драйвер), ведь он на своем пути растолкает в стороны легкие электроны плазмы (в сравнении с ионами). С помощью созданных таким образом кильватерных волн можно ускорить другой пучок электронов (витнесс). В качестве драйвера может использоваться также и короткий лазерный импульс.

Для изучения процессов плазменного кильватерного ускорения необходимо численное моделирование, которое позволяет подробно изучать структуру кильватерных волн в плазме. В ИЯФ СО РАН создан код LCODE, который успешно справляется с моделированием кильватерной волны от сгустка заряженных частиц.

В данной работе получен алгоритм численного решения уравнения эволюции лазерного импульса в рамках квазистатической модели, что сокращает вычислительное время. На простых тестах проверено, что алгоритм дает численное решение, которое совпадает с теоретическими расчетами, в частности, движение лазерного импульса в плазме происходит с правильной групповой скоростью и наблюдается верное поперечное дифракционное расплывание.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук К. В. Лотов

ВЛИЯНИЕ НЕОДНОРОДНОСТИ ПЛОТНОСТИ ПЛАЗМЫ НА ЗАХВАТ ЭЛЕКТРОНОВ КИЛЬВАТЕРНОЙ ВОЛНОЙ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ AWAKE

П. В. Туев

Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН, г. Новосибирск
Новосибирский государственный университет

В настоящее время в ЦЕРНе планируется проведение эксперимента AWAKE по кильватерному ускорению, где в качестве драйвера будет выступать длинный протонный пучок. Этот эксперимент призван проверить концепцию трансформации энергии протонного пучка в энергию электронов посредством плазменной ячейки. Таким способом можно ускорить электроны до чрезвычайно высоких энергий (более 1 ТэВ). Для измерения ускоряющего поля планируется производить инъекцию сторонних электронов с последующим анализом их энергии. До настоящего времени параметры инъекции оптимизировались для случая резкой входной границы плазмы.

В действительности, однако, плотность плазмы нарастает плавно и характеризуется длиной переходной области масштаба нескольких десятков сантиметров. Переходная область возникает из-за конечного времени открывания клапана, разделяющего вакуумный пучковый тракт и газовую ячейку, в которой затем коротким лазерным импульсом создается плазма. Теоретически рассчитать длину переходной области затруднительно из-за того, что истечение газа происходит в переходном режиме. Плавное нарастание плотности опасно тем, что изменяет оптимальные параметры инъекции.

В данной работе экспериментально измерены параметры переходной области и проведено моделирование захвата электронов в плазму с плавным нарастанием плотности. Проведен анализ полученных энергетических спектров. Идентифицированы и объяснены области захвата электронов в фазовом пространстве начальных координат и импульсов. Проанализировано взаимодействие ультрарелятивистского протонного пучка с ограниченной плазмой различной плотности.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук К. В. Лотов

АППАРАТУРА И МЕТОДИКИ РЕГИСТРАЦИИ ПРОДУКТОВ ПЛАЗМОХИМИЧЕСКИХ РЕАКЦИЙ В ГАЗОВЫХ ПОТОКАХ

В. Э. Художитков

Новосибирский государственный университет

В литературе описано множество неудачных, с точки зрения создания технологии, способов плазмохимической конверсии углеводов при использовании различных видов разряда, электронного и ионного пучков. Ведутся поиски иных физических процессов, способствующих процессу синтеза. В данной работе рассмотрен вариант, в качестве такого процесса использовать кластерообразование в сверхзвуковом потоке, расширяющемся в вакуум. Целью работы является адаптация имеющегося оборудования - плазмохимического модуля, обеспечивающего моделирование технологических процессов, и разработка методики исследования механизмов синтеза, инициируемого электронным или ионным пучком в кластеризованном сверхзвуковом потоке углеводов.

Система отбора и анализа продуктов реакций состоит из жалюзийной ловушки, охлаждаваемой до температуры 220 К, и гелиевого криогенного насоса с рабочей температурой 20-50 К, а также камеры сбора продуктов. Для анализа состава газовой среды, образованной при размораживании ловушек, использованы: газовый анализатор (квадрупольный масс-спектрометр) UGA-200 и хроматомасс-спектрометр GCMS-QP2010 Plus.

Выполнено сравнение эффективности инициации химических реакций в сверхзвуковых струях пропан-бутановой смеси, чистого метана и смеси метана с аргоном, электронным пучком и потоком ионов при различных энергиях и в различных условиях по кластерообразованию. Показано, что эффективность сбора жидких и твердых продуктов плазмохимического синтеза на жалюзийной ловушке низка, определены причины и сформулированы рекомендации для оптимизации процесса. Отработаны режимы отбора проб на криогенной ловушке, налажена on-line регистрация изменения температуры, давления и состава газовой среды при процедуре размораживания ловушек с целью определения состава продуктов плазмохимических реакций. Установлены условия наиболее эффективного воздействия на газообразное сырьё с целью инициации реакций синтеза.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, доцент А. Е. Зарвин, канд. техн. наук, доцент А. С. Яскин

КАЛИБРОВОЧНЫЙ ПРОТОННЫЙ ИСТОЧНИК

К. И. Юшкова

Новосибирский государственный университет

В настоящее время для измерения потоков нейтральных частиц, вылетающих из высокотемпературной плазмы магнитных ловушек, широко используются анализаторы быстрых атомов перезарядки, пироэлектрические болометры, полупроводниковые детекторы, нейтронные датчики. Для этих высокотехнологичных диагностических приборов необходима абсолютная калибровка чувствительности в зависимости от энергии частиц. Поэтому была поставлена задача по созданию калибровочного протонного источника, как важного вспомогательного элемента в экспериментах с использованием указанных диагностик.

В Институте ядерной физики СО РАН разрабатывается специализированный протонный источник, предназначенный для точной калибровки сложной диагностической аппаратуры. Источник будет формировать слаборасходящийся пучок протонов с энергией в диапазоне от 3 кэВ до 60 кэВ и энергетическим разбросом $\leq 1\%$, током до 10 мкА, диаметром пучка на мишени ~ 3 мм. Калибровочный протонный источник состоит из источника водородных ионов с энергией 3 кэВ, магнитного фильтра, ускоряющей системы, фокусирующей линзы, цилиндра Фарадея. В работе сформулированы требования к основным элементам калибровочного источника, выполнена оптимизация параметров этих элементов, представлены численные и экспериментальные результаты исследований источника водородных ионов, подробно описан принцип его работы, приведена окончательная конструкция источника.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук В. И. Давыденко

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛЕЙ ТЕМПЕРАТУРЫ В ПЛАМЕНИ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДОВ ИК-ДИАГНОСТИКИ

М. В. Агафонцев

Национальный исследовательский Томский государственный университет

При изучении процессов горения сложную задачу для исследователя представляет измерение температуры в пламени. Современное развитие индустрии технических средств измерения позволяет использовать тепловизоры для измерения температуры различных объектов. Тепловизоры позволяют получить поле температуры с хорошим разрешением по пространству и времени.

Целью данной работы было исследовать поле температуры, образующееся при горении различных горючих материалов. Однако прежде чем применять методы ИК-диагностики необходимо учесть особенность работы тепловизора. Она заключается в том, что тепловизоры калиброваны по излучению абсолютно черного тела (АЧТ). Следовательно, для того, чтобы производить измерения поля температуры в конкретном спектральном диапазоне и исключить нефизические случаи (коэффициент излучения превышает единицу), необходимо сравнить спектр излучения пламени исследуемого горючего материала и спектр излучения АЧТ при соответствующей средней температуре пламени.

Экспериментальное исследование состояло из двух этапов. На первом этапе производилась съемка процесса горения исследуемого материала с помощью спектрографа. После, производилась съемка излучения АЧТ. Полученные спектры сравнивались и делалось соответствующее заключение о выборе того или иного спектрального интервала для поставленной задачи. На втором этапе производилась съемка процесса горения с помощью тепловизора в рассматриваемых спектральных диапазонах, по данным с которой, с помощью быстрого преобразования Фурье, получали частотно-амплитудные зависимости. Анализируя полученные зависимости, были установлены характерные частоты изменения температуры: для растительных горючих материалов частотные максимумы от 2 до 7 Гц; для жидких топлив частотные максимумы от 4 до 8 Гц; для спирта частотный максимум 16 Гц.

Работа выполнена при поддержке гранта Президента РФ для государственной поддержки молодых российских ученых № МД-5754.2015.1 и гранта РФФИ № 15-01-00513_a.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук Е. Л. Лобода

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОБОГАЩЕНИЯ ГАЗОВОЙ СМЕСИ В КОЛОННЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МИКРОСФЕР

А. В. Альянов

Институт теоретической и прикладной механики
им. С. А. Христиановича СО РАН, г. Новосибирск
Новосибирский государственный университет

В настоящее время для извлечения гелия из смеси газов применяется криогенный метод. Принцип этого метода – охлаждение газовой смеси до низких температур, при которых большая часть компонентов смеси конденсируется. Основной недостаток данного метода — высокие затраты энергии.

В институте теоретической и прикладной механики был предложен мембранно-сорбционный метод для извлечения гелия из смеси газов[1]. Суть метода в использовании стеклянных микросфер, с избирательно-проницаемыми стенками, которые пропускают другие гелий, но не пропускают другие газы.

Для реализации данного метода создаётся полупромышленная установка по выделению гелия из природного газа. Была написана программа, с помощью которой проведены расчёты полного цикла работы установки, и проведено параметрическое исследование процесса выделения гелия по предложенной технологической схеме. Работа установки рассчитывалась до достижения концентрации гелия в обеднённой смеси менее 0,05%. В качестве исходных данных использовались концентрации газов, соответствующие Ковыктинскому месторождению с содержанием гелия 0,276%. Математические модели, использовавшиеся при расчёте, были проверены экспериментально[2].

1. В. М. Фомин и др. Способ разделения многокомпонентной парогазовой смеси // Патент №2508156. Зарегистрирован в госреестре изобретений РФ 27 февраля 2014.

2. Верещагин А. С., Зиновьев В. Н., Фомин В. М., Лебига В. А., Пак А. Ю., Фомина А. Ф., Казанин И. В. Оценка коэффициента проницаемости стенок микросфер. // Вестник НГУ. Серия: Физика. Том 5, выпуск 2. 2010.

Научные руководители – д-р физ.-мат. наук, акад. РАН В. М. Фомин,
канд. физ.-мат. наук А. С. Верещагин

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КОМПОЗИТНОЙ БРОНИ С УДАРНИКОМ

В. А. Белоцерковский

Институт теоретической и прикладной механики
им. С. А. Христиановича СО РАН, г. Новосибирск
Новосибирский государственный университет

Процессы ударного взаимодействия твердых тел занимают важное место в технике, промышленности и военном деле. Одним из примеров такого процесса является взаимодействие пули с бронепластиной. В настоящее время существует множество работ по изучению, этого взаимодействия, как в нашей стране, так и за рубежом. Что позволяет оптимизировать и создавать новые конфигурации композитной брони. С другой стороны, для изучения процессов деформации и разрушения твердого тела, все чаще используются различные пакеты математических программ. Например, пакет ANSYS LS-DYNA. Такой подход позволяет лучше понять, как ведут себя тела во время взаимодействия, так как дает пространственную и временную картину.

Цель данной работы - создание композитной брони, способной противостоять огромным ударным нагрузкам. По своим характеристикам она должна превосходить существующие аналоги. Математическое моделирование позволяет провести серию численных экспериментов с разной конфигурацией пластин, подложек и ударников (пуль). Что, в свою очередь, дает возможность оптимизировать конкурирующие требования, такие как вес, толщина и стоимость бронепластины.

Для моделирования использовался пакет LS-DYNA (ANSYS). В ходе работы были рассмотрены различные модели бронепластин и бронебойных пуль. Проведены серии численных экспериментов. Результаты численных экспериментов для керамической композитной брони согласуются с экспериментальными данными.

Научный руководитель: канд. физ.-мат. наук И. И. Шабалин

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕЧЕНИЙ В ДОННОЙ ОБЛАСТИ МНОГОСОПЛОВЫХ БЛОКОВ РДТТ

Ю. Р. Богдевич, К. В. Костюшин, И. М. Тырышкин

Национальный исследовательский Томский государственный университет

В неуправляемых ракетах многосопловой блок применяется для сокращения длины двигателя, отклонения газовой струи от деталей и устройств, на которые не допускается воздействие струи, стабилизации ракеты в полете вращением [1]. В управляемых ракетах многосопловые блоки применяются для размещения исполнительных органов управления, создания управляющих усилий и моментов. В случае использования многосопловых блоков истекающая струя продуктов сгорания имеет сложную конфигурацию, причем конфигурация струи изменяется в зависимости от высоты, и сопровождается образованием вихревых зон в хвостовой части соплового блока. В этой области происходит смешение продуктов сгорания с забортным воздухом. Кроме того, течение в донной области может сказываться на энерготяговых характеристиках соплового блока.

Цель работы состояла в разработке методики и проведении численных исследований течений продуктов сгорания в донной области многосоплового блока в зависимости от параметров окружающей среды.

Для описания течения использовалась модель вязкого газа. Для проведения численных исследований применялся пакет прикладных программ Fluent. При проведении расчетов исследовалось влияние на характеристики течения в донной области многосоплового блока параметров окружающей среды. Влияние давления окружающей среды учитывалось за счет изменения степени нерасчетности сопла. Проведены расчеты для трех значений степени нерасчетности $n = 1, 10, 100$. Определены параметры течения, в донной области и распределение давления на дне соплового блока. Показано, что в донной области возможно возникновение рециркуляционных зон, проанализировано их влияние на энерго-тяговые характеристики двигательной установки.

1. Фахрутдинов И. Х., Котельников А. В. Конструкция проектирование ракетных двигателей твердого топлива. М.: Машиностроение, 1987. – 328 с.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук И. В. Еремин

СТРУКТУРА ТЕЧЕНИЯ И ПОТЕРИ ДАВЛЕНИЯ ПРИ ДВИЖЕНИИ СТЕПЕННОЙ ЖИДКОСТИ В ТРУБЕ СО СКАЧКОМ СЕЧЕНИЯ ТИПА СУЖЕНИЕ/РАСШИРЕНИЕ

К. Е. Бояркина

Томский государственный университет

Широкое применение труб с многообразными конструктивными элементами в массопроводах различного назначения обуславливает необходимость детального исследования течения жидкости в подобных системах. Информация о местных гидравлических сопротивлениях для течений неньютоновских сред в трубах со скачком сечения до сих пор весьма ограничена.

В представленной работе рассматривается ламинарное течение неньютоновской жидкости в цилиндрической трубе с внезапным сужением/расширением. Основные уравнения записываются в переменных вихрь-функция тока в цилиндрической системе координат. Жидкость поступает в трубу через входное сечение с постоянным расходом. На твердой стенке реализуются условия прилипания, на выходной границе используются мягкие граничные условия. На оси симметрии выполняются условия симметрии. Постановка задачи замыкается реологической моделью Оствальда –де Вилия.

Численное решение задачи осуществляется методом установления на основе конечно-разностной схемы продольно-поперечной прогонки. Для обеспечения устойчивости расчета течения проводится регуляризация реологического уравнения.

Восстановленная картина течения показывает, что, наряду с одномерным течением в окрестности входной и выходной границ, слева и справа от скачка сечения реализуется двумерное течение с циркуляционной зоной в области угла. Для количественного анализа течения вводятся безразмерные геометрические характеристики потока: длина циркуляционной зоны, длины участков двумерного течения до и после скачка. Исследуется поведение этих характеристик в зависимости от числа Рейнольдса, отношения радиусов широкой и узкой частей трубы и параметра нелинейности в реологической модели жидкости. Наряду с анализом структуры течения вычисляются местные гидравлические сопротивления в зависимости от значений определяющих параметров. Полученные результаты согласуются с экспериментальными данными.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект №15-08-02256).

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. Г. Р. Шрагер

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАТОПЛЕННОЙ КРУГЛОЙ СТРУИ С ВИХРЯМИ ДИНА

В. В. Вихорев

Новосибирский государственный университет

Струйные течения являются предметом исследования многих научных групп. Связано это с их актуальностью и широким практическим применением. Устройства для теплообмена, камеры сгорания – все это лишь малая часть используемых устройств. Встает вопрос о повышении эффективности того или иного устройства. Так, например, генерация вихревых структур используется для интенсификации теплообмена, повышения эффективности горения, а также снижения аэродинамического шума.

Целью работы являлось исследование структуры течения в затопленной круглой струе с начальным условием в виде сформированных вихрей Дина. Генерация вихрей Дина была осуществлена за счет формирования параболического профиля скорости и применения криволинейного насадка на выходе из канала. Эксперименты были проведены на струйной установке в ИТПМ СО РАН. В работе применялось два метода исследования. Первый заключался в получении количественных данных (пространственные профили средней и пульсационной составляющих скорости на выходе из сопла и вниз по потоку) при помощи термоанемометра. Второй – лазерно-дымовая визуализация, главной особенностью которого была синхронизация источника акустических колебаний со вспышками лазера. С помощью этого метода были получены мгновенные картины поперечных и продольных сечений струи.

Полученные результаты показывают влияние продольных вихрей Дина на трансформацию среднего течения струи. Установлены характерные области роста возмущений, локализующиеся в сдвиговом слое. Дымовая визуализация поперечного сечения круглой струи перед выходом из сопла и на различных расстояниях вниз по потоку демонстрирует наличие двух противовращающихся вихрей. В процессе развития струи можно наблюдать деформацию вихрей Дина, тем не менее, отчетливо видна пара вихрей в области низкого градиента скорости. В области высокого градиента скорости наблюдается развитие неустойчивости Кельвина – Гельмгольца, которая проявляет себя в этом случае в виде вытянутого омега – образного вихря.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №14–08–00201_а.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук М. В. Литвиненко

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕМОНОТОННОГО СКОЛЬЖЕНИЯ НА ТВЕРДОЙ СТЕНКЕ В ЗАДАЧЕ О ТЕЧЕНИИ ВЯЗКОЙ ЖИДКОСТИ В ИЗОГНУТОМ КАНАЛЕ

О. А. Дьякова

Томский государственный университет

Процесс переработки полимеров сопровождается сложными гидродинамическими процессами, среди которых аномалии, связанные с явлением проскальзывания жидкости вблизи твердой стенки.

В настоящей работе исследуется плоское течение ньютоновской несжимаемой жидкости в изогнутом под прямым углом канале. Течение описывается системой, включающей в себя уравнения Навье-Стокса и неразрывности. Одним из используемых типов граничного условия является условие скольжения Навье, которое предполагает, что касательная скорость на стенке прямо пропорциональна касательному напряжению. В качестве второго граничного условия на твердой стенке используется условие немонотонного скольжения [1], подразумевающее наличие трех режимов взаимодействия жидкости с границей с различными коэффициентами скольжения в зависимости от уровня касательных напряжений. При этом можно выделить участки границы, на которых скорость жидкости растет как по мере роста напряжений, так и по мере его уменьшения. Во входном сечении задается однородный профиль скорости, а в выходном сечении используются «мягкие» граничные условия.

Поставленная задача решается численно с помощью конечно-разностного метода. Для нахождения полей скорости и давления в узлах разнесенной сетки используется алгоритм SIMPLE [2].

В ходе работы проведен качественный анализ картины течения с учетом условия скольжения Навье и условия немонотонного скольжения жидкости на твердой стенке, проведены параметрические исследования влияния основных параметров задачи на картину течения.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ 15-08-02256а.

1. Chatziminaa M. Stability of the annular Poiseuille flow of a Newtonian liquid with slip along the walls/ M. Chatziminaa, G.C. Georgiou, K. Housiadas, S. G. Hatzikiriakos/ J. Non-Newtonian Fluid Mech. № 159 – 2009 – P.1–9.

2. Патанкар С. Численные методы решения задач теплообмена и динамики жидкости [Текст]/ С. Патанкар. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 152с.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук Е. И. Борзенко

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБТЕКАНИЯ И ТЕПЛООБМЕНА В СЕКЦИИ ПЕРЕДНЕЙ КРОМКИ КРЫЛА ГИПЕРЗВУКОВОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

Р. О. Кандинский

Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана

Полёт на больших скоростях (с числом Маха больше 3) сопряжён с высокими аэродинамическими и тепловыми нагрузками. Для снижения аэродинамического сопротивления гиперзвуковые летательные аппараты (ГЛА) имеют острые передние кромки крыльев и фюзеляжа. Известно, что величина теплового потока, подводимого к передней кромке крыла, обратно пропорциональна радиусу скругления. Поэтому именно для острых передних кромок крыла важно провести численный анализ процессов комбинированного (радиационно-кондуктивно-конвективного) теплообмена с целью обоснованного выбора материалов и проектных решений.

Для моделирования температурного состояния передней кромки необходима информация о распределении теплового потока, подводимого к конструкции при воздействии на нее высокоэнтальпийного потока газа. Для решения этой задачи, с использованием современного пакета конечно-элементного анализа Ansys FLUENT, было проведено численное исследование обтекания передней кромки. В результате были получено распределение плотности теплового потока по профилю крыла для различных скоростей полета и углов атаки.

Был проведен выбор термостойких материалов для передней кромки и разработан ряд конструктивно-компоновочных схем секции кромки крыла ГЛА.

К числу результатов работы относятся:

- Физическая и математическая модель комбинированного (радиационно-кондуктивно-конвективного) теплообмена для острой передней кромки крыла.
- Зависимости распределения плотности теплового потока по поверхности кромки крыла ГЛА для различных скоростей полета и углов атаки.
- Конструктивно-компоновочные схемы секции кромки крыла ГЛА с применением современных термостойких материалов.

Научный руководитель – д-р техн. наук, проф. П. В. Просунцов.

РОЛЬ ДВУМЕРНОЙ ШЕРОХОВАТОСТИ В ПРОЦЕССЕ ЛАМИНАРНО-ТУРБУЛЕНТНОГО ПЕРЕХОДА В ОБЛАСТИ БЛАГОПРИЯТНОГО ГРАДИЕНТА ДАВЛЕНИЯ НА СКОЛЬЗЯЩЕМ КРЫЛЕ

В. С. Каприлевская, С. Н. Толкачев

Институт теоретической и прикладной механики им. С. А. Христиановича
СО РАН, г. Новосибирск

Новосибирский государственный университет

Полеты на трансзвуковых скоростях требуют применения на летательных аппаратах стреловидных крыльев, обладающих дополнительным механизмом неустойчивости по сравнению с прямыми крыльями из-за наличия вторичного течения. Это приводит к ламинарно-турбулентному переходу в области благоприятного градиента давления.

Конструкция современного крыла с его механизацией весьма сложная, что позволяет выделить двумерные и трехмерные шероховатости. Показательным примером двумерной шероховатости является стык предкрылка. В качестве трехмерных шероховатостей на крыле самолета выступают заклепки, насекомые, разбивающиеся о переднюю кромку при взлете, снег, естественная шероховатость поверхности и так далее.

Эксперимент проводился в рабочей части малотурбулентной аэродинамической трубы АТ-324 ИТПМ размером $1000 \times 1000 \times 4000$ мм на модели скользящего крыла с углом скольжения 45° , профиль которой образован цилиндром радиусом 40 мм и двумя сходящимися плоскостями. Хорда крыла составляла 400 мм. Скорость набегающего потока составляла $U_0 = 10.9$ м/с. Для реализации благоприятного градиента давления угол атаки модели был выбран -12.3° . Стационарные возмущения возбуждались цилиндрической шероховатостью диаметром 1.6 мм и высотой 0.8 мм и многослойной двумерной шероховатостью длиной 120 мм, шириной 15 мм и толщиной одного слоя 0.13 мм. Таким образом, суммарная толщина варьировалась от 0 мм до 1.56 мм. Высокочастотные возмущения возбуждались акустикой.

Установлено, что двумерная шероховатость оказывает дестабилизирующее влияние на возмущения, индуцированные трёхмерной шероховатостью, находящейся выше по течению. При этом сама двумерная шероховатость способна приводить к появлению стационарных структур, а затем и вторичных возмущений, развитие которых вызывает ламинарно-турбулентный переход ниже по течению.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. В. В. Козлов

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ СОПРОТИВЛЕНИЯ НАНОВОЛОКОН В ГИБРИДНЫХ ФИЛЬТРАХ НА ПЕРЕХОДНЫХ РЕЖИМАХ ОБТЕКАНИЯ

В. А. Карелин

Институт теплофизики им. С. С. Кутателадзе СО РАН, г. Новосибирск
Новосибирский государственный университет
АО «ТИОН Инжиниринг»

В настоящее время существующие типы фильтров тонкой очистки воздуха имеют ряд недостатков, связанных с высокой энергозатратностью, сложностью конструкции, быстрым увеличением перепада давления по мере загрязнения. Наибольшее качество фильтрации достигается у фильтрующих материалов, состоящих из наноразмерных волокон, однако такие материалы имеют крайне низкую прочность. Для решения этой проблемы было предложено совместить несущую жесткую основу микроволокон и фильтрующие свойства нановолокон. Интерес к такому типу фильтра вызван его низкой себестоимостью, простотой производства и потенциально существенно более высоким качеством фильтрующего материала. Процессы фильтрации в гибридных фильтрах недостаточно хорошо изучены. Основные трудности моделирования процессов связаны с наличием нескольких характерных масштабов течений.

Целью настоящей работы является создание модели фильтрации воздуха в гибридном фильтре. Модель должна включать процессы обтекания микроволокон в рамках приближения сплошной среды и нановолокон в приближении переходного или молекулярного режима течения.

На начальном этапе построения модели была выполнена оценка прочностных характеристик фильтра при помощи модели взаимодействия аэрозольных частиц и нановолокна. В ходе работы были проведены испытания ряда образцов пленок нетканого материала из нановолокон. Выполнена сканирующая электронная микроскопия образцов пленок наноматериалов, измерены распределения диаметров волокна в образцах. Определены зависимости потерь давления от времени напыления пленки. На основании полученных экспериментальных данных вычислены коэффициенты сопротивления в зависимости от скорости воздуха и диаметра нановолокон.

Научные руководители – канд. физ.-мат. наук В. Н. Горев, В. Ю. Бородулин

СТАБИЛИЗАЦИЯ ДИФфуЗИОННОГО ПЛАМЕНИ ПРОПАНА ПЕРЕМЕННОЙ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ КОНФИГУРАЦИЕЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ

В. С. Козулин

Институт теоретической и прикладной механики
им. С. А. Христиановича СО РАН, г. Новосибирск
Новосибирский государственный университет

Как известно, в современной традиционной энергетике значительную роль играет органическое топливо. При этом актуальна проблема дефицита природных ресурсов, а также угрозы благополучию окружающей среды при использовании объектов энергетики. Поэтому не вызывает сомнений актуальность задач оптимизации процессов горения, а наличие у пламени электрических свойств позволяет воздействовать на него и управлять им с помощью электрического поля (ЭП). Исследованиями в этой области занимались как отечественные, так и зарубежные авторы, однако отсутствуют публикации по воздействию ЭП переменной пространственной конфигурации на горение.

В работе исследовалось влияние вращения вектора напряженности ЭП на поднятое диффузионное пламя пропана (турбулентный режим горения, диаметр сопла 1 мм).

Цель работы – определение возможности стабилизации поднятого диффузионного пламени при вращении ЭП вокруг оси топливной струи, определение критических скоростей срыва пламени и присоединения к устью горелки.

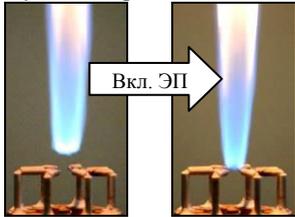


Рис. 1 Стабилизация пламени

В ходе работы определены минимальный расход для существования поднятого пламени (7,8 мл/с) и предельный максимальный расход, выше которого наблюдается срыв (21,7 мл/с). Также выявлено, что если изначально пламя было поднятым на высоту равную или большую уровня электродов ($h=18,5$ мм), то воздействие ЭП приводит к притягиванию

области стабилизации пламени к горизонтальной плоскости 8 электродов (рис. 1). Данный эффект имеет место как при воздействии ЭП при установленном постоянном расходе, так и при непрерывном увеличении расхода, что в отсутствие ЭП быстрее привело бы к срыву пламени.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 14-01-00255-а).

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук А. В. Тупикин

ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВЫСОКОПОРИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ В ПРИЛОЖЕНИИ К ПРОБЛЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ СВЕРХЗВУКОВЫМ ОБТЕКАНИЕМ

В. А. Колотилов

Институт теоретической и прикладной механики им. А. В. Христиановича
СО РАН, г. Новосибирск

Новосибирский государственный университет

Одним из перспективных подходов к управлению обтеканием тел в сверхзвуковом потоке является использование высокопористых ячеистых материалов (ВПЯМ). Для оптимизации воздействия на обтекание необходимо привлечение методов численного моделирования обтекания тел с пористыми вставками. Возможны два подхода к этой проблеме: прямое численное моделирование обтекания реальной структуры ВПЯМ или использование эмпирических законов фильтрации воздуха в ВПЯМ.

Основной целью данной работы является экспериментальное определение зависимостей гидравлических характеристик ВПЯМ при различных значениях перепада давления, плотности воздуха без нагрева и с нагревом пористого материала. Был создан специальный стенд для измерения скорости фильтрации при низких давлениях и при наличии нагрева пористого материала. В качестве газопроницаемых материалов в экспериментах использовались образцы из вспененного никеля различной длины с полыми ячейками различного диаметра. Нагрев образцов ВПЯМ осуществлялся электрическим током, проходящим через пористый материал.

В ходе проведения экспериментов с ВПЯМ без нагрева материала были получены зависимости перепада давления на длине образцов от средней скорости фильтрации воздуха при вариации числа Рейнольдса течения воздуха в порах. На основе этих данных были определены значения коэффициентов при вязком и инерционном члене в законе фильтрации Дарси-Форхгеймера и найдены зависимости их от условий течения в порах и геометрии образцов ВПЯМ.

Также были получены экспериментальные данные о влиянии нагрева пористых материалов на скорость фильтрации воздуха в зависимости от числа Рейнольдса течения воздуха в порах. Оценено изменение коэффициента теплоотдачи при вариации числа Рейнольдса.

Научный руководитель – д. физ.-мат. наук С. Г. Миронов

ИССЛЕДОВАНИЯ ОСОБЕННОСТЕЙ ТЕЧЕНИЯ В СОННОЙ АРТЕРИИ ЧЕЛОВЕКА

А. А. Крашенин

Институт теоретической и прикладной механики им. С. А. Христиановича
СО РАН, г. Новосибирск

Международный томографический центр СО РАН
Новосибирский государственный университет

В сравнительно недавнее время в развитии методик измерений как в механике жидкости и газа, так и в медицинской диагностике произошел качественное изменение. Появился целый спектр методов, позволяющих проводить измерения в закрытых каналах, как *in vivo*, так и на моделях сосудов. Как следствие, значительно выросло количество работ, рассматривающих различные аспекты процесса кровообращения.

Сонная артерия снабжает кровью головной мозг и в шейном отделе имеет три изгиба. Их функциональное назначение не вполне понятно. Предполагается, что таким образом демпфируются пульсации кровотока и создаются более статичные условия в системе кровообращения головного мозга, своего рода амортизация. Предполагается, что именно эти участки играют большую роль в формировании потоков крови и оказывают достаточное влияние на организм человека, при патологиях в бифуркации сонной артерии.

Данная работа посвящена изучению динамических характеристик потока в сосудах шейного отдела сонной артерии человека и получению характеристик потока на начальном продолжительном участке сонных артерий.

Измерения полей скорости проводились методом магнитно-резонансной томографии на МР-томографе «Achieva» фирмы «Philips» с напряженностью магнитного поля 1,5 Тесла в институте «Международный томографический центр» СО РАН. В качестве объектов исследования были использованы пациенты без патологий.

Полученные качественные и количественные данные об особенностях потока жидкости в области перед бифуркацией и поворотами. Показано наличие отраженных волн, которые вызывают изменения во входящем потоке. Результаты могут иметь непосредственное практическое применение для развития методик диагностики сосудистых нарушений, что позволит глубже раскрыть физиологические механизмы церебральной гемодинамики.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук В. Н. Горев

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ НА СКОРОСТЬ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ГОМОГЕННОГО ГОРЕНИЯ

У. Н. Куанышев

Новосибирский государственный университет

В связи с возросшими экологическими требованиями к уровню содержания вредных веществ в продуктах сгорания, становятся актуальными вопросы совершенствования технологий улучшающих процессы сжигания топлива. Основными направлениями в поисках решений стали применение внешних источников энергии для снижения барьера протекания химической реакции, изменение гидродинамической структуры течения и применение слабых электрических полей (ЭП), с напряженностью, не достаточной для пробоя среды.

Принципы управления горением с помощью внешнего ЭП проще изучать на предварительно перемешанных смесях топлива и окислителя, так как в этом случае из рассмотрения исключаются процессы смешения. Влияние ЭП на горение в ламинарном режиме изучено достаточно подробно, но полученные физические модели малоприменимы к турбулентному режиму горения.

В данной работе представлены результаты исследования влияния слабого электрического поля на процесс распространения турбулентного горения пропан-воздушных смесей. Связь параметров ЭП со скоростью распространения пламени позволит определить механизм воздействия ЭП на турбулентное горение.

В эксперименте пламя стабилизировалось на отрывной зоне за центральным телом, регистрировалась его форма. По углу между фронтом и горения и направлением потока определялась нормальная составляющая скорости, что принималось за скорость распространения пламени. В отсутствие ЭП зависимость нормальной скорости от физико-химических свойств смеси представлено в работе [1]. В опытах получено соответствие с данной физической моделью. При воздействии ЭП наблюдается рост скорости распространения пламени. Обобщение данных по воздействию ЭП позволит определить основной механизм влияния ЭП на турбулентное горение.

1. В. К. Баев, П. К. Третьяков Расчет положения пламени в турбулентном потоке //Известия сибирского отделения академии наук 1969.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук А. В. Тупикин

**ПРЯМОЕ СТАТИСТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
НЕРЕЗОНАНСНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЛАЗЕРНОГО
ИЗЛУЧЕНИЯ С ГАЗОМ**

П. В. Кунгурцев
Новосибирский государственный университет

Газ нейтральных поляризуемых частиц под воздействием внешнего электрического поля может существенно менять свои макропараметры, такие как плотность, средняя скорость, температура и др., и функцию распределения частиц по скоростям [1]. В работе численно исследуется влияние потенциала периодической оптической решетки двух встречных интерферирующих лазерных пучков на функцию распределения и макропараметры газа. В расчетах используется модифицированный программный комплекс SMILE [2], основанный на методе прямого статистического моделирования (ПСМ) [3].

Рассеяние излучения на частицах газа приводит к также к обратному влиянию среды на излучение [4]. Данному эффекту уделяется особое внимание в настоящем исследовании. В частности, в работе проведено сравнение результатов моделирования методом ПСМ с аналитическими результатами и решением модельного кинетического уравнения [4].

-
1. M.N. Shneider, P.F. Barker, S.F. Gimelshein, Molecular transport in pulsed optical lattices. // *Appl. Phys. A* **89** (2007) 337–350.
 2. Ivanov M.S., Kashkovsky A.V., Gimelshein S.F., Markelov G.N., Alexeenko A.A., Bondar Ye.A., Zhukova G.A., Nikiforov S.B., Vashenkov P.V. SMILE System for 2D/3D DSMC computations // *Proc. of 25th Int. Symp. on RGD (Saint-Petersburg, Russia, July 21-28, 2006)*, Ed. by M.S. Ivanov and A.K. Rebrov, Publishing House of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, 2007, pp. 539-544.
 3. G.A. Bird, *Molecular Gas Dynamics and The Direct Simulation of Gas Flows*, Oxford University Press, Oxford, 1994.
 4. Shneider, M.N., Barker P.F., Kinetic description of the field-gas interaction in optical lattices. // *Optics Communication*, **284** (2011), 1238–1242.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук С. Ф. Гимельшейн

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ЖИДКИХ ЧАСТИЦ В ГАЗОВОЙ СТРУЕ

Р. З. Курмангалиев

Институт теоретической и прикладной механики
им. С. А. Христиановича СО РАН, г. Новосибирск
Новосибирский государственный университет

Перспективным направлением в современных системах пожаротушения является использование мелкодисперсных частиц воды распылённых в воздушной струе. Основным преимуществом применения частиц воды с размерами менее 200 мкм является развитая поверхность теплообмена и, соответственно, большая скорость поглощения тепла от горючих газов и пламени. Технология создания и применения струй тонкораспыленной воды до настоящего времени остается проблемным вопросом, ограничивающим возможности применения данного направления.

Работа является продолжением исследования, проведенного в [2]. В данной статье экспериментально исследуется дробление жидких частиц в высокоскоростной газовой струе, как возможный механизм создания потока тонкораспыленной воды. Получены распределения капель по пространству для воды и глицерина, на различных расстояниях от среза сопла. Также измерены основные параметры струи: скорость, давление, температура по мере расширения струи в пространстве. Проведены численные расчеты газовой струи и движения жидких частиц в программном пакете SolidWorks. На основании эксперимента и численного расчета получены оценки по дроблению капель с учетом вязкости жидкости. Результаты будут использованы при создании методики прогнозирования размеров создаваемых капель, а также времени и расстояния, необходимых для формирования газок капельной фазы в потоке воздуха.

1. А. В. Ципенко. Теория и методы повышения эффективности противопожарных систем на воздушном транспорте. Докторская диссертация, М.: 2006.

2. Р. З. Курмангалиев. Исследование распространения газовой струи с жидкими частицами в свободном пространстве. Физика сплошных сред. Материалы 51-ой международной научной студенческой конференции. Новосибирск, 2013, с. 19.

Научный руководитель – д-р техн. наук В. И. Звезгинцев

РАЗРАБОТКА УПРОЩЕННОЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ИСПАРЕНИЯ ЖИДКОСТИ

С. А. Лаврук

Институт теоретической и прикладной механики
им. С. А. Христиановича СО РАН, г. Новосибирск

Одной из современных проблем ракетно-космической деятельности является невыработанные остатки топлива, оставшиеся на борту ступени ракеты после завершения своей миссии. Общая масса остатков топлива может достигать 3% от всей массы топлива. Для ликвидации этого явления в литературе предлагается их газификация в замкнутом объеме бака с последующим сбросом газифицированных компонентов через сопла сброса, либо с их сжиганием в специальном газовом ракетном двигателе.

Процесс газификации предлагается осуществлять путем ввода в бак струи горячих газов с заданными параметрами, позволяющим испарить топливо находящейся в жидкой фазе внутри бака. Для моделирования процесса газификации предлагается провести математическое и физическое моделирование на нетоксичных жидкостях (вода, водоспиртовые смеси).

Ранее был проведен ряд модельных экспериментов по испарению воды. Математическое описание данного эксперимента мы проводили в два этапа. На первом этапе решалась задача по описанию течения в емкости с помощью (k, ω) турбулентной модели сжимаемой жидкости. В качестве пакета прикладных программ использовался программный комплекс ANSYS.

На втором этапе был разработан дополнительный программный модуль испарения пленки жидкости, основанный на неравновесности процесса испарения. Проведено сравнение полученных результатов с результатами проведенного физического эксперимента.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук проф. А. В. Федоров

ОСОБЕННОСТИ ГОРЕНИЯ БОГАТОЙ ВОДОРОД-ВОЗДУШНОЙ СМЕСИ В МИКРОПОТОКОВОМ РЕАКТОРЕ

Т. П. Мирошниченко

Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток

В экспериментах по горению в микроканале с неравномерно нагретыми стенками было установлено существование трех режимов горения [1]. При высоких скоростях потока газа наблюдается устойчивое горение пламени. При низких скоростях наблюдается так называемое слабое пламя, характеризующееся низкой температурой горения. При средних значениях скоростей входящего потока наблюдается динамическое поведение пламени с повторяющимся возгоранием и затуханием, или FREI режим.

В то же время, горение газовой смеси с большими числами Льюиса приводит к появлению пульсирующего режима горения из-за диффузионно-тепловой неустойчивости. Появление диффузионно-тепловой неустойчивости ранее не исследовалось в микроканале с контролируемой температурой стенок. Целью настоящей работы является исследование динамических режимов горения. При этом процесс горения моделируется в рамках двухступенчатой модели с цепным механизмом реакции, в то время как предыдущие исследования режимов горения в микроканале проводились в рамках диффузионно-тепловой модели с одноступенчатой кинетикой [2].

Показано, что режим пульсирующего пламени появляется в результате диффузионно-тепловой неустойчивости на границе между FREI и нормальным пламенем. Описана принципиальная разница между FREI и режимом с диффузионно-тепловыми пульсациями. В отличие от FREI, в последнем случае концентрация радикалов не обращается полностью в ноль, а остается ограниченной, пульсации происходят с определенной амплитудой около средних значений, соответствующих нормальному пламени. Также найдены значения критических параметров, при которых реализуются динамические режимы горения с учетом относительных компонентов смеси газа и скорости потока.

1. K. Maruta, T. Kataoka, N. I. Kim, S. Minaev, R. Fursenko. Proc. Combust. Inst. 30 (2005) 2429–2436.

2. S. Minaev, K. Maruta, R. Fursenko. Combust. Theor. Model. 11 (2) (2007) 187–203.

Научные руководители – д-р физ.-мат. наук С. С. Минаев, д-р физ.-мат. наук В. В. Губернов

ВЛИЯНИЕ ПРИТУПЛЕНИЯ КОНУСА НА ЛАМИНАРНО-ТУРБУЛЕНТНЫЙ ПЕРЕХОД

А. С. Настобурский

Новосибирский государственный университет

Известно, что притупление передней кромки пластины и носика конуса сдвигает ламинарно-турбулентный переход (ЛТП) вниз по потоку [1]. Притупление является одним из способов затягивания ЛТП для реальных летательных аппаратов. Природа данного явления до конца не исследована. Целью данной работы являлось воспроизвести эффект в гиперзвуковой аэродинамической трубе «Транзит-М» ИТПМ СО РАН и исследование параметрической зависимости положения перехода.

Эксперименты проводились при числе Маха 5,95 на модели конуса из теплоизоляционного материала РЕЕК с углом полураствора 7 градусов. Модель имела сменную носовую часть. Для изменения радиуса притупления были изготовлены носики со следующими радиусами притупления: 0,15мм (острый носик), 1,5мм, 2мм, 2,5мм, 3,5мм, 5,5мм. Диапазон единичных чисел Рейнольдса составил $5-50 \cdot 10^6 \text{ м}^{-1}$. Положение перехода фиксировалось по распределению тепловых потоков на поверхности модели. Для получения тепловых потоков в условиях неравномерного от времени теплового потока использовался алгоритм Кука-Фельдмана [2].

В работе получены распределения тепловых потоков на модели с разными притуплениями носика и при разных параметрах набегающего потока. По полученным данным построены распределения чисел Стантона и произведено сравнение с теоретическими кривыми. Получено, что притупление действительно сдвигает ЛТП вниз по потоку, увеличивая числа Рейнольдса перехода. Оказалось, что если построить зависимость чисел Рейнольдса перехода от числа Рейнольдса построенного по радиусу притупления, то данная зависимость является линейной.

Работа выполнена при поддержке РФФИ грант №15-01-04788.

1. Grossir G., Masutti D. and Chazot O. Flow characterization and boundary layer transition studies in VKI hypersonic facilities. AIAA 2015-0578.

2. D. L. Schultz and T. V. Jones, Heat transfer in short duration hypersonic facilities, AGARD AG 165.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук Д. А. Бунтин

СОЗДАНИЕ ЛАЗЕР- ДОПЛЕРОВСКОГО АНЕМОМЕТРА ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ДВУХФАЗНЫХ ПОТОКОВ ВЫСОКОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ

А. Ю. Нестеров

Новосибирский государственный университет

Газожидкостные форсунки широко используются для распыления жидкости в различных технологиях, например, при обустройстве нефтяных месторождений. В связи с этим актуальны задачи изучения различных характеристик распыла жидкостей и в частности, скорости дисперсной фазы. Измерение скорости капель в газожидкостных потоках возможно только оптическими методами, для чего используется лазер-доплеровский анемометр (ЛДА). Поскольку промышленные форсунки производят потоки высокой концентрации, для их изучения требуется прибор, способный работать в условиях высокой плотности потока, в которых применение коммерческих приборов невозможно или сильно ограничено.

Таким образом, была поставлена задача создания ЛДА, пригодного для измерения скорости дисперсной фазы высокой концентрации. Предполагается использование прибора для измерения скорости капель, находящихся на периферии потока. В силу специфики объекта используется обратная дифференциальная схема на «рассеянии назад». Для локализации объема измерения скорости используется система фокусировки света в точке измерения. Выбранный подход относится к методам прямого спектрального анализа рассеянного света, а для определения доплеровского сдвига частоты используется интерферометр Фабри- Перо с областью свободной дисперсии 1ГГц. Поскольку в обратной дифференциальной схеме доплеровский сдвиг регистрируется на границе между двумя пучками, основной задачей при создании прибора является получение качественного изображения совмещенной интерференционной картины.

Таким образом, для перечисленных условий была разработана оптическая схема ЛДА и создан макет прибора, позволивший моделировать его работу и оптимизировать конструкцию.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук С. В. Поплавский

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЛЬТРАЦИОННЫХ ВОЛН ГОРЕНИЯ В ПОРИСТЫХ СРЕДАХ С РАДИАЦИОННЫМ ТЕПЛОПЕРЕНОСОМ

Ф. С. Палесский

Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток

В настоящее время высокий научный интерес представляет исследование и разработка тепловых источников энергии на основе горения газовых смесей. В этой области особый интерес представляет сжигание газов в пористых структурах из керамики и металлокерамики, так как фильтрационное горение газов позволяет достигать более высоких значений эффективности и мощности, например в сравнении с источниками тепла на основе электрической энергии.

Целью представленного исследования было теоретическое описание экспериментальных явлений, полученных при изучении фильтрационного горения газов в пористых средах в работах проф. А.И. Кирдяшкина (ТНЦ СО РАН).

В настоящей работе была разработана математическая модель для описания фильтрационного горения газов в пористых материалах, которая учитывает радиационный теплоперенос по пористому телу и лучистые теплопотери во внешнюю среду. Численно была решена задача горения смеси газов в цилиндрической пористой горелке. При этом радиационный теплоперенос был описан в рамках приближения Эддингтона для теплового излучения.

Было показано, что радиационный теплоперенос оказывает значительное влияние на процесс распространения и стабилизации пламени в пористом теле. Далее было показано, что существует несколько режимов горения газов в цилиндрической пористой горелке в зависимости от начальных условий поджига горючей смеси. Полученные результаты находятся в хорошем качественном соответствии с существующими экспериментальными данными.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки РФ (договор № 14.У26.31.0003) и НФ Дальневосточного федерального университета.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук проф. С. С. Минаев

РАЗРАБОТКА СТЕНДА ТЕПЛОВЫХ ИСПЫТАНИЙ ГОРЯЧИХ КОНСТРУКЦИЙ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ПРИ ТЕМПЕРАТУРАХ ДО 2000 К

А. А. Петрова

Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана

В ракетно-космической технике важную роль играют теплонагруженные элементы конструкций такие как тепловая защита многоразовых космических аппаратов, сопла ракетных двигателей. Эти элементы подвергаются воздействию интенсивных тепловых потоков плотностью до $5 \cdot 10^5$ Вт/м². Неотъемлемым этапом в отработке материалов тепловой защиты является проведение наземных тепловых испытаний на стендах с радиационными или конвективными источниками нагрева. Созданные ранее стенды для испытания тепловой защиты космического корабля «Буран» в ЦАГИ им. Н.Е. Жуковского, НПО «Молния» имеют большие габариты, требуют больших мощностей, сложной системы запуска и регулирования, а также системы охлаждения источников нагрева.

Таким образом, актуальной является задача создания стенда лабораторного класса с использованием традиционных источников нагрева с твердым телом накала, но с более высоким уровнем рабочих температур. Современная вычислительная техника позволяет снизить затраты на экспериментальную отработку материалов теплоизоляции.

Целью работы является разработка методики проектирования нагревательных блоков стендов тепловых испытаний, имеющих лучшие показатели по уровню температуры и степени равномерности, чем существующие.

Выбор проектных параметров нагревательного блока основан на моделировании нестационарного радиационно-кондуктивного теплообмена в системе, включающей нагреватель, состоящий из тручатых электрических источников излучения, теплограждение из термостойких керамических материалов и плоский образец. Плотность падающих на объект испытаний тепловых потоков определялась с учетом многократного переизлучения. В результате вычислительного эксперимента были выбраны материалы теплоизоляции и геометрические параметры нагревательного блока. Предложена схема расположения источников нагрева, при которой неравномерность температурного распределения на поверхности образца не превышает допустимых значений.

Научный руководитель — д-р техн. наук, проф. С. В. Резник

ВЛИЯНИЕ КОЛЕБАТЕЛЬНОЙ РЕЛАКСАЦИИ НА РАЗВИТИЕ ВОЗМУЩЕНИЙ В УДАРНОМ СЛОЕ НА ПЛАСТИНЕ В ПОТОКЕ СМЕСИ КОЛЕБАТЕЛЬНО ВОЗБУЖДЕННЫХ ГАЗОВ

А. И. Решетова

Институт теоретической и прикладной механики
им. С. А. Христиановича СО РАН, г. Новосибирск
Новосибирский государственный университет

Процессы возбуждения и неравновесности колебательных степеней свободы молекул газов [1] оказывают существенное воздействие, как на характеристики среднего течения, так и на развитие возмущений в гиперзвуковых ударных и пограничных слоях.

В данной работе проведено расчетное исследование развития возмущений в вязком ударном слое на пластине, обтекаемой гиперзвуковым потоком смесей воздуха и углекислого газа (CO_2) при температурах торможения $T_0 = 2000\text{--}3000\text{K}$, единичных числа Рейнольдса $Re_1 = 8 \div 11 \times 10^5 \text{m}^{-1}$.

Численное моделирование производилось с помощью пакета ANSYS Fluent на базе решения нестационарных двумерных уравнений Навье–Стокса. Учёт колебательной релаксации производился в рамках двухтемпературной модели релаксационных течений с использованием уравнения Ландау–Теллера (с использованием времен колебательной релаксации из [2]). Воздух – это многокомпонентная смесь газов с 76% содержанием азота (N_2), поэтому в численном моделировании рассматривались смеси углекислого газа с азотом, и учитывалась колебательная релаксация молекул CO_2 не только при взаимодействии их друг с другом, но и при взаимодействии с молекулами N_2 . Акустические возмущения вводились в расчетную область с помощью созданных UDF по формулам плоской монохроматической звуковой волны.

Получены количественные данные о влиянии возбуждения колебательных степеней свободы молекул смесей газов на параметры среднего течения и развитие возмущений в ударном слое на пластине. Проведено сравнение с результатами экспериментов в импульсной высокоэнтуальпийной аэродинамической трубе ИТ-302М ИТПМ СО РАН.

-
1. С. А. Лосев Газодинамические лазеры. Москва // *Наука*. 1977;
 2. М. Самас CO_2 relaxation processes in shock waves. Cornell University Press // *Fundamental Phenomena in Hypersonic Flow*. 1966. P. 195-218.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук Т. В. Поплавская

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕЧЕНИЯ ВЯЗКОЙ ЖИДКОСТИ В КУБИЧЕСКОЙ КАВЕРНЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АЛГОРИТМА SIMPLE

И. А. Рыльцев

Национальный исследовательский Томский государственный университет

Все окружающие нас явления реализуются в трех координатах и во многих случаях для получения информации об их протекании необходимо формулировать математические модели в трехмерной постановке. В настоящее время вычислительный эксперимент является практически единственным инструментом в моделировании 3D процессов.

В данной работе рассматривается стационарное пространственное изотермическое течение вязкой несжимаемой жидкости в кубической каверне с подвижной верхней стенкой. Математическую основу рассматриваемого процесса образуют уравнения Навье-Стокса совместно с уравнением неразрывности. Система уравнений дополняется граничными условиями прилипания на всех границах области. Задача формулируется в безразмерных переменных.

Задача решается численно с использованием метода контрольных объемов. Конвективные слагаемые в уравнениях движения аппроксимируются разностями против потока для больших значений числа Рейнольдса, либо с помощью экспоненциальной схемы по мере его уменьшения. Алгоритм SIMPLE применяется для определения давления. Для повышения эффективности алгоритма расчета привлекается технология параллельных вычислений на основе библиотек MPI. Аппроксимационная сходимость разработанного алгоритма подтверждается расчетами на последовательности сеток.

Картина рассматриваемого течения характеризуется наличием циркуляционных зон в центре каверны и в ее углах. Результаты расчетов в диапазоне изменения значения числа Рейнольдса от 0,1 до 1000 демонстрируют его влияние на размеры, положение циркуляционных зон и интенсивность движения в них. Исследуются распределения кинематических и динамических характеристик течения в зависимости от значений определяющего критерия. Полученные результаты согласуются с данными других авторов.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 15-08-03935а).

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, доцент, Е. И. Борзенко

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ГИПЕРЗВУКОВОГО ВОЗДУХОЗАБОРНИКА С УЧАСТКОМ ИЗОЭНТРОПИЧЕСКОГО СЖАТИЯ С УЧЕТОМ ПОГРАНИЧНОГО СЛОЯ

В. А. Сафонов

Институт теоретической и прикладной механики
им. С. А. Христиановича СО РАН, г. Новосибирск
Новосибирский государственный университет

Изучение характеристик гиперзвуковых воздухозаборников – важное направление исследований для создания гиперзвуковых летательных аппаратов.

На данный момент создано и изучено множество вариантов конструкций гиперзвуковых летательных аппаратов и, соответственно, воздухозаборников. Одним из неизученных гиперзвуковых воздухозаборников является утолщенный воздухозаборник с участком изоэнтропического сжатия.

При использовании изоэнтропического сжатия потери давления могут быть достаточно малыми, а использование утолщенной конфигурации позволяет уменьшить лобовое сопротивление летательного аппарата.

На данный момент упоминание данного типа гиперзвукового воздухозаборника в иностранной и отечественной литературе практически не встречается.

Целью работы было получение количественных характеристик параметров в канале утолщенного воздухозаборника с участком изоэнтропического сжатия в случае вязкого обтекания и их сравнение со случаем невязкого обтекания.

Были рассмотрены плоская и осесимметричная конфигурации воздухозаборника с участком изоэнтропического сжатия, построенных для $M=3$.

Компьютерное моделирование показало, что параметры в канале воздухозаборника в случае вязкого обтекания заметно отличаются от параметров в случае идеального обтекания.

Научный руководитель – д-р техн. наук В. И. Звегинцев

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗВИТИЯ ВО ВРЕМЕНИ ЛИНЕЙНЫХ ВОЛН В СВЕРХЗВУКОВОМ ПОГРАНИЧНОМ СЛОЕ С ВДУВОМ ЧЕРЕЗ СТЕНКУ

А. Н. Семенов

Институт теоретической и прикладной механики
им. С. А. Христиановича СО РАН, г. Новосибирск
Новосибирский государственный университет

В данной работе задача гидродинамической устойчивости решается эволюционным методом. Данный метод базируется на факте, что любое однородное граничное условие может быть представлено, как сумма волн с различным инкрементом, тогда при численном моделировании по времени мы легко сможем выявлять самую неустойчивую волну на достаточно больших временах. Это является одним из основных достоинств данного метода по сравнению с классическим способом решения задачи, где выявление наиболее неустойчивой волны является достаточно сложной задачей.

Были проведены расчеты вдува через пористую поверхность под различными углами в диапазоне от 0 до 90 градусов. Было выявление, что продольный вдув слабо влияет на устойчивость пограничного слоя. Нормальный вдув наоборот приводит к сильной дестабилизации течения. Также в работе были проведено численное моделирование вдува для углов 30, 45 и 60 градусов. Расчеты проводились при числе Маха набегающего потока $M=2$ и числе Рейнольдса $Re=1000$.

На основании проведенных исследований предлагается использовать развитый в работе подход для решения задач устойчивости при вдуве инородного газа через пористую поверхность.

Работа поддержана Российским фондом фундаментальных исследований (№ 15-01-00866 А)

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук С. А. Гапонов

ХАРАКТЕРИСТИКИ ДИНАМИЧЕСКОГО СЛОЯ ЗА ЛИНИЕЙ ПРИСОЕДИНЕНИЯ СВЕРХЗВУКОВОГО ОТРЫВНОГО ТЕЧЕНИЯ

Л. П. Трубицына

Институт теоретической и прикладной механики
им. С. А. Христиановича СО РАН, г. Новосибирск

Проведено измерение характеристик сверхзвукового трёхмерного течения на угле сжатия за линией присоединения вблизи поверхности модели. Модель представляла собой горизонтальную пластину длиной $L=60$ мм с острой передней кромкой, за которой был установлен уступ с углом подъема 30° . Ширина пластины равна 60 мм. Значения полного давления в потоке над поверхностью модели были получены с помощью пневмометрического приемника полного давления. Эксперименты были проведены на гиперзвуковой аэродинамической трубе Т-326 ИТПМ СО РАН. Число Маха набегающего потока $M=6$. Число Рейнольдса $Re_L=7,2 \cdot 10^5$. Целью работы является уточнение структуры течения за линией присоединения.

Было проведено несколько серий измерений по нормали к поверхности модели на разных расстояниях от линии присоединения, а также в трансверсальном направлении по всей ширине модели. Получены нормальные и поперечные профили полного давления.

Анализ полученного распределения полного давления подтвердил существование тонкого высоконапорного слоя, описанного в [1]. Тонкий высоконапорный слой образуется над пограничным слоем вниз по потоку от линии присоединения.

1. В. И. Запрягаев, И. Н. Кавун, И. И. Липатов Возникновение высоконапорного слоя в угле сжатия при сверхзвуковой скорости потока.// Изв. РАН. Механика жидкости и газа, No 6, 2014, с 149-158.

Научный руководитель – д-р техн. наук, проф. В. И. Запрягаев

ИЗУЧЕНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ОБТЕКАНИЯ СИСТЕМЫ ИЗ НЕСКОЛЬКИХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ФИЛЬТРОВ И ЭФФЕКТИВНОСТИ ОСАЖДЕНИЯ ЗАРЯЖЕННЫХ АЭРОЗОЛЬНЫХ ЧАСТИЦ

М. И. Тырышкин

Новосибирский государственный университет
Институт теоретической и прикладной механики
им. С. А. Христиановича СО РАН, г. Новосибирск

В наше время свежий и чистый воздух, особенно в городских условиях, это роскошь. Ежегодно в атмосферный воздух выбрасывается миллионы тонн загрязняющих веществ, которые способны проникать в организм человека и поражать жизненно важные органы. Сегодня существует множество различных воздухоочистительных систем, которые позволяют задержать даже самые опасные для человека частицы. Но их разработка стоит больших затрат, а на выходе мы не всегда получаем эффективное устройство. В большинстве случаев это вызвано тем, что при разработке нового устройства для определения тех или иных параметров используются грубые оценки без качественных численных расчетов. Использование компьютерного моделирования позволяет не только существенно сократить затраты на дорогостоящие эксперименты, но и выявить ограничивающие факторы, быстро найти оптимальное решение.

Данная работа посвящена численному моделированию газодинамических течений в воздухоочистительных системах. Предметом исследования является комплекс, состоящий из нескольких цилиндрических фильтрующих элементов. Главные проблемы, встающие на пути теоретического исследования – выбор адекватной физической модели и нахождение надежных данных о характеристиках используемых материалов. На основе экспериментальных данных падения давления в зависимости от расхода воздуха при помощи численного моделирования в программной системе Ansys Fluent было показано, что для используемых фильтрующих элементов допустимо применение закона Дарси для фильтрации жидкостей и газов в пористой среде. Была проведена серия вычислений для уточнения параметров проницаемости материалов, используемых для определения фильтрации и для исследования зависимости эффективности фильтрующего элемента от его формы.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук А. В. Зайцев

ЧИСЛЕННОЕ РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ О ТЕЧЕНИИ НЕНЬЮТОНОВСКОЙ ЖИДКОСТИ В КАНАЛЕ С ВНЕЗАПНЫМ РАСШИРЕНИЕМ

Е. И. Хегай

Национальный исследовательский Томский государственный университет

Течения неньютоновских жидких сред широко реализуются в различных технических приложениях, таких как переработка полимерных материалов, металлургия, пищевая промышленность, проектирование и эксплуатация магистральных нефтепроводов и т. п. В силу нелинейности уравнений, описывающих такие течения, их решение в большинстве случаев осуществляется с использованием численных методов.

В данной работе рассматривается плоское установившееся течение неньютоновской несжимаемой жидкости в канале с внезапным расширением. Математическую основу образует система уравнений движения и неразрывности, записанная в безразмерных переменных. Реологические свойства жидкости описываются степенным законом Оствальда - де Вилля. На твердых стенках используется условие прилипания, на входе задается профиль скорости, соответствующий установившемуся течению в плоском бесконечном канале с заданным расходом, на выходе реализуются мягкие граничные условия.

Задача решается численно с помощью конечно-разностного метода. Для нахождения стационарных полей характеристик течения в расчетных узлах разнесенной сетки используется метод установления. Составляющие вектора скорости и давление вычисляются в соответствии с алгоритмом SIMPLE. Проводится регуляризация реологической модели для псевдопластичной жидкости с целью обеспечения сходимости вычислительного алгоритма. Демонстрируется аппроксимационная сходимость используемого алгоритма расчета в случае ньютоновского и псевдопластичного поведения жидкости на последовательности сеток.

Рассматриваемое течение характеризуется наличием циркуляционной зоны в окрестности уступа и зонами одномерного течения вдали от него. Проведены параметрические исследования структуры течения и его кинематических характеристик в широком диапазоне изменения определяющих параметров. Вычисляются значения местного гидравлического сопротивления.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (№15-08-03935).

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, доцент, Е. И. Борзенко

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПАДАЮЩЕЙ ВОЛНЫ МАХА НА ЛАМИНАРНО-ТУРБУЛЕНТНЫЙ ПЕРЕХОД НА ЛИНИИ РАСТЕКАНИЯ СКОЛЬЗЯЩЕГО ЦИЛИНДРА

А. А. Яцких

Институт теоретической и прикладной механики
им. С. А. Христиановича СО РАН, г. Новосибирск

Знание о характере течения на линии растекания передней кромки крыла важно при проектировании летательных аппаратов, поскольку определяет состояния пограничного слоя на несущей поверхности. Из-за сложности задачи, практически нет какой-либо ясной картины процесса ламинарно-турбулентного перехода на линии растекания в случае высокоскоростных потоков.

В настоящее время принято, что существуют две причины ламинарно-турбулентного перехода на линии растекания скользящего цилиндра. Одна из причин связана с эволюцией собственных естественных возмущений на линии растекания. Вторая причина перехода обусловлена «загрязнением» передней кромки (leading edge contamination). В этом случае в пограничном слое развиваются возмущения, порожденные внешними источниками (шероховатость, сопряжение фюзеляжа с крылом и т.д.).

Цель данной работы – экспериментальное исследование влияния внешних волн Маха на ламинарно-турбулентный переход пограничного слоя на линии растекания. Эксперименты проводились в АДТ Т-325 ИТПМ СО РАН. В качестве модели использовался цилиндр с углом скольжения 68 градусов. Внешние волны Маха генерировались двумерной шероховатостью на стенке рабочей части трубы. Ламинарно-турбулентный переход измерялся датчиком термоанемометра постоянного сопротивления. Исследования выполнены при числе Маха $M=2,5$.

Обнаружено, что при приближении волн Маха к области измерения, число Рейнольдса, при котором происходит переход, значительно уменьшается. При ламинарно-турбулентном переходе пульсации массового расхода изменяются скачкообразно. В случае большого расстояния между попаданием внешней волны Маха и измеряемой точки влияние на ламинарно-турбулентный переход не наблюдается.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 13-01-00520 а)

Научные руководители – д-р физ.-мат. наук А. Д. Косинов, канд. физ.-мат. наук Ю. Г. Ермолаев

ТЕПЛОФИЗИКА

УДК 534.413; 536.464

АНАЛИЗ СПИРАЛЬНЫХ СТРУКТУР В ЗАКРУЧЕННЫХ СТРУЯХ С ГОРЕНИЕМ

С. С. Абдуракипов

Новосибирский государственный университет

Институт теплофизики им. С. С. Кутателадзе СО РАН, г. Новосибирск

Как известно, интенсивная закрутка потока, приводящая к распаду вихревого ядра и образованию приосевой зоны рециркуляции, используется в горелочных устройствах для стабилизации пламени. Этот режим течения характеризуется развитием спиральной моды неустойчивости потока, имеющая форму прецессирующего вихревого ядра (ПВЯ). Информация о характеристиках течений с ПВЯ и, прежде всего, о частотах возникающих неустойчивостей необходима для разработки и совершенствования горелочных устройств. Данная работа посвящена численному исследованию устойчивости закрученных струйных течений с горением и экспериментальному исследованию динамики когерентных вихревых структур (КВС) в закрученном пламени с использованием современной методики измерения Particle Image Velocimetry (PIV), статистических подходов для анализа турбулентных потоков Proper Orthogonal Decomposition (POD) и Dynamic Mode Decomposition (DMD).

Для организации закрученного пламени пропано-воздушной смеси было использовано сопло Витошинского с выходным диаметром $d = 15$ мм. Число Рейнольдса и среднерасходная скорость потока равнялись $Re = 4100$; $U_0 = 5$ м/с, соответственно. Закрутка потока организовывалась лопаточными завихрителями. Для измерения с частотой 770 Гц полей мгновенной скорости потока в центральной плоскости струи была использована скоростная PIV система «ПОЛИС».

Экспериментальные профили средней скорости течения и модельный профиль плотности использовались для линейного локального анализа устойчивости закрученных реагирующих потоков спектральным методом коллокаций Чебышева. Определены наиболее неустойчивые спиральные моды возмущений. Применение методов POD, DMD к данным скоростных PIV измерений в закрученном пламени позволило определить характерные частоты турбулентных пульсаций для различных областей потока и проанализировать масштабы соответствующих этим частотам пространственных когерентных структур. Трехмерная пространственная форма спиралевидных возмущений в закрученном пламени была восстановлена с помощью POD и анализа устойчивости.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук В. М. Дулин

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РЭЛЕЙ-БЕНАРОВСКОЙ КОНВЕКЦИИ В ЗАДАЧАХ ГЕОДИНАМИКИ

А. К. Амренов

Институт теплофизики им. С. С. Кутателадзе СО РАН, г. Новосибирск
Новосибирский государственный университет

В современной геодинамике считается, что главный движущий механизм движения плит - медленные конвективные течения в подлитосферной верхней мантии, что следует из установленного по различным независимым геофизическим данным перемещения литосферных плит с разной скоростью. Источником конвективных течений является тепловой поток от разогретого ядра к дневной поверхности. Поэтому в рамках задач геодинамики ведутся исследования разномасштабной Рэлей-Бенаровской конвекции, которая присутствует в верхней мантии. Изучение конвекции в условиях различных геодинамических обстановок необходимо для понимания возможных механизмов движения тектонических плит и выявления закономерностей в активности вулканов.

В данной работе экспериментально изучается конвекция на созданной в ИТ СО РАН физической модели зоны субдукции. При создании модели использованы данные сейсмической томографии. Новизна полученных данных заключается в том, что исследования проведены в условиях геометрически и динамически подобной области Курило-Камчатской субдукции. Экспериментально исследованы статистические характеристики полей температуры в режимах термогравитационной конвекции, возбуждаемой за счет равномерного подогрева снизу и линейных источников тепла, моделирующих зоны спрединга. Данные были получены с помощью термопарных зондов. Получены профили средней температуры на разных расстояниях от кромки слэба. Обнаружено наличие низкочастотных колебаний, определены их характерные частоты и амплитуды. Расшифровка полученных данных совместно с видеопленками течений позволяют сделать вывод о Рэлей-Бенаровской природе вторичных течений в пограничных слоях у моделей земной коры. Вторичные мелкомасштабные ячейки на фоне крупномасштабного адвективного течения являются причиной модуляции температуры и локальных тепловых потоков под модельной континентальной и океанической корой. Выявлены структуры течения: адвективное течение и ячейки Бенара, возникающие из-за выхолаживания сверху.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук В. С. Бердников

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ АКУСТИЧЕСКОГО ПОЛЯ НА УСТОЙЧИВОСТЬ И СТРУКТУРУ ИМПАКТНЫХ МИКРОСТРУЙ

А. Б. Балбуцкий

Институт теоретической и прикладной механики
им. С. А. Христиановича СО РАН, г. Новосибирск
Новосибирский государственный университет

Импактные микроструи являются одной из наиболее часто встречающихся форм организации эффективного теплообмена в МЕМС-технологиях. Простота технической реализации струйных теплообменных аппаратов, а также чрезвычайно высокая интенсивность процессов переноса, связанной с сильной неустойчивостью микроструй, позволяет их использовать повсеместно [1].

В докладе приведены экспериментальные результаты влияния акустического поля на устойчивость и структуру плоской и круглой импактных микроструй.

Результаты эксперимента для плоской микроструи показывают образование пары вихревых дорожек распространяющихся в плоскости перпендикулярной большей стороне сопла.

Как было показано в работе [2] в горящей микроструе пропана хорошо визуализируются структуры образованные при наложении акустического поля. Это свойство позволяет качественно визуализировать структуру импактных микроструй. Учитывая это, были исследованы импактные микроструи и было показано, что при наложении акустического поля, происходит образование пары вихревых дорожек. Это свойство в корне отличает структуру импактной микроструи от импактной макроструи, когда реализуется другой тип неустойчивости.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №14-08-00201_а.

1. Козлов В.В., Грек Г.Р., Литвиненко Ю.А., Козлов Г.В., Литвиненко М.В. «Дозвуковые круглая и плоская макро- и микроструи в поперечном акустическом поле.», Вестник НГУ, серия: физика, 2010г., Том 5, выпуск 2, стр. 28-42.

2. Грек Г.Р., Катасонов М.М., Козлов В.В., Коробейничев О.П., Литвиненко Ю.А., Шмаков А.Г. «Особенности горения пропана в круглой и плоской макро- микроструях в поперечном акустическом поле при низких числах Ренольдса.», Вестник НГУ, серия: физика, 2013, том 8, выпуск 3, стр. 98-120.

3. International Conference on the Methods of Aerophysical Research, Abstracts, Part II. 2014. P. 10-11.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. В. В. Козлов

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ДЕТАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ ГАЗОЖИДКОСТНОГО ТЕЧЕНИЯ В ПРЯМОУГОЛЬНОМ МИКРОКАНАЛЕ

Г. В. Барткус

Институт теплофизики им. С. С. Кутателадзе СО РАН, г. Новосибирск

В настоящее время большое внимание уделяется исследованиям газожидкостных течений в микроканальных конструкциях. Это связано с их применением в различных областях современной техники: микроканальные теплообменники (системы охлаждения процессоров компьютера, электронного оборудования космических систем), химические микрореакторы, биотехнологии; и стимулируется возможностью эффективного управления процессами переноса в таких системах. При движении газожидкостных смесей в микроканалах в зависимости от расхода каждой фаз, геометрии микроканала и направления течения возникают новые режимы течения, такие как течение с удлинёнными пузырями, переходное и кольцевое течение. Большинство известных работ посвящено рассмотрению режимов течения и потерь на трение. Целью данной работы является отработка метода лазерной наведенной флюоресценции (LIF) для определения детальной структуры газожидкостного течения в прямоугольном микроканале, а именно формы мениска жидкости для течения с удлинёнными пузырями и кольцевого течения.

Изучено восходящее течение дистиллированной воды с добавкой родамина 6Ж и азота в вертикальном прямоугольном микроканале. С помощью полученных данных построены зависимости влияния расходных параметров газа и жидкости на форму мениска в углах канала. Эксперимент проводился на стенде для изучения двухфазных потоков в лаборатории многофазных сред Института теплофизики СО РАН с использованием микроканала с размерами меньше капиллярной постоянной. При помощи высокоскоростной камеры, лазера и метода LIF были получены изображения мениска и изучена его форма. В результате обработки изображений при различных углах наклона камеры показано, что при определенных углах постановки камеры влияние пленки жидкости на противоположной стороне канала на интенсивность переизлученного света можно не учитывать.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. В. В. Кузнецов

**СКОРОСТЬ РОСТА И ДВИЖЕНИЯ "КРАТЕРОВ"
В ГОРИЗОНТАЛЬНОМ СЛОЕ ЖИДКОСТИ ПРИ ЕГО
ИНТЕНСИВНОМ ИСПАРЕНИИ В УСЛОВИЯХ ПОНИЖЕННЫХ
ДАВЛЕНИЙ**

Д. Вайсс

Новосибирский государственный технический университет

В докладе представлены результаты исследования геометрических и кинематических характеристик структур, образующихся при испарении тонкого слоя жидкости на горизонтальной поверхности в условиях низких давлений. Под действием реактивной силы фазового перехода в слое образовывались структуры в форме "кратеров". "Кратеры" представляют собой углубление в жидкости с протяженным плоским микрослоем. Наличие микрослоя на днище "кратеров" отличает их от "сухих пятен", которые обычно наблюдаются при разрыве тонких слоев жидкости. Геометрические размеры и характер движения "кратеров" определяли по последовательности кадров, полученных видеосъемкой камерой с частотой съемки 240 кадр/сек. Всего было обработано одиннадцать видеофильмов, полученных при росте кратеров в диапазоне тепловых потоков от $9 \cdot 10^3$ до $3.5 \cdot 10^4$ Вт/м². В качестве рабочей жидкости использовалось вакуумное масло ВМ-1С, высота слоя которого определялась при помощи координатного механизма и составляла 4.4 мм. Давление в системе поддерживалось 67 Па.

При анализе видеоматериалов было получено, что в процессе испарения образуются два вида "кратеров":

- 1) Неподвижные "кратеры", которые не меняли своего местоположения в процессе роста;
- 2) Подвижные "кратеры", которые дрейфовали по поверхности нагрева.

Для "кратеров" были построены графики зависимости диаметра от времени и зависимость скорости роста диаметра от времени. Определен диапазон, в котором изменялись значения максимальных диаметров, а также время, в течение которого "кратер" достигает данных размеров, и диапазон скорости роста диаметра. Для подвижных "кратеров" были определены значения скорости движения фронта испарения по поверхности нагрева.

Научный руководитель – канд. техн. наук, доцент В. И. Жуков

РАСЧЕТ РАБОЧИХ РЕЖИМОВ ПУЛЬСАЦИОННОГО КРИООХЛАДИТЕЛЯ НА РАЗЛИЧНЫХ ЧАСТОТАХ РАБОТЫ

А. А. Воробьев, Г. В. Соколов

Самарский государственный аэрокосмический университет
им. С. П. Королева

В настоящее время газовые криогенные машины (ГКМ) получили широкое применение благодаря их компактности и эффективности. Криогенные пульсационные охладители (КПО) по сравнению с криоохладителями других видов (ГКМ Стирлинга или ГКМ Гиффорда-МакМагона) обладает конструктивным преимуществом: этот вид холодильной машины сделан без движущейся части в холодной зоне устройства, что делает его широко применимым. Охладители этого типа применяются в технологическом процессе производства полупроводников, сжижения газов и в охлаждении ИК-приемников. По сравнению с ГКМ Стирлинга, КПО имеют ресурс работы на порядок выше, что очень важно для их применения на борту космического аппарата.

Целью работы является исследование рабочих процессов в КПО с помощью аналитического и численного моделирования. В работе был произведен анализ температуры охлаждения машины при различных давлениях и частотах движения поршня, и выявлены графические зависимости основных параметров. Разработана методика численного моделирования рабочего цикла КПО с помощью САЕ-систем. Расчет проводился при среднем давлении 1,41 МПа и частоте движения поршня 55 Гц. При объеме ресивера 367 см^3 за 40 секунд работы машины достигается температура 133 К, а при объеме 253 см^3 – 130 К.

Научный руководитель – канд. техн. наук Д. В. Сармин

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА ГАЗОВОЙ КРИОГЕННОЙ МАШИНЫ СТИРЛИНГА

А. А. Воробьев, Г. В. Соколов

Самарский государственный аэрокосмический университет
им. С.П. Королева

Газовые криогенные машины (ГКМ) получили широкое применение благодаря компактности и эффективности. Холодильные машины Стирлинга отличаются большей энергетической эффективностью по сравнению с парокompрессионными холодильными машинами.

ГКМ Стирлинга применяются для охлаждения сверхпроводников и полупроводников, а также для охлаждения ИК-приемников в оптико-электронных системах. Получение наиболее эффективной модели ГКМ Стирлинга является важной задачей в области криогеники.

В данной работе рассматривается одна из возможных моделей ГКМ Стирлинга малых габаритов. Произведен анализ работы машины при различных давлениях и частотах движения поршней, и выявлены графические зависимости основных параметров. Построение модели криоохладителя, а также расчет ее работы выполнен с помощью САЕ-систем.

Расчет показал, что при среднем давлении 1,7 МПа и частоте движения поршня 40 Гц за 10 секунд работы машины достигается температура 178 К, а при том же давлении, но частоте 60 Гц, 164 К. При внешних давлениях 1,4 МПа и 2,2 МПа температура охлаждения машины на данном этапе увеличивается: для частоты 40 Гц – 202 К и 191 К соответственно; для частоты 60 Гц – 194 К и 184 К соответственно.

Научный руководитель – канд. техн. наук, доцент Д. А. Угланов

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОЧИХ ПРОЦЕССОВ ПУЛЬСАЦИОННОГО КРИООХЛАДИТЕЛЯ

А. А. Воробьев, Г. В. Соколов

Самарский государственный аэрокосмический университет
им. С. П. Королева

Криогенный пульсационный охладитель (КПО) по сравнению с криоохладителями других видов (ГКМ Стирлинга или ГКМ Гиффорда-МакМагона) обладает конструктивным преимуществом: этот вид холодильной машины выполнен без движущейся части в холодной зоне устройства, что делает его широко применимым. Охладители этого типа применяются в технологическом процессе производства полупроводников, процессах ожижения газа и для охлаждения ИК-приемников. По сравнению с ГКМ Стирлинга, КПО имеют ресурс работы на порядок выше, что очень важно для их применения на борту космического аппарата.

Целью работы является исследование рабочих процессов в КПО с помощью численного моделирования. Модель охладителя выполнена в U-образной форме для обеспечения компактности установки. В работе был произведен анализ работы машины при различных давлениях и частотах движения поршня, а также при определенных изменениях геометрии конструкции. Выявлены графические зависимости основных параметров. Разработана методика численного моделирования рабочего цикла КПО с помощью САЕ-систем.

Расчет показал, что при среднем давлении 2,45 МПа, частоте движения поршня 50 Гц и различных длинах регенератора (50, 75, 100 мм) за минуту работы машины в холодном конце КПО достигаются температуры 177,5 К, 178 К и 179 К соответственно. При среднем давлении 2,1 МПа, той же частоте и тех же длинах регенератора достигаются температуры 175 К, 179 К и 180 К соответственно.

Научный руководитель – С. О. Некрасова

ИССЛЕДОВАНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ ПУЗЫРЬКОВЫХ ТЕЧЕНИЙ В ЖИДКОСТЯХ

М. А. Воробьев

Институт теплофизики им. С. С. Кутателадзе СО РАН, г. Новосибирск
Новосибирский государственный университет

В пузырьковых течениях даже с весьма малым объемным газосодержанием наличие пузырей оказывает существенное влияние на тепло- и массообменные процессы. Так же особое влияние на структуру потоков оказывает размер газовых включений. Наиболее ярко эффекты проявляются в монодисперсной смеси. Исследование формирования мелкодисперсных пузырьковых течений стимулируется возможностью управления тепловыми процессами с помощью генерации пузырей соответствующих размеров, что делает их привлекательными для использования в науке и технологиях. Данная работа посвящена систематическому экспериментальному исследованию влияния расходных параметров жидкости и газа, положения точки ввода газа, а так же свойств жидкости на размер газовых включений и величину разброса их размеров.

Эксперимент проводился на гидродинамическом стенде для изучения двухфазных потоков в лаборатории физико-химической гидромеханики Института теплофизики СО РАН. Конструкция экспериментальной установки позволяла изменять расходные параметры жидкости и газа, способ ввода газа в поток и проводить исследование отрыва пузыря в потоке при различных температурах рабочей жидкости. Проведены эксперименты с различными жидкостями (вода, глицерин, спирт), что позволило существенно расширить диапазон безразмерных параметров двухфазных течений. При помощи видеокамеры были получены теневые изображения пузырьковых течений.

В результате экспериментальной работы были получены зависимости размеров пузыря от расходов жидкости и газа, способа ввода газа в поток, а так же свойств жидкости. Показано, что форма гистограммы распределения пузырей по размерам может качественно изменяться при изменении безразмерных параметров течения. Исследованы различные режимы отрыва пузыря от капилляра. Показано, что при одинаковых расходных параметрах жидкости и газа средний диаметр пузырей меньше в случае отрыва от капилляра, расположенного в центральной области канала.

Научный руководитель – канд. техн. наук П. Д. Лобанов

ГАЗОЖИДКОСТНОЕ ТЕЧЕНИЕ В НАКЛОННОМ ПЛОСКОМ КАНАЛЕ

А. Е. Гореликова

Институт теплофизики им. С. С. Кутателадзе СО РАН, г. Новосибирск
Новосибирский государственный университет

Проблема моделирования газожидкостных потоков стоит особенно остро из-за необходимости использования многочисленных гипотез, предположений и упрощений. Из-за сложности структуры течения часто невозможно теоретически описать его поведение и приходится использовать эмпирические данные. Поэтому, экспериментальное изучение газожидкостных потоков является актуальным.

Данные, представленные в литературе на настоящий момент, хорошо описывают пузырьковые течения в вертикальных и горизонтальных трубах с круглым сечением. Много меньше внимания уделяется каналам с отличным от круглого сечениями, а также трубам и каналам, расположенным под наклоном, в то время как ориентация канала может оказывать существенное влияние на структуру газожидкостного потока.

Согласно данным, полученным в предыдущих работах, наибольший интерес представляют углы наклона канала $\theta \approx 30^\circ - 60^\circ$, так как в этом диапазоне выявлено наибольшее влияние газа на трение и теплообмен. В данной работе диаметр газовых пузырей исследовался при наклонах канала в диапазоне $\theta \approx 30^\circ - 60^\circ$ при различных расстояниях от места ввода газовой фазы в поток жидкости.

Исследования проводились при значении числа Рейнольдса $Re = 12400$. Диаметр газовых пузырей определялся с помощью теневого метода. Было показано, что с ростом объемного расходного газосодержания β диаметр газовых пузырей увеличивается. При сравнении данных, полученных на различных расстояниях от генератора пузырей, можно сказать, что основной рост диаметра газовых пузырей за счет коалесценции происходит на расстояниях до 400 мм от места ввода газа в поток. Так же на различных расстояниях от генераторов пузырей рассматривалось поведение заполненности пузырькового слоя ϕ – оценочной характеристики, являющейся процентом площади занимаемой пузырями на снимке. Поведение данной величины в зависимости от объемного расходного газосодержания сходно с поведением трения и теплообмена.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук В. В. Рандин

МЕТОД МОНТЕ-КАРЛО В ЗАДАЧЕ РАДИАЦИОННО- КОНДУКТИВНОГО ТЕПЛООБМЕНА В ПЛОСКОМ СЛОЕ ПОГЛАЩАЮЩЕЙ СЕРОЙ СРЕДЫ

М. А. Гришин

Новосибирский государственный университет,
Институт теплофизики им. С. С. Кутателадзе СО РАН, г. Новосибирск

Для решения задач радиационно-кондуктивного теплообмена (РКТ), а также задач РКТ с последующим фазовым переходом первого рода хорошо зарекомендовали себя дифференциальные методы расчета уравнения переноса излучения одним из которых является модифицированный метод средних потоков (СП-метод) [1]. Быстрая сходимость с приемлемой точностью является одним из главных преимуществ этого метода.

Одной из причин хорошей работы СП-метода является простая геометрия решаемых задач. Однако неясно как метод себя проявит в 2D- и 3D-мерных постановках задач. В этой связи, есть смысл развивать другой метод, хорошо адаптированный к решению сложных, сопряженных с оптикой, задач. Выбор пал на метод Монте-Карло, как удовлетворяющий данному требованию.

Таким образом, целью работы является адаптация стохастического метода Монте-Карло к задаче РКТ в плоском слое поглощающей серой среды. Данный подход позволит в будущем распространить использование метода Монте-Карло на сложные, не одномерные оптические задачи.

В работе проведено численное исследование формирования температурных полей и радиационных потоков в процессе нагрева полупрозрачной серой среды с абсолютно поглощающими диффузно излучающими границами. Также проведено согласование с известными расчетными результатами [2].

1. Рубцов Н.А., Тимофеев А.М., Пономарев Н.Н. О поведении коэффициентов переноса в прямых дифференциальных методах теории радиационного теплообмена в рассеивающих средах // Изв. СО АН СССР. Сер. Техн. наук. - 1987. - Вып. 5, № 18. - С.3 - 8.

2. Рубцов Н. А., Саввинова Н. А., Слепцов С.Д. Однофазная задача Стефана для полупрозрачной среды с учетом отражения излучения // Теплофизика и аэромеханика, 2003, т. 10, №2, с. 255-264

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук С. Д. Слепцов

ЧИСЛЕННЫЙ РАСЧЁТ ТЕПЛОВЫХ И ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ЭЛЕКТРОПРОГРЕВЕ ДОБЫВАЮЩИХ СКВАЖИН

А. С. Должиков, И. С. Зверева

Самарский государственный технический университет

При бурении и последующей эксплуатации нефтяных скважин в призабойной зоне образуются органические и неорганические структуры, приводящие к повышению фильтрационного сопротивления и снижению производительности скважин. Для снижения фильтрационного сопротивления и восстановления потенциальной производительности скважин необходимо разрушение этих структур в процессе физико-химической обработки. Применяемые для этого тепловые методы интенсификации притока скважинной жидкости часто необоснованны, параметры этих методов неоптимизированны и имеют низкую эффективность.

В связи с этим возникает необходимость построения и анализа простой математической модели прогрева скважины и пласта и проведения с помощью этой модели оценки эффективности, например, электропрогрева скважины.

Рассмотрена плоско-радиальная однотемпературная задача распространения тепла от нагреваемой скважины в пласт и фильтрационного течения холодного флюида к скважине. Разработана математическая модель неизотермического течения вязкой жидкости к скважине, включающая уравнения переноса тепла в цилиндрических координатах, уравнение неразрывности, закон Дарси для скорости фильтрации жидкости. Зависимость вязкости от температуры принималась экспоненциальной. Поставленная задача решалась методом конечных разностей по неявной схеме. Оценки показывают, что время гидродинамической стабилизации намного меньше тепловой. Поэтому, для решения тепловой задачи, можно выбрать развитый профиль течения под действием постоянного градиента давления.

Анализ показал, что профиль температуры в пористой среде сильно зависит от начальной скорости фильтрации жидкости- критерия Пекле, отношения конвективного теплопереноса к кондуктивному. При больших значениях Пекле конвективный поток холодной фильтрующейся жидкости прижимает зону прогрева к скважине, при малых – зона прогрева определяется теплопроводностью пористого скелета.

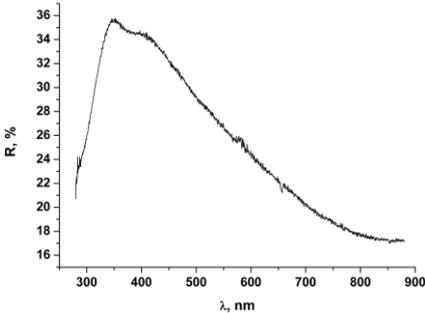
Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, доцент А. В. Тютяев

ОПТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЛЫХ НАНОЧАСТИЦ γ - Al_2O_3 , СИНТЕЗИРОВАННЫХ ЭЛЕКТРОДУГОВЫМ МЕТОДОМ

Н. А. Калужный

Новосибирский государственный университет

Институт физики полупроводников им. А. В. Ржанова, г. Новосибирск



Известно, что оптические характеристики оксидных микро- и нанокристаллов существенно зависят от фазового состава, наличия дефектов структуры и морфологии кристаллов.

В данной работе изучены оптические характеристики, полых наночастиц γ - Al_2O_3 . Данные наночастицы получены путем термообработки нанокompозита Al_4C_3 :C, синтезированного электро-

дуговым методом. Морфологию полых наночастиц исследовали методом ПЭМ ВР с использованием электронного микроскопа JEM2200 FS. Фазовый состав нанокompозита и продуктов его термообработки установлен рентгенофазовым анализом (РФА) с использованием дифрактометра Bruker D8 Advanced (монохроматическое $\text{Cu K}\alpha$ -излучение, $\lambda = 1.5418 \text{ \AA}$). Измерения проводили в диапазоне углов 10 – 75° с шагом $2\theta = 0,05$ градуса и временем накопления в каждой точке 1 секунду, с применением линейного детектора Lynxeye (1D). На рисунке показан оптический спектр «на отражение», полученный на спектрометре «Калибри» при помощи зонда отражения/обратного рассеяния в области 290–890 нм. Спектр полых частиц γ - Al_2O_3 демонстрирует максимум отражения в УФ-области при 300 нм, в области $\lambda < 400$ нм наблюдается сильное поглощение. Далее, в видимой области спектра 400–760 нм, наблюдается непрерывное монотонное снижение отражения. В ближней области ИК диапазона, $\lambda = 760$ – 900 нм в образце наблюдается слабое отражение и, следовательно, сильное поглощение. Такое поведение не свойственно оксидам и может быть вызвано оптическим поглощением или специфическим рассеянием полых наноструктур Al_2O_3 .

Автор выражает благодарность к.х.н. И.Б. Троицкой, д.ф.-м.н. С.А. Новопашному, д.ф.-м.н. Д.В. Смвжу и к.х.н. В.Р. Шаяпову за помощь в получении экспериментальных данных.

Научный руководитель – канд. физ.-мат.наук В. В. Атучин

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДВУХКОМПОНЕНТНЫХ ПОТОКОВ НЕСМЕШИВАЮЩИХСЯ ЖИДКОСТЕЙ В МИКРОКАНАЛАХ.

А. В. Ковалев, А. А. Ягодница

Институт теплофизики им. С. С. Кутателадзе СО РАН, г. Новосибирск

На сегодняшний день наблюдается повышенный интерес к описанию гидродинамических процессов на микромасштабах. Этот интерес вызван тем, что практическое применение микроустройств таких как микрореакторы, микромиксеры и т.д. может существенно повысить эффективность технологических процессов. Особенно значительные результаты позволило получить применение микроканальных устройств в биологии и медицине [1]. Но для эксплуатации микроканалов необходимо детальное изучение всех аспектов течений внутри них, которые на данный момент изучены недостаточно.

Данная работа посвящена изучению двухкомпонентных потоков несмешивающихся жидкостей, в микроканалах Т-типа изготовленных из полимера SU-8, основным отличием от других работ и новизной является то, что обе жидкости смачивают стенки канала. Данное обстоятельство существенно влияет на все процессы, протекающие в канале.

В рамках проделанной работы проведена визуализация течений в широких диапазонах чисел Вебера, включающих режимы с доминированием капиллярных сил и сил инерции, для разных наборов жидкостей. Были зафиксированы основные режимы течения: параллельный, скользяще-снарядный, дисперсный, ривулетный, снарядный, построены карты режимов. Хорошая смачиваемость канала обоими компонентами проявилась в существовании ривулентного и отсутствии кольцевого режима течения. При больших числах Вебера была обнаружена новая разновидность параллельного режима течения, названная серпантинным режимом. Анализ полученных режимных карт показал, что карты для различных наборов жидкостей являются подобными, обобщение результатов возможно при использовании модифицированного безразмерного критерия – числа Вебера помноженного на отношение вязкостей двух жидкостей.

1. T. M. Tran, F. Lan, C. S. Thompson, and A. R. Abate, “From tubes to drops: droplet-based microfluidics for ultrahigh-throughput biology”, *J. Phys. D: Appl. Phys.* 46. 2013, 114004;

Научный руководитель: канд. физ.-мат. наук А. В. Бильский

СЖИГАНИЕ ЖИДКОГО УГЛЕВОДОРОДНОГО ТОПЛИВА С ПАРОВОЙ ГАЗИФИКАЦИЕЙ

Е. П. Копьев

Институт теплофизики им. С. С. Кутателадзе СО РАН, г. Новосибирск
Новосибирский государственный университет

Дефицит качественных видов топлива, используемых в теплоэнергетике, обуславливает интерес к доступным низкокачественным видам топлив (в том числе – горючим производственным отходам: отработанным маслам и смазочным жидкостям, отходам нефтепереработки и др.). Их широкое использование в топливно-энергетическом балансе сдерживается отсутствием технологий сжигания, отвечающих современным требованиям эффективности и экологической безопасности. Этим обусловлена актуальность поиска и научного обоснования новых способов сжигания жидких углеводородов. Предварительные исследования, проведенные в ИТ СО РАН на оригинальных горелочных устройствах мощностью 10-50 кВт, показали, что при подаче в зону горения перегретого водяного пара горение жидких углеводородов резко интенсифицируется. Данный способ сжигания топлива может оказаться перспективным для утилизации низкокачественных топлив и опасных отходов с производством тепловой энергии. Создание горелочных устройств, работающих в таком режиме, нуждается в научном обосновании новых технических решений, обеспечивающих высокую энергоэффективность и экологическую безопасность технологии, имеющей широкую область практического применения.

В данной работе на примере дизельного топлива исследован процесс сжигания топлива при паровой газификации в лабораторной модели горелочного устройства. Целью этапа исследований является получение данных о газовом составе продуктов сгорания топлива в различных режимах и тепловых характеристиках факела горелочного устройства. Для проведения газового анализа использовался газоанализатор ТЕСТ-1. Для режима паровой газификации показано существенное уменьшение концентрации NO_x в продуктах сгорания по сравнению с режимом без подачи перегретого пара. Распределение средней температуры в факеле измерено с использованием тепловизионной камеры. Полученные данные сопоставлены с результатами термопарных измерений. Наличие максимума температуры факела ($\sim 1500^\circ\text{C}$) на некотором расстоянии от среза горелки позволяет сделать вывод о неполном сгорании продуктов газификации в камере сгорания и догорании смеси во внешней атмосфере.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук О. В. Шарыпов

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗВИТИЯ МЕЖФАЗНОЙ ПОВЕРХНОСТИ САМОПОДДЕРЖИВАЮЩЕГОСЯ ФРОНТА ИСПАРЕНИЯ

Д. В. Кузнецов

Институт теплофизики им. С. С. Кутателадзе СО РАН, г. Новосибирск
Новосибирский государственный университет

Явление самоподдерживающихся фронтов испарения, образующихся на теплоотдающей поверхности, было обнаружено достаточно давно, но до сих пор нет систематических исследований направленных на изучение физики данного процесса. Существует достаточное количество приближенных моделей лишь удовлетворительным образом описывающих распространение фронтов испарения. Целью работы является изучение динамических характеристик и структуры самоподдерживающегося фронта испарения, а так же линейный анализ устойчивости межфазной поверхности с позиции неустойчивости Ландау.

Эксперименты проводились на фреоне-R21. Жидкость в данных опытах находилась на линии равновесия с паром при приведенном давлении $P/P_{cr} = 0.037$ (0.193 МПа). В качестве рабочего участка использовалась трубка из нержавеющей стали внешним диаметром 3 мм. На нагреватель подавался импульс тока, обеспечивающий темп разогрева стенки 2180 К/с.

Определены амплитудно-частотные характеристики пульсаций межфазной поверхности самоподдерживающегося фронта испарения. Обнаружено, что частота пульсаций резко возрастает с ростом метастабильности жидкости в тепловом слое у теплоотдающей поверхности. В проходящем свете лазера удалось получить теневую картину теплового слоя, а также формирования мелкомасштабных возмущений на межфазной поверхности с их последующим развитием.

На основе анализа гидродинамической неустойчивости построена диаграмма устойчивости развития межфазной поверхности, определены частоты колебаний межфазной поверхности в устойчивой области и инкремент нарастания в неустойчивой области для различных величин волнового числа.

Результаты проведенной серии опытов при микрогравитации выявили отсутствие влияния силы тяжести на скорость распространения фронта испарения, его частотные характеристики и форму, что обусловлено преобладающим влиянием мелкомасштабных быстрорастущих возмущений при высоких перегревах жидкости.

Научный руководитель – канд. техн. наук В. Е. Жуков

ПРЯМОЕ СТАТИСТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗЛЕТА ОБЛАКА ПРИ ИМПУЛЬСНОМ ИСПАРЕНИИ БИНАРНОГО ВЕЩЕСТВА

М. Л. Миронова

Институт теплофизики им. С. С. Кутателадзе СО РАН, г. Новосибирск

Исследование импульсного испарения представляет интерес применительно к лазерной абляции вещества. Процесс лазерной абляции твердых материалов широко используется в современных технологиях, связанных с напылением пленок, обработкой поверхности, получением кластеров и т.д. [1, 2]. В результате газодинамических процессов во время разлета происходит перераспределение энергии и меняется конфигурация и состав облака, что важно учитывать при анализе экспериментальных данных. При абляции многокомпонентных материалов рассмотрения газодинамических процессов становится еще более важным, поскольку имеет место перенос энергии между компонентами. В настоящее время теория газодинамических процессов при лазерной абляции многокомпонентных веществ слабо разработана, что обуславливает актуальность соответствующих теоретических исследований.

Особое внимание в данной работе уделяется анализу времяпролетных распределений, поскольку они являются одним из основных инструментов для анализа динамики и механизмов лазерной абляции. В настоящий момент теория времяпролетных распределений слабо разработана. Анализ разделения компонент смеси может быть использован для расшифровки времяпролетных распределений с целью определения условий абляции.

В данной работе представлены результаты по разделению компонент бинарной смеси газов на основе прямого статистического моделирования разлета газа при импульсном испарении в вакуум. Получена универсальная зависимость отношений кинетических энергий тяжелой и легкой компонент смеси от числа испаренных монослоев.

Полученные данные могут быть использованы для определения условий абляции (количества испаренного вещества и температуры поверхности) из экспериментальных времяпролетных распределений.

-
1. Laser Processing and Chemistry / D. Bauerle. Berlin: Springer, 2011.
 2. Pulsed Laser Deposition of Thin Films / D. B. Chrisey and C. K. Hubler (Eds.). New York: Wiley, 1994.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук А. А. Морозов

НЕСТАЦИОНАРНЫЙ РЕЖИМ ТЕЧЕНИЯ В ВОЗДУШНОЙ МОДЕЛИ ОТСАСЫВАЮЩЕЙ ТРУБЫ ГИДРОТУРБИНЫ

А. С. Митряков, И. В. Литвинов

Новосибирский государственный университет

Институт теплофизики СО РАН им. С. С. Кутателадзе, г. Новосибирск

В условиях растущего энергопотребления гидроэлектростанции берут на себя задачу регуляции электрической энергии сети, что ведёт к работе в режимах недогрузки или перегрузки. При таких режимах формируется вихревой жгут в конусе отсасывающей трубы (ОТ), снижающий эффективность гидротурбины и порождающий сильные периодические пульсации давления, передающиеся всему столбу воды ГЭС. Эти пульсации могут являться причиной снижения срока эксплуатации и поломки оборудования.

На сегодняшний момент основным инструментом расчёта и оптимизации геометрии ОТ являются численные расчёты, но неоднозначность выбора численной модели турбулентности не даёт уверенности в расчётах. Так как проведение экспериментов на натуральных ОТ является дорогостоящим и сложным, то используются различные геометрически подобные модели ОТ, в том числе аэродинамические. Например, в работе [1] была показана возможность экспериментального моделирования течения в проточной части гидротурбины, используя в качестве рабочей среды воздух. В этом контексте, целью данной работы было исследование нестационарных режимов с формированием вихревого жгута в воздушной модели отсасывающей трубы. Для измерения скорости потока в модели была использована двухкомпонентная система ЛДА, а для регистрации пульсаций давления на стенках ОТ была использована пара акустических датчиков.

В ходе работы удалось определить область нестационарных режимов течения в модели ОТ, доказать существование вихревого жгута при условиях недогрузки, наглядно показать эволюцию структуры потока при варьировании входных условий стенда.

1. Nishi Michihiro, Yano Masahiro, Miyagawa Kazuyoshi. A preliminary study on the swirling flow in a conical diffuser with jet issued at the center of the inlet // Sci. Bull. "Politehnica" Univ. Timisoara Trans. Mech. - 2007. - Vol. 52(66). - P. 198–202.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук С. И. Шторк

**ПУЛЬСАЦИИ ТЕМПЕРАТУРЫ, ДАВЛЕНИЯ И ТЕПЛОВЫХ
ПОТОКОВ ПРИ ИНТЕНСИВНОМ ИСПАРЕНИИ
ГОРИЗОНТАЛЬНОГО СЛОЯ ЖИДКОСТИ В УСЛОВИЯХ
ПОНИЖЕННЫХ ДАВЛЕНИЙ**

Ю. В. Нагайцева

Новосибирский государственный технический университет

В работе представлены результаты анализа экспериментов по испарению тонкого слоя жидкости под вакуумом. В качестве рабочей жидкости использовалось минеральное вакуумное масло VM – 1С, испарявшееся на поверхности нагрева из нержавеющей стали диаметром 120 мм при давлении насыщения над слоем 67 Па. Высота слоя изменялась в диапазоне от 0.7 до 4.4 мм. Особенности испарения жидкости из тонкого слоя при пониженном давлении состоят в том, что в слое формируются структуры в форме «воронок» и «кратеров» под действием реактивной силы фазового перехода. «Воронки» образуются при малых тепловых потоках. «Кратеры» образуются в слое вплоть до кризиса осушения поверхности. Образование «кратеров» сопровождается большими пульсациями давления, которые могут превышать общее давление в рабочей камере. В данной работе наблюдалось повышение температуры жидкости в области вне «кратера» в соответствии с повышением давления. В работе приведено сопоставление пульсаций температур и давлений. Приводятся экспериментальные зависимости плотности теплового потока от температурного напора. Выполнено сравнение полученных экспериментальных данных с известными расчетными зависимостями Ягова, Розенау и Кутателадзе.

Научный руководитель – канд. техн. наук, доцент В. И. Жуков

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ И ИЗЛУЧАТЕЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ПОРИСТЫХ ГОРЕЛОК

Е. С. Одинцов

Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток

В связи с существующей потребностью в тепловых источниках энергии с регулируемыми температурными и мощностными характеристиками, необходима разработка высокоэффективных методов утилизации тепла от сгорания газообразных углеводородов. Метод фильтрационного горения отличается высокой эффективностью, экологичностью и простотой реализации технических устройств на его основе.

В настоящей работе были экспериментально исследованы температурные и излучательные характеристики цилиндрических пористых горелок, изготовленных методом СВС. Получены зависимости температуры пористого каркаса, мощности полного потока излучения и излучательной эффективности горелок от расхода и состава смеси. Обнаружено, что при одних и тех же расходах и составах метано-воздушной смеси возможно существование двух различных режимов горения, "внешнего" и "внутреннего". В первом случае пламя стабилизируется вблизи внешней поверхности горелки, а во втором во внутренней полости пористой оболочки. Реализация того или иного режима горения зависит от условий инициирования пламени.

Экспериментально показано, что для "внутреннего" режима горения характерны более высокие температуры внешней поверхности горелки, большая мощность теплового излучения и излучательная эффективность, а также более равномерная светимость пористого тела, по сравнению с "внешним" режимом горения. Представленные результаты позволяют сделать вывод о предпочтительности "внутреннего" режима горения с точки зрения достижения максимальных температурных и излучательных характеристик цилиндрических пористых горелок.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки РФ (договор № 14.У26.31.0003) и НФ Дальневосточного федерального университета.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук. Р. В. Фурсенко, канд. техн. наук А. И. Кирдяшкин

РАЗРАБОТКА ДАТЧИКА АЭРОЗОЛЬНЫХ ЧАСТИЦ

М. А. Роенко

Новосибирский государственный университет
АО "Тион Умный микроклимат"

Ежегодно в атмосферный воздух выбрасывается миллионы тонн загрязняющих веществ, которые способны проникать в организм человека и поражать жизненно важные органы. Существует множество различных воздухоочистительных систем, которые позволяют задержать даже самые опасные для человека частицы. Но данные очистительные системы в большинстве случаев используются не рационально, что приводит к высокому потреблению электроэнергии.

Так как степень загрязнения воздуха варьируется в течение времени, не всегда требуется включение очистительных систем на полную мощность. В таком случае следует использовать датчик, который определит уровень загрязненности воздуха и выставит нужный уровень мощности очистительной системы, а также определит момент времени, когда воздух очищен, и дальнейшая очистка не требуется. Такие датчики существуют, однако их точность оставляет желать лучшего, все они производятся в других странах и имеют довольно высокую цену.

Данная работа посвящена разработке датчика аэрозольных частиц для контроля концентрации загрязнений в воздухе. В ходе анализа методов подсчета частиц было выявлено, что наиболее подходящим для датчика является оптический метод детекции (светорассеяние). Данный метод подразумевает использование источника излучения, а также приемника для рассеянного излучения. Было проведено моделирование светорассеяния для оптимизации расположения пары источник-приемник и длины волны источника. Для тестирования различных пар источник-приемник был разработан тестовый стенд.

Данный датчик позволит достаточно точно измерять концентрацию аэрозольных частиц в воздухе, что в свою очередь позволит экономить электроэнергию за счет экономичного и эффективного использования очистительных систем.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук М. А. Юркин

**ДВУХФАЗНОЕ ТЕЧЕНИЕ В ГОРИЗОНТАЛЬНОМ
ПРЯМОУГОЛЬНОМ МИКРОКАНАЛЕ ВЫСОТОЙ 300 МКМ**

Ф. В. Роньшин

Институт теплофизики им. С. С. Кутателадзе СО РАН, г. Новосибирск
Новосибирский государственный университет

Существующие системы охлаждения (преимущественно пассивное охлаждение) и системы жидкостного охлаждения не позволяют достичь современных требований по отводу тепла от тепловыделяющих элементов высокой мощности. В настоящее время происходит революционное развитие теплообменных систем с микро и нано размерами, которые оказываются гораздо более энергоэффективными, чем макросистемы с размерами каналов 3-10 мм. При уменьшении толщин плоских каналов, отношение поверхности к объему канала увеличивается обратно пропорционально его минимальному поперечному размеру, что обуславливает высокую интенсивность теплообмена в микросистемах.

В [1] проведено сравнение каналов различной геометрии и размеров. Показано, что в большинстве публикаций рассматриваются относительно длинные каналы, в которых условия ввода жидкости и газа в канал не оказывают существенного влияния на структуру двухфазного потока. Короткие каналы имеют более широкие перспективы использования в технических приложениях, например, в биочипах и устройствах охлаждения микроэлектроники. Изучение газо-жидкостных течений в коротких горизонтальных микрочаналах выполнено в [2, 3]. Несмотря на актуальность исследования двухфазных течений в коротких каналах, количество публикаций по этой теме весьма ограничено.

В данной работе выполнено экспериментальное исследование течения двухфазного потока в прямоугольных коротких горизонтальных каналах сечением 0.3x10, 0.3x20 и 0.3x30 мм. Показано, что изменение высоты горизонтального канала оказывает существенное влияние на границы между режимами.

1. Чиннов Е.А., Кабов О.А. Двухфазные течения в трубах и капиллярных каналах // ТВТ. 2006. Т. 44. № 5. С. 777.

2. Чиннов Е.А., Роньшин Ф.В., Гузанов В.В., Маркович Д.М., Кабов О.А. Двухфазное течение в горизонтальном прямоугольном микроканале // ТВТ. 2014. Т. 52. № 5. С. 710.

3. Чиннов Е.А., Роньшин Ф.В., Кабов О.А. Особенности течения двухфазного потока в прямоугольном микроканале высотой 300 мкм// ТиА. 2014. Т. 21. № 6. С. 791

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук Е. А. Чиннов

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫСОКОСКОРОСТНОГО ГАЗОКАПЕЛЬНОГО ТЕЧЕНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДОВ ОПТИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ

М. Н. Рябов

Институт теплофизики им. С. С. Кутателадзе СО РАН, г. Новосибирск
Новосибирский государственный университет

В настоящее время в научной литературе представлен обширный экспериментальный материал, касающийся динамики крупных капель (порядка миллиметра) в высокоскоростных потоках, в то время как для капель субмиллиметрового размера подобные данные практически отсутствуют. В настоящей работе представлено исследование динамики субмиллиметровых капель жидкости при движении в высокоскоростном ($\approx 1,6$ М) воздушном потоке. При исследовании применялся ряд современных методов оптической диагностики, как-то: анемометрия по изображениям частиц (PIV) для определения скорости потока газовой фазы; теневой фоновый метод (BOS) для регистрации положения фронта ударной волны (УВ); регистрация изображений с люминесцентной фоновой подсветкой (SP) для определения размера и формы капель. Предложенный набор методов позволяет заявить о новизне подхода к исследованиям такого типа.

Работа проводилась на газокапельном стенде, оснащеном плоским профилированным сверхзвуковым соплом. Частицами-трассерами для отслеживания скорости потока выступали частицы водоглицериновой смеси микронного размера, засев которыми производился при помощи генератора аэрозоля на модифицированных соплах Ласкина. Капли генерировались при помощи пневматической форсунки, устанавливавшейся на дозвуковом участке сопла.

Измерения скорости продемонстрировали значительное отставание капельной фазы от газовой на участке ускорения потока, и выравнивание скоростей за фронтом УВ. Визуализация с фоновой подсветкой позволила определить, что размеры капель, в основном, лежали в диапазоне от 19 до 31 мкм. На сверхзвуковом участке потока было обнаружено дробление капель, число Вебера для которых приближалось к 100, а для капель размером 20-40 мкм, число Вебера для которых составляло 25-50, тенденции к разрушению зарегистрировано не было.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук А. В. Бильский

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕМПЕРАТУРОПРОВОДНОСТИ ГАДОЛИНИЯ В ИНТЕРВАЛЕ ТЕМПЕРАТУР ОТ ТОЧКИ КЮРИ ДО 1000°С

Д. А. Самошкин, А. Ш. Агажанов

Институт теплофизики им. С. С. Кутателадзе СО РАН, г. Новосибирск

В настоящее время гадолиний широко используется в электронике и атомной технике и продолжает открывать все новые и новые области своего применения. Но, не смотря на это, его транспортные свойства исследованы недостаточно подробно. В этой связи целью настоящей работы являлось экспериментальное исследование коэффициента температуропроводности a поликристаллического гадолиния в широком интервале температур от комнатной до 1000°С, включая область магнитного фазового перехода. Измерения проводились методом лазерной вспышки с погрешностью 2 – 4%.

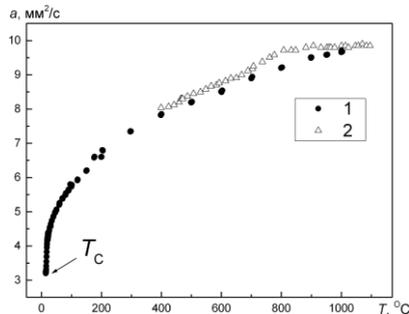


Рис. 1. Коэффициент температуропроводности гадолиния. 1 – наши данные, 2 – [1].

Первичные результаты измерения температуропроводности гадолиния представлены на рис. 1. Как видно из рисунка, наши данные охватывают широкий температурный интервал (14 – 1000°С) с подробным исследованием поведения $a(T)$ в окрестности точки Кюри $T_C = 19,4^\circ\text{C}$. В пределах погрешности измерений полученные результаты согласуются с данными работы [1].

1. Куриченко А. А., Ивлиев А. Д., Зиновьев В. Е. Исследование теплофизических свойств редкоземельных металлов с использованием модулированного лазерного излучения // Теплофизика высоких температур. – 1986. – Т. 24, № 3. – С. 493-499.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. С. В. Станкус

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ МЕТОДОВ ВИЗУАЛИЗАЦИИ И ТЕРМОГРАФИИ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ТЕПЛООБМЕНА ПРИ КИПЕНИИ

В. С. Сердюков^{1,2}, А. С. Суртаев²

¹Новосибирский государственный университет

²Институт теплофизики им. С. С. Кутателадзе СО РАН, г. Новосибирск

На сегодняшний день, несмотря на многочисленные исследования, существует ряд фундаментальных вопросов, связанных с основными механизмами теплопереноса при кипении жидкости. Развитие в последнее время новых экспериментальных методов с высоким временным и пространственным разрешением позволяет получить принципиально новую информацию, которая необходима для более глубокого понимания процесса теплообмена при кипении, а также для построения новых теоретических моделей. В данной работе представлены результаты экспериментального исследования теплообмена при кипении жидкости, полученные с использованием высокоскоростной инфракрасной видеосъемки и высокоскоростной цифровой визуализации.

Эксперименты по кипению были проведены в условиях большого объёма. В качестве рабочей жидкости был использован спирт. В качестве нагревательного элемента использовалась плёнка ИТО толщиной 500 нм, напылённая на сапфировую подложку толщиной 400 мкм. Важным преимуществом использования нагревателя данного типа является его прозрачность в видимом диапазоне длин волн и непрозрачность для ИК-диапазона. Визуализация кипения была проведена с помощью высокоскоростной камеры с частотой до 10 кГц. Для измерения температурного поля была использована высокоскоростная термографическая камера с частотой съемки 1 кГц.

В результате работы была изучена динамика парообразования в зависимости от плотности теплового потока. Также в работе исследованы основные микрохарактеристики кипения жидкости. Полученные в работе данные ИК-съемки позволяют анализировать поле температуры под отдельными паровыми пузырями, что позволяет определить распределение плотности теплового потока и локального коэффициента теплоотдачи в области контактной линии смачивания единичного парового пузыря. Это даёт возможность оценить интегральный перенос тепла как за счёт испарения микрослоя, так и за счет конвективного теплообмена и определить основные механизмы теплопереноса при кипении жидкости.

Научный руководитель – чл.-корр. РАН, д-р физ.-мат. наук
А. Н. Павленко

КИНЕМАТИКА ТЕЧЕНИЯ И ДЕФОРМАЦИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ЖИДКОСТИ ПРИ НЕИЗОТЕРМИЧЕСКОМ ЗАПОЛНЕНИИ КРУГЛОЙ ТРУБЫ

О. Ю. Фролов

Национальный исследовательский Томский государственный университет

Заполнение емкостей жидкостью одна из основных стадий технологического процесса переработки полимерных композиций методом литья под давлением. Для правильной организации технологии производства необходимо детальное исследование процессов физико-химической гидродинамики, реализуемых при переработке полимерных композиций. Целью данного исследования является изучение влияния диссипативного разогрева на кинематические характеристики течения, поля температуры и вязкости при заполнении круглой трубы ньютоновской жидкостью, а также определение деформации и ориентации элементов жидкости в основном потоке и в окрестности свободной поверхности. Математическую основу описания течения образуют уравнения Навье-Стокса, уравнение неразрывности и уравнение энергии с соответствующими граничными условиями. Задача решается численно с использованием конечно-разностного метода.

В результате проведенного исследования демонстрируется влияние вязкой диссипации на температуру, вязкость, кинематические характеристики течения в зависимости от основных определяющих параметров. Демонстрируется разделение потока жидкости на зону пространственного течения в окрестности свободной границы и одномерное течение вдали от нее. Показаны картины распределения порций жидкости при заполнении трубы. Иллюстрируется эволюция выделенных объемов жидкости вблизи оси симметрии, твердой стенки и свободной поверхности. С помощью ансамблей частиц-маркеров, образующих реперные поверхности раздела порций жидкости внутри потока, показано влияние эффекта фонтанирующего течения на картину массораспределения. В целом для рассматриваемого гидродинамического процесса демонстрируется сложное взаимодействие между падением вязкости за счет диссипативного разогрева и уменьшением вследствие этого интенсивности диссипации.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ в рамках государственного задания № 2014/223 (код проекта 1943) и РФФИ (проект № 15-08-02256а).

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. Г. Р. Шрагер

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ СТРУКТУРЫ ТУРБУЛЕНТНОГО ИЗОТЕРМИЧЕСКОГО ПОТОКА В МОДЕЛИ ВИХРЕВОЙ ТОПКИ

Е. Ю. Шадрин

Институт теплофизики им. С. С. Кутателадзе СО РАН, г. Новосибирск
Новосибирский государственный университет

В настоящее время одной из наиболее перспективных технологий повышения эффективности и экологичности котельных установок ТЭС является факельное сжигание пылеугольного топлива в вихревом потоке. Закрутка потока в топочной камере приводит к его стабилизации, интенсификации процессов теплопереноса и увеличению времени пребывания частиц топлива в камере горения, что позволяет уменьшить габариты топки и котлоагрегата в целом. При разработке перспективных топочных устройств, использующих вихревую технологию сжигания, важно использовать возможности управления пространственной структурой закрученного потока.

В данной работе, в развитие предыдущих работ авторов, исследуется трехмерная структура закрученного изотермического потока в модели вихревой топки с распределенным вводом воздушных струй, обеспечивающим гибкость в управлении структурой течения и режимными параметрами.

Измерение поля скорости закрученного течения проведено с использованием трехкомпонентного полупроводникового лазерного доплеровского анемометра ЛАД-056. Эксперименты выполнены при числе Рейнольдса $Re=3 \cdot 10^5$ в центральной части объема камеры горения ($70 \times 150 \times 150$ мм) в узлах сетки с пространственным шагом 5 мм (по всем направлениям). Концентрация трассеров позволяла измерительной системе регистрировать до 500 частиц/с, при этом в каждой точке измерение длилось 20 с.

Анализ полученных результатов с использованием критериев визуализации вихревых структур, таких как λ_2 и Q критерии, а также условия минимума полного давления, позволил визуализировать вихревое ядро закрученного потока. Показано, что в исследуемой конструкции топочного устройства оно имеет сложную пространственную структуру V-образной формы. Полученные данные сопоставлены с результатами численного моделирования.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук О. В. Шарыпов

ИССЛЕДОВАНИЕ СИЛЬНОЗАКРУЧЕННЫХ ГАЗОЖИДКОСТНЫХ ПОТОКОВ В ВИХРЕВОЙ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ КАМЕРЕ.

Р. Р. Юсупов

Институт теплофизики им. С. С. Кутателадзе СО РАН, г. Новосибирск
Новосибирский государственный университет

В настоящее время закрученные потоки нашли своё применение в различных технических устройствах. Их используют в скрубберах и циклонных сепараторах для очистки газов и топлив, в горелочных устройствах для стабилизации пламён, в расходомерии [1]. Несмотря на это, закрутка течения может играть не только положительную роль. В сильнозакрученных потоках часто происходит формирование нестационарных структур, таких как прецессирующее вихревое ядро (ПВЯ). ПВЯ возникает за рабочим колесом гидротурбины ГЭС при неоптимальных режимах работы. Совпадение частоты прецессии ПВЯ и собственных частот гидроагрегата может привести к катастрофическим последствиям. Образование ПВЯ в вихревых камерах сгорания может стать причиной сильных вибраций и шумов, что является не желательным для оборудования. Поэтому исследование сильнозакрученных потоков является актуальной задачей современной гидрогазодинамики.

Целью данной работы является исследование сильнозакрученных газожидкостных потоков в вихревой гидродинамической камере. В данном рабочем участке закрутка потока осуществлялась при помощи тангенциального завихрителя. В ходе работы была исследована зависимость параметров ПВЯ от параметра крутки завихрителя и длины рабочего участка. Проведено исследование влияния дисперсной газовой фазы на частоту прецессии ПВЯ, амплитуду пульсаций давления и осредненный перепад давления в камере. Выполнено численное моделирование потока, приведено сравнение численных и экспериментальных данных. Выявлено, что добавление дисперсной газовой фазы в поток приводит к снижению частоты прецессии ПВЯ и амплитуды пульсаций давления.

1. Гупта А., Лили Д., Сайред Н. Закрученные потоки. М.: Мир, 1987.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, чл.-корр. РАН
С. В. Алексеенко

ОГЛАВЛЕНИЕ

ФИЗИКА ПЛАЗМЫ	5
А. В. Алексеенко	5
М. А. Аникеев	6
В. В. Анненков	7
И. Д. Брюханов	8
С. В. Жигульский, К. Я. Булахова, К. В. Карсева	9
О. А. Коробейникова	10
В. Н. Мильчаков	11
О. В. Минина	12
Е. В. Ни	13
А. А. Овцын, С. А. Шибает	14
О. О. Очиров	15
Л. П. Перепелкин, В. В. Куркучеков, И. В. Кандауров, Ю. А. Трунев,	
И. А. Иванов	16
И. Н. Саламатов, Н. В. Нагирный	17
М. В. Сальников	18
С. Г. Скрыбыкин	19
Р. И. Спицын	20
П. В. Туев	21
В. Э. Художитков	22
К. И. Юшкова	23
АЭРОФИЗИКА	24
М. В. Агафонцев	24
А. В. Алянов	25
В. А. Белоцерковский	26
Ю. Р. Богдевич, К. В. Костюшин, И. М. Тырышкин	27
К. Е. Бояркина	28
В. В. Вихорев	29
О. А. Дьякова	30
Р. О. Кандинский	31
В. С. Каприлевская, С. Н. Толкачев	32
В. А. Карелин	33
В. С. Козулин	34
В. А. Колотилов	35
А. А. Крашенин	36
У. Н. Куанышев	37
П. В. Кунгурцев	38
Р. З. Курмангалиев	39
С. А. Лаврук	40
Т. П. Мирошниченко	41

А. С. Настобурский	42
А. Ю. Нестеров	43
Ф. С. Палесский	44
А. А. Петрова	45
А. И. Решетова	46
И. А. Рыльцев	47
В. А. Сафонов	48
А. Н. Семенов	49
Л. П. Трубицына	50
М. И. Тырышкин	51
Е. И. Хегай	52
А. А. Яцких	53
ТЕПЛОФИЗИКА	54
С. С. Абдуракипов	54
А. К. Амренов	55
А. Б. Балбуцкий	56
Г. В. Барткус	57
Д. Вайсс	58
А. А. Воробьев, Г. В. Соколов	59
А. А. Воробьев, Г. В. Соколов	60
А. А. Воробьев, Г. В. Соколов	61
М. А. Воробьев	62
А. Е. Гореликова	63
М. А. Гришин	64
А. С. Должиков, И. С. Зверева	65
Н. А. Калюжный	66
А. В. Ковалев, А. А. Ягодницына	67
Е. П. Копьев	68
Д. В. Кузнецов	69
М. Л. Миронова	70
А. С. Митряков, И. В. Литвинов	71
Ю. В. Нагайцева	72
Е. С. Одинцов	73
М. А. Роенко	74
Ф. В. Роньшин	75
М. Н. Рябов	76
Д. А. Самошкин, А. Ш. Агажанов	77
В. С. Сердюков ^{1,2} , А. С. Суртаев ²	78
О. Ю. Фролов	79
Е. Ю. Шадрин	80
Р. Р. Юсупов	81

МАТЕРИАЛЫ
53-Й МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНОЙ
СТУДЕНЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

МНСК–2015

ФИЗИКА СПЛОШНЫХ СРЕД

Материалы конференции публикуются в авторской редакции

Подписано в печать 01.04.2015

Офсетная печать

Заказ № _____

Формат 60x84/16

Уч.-изд. л. 4,0. Усл. печ. л. 5,3.

Тираж 145 экз.

Редакционно-издательский центр НГУ
630090, г. Новосибирск, ул. Пирогова, 2