



## «АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ТЕПЛОФИЗИКИ И ФИЗИЧЕСКОЙ ГИДРОГАЗОДИНАМИКИ»

Тезисы докладов XVI Всероссийской школы-конференции  
молодых ученых с международным участием  
24-27 ноября 2020 г.

Новосибирск

Институт теплофизики им. С. С. Кутателадзе СО РАН

Новосибирский государственный университет



«Актуальные вопросы теплофизики и физической  
гидрогазодинамики»

Тезисы докладов XVI Всероссийской школы-конференции  
молодых ученых с международным участием

24-27 ноября 2020 г.

Новосибирск  
2020

Актуальные вопросы теплофизики и физической гидрогазодинамики: Тезисы докладов XVI Всероссийской школы-конференции молодых ученых с международным участием, Новосибирск, 24–27 ноября 2020 г. – Новосибирск: Институт теплофизики СО РАН, 2020. – 113 – Электронная версия - <http://www.itp.nsc.ru/conferences/avtfg20/file/thesis.pdf>

Сборник содержит тезисы научных сообщений молодых учёных и студентов, доложенных на XVI Всероссийской школе-конференции «Актуальные вопросы теплофизики и физической гидрогазодинамики», которая проводилась Институтом теплофизики им. С.С. Кутателадзе в Новосибирске 24–27 ноября 2020 г.

Представлены тезисы докладов по следующим направлениям:

- Турбулентные течения, тепло- и массообмен в однофазных средах, интенсификация теплообмена
- Теплообмен и гидрогазодинамика многофазных систем
- Теплообмен при фазовых превращениях и интенсивных потоках энергии
- Теплофизические свойства веществ
- Неравновесные процессы в разреженных газах и плазме
- Теплофизика микро- и наносистем, синтез наноструктур и приложение
- Теплофизические и экологические проблемы в энергетике

## **НАУЧНЫЙ КОМИТЕТ**

### **Председатель**

Маркович Д.М., академик РАН

### **Зам. председателя**

Сиковский Д.Ф., к.ф.-м.н.

### **Ученые секретари**

Замчий А.О., к.ф.-м.н.

Старинский С.В., к.ф.-м.н.

### **Члены оргкомитета**

Бильский А.В., к.ф.-м.н.

Бондарь Е.А., к.ф.-м.н.

Дулин В.М., д.ф.-м.н.

Кабов О.А., д.ф.-м.н., проф.

Куйбин П.А., д.ф.-м.н.

Макаров М.С., к.ф.-м.н.

Павленко А.Н., чл.-корр. РАН

Шарыпов О.В., д.ф.-м.н.

## **ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ**

### **Председатель**

Маркович Д.М., академик РАН

### **Зам. председателя**

Сиковский Д.Ф., к.ф.-м.н.

### **Члены программного комитета**

Алексеенко С.В., академик РАН

Батаев А.А., д.ф.-м.н.

Бойко А.В., д.ф.-м.н.

Бердников В.С., д.ф.-м.н.

Большов Л.А., академик РАН

Вараксин А.Ю., чл.-корр. РАН

Гешев П.И., д.ф.-м.н., проф.

Головин С.В., д.ф.-м.н., проф. РАН

Елистратов С.Л., д.т.н.

Кашинский О.Н., д.ф.-м.н.

Козлов В.В., д.ф.-м.н., проф.

Кузнецов В.В., д.ф.-м.н., проф.

Кузнецов Г.В., д.ф.-м.н., проф.

Леонтьев А.И., академик РАН

Марчук И.В., д.ф.-м.н., проф. РАН

Маркидес К., PhD

Наумов И.В., д.т.н., проф. РАН

Новопашин С.А., д.ф.-м.н.

Пахомов М.А., д.ф.-м.н., проф. РАН

Покусаев Б.Г., чл.-корр. РАН

Предтеченский М.Р., академик РАН

Прибатурин Н.А., чл.-корр. РАН

Ребров А.К., академик РАН

Рудяк В.Я., д.ф.-м.н., проф.

Смирнов Е.М., д.ф.-м.н., проф.

Станкус С.В., д.ф.-м.н., проф.

Терехов В.И., д.т.н., проф.

Терехов В.В., д.ф.-м.н., проф. РАН

Федорук М.П., академик РАН

Федяева О.Н., д.х.н., проф. РАН

Фомин В.М., академик РАН

Чернов А.А., д.ф.-м.н., проф. РАН

Черный С.Г., д.ф.-м.н., проф.

Шиплюк А.Н., чл.-корр. РАН

Шторк С.И., д.ф.-м.н.

Яворский Н.И., д.ф.-м.н., проф.

Ярыгин В.Н., д.т.н., проф.

### **Члены технического комитета**

Бочкарева Е.М.

Воробьев М.А.

Гореликов Е.Ю.

Ковалев А.В.

Миськив Н.Б.

Роньшин Ф.В., к.ф.-м.н.

Скрипкин С.Г.

Ягодницына А.А., к.ф.-м.н.

Электронное издание сборника тезисов проводилось с авторских листов участников конференции. За ошибки и опечатки авторов издательство ответственности не несет.

ISBN 978-5-89017-067-5

© Институт теплофизики СО РАН, 2020

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ И ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СЖИГАНИЯ МИКРОУГЛЯ В ГАЗОВОМ ПЛАМЕНИ $\text{CH}_4/\text{N}_2$

Алексеев С.В., Бутаков Е.Б., Кузнецов В.А.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук, Новосибирск  
E-mail: e\_butakov@mail.ru

Уголь в долгосрочной перспективе остается одним из самых важных ресурсов теплоэнергетического комплекса, благодаря обильным мировым запасам и конкурентоспособно низким ценам [1]. При этом важной актуальной задачей является снижение образования вредных веществ, в особенности сажи и  $\text{NO}_x$ . Решение данной задачи, в том числе подразумевает оптимизацию аэродинамики факельного горения на пылеугольных котлах с целью увеличения энергоэффективности и снижения выбросов в окружающую среду. В настоящее время для совершенствования и проектирования горелочно-топочных устройств пылеугольных котлов достаточно широко и успешно используется математическое моделирование процессов при горении угля, основанное на стационарном приближении с использованием моделей турбулентности, основанных на осредненных уравнениях переноса. Целью настоящей работы является проведение детальных исследований влияния особенностей динамики частиц микропотока угольного топлива в турбулентном сдвиговом потоке (струи), переноса тепла излучением и газификации угля, а также возможного самовоспламенения газа в процессе горения пылеугольного факела с использованием современных методов оптической диагностики турбулентных реагирующих течений и вихреразрешающих методов математического моделирования.

Горелочный стенд представлял собой открытый контур, подключенный к баллонам с горючим газом - метаном и транспортным газом - азотом. Расход газов контролировался поплавковыми ротаметрами. На экспериментальном стенде использовались сопла, имеющие одинаковую внутреннюю геометрию. Для организации незакрученных струйных течений с ударным профилем на срезе сопла использовалось профилированное сопло Витошинского. Диаметры профилированных сопел  $d$ , использованных в экспериментах, составлял 10, 15 и 23 мм. Уголь подавался шнековым питателем в линию транспортного газа (азота). В сопло поступала перемешанная смесь топлива и азота. Смешение происходило в длинной трубе ( $L_2 = 500$  мм,  $d_2 = 22$  мм), метан подавался через иглу, ориентированной по направлению потока.

В экспериментах использовался каменный длиннопламенный уголь кузнецкого месторождения, технические характеристики и элементный анализ представлен в таблице 1. 50% частиц имеют диаметр меньше 50 мкм, остальные частицы по размерам находятся в интервале между 50 и 100 мкм.

Проведена регистрация флуоресценции ОН для анализа положения и динамики фронта пламени. Система ОН PLIF состояла из перестраиваемого импульсного лазера на красителях, импульсного Nd: YAG-лазера накачки и интенсифицированной камеры. Лазерный луч был преобразован в лазерный нож с помощью коллимирующей оптики. Перестраиваемый лазер возбуждал флуоресценцию ОН при переходе  $Q_1(8)$  полосы  $A_2\Sigma + -X_2\Pi(1-0)$ . Средняя энергия импульсов с длиной волны 283 нм составляла около 12 мДж. Интенсивность флуоресценции ОН регистрировалась с помощью интенсифицированной камеры оснащенной УФ-объективом и полосно-пропускающим оптическим фильтром ( $310 \pm 10$  нм).

Наблюдается хорошее качественное соответствие расчета и эксперимента. Правильно описывается форма пламени, при газовом горении она более симметричная чем для случая с добавлением угля, это свидетельствует о том, что расчет качественно верно описывает данные режимы горения, наблюдаемые в эксперименте. По результатам расчета видно, что при добавлении угля увеличиваются температуры пламени, так как начинают дополнительно протекать окислительные реакции горения угольных летучих веществ и твердого углерода.

По концентрации твердых частиц в потоке можно судить о степени выгорания угля.

Результаты расчетов свидетельствуют о том, что предложенная математическая модель процессов нестационарного горения пылеугольного факела, основанной на вихреразрешающей модели турбулентности, сложного теплообмена и редуцированного механизма для химической кинетики позволяет качественно правильно решать трехмерные задачи, такие как совместное сжигание метана и угля в открытом пламени.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-08-00781.*

## ПРЕДЕЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ МИКРО-ВЗРЫВНОГО РАСПАДА МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ КАПЕЛЬ

Антонов Д.В., Федоренко Р.М., Стрижак П.А.

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»,  
Томск

E-mail: antonovdv132@gmail.com

Процессы вторичного распыления (измельчения) неоднородных капель, содержащих горючие и негорючие компоненты, могут позволить снизить инерционность зажигания топливных композиций (эмульсий и суспензий), повысить полноту их выгорания, уменьшить антропогенные выбросы, стабилизировать температуру в зоне горения. Однако механизмы, режимы, последствия и основные характеристики процессов микро-взрывного распада остаются в полной мере не изученными вследствие ограничений экспериментальных методик. В настоящей работе предпринята попытка расширения современных представлений о процессах микро-взрывного распада многокомпонентных капель. Воспроизведены различные схемы интенсивного конвективного, кондуктивного и радиационного нагрева. В качестве жидких компонентов рассмотрены: вода, дизель, керосин, бензин, нефть, трансформаторное и рапсовое масло. Варьируемые параметры: температура воздуха 300–1100 °С, размеры капли 0.62–1.53 мм, концентрация горючего компонента 3–97 об.%. Определены предельные условия микро-взрывного распада многокомпонентных капель, времена их прогрева перед распадом, а также динамика изменения площадей поверхности испарения и аэрозольного облака, образующегося при распаде. Показано влияние фактора микро-взрывного распада многокомпонентных капель на инерционность процесса их зажигания.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ 19-53-80019  
РНФ (проект № 18-71-10002)*

## МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЗАКОНА СКОРОСТИ ГОРЕНИЯ

Архипов В.А., Бондарчук С.С., Золоторёв Н.Н., Коноваленко А.И.

Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск

E-mail: nikzolotorev@mail.ru

Одним из широко распространенных методов определения параметров степенного закона скорости горения является использование манометрической бомбы переменного давления (бомбы Вьеля). При сгорании исследуемого образца малоинерционным датчиком давления измеряется зависимость давления в бомбе от времени в процессе горения, а параметры степенного закона скорости горения определяются по измеренной диаграмме  $p(t)$  путем решения соответствующей обратной задачи внутренней баллистики.

Предлагаемый метод состоит в том, что разброс рассчитанного ряда значений параметра  $ul_i(p_i, t_i, v)$  для экспериментальных данных  $\{t_i, p_i\}$  минимизируется при вариации параметра  $v$ . Верификация предложенного метода идентификации параметров степенного закона скорости горения проведена для эталонного состава – пороха Н. Эксперименты проводились в манометрической бомбе объемом  $W = 40$  см<sup>3</sup>.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 20-03-00588)*

## **МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ АКУСТИЧЕСКОЙ ПРОВОДИМОСТИ ПОВЕРХНОСТИ ГОРЕНИЯ ТВЕРДЫХ ТОПЛИВ**

**Архипов В.А., Волков С.А., Золоторёв Н.Н.**

Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск

E-mail: nikzolutorev@mail.ru

Возникновение и развитие в камере сгорания твердотопливных ракетных двигателей акустических колебаний может привести к режиму неустойчивости его работы – вибрационному (резонансному) горению. Интенсивные исследования данного процесса проводились во второй половине прошлого века для двигателей с баллиститными твердыми топливами. Количественной мерой оценки склонности твердых топлив к вибрационному горению является акустическая проводимость поверхности горения – отношение изменения скорости оттока продуктов сгорания от поверхности топлива к давлению в звуковой волне у горячей поверхности.

В настоящей работе представлены метод измерения акустической проводимости с использованием одномерной камеры сгорания (Т-камеры) и примеры его реализации при исследовании влияния давления и частоты акустических колебаний в камере сгорания на акустическую проводимость поверхности горения смесевых твердых топлив.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 20-03-00588)*

## **ЗАЖИГАНИЕ ВРАЩАЮЩИХСЯ ОБРАЗЦОВ ТВЕРДОГО ТОПЛИВА ИЗЛУЧЕНИЕМ СО<sub>2</sub>-ЛАЗЕРА**

**Архипов В.А., Коротких А.Г., Кузнецов В.Т., Золоторёв Н.Н.**

Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск

E-mail: Nikzolotorev@mail.ru

Экспериментальный метод исследования с использованием излучения лазера непрерывного действия на углекислом газе (СО<sub>2</sub>-лазера) широко применяется при изучении процесса зажигания твердого топлива. Существенным недостатком данного метода является неравномерность распределения плотности теплового потока по поверхности исследуемого образца. Для снижения влияния неравномерности распределения лазерного излучения на процесс зажигания твердого топлива предлагается перед подачей лазерного излучения на торцевую поверхность цилиндрического образца создать вращательное движение образца вокруг его оси симметрии с постоянной угловой скоростью. Полученные результаты экспериментального исследования показали, что время зажигания вращающегося образца в 2.3 раза больше, чем время зажигания образца без вращения, что практически совпадает с временем зажигания при равномерном распределении теплового потока. Относительная погрешность измерения времени задержки зажигания не превышала 8%.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 20-03-00588)*

*Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Российского научного фонда (проект № 15-19-10014)*

# **ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССОВ КОНВЕКТИВНОГО ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОСА ЖИДКОСТИ ПЕРЕМЕННОЙ ВЯЗКОСТИ В ТРЁХМЕРНОЙ КУБИЧЕСКОЙ ОБЛАСТИ С ИЗОТЕРМИЧЕСКИМ НАГРЕВОМ ВЕРТИКАЛЬНОЙ ГРАНИЦЫ**

**Астанина М.С., Шеремет М.А.**

Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск

E-mail: astanina.marina@bk.ru

Математическое моделирование процессов тепломассопереноса в областях различной геометрии является хорошим инструментом для прогнозирования работы пассивных систем охлаждения, поскольку позволяет учесть совокупность внешних и внутренних осложняющих факторов. В настоящей работе рассматривается задача естественной конвекции в замкнутой кубической полости с изотермически подогреваемой и охлаждаемой вертикальными границами. В качестве рабочей жидкости берётся ньютоновская жидкость с температурозависимой вязкостью по экспоненциальному закону. Математическая модель формулируется в безразмерных переменных «векторный потенциал – вектор завихрённости – температура» и разрешается методом конечных разностей. Анализ результатов проводится по трёхмерным распределениям полей температуры, компонентов векторного потенциала, а также по зависимостям числа Нуссельта на горячей стенке. Полученные результаты показывают зависимости характеристик течения от определяющих безразмерных параметров, которые могут быть полезны при проектировании технических систем в различных отраслях промышленности.

*Исследование выполнено при поддержке Совета по грантам Президента РФ для молодых российских ученых (грант МД-821.2019.8)*

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЛОКАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДВУХФАЗНОГО ТЕЧЕНИЯ В ПРЯМОУГОЛЬНЫХ МИКРОКАНАЛАХ МЕТОДОМ LIF

**Барткус Г. В., Кузнецов В. В.**

Новосибирский государственный университет,  
Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН, Новосибирск  
E-mail: germanbartkus@gmail.com

Работа посвящена исследованию детальной структуры двухфазного газожидкостного течения на микромасштабе и направлена на определение локальных характеристик течения методом LIF (Laser-Induced Fluorescence). В каналах с прямоугольным сечением наблюдается существенная деформация пленки жидкости в окрестности углов канала и происходит образование тонкой пленки жидкости на длинной стороне микроканала, которая может приводить к значительной интенсификации тепломассообмена при кипении движущейся жидкости. Данный факт является значимыми при разработке двухфазных микроканальных теплообменников.

В рамках данной работы проведены эксперименты по высокоскоростной визуализации газожидкостного течения в коротких каналах с разным соотношением сторон 1:10 и 1:6 (200x2045 и 200x1205 мкм) при течении смеси этанол-азот, построены карты режимов течения. Проработана методика измерения методом LIF и проведена его калибровка. С использованием метода LIF получены зависимости толщины пленки жидкости от расхода газовой и жидкой фаз, геометрии канала; показана неравномерность распределения толщины пленки жидкости в поперечном сечении канала.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов № 19-38-90255 и № 18-08-01282*

# **ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ КАПЕЛЬ ВОДЫ НА МОДИФИЦИРОВАННЫХ НАНОСЕКУНДНЫМИ ЛАЗЕРНЫМИ ИМПУЛЬСАМИ ПОВЕРХНОСТЯХ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА**

**Батищева К.А.**

Томский политехнический университет, Томск

E-mail: bka1801@mail.ru

С увеличением производительности энергетического оборудования и миниатюризации его компонентов применение традиционных систем обеспечения теплового режима становится недостаточно. Возникает необходимость разработки систем капельного охлаждения в основе которых лежат эффекты фазового перехода с применением новых материалов и способов обработки поверхностей, например, лазерное излучение. Успешное решение задач интенсификации теплообмена с применением модифицированных металлических поверхностей сдерживается отсутствием теории процессов смачивания и испарения капель охлаждающих жидкостей с таких поверхностей. Целью настоящей работы являлось установление влияния поверхностных свойств обработанного лазерными импульсами алюминиевого сплава на характеристики процесса смачивания для прогнозирования поведения капель жидкостей на таких поверхностях.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ 20-38-90027*

## **КИПЕНИЕ НА ЛОКАЛЬНЫХ НАГРЕВАТЕЛЯХ В МИКРОКАНАЛАХ**

**Белослудцев В.В., Зайцев Д.В.**

Институт теплофизики имени С. С. Кутателадзе СО РАН, Новосибирск

E-mail: firstnoob@icloud.com

Миниатюризация энергонапряженной электроники ставит задачи по эффективному теплоотводу на мини- и микро- масштабах. Кипение в мини- и микроканалах является перспективным способом решения поставленной задачи, как указано в совместном докладе ведущих полупроводниковых ассоциаций - International Roadmap for Devices and Systems. В настоящее время не так много работ по комплексному исследованию и визуализации процесса кипения при высоких и сверхвысоких тепловых потоках, особенно при неоднородном тепловом потоке, что важно для практического применения к охлаждению микроэлектронного оборудования.

В представляемой работе будет исследован критический тепловой поток и динамика паровых пузырей при кипении в канале высотой 0,2 – 1 мм на локальных нагревателях площадью 10x10 и 3x3 мм. Будут представлены данные влияния соотношения ширины канала к ширине нагревателя при кипении на локальном нагревателе в плоском прямоугольном канале.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ 19-08-01235*

## **ОСАЖДЕНИЕ ФТОРПОЛИМЕРНЫХ ПОКРЫТИЙ С РАЗЛИЧНЫМ СТРОЕНИЕМ НА ЦИЛИНДРИЧЕСКИЕ ПОВЕРХНОСТИ МЕТОДОМ HWCVD**

**Богословцева А.Л., Мельник А.В., Петрова А.В., Старинский С.В., Сафонов А.И.**  
Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН, Новосибирский государственный  
университет, Новосибирск  
E-mail: alenka\_bogos@mail.ru

Тонкие пленки из различных материалов находят широкое применение в современных приборах и устройствах. Перспективными материалами для получения тонких покрытий являются полимеры, в частности фторполимеры. Для некоторых устройств требуется осаждение тонкопленочных покрытий на цилиндрические поверхности различного диаметра. Покрытия из тонких гидрофобных пленок могут интенсифицировать теплообмен при фазовых переходах. Свойства смачивания играют в этом процессе важную роль. Свойства смачивания покрытий зависят от их поверхностного строения. В представленной работе была проведена адаптация метода HWCVD для осаждения фторполимерных покрытий на цилиндрическую поверхность малого радиуса. Исследовано влияние скорости вращения трубочки малого радиуса на строение, осаждающегося на ней фторполимерного покрытия. Обнаружено и объяснено существенное изменение морфологии формируемого фторполимерного покрытия в зависимости от частоты вращения цилиндрической поверхности.

*Работа выполнена при поддержке Российского Научного Фонда (Проект №18-79-10119).*

## **НАГРЕВАТЕЛЬ НА ОСНОВЕ ГРАФЕНА**

**Бойко Е.В., Костогруд И.А., Смовж Д.В.**

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

E-mail: renboyko@gmail.com

В работе исследованы характеристики нагревателя, на основе однослойного графена, полученного методом химического осаждения из газовой фазы с использованием метана в качестве углеродсодержащего прекурсора и медной каталитической подложки. Полученное графеновое покрытие было перенесено на полимерную подложку PET/EVA методом термического прессования. Разработана теоретическая модель прогрева поликристаллической графеновой пленки, на основании которой проведены оценки температурных градиентов в графеновых кристаллах. Теоретически и экспериментально показано, что основной причиной повреждения графеновых нагревателей является локальный перегрев границ графеновых кристаллов. Показано, что для увеличения мощности графеновых нагревателей необходимо уменьшать размеры 2D графеновых кристаллов, составляющих покрытие.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ №18-29-19099*

## **ТЕПЛОВОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ПЛЕНКУ РАСТВОРА С ЛЕТУЧЕЙ КОМПОНЕНТОЙ**

**Бородина К.А., Татосов А.В.**

Тюменский государственный университет, Тюмень

E-mail: k.a.borodina@mail.ru

В работе исследуется нагрев тонкой пленки бинарного гомогенного раствора. Показано, что в рассматриваемой нестационарной задаче деформации пленки можно выделить четыре масштаба времени, связанных с развитием полей скорости, температуры и концентрации, с изменением высоты слоя; а также характерное время диффузии летучей компоненты в газообразном состоянии. Найдены ограничивающие функции, определяющие динамику прогрева и изменения концентрации раствора. Начало процесса описано аналитически. Для достаточно тонкой пленки наблюдается переход от термо-капиллярного к концентрационно-капиллярному течению с перестроением профиля скорости до начала видимой деформации, что связано с продолжающимся перераспределением летучей компоненты в фазах. В обратном предельном случае изменение концентрации на поверхности пленки существенно ограничено в связи с быстрым насыщением. Показано удовлетворительное сочетание приближенных аналитических решений и численных расчетов.

## ТЕПЛО- И МАССОПЕРЕНОС ПРИ СУБЛИМАЦИИ СМЕСИ МЕТАЛЛОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ В ПОТОКЕ ИНЕРТНОГО ГАЗА

**Бочкарева Е. М., Миськив Н. Б., Лукашов В. В.**

Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе, Новосибирск

E-mail: nikerx@gmail.com

На сегодняшний день процесс сублимации широко используется во многих отраслях промышленности, при этом достаточно важной фундаментальной задачей является задача изучения кинетики сублимации металлоорганических соединений в условиях вынужденной конвекции. Несмотря на повышенный интерес к процессам осаждения, отмечается недостаточное количество данных, касающихся тепло и массопереноса прекурсоров. В работе представлены результаты исследований кинетики сублимации одиночной сферической частицы прекурсоров  $Y(dpm)_3$ ,  $Zr(dpm)_4$ ,  $Nd(dpm)_3$ ,  $Hf(dpm)_4$  в потоке инертного газа. Приведены данные о динамике температур и размеров одиночных частиц в широком диапазоне скоростей набегающего потока. Полученные в результате исследований данные позволяют контролировать скорость осаждения частиц в различных CVD-процессах.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ 18-38-00426 мол\_a*

## **ИЗУЧЕНИЕ ДИНАМИКИ ИСПАРЕНИЯ КАПЛИ КОЛЛОИДНОГО РАСТВОРА НА СУПЕРБИФИЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТИ**

**Бочкарева Е.М., Миськив Н.Б., Старинский С.В.**

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе  
Сибирского отделения Российской академии наук, Новосибирск  
E-mail: prefous-lm@yandex.ru

В рамках данного исследования проведено экспериментальное исследование динамики испарения капель коллоидного раствора с наночастицами оксида кремния на супербифильную поверхность. Для выполнения поставленных целей были изготовлены уникальные супербифильные подложки, обладающие особыми свойствами смачивания: резким пространственным градиентом контактного угла смачивания. В экспериментах для измерения температуры капли был использован бесконтактный метод ИК-термографии. Одновременно с ним применялась цифровая видеосъемка, с помощью которой фиксировалось изменение геометрических параметров капли в процессе испарения. Изучено влияние расположения капли относительно горизонта на процесс испарения капли коллоидного раствора.

Изготовление супергидрофобных покрытий выполнено при поддержке РФФ (соглашение № 18-79-10119). Работа по исследованию процесса испарения капли выполнена при финансовой поддержке РФФИ грант № 19-48-543034.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ № 19-48-543034*

*Изготовление супергидрофобных покрытий выполнено при поддержке РФФ (соглашение № 18-79-10119).*

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОРОГА МОДИФИКАЦИИ МЕДИ В РЕЗУЛЬТАТЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ НАНОСЕКУНДНОГО ЛАЗЕРНОГО**

**Васильев М.М., Шухов Ю.Г., Старинский С.В**

Институт теплофизики СО РАН, Новосибирский государственный университет,  
Новосибирск

E-mail: [vasilevmik.arck@gmail.com](mailto:vasilevmik.arck@gmail.com)

Сегодня импульсная лазерная абляция (ИЛА) применяется в широком круге задач. Несмотря на продолжительное исследование ИЛА, понимание многих аспектов еще не достигнуто, что ограничивает применимость и оптимизацию методики. Ввиду быстротечности процессов, прямые экспериментальные наблюдения абляции короткими импульсами достаточно затруднительны, поэтому зачастую детальные исследования проводят с применением численного моделирования. Однако, использование любой модели предполагает ее верификацию с помощью надежно измеренных величин. К таковым относятся пороги модификации материалов – значения минимальной плотности энергии пучка, при котором достигается изменения свойств облучаемой поверхности. В работе измерены пороги модификации меди при воздействии лазерного излучения наносекундной длительности видимого и ИК диапазона длин волн. Сопоставлены режимы одно- и многоимпульсного воздействия. Обсуждаются причины различия.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ 18-38-00057*

## **МНОГОФАКТОРНАЯ ОЦЕНКА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТОПЛИВНЫХ СМЕСЕЙ НА ОСНОВЕ ОТХОДОВ В ЭНЕРГЕТИКЕ РОССИИ, КИТАЯ И ЯПОНИИ**

**Вершинина К.Ю., Няшина Г.С., Романов Д.С.**

Томский политехнический университет, Томск

E-mail: [vershininaks@tpu.ru](mailto:vershininaks@tpu.ru)

В работе представлены расчет и анализ эффективности использования пяти видов топлива (уголь, водоугольное топливо и смеси на основе отходов). Для расчета выбрано шестнадцать критериев, относящихся к категориям энергетики, экономики, социальной жизни, безопасности на предприятии и защиты окружающей среды. Используются экспериментальные данные, полученные при сжигании топлив при разных температурах нагрева. Анализ проведен для трех стран (Япония, Китай, Россия). Установлено, что наименьшую эффективность имеют уголь (возможный диапазон показателя эффективности составляет 0.016–0.535) и водоугольное топливо (0.045–0.566). Максимальный эффект достигается для суспензии на основе углеотхода с добавкой отработанного турбинного масла (0.190–0.800) и отхода углеобогащения (0.535–0.907). Отличия показателя эффективности одного и того же топлива в разных странах составляют в среднем 3–60%, при изменении температур – 5–20%; при изменении методики расчета – 10–90%.

*Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект 18-43-700001).*

## **ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ТЕПЛООБМЕНА ПРИ КИПЕНИИ НА ОРЕБРЕННЫХ ПОВЕРХНОСТЯХ**

**Владимиров В.Ю., Чиннов Е.А.**

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук, Новосибирск  
E-mail: victor.lipps@gmail.com

В данной работе исследовался теплообмен при кипении на радиально ребренных поверхностях "16 ребер" и "32 ребра" с нанесением фторполимерного покрытия. Жидкость - дистиллированная, дегазированная вода при атмосферном давлении.

Эксперимент на образце «16 ребер» до нанесения фторполимера не привел к заметному увеличению эффективности теплообмена. Нанесение фторполимера оказало значительное положительное влияние на теплообмен. В ходе экспериментов поверхность приобрела неоднородную смачиваемость из-за частичного разрушения фторполимера и интенсивность теплоотдачи возрастала по сравнению с неповрежденным покрытием. После полного разрушения фторполимерного покрытия дальнейшие данные совпали с первоначальными.

На образце «32 ребра» эксперименты проводились подобным образом: до нанесения фторполимера, с нанесением фторполимера и до практически полного разрушения нанесенного слоя. Наблюдался обратный эффект: гидрофобизация отрицательно повлияла на эффективность теплообмена.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ 18-19-00407*

## **ОСОБЕННОСТИ РОСТА ОДИНОЧНЫХ ПАРОВЫХ ПУЗЫРЕЙ В ОДНОРОДНО ПЕРЕГРЕТОЙ ЖИДКОСТИ**

**Владыко Илья Владимирович**

Новосибирский государственный университет,  
Институт теплофизики СО РАН им.С.С.Кутателадзе, Новосибирск  
E-mail: [ilja\\_vladyko@rambler.ru](mailto:ilja_vladyko@rambler.ru)

В работе рассматривается динамика роста одиночного парового пузырька, находящегося в равномерно перегретой жидкости. Использована модель однородного равновесного парового пузырька, согласно которой динамика его роста определяется только внешней тепловой задачей. Данная постановка задачи является классической и неоднократно решалась различными авторами, но существующие аналитические решения обладают рядом существенных ограничений, вызванных рядом значимых допущений. При решении задачи определены характерные параметры, осуществлён переход к переменным, в которых межфазная граница неподвижна, и использовано квазистационарное решение для температурного поля, что в целом позволило найти полуаналитическое решение в виде достаточно простой системы интегро-дифференциальных уравнений. Показано, что данное решение и численное моделирование краевой задачи находятся в хорошем соответствии для широкого диапазона режимных параметров.

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЛОКАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПУЗЫРЬКОВОГО ПОТОКА В СБОРКЕ СТЕРЖНЕЙ**

**Воробьев М.А., Кашинский О.Н.**

Институт Теплофизики им. С.С. Кутателадзе, Новосибирск

E-mail: vorobyev@itp.nsc.ru

В настоящее время разностороннее применение газожидкостных течений опережает процесс их детального исследования. Развитие теоретических и численных моделей описания структуры течения и теплообмена в газожидкостном потоке в каналах сложной геометрии сдерживается отсутствием достаточного количества экспериментальной информации. В литературе встречаются работы, посвященные данной теме, но основное внимание в них уделяется определению профилей локального газосодержания. В связи с этим настоящая работа посвящена экспериментальному исследованию локальных теплогидравлических характеристик пузырькового течения в канале, имитирующем геометрию тепловыделяющей сборки в квадратной компоновке 3x3.

Эксперименты показали существенную неравномерность распределения газовой фазы по сечению канала, значительное влияние газовой фазы на гидродинамику и теплообмен в потоке по сравнению с однофазным течением.

Полученные результаты могут быть использованы для валидации расчетных кодов.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ 19-48-543029 р\_мол\_a*

## **ВЛИЯНИЕ ЧИСЛА МАХА НА УГЛОВОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ КАПЕЛЬНОЙ ФАЗЫ ЗА СРЕЗОМ СОПЛА ПРИ ИСТЕЧЕНИИ ПРИСТЕННОЙ ПЛЕНКИ ЖИДКОСТИ СО СПУТНЫМ ПОТОКОМ ГАЗА В ВАКУУМ**

**Вязов Ю.Н., Ярыгин И.В.**

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук, Новосибирск  
E-mail: vyazov-h@yandex.ru

В докладе представлены результаты экспериментального исследования истечения пристенной пленки этанола с высокоскоростным спутным воздушным потоком из сопел различной геометрии в вакуум. С использованием развитых методов диагностики (визуализация структуры течения капельной фазы, осаждение капель на бумажные полоски, спектрофотометрия) установлено влияние числа Маха сопла и параметров пленки жидкости и газового потока (чисел Рейнольдса) на угловое распределение капельной фазы в приосевой и периферийной областях течения за срезом сопла. Показана возможность управления структурой течения капельной фазы путем изменения режимных параметров.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ 16-38-00406*

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУЙНОГО ИСТЕЧЕНИЯ ГАЗА ИЗ СВЕРХЗВУКОВОГО СОПЛА С ЭКРАНОМ В ВАКУУМ**

**Вязов Ю.Н., Ярыгин И.В., Приходько В.Г.**

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук, Новосибирск  
E-mail: vyazov-h@yandex.ru

Однофазные и многофазные течения за сверхзвуковыми соплами в вакууме представляют интерес для целого ряда практических приложений, в первую очередь ракетно-космической техники. Двигатели управления и ориентации космических аппаратов могут являться источником загрязняющих потоков капельной или газовой фаз, что в ряде случаев приводит к негативным последствиям для самого космического аппарата и его конструктивных элементов. Управление угловыми распределениями капельной и газовой фаз, в первую очередь обратными потоками, является актуальной задачей. В докладе представлены результаты экспериментального исследования истечения газа из сверхзвукового сопла в вакуумную камеру, в том числе при наличии экрана, устанавливаемого на выходную часть сопла. Показана положительная роль экрана в уменьшении величины обратных потоков, обсуждается причина возникновения данного эффекта.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ 16-08-00436*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВНУТРИ ТРУБЫ РАНКА–ХИЛША, С ПОМОЩЬЮ ОПТИЧЕСКОЙ И ТЕМПЕРАТУРНОЙ ДИАГНОСТИКИ**

**Гордиенко М.Р., Кабардин И.К., Какаулин С.В., Езендеева Д.П.**

Институт теплофизики имени С.С. Кутателадзе сибирского отделения Российской академии  
наук, Новосибирск

E-mail: fregat120@yandex.ru

Исследования вихревого эффекта ведутся с 1928 года. На данный момент не существует его общепринятого объяснения. Причина в недостатке достоверных экспериментальных данных о распределении скоростей и температур внутри трубы. Актуально применение бесконтактных методов диагностики потоков, которые позволяют исследовать поток без возмущений.

В работе решены следующие задачи:

1. С помощью расходомерных шайб, датчиков температур и давлений измерены различные режимы течения в трубах Ранка с квадратным и круглым сечением. Также были проведены измерения с помощью метода лазерно-доплеровской анемометрии в вихревой трубе Ранка квадратного сечения.

2. Впервые обнаружено и показано явление запираания скорости в щели завихрителя: начиная с давления в 0,4 Мпа избыточный массовый расход растет линейно, при этом объемный расход практически перестает расти.

3. Обнаружено явление стабилизации структуры потока, которое происходит по причине запираания скорости на входе, т.е. стабилизации объемного расхода.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ 16-08-01120, 18-31-20036*

*AAAA-A18-118051690120-2*

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАВ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ВОЛН В ТРЕХМЕРНЫХ ВОЛНОВЫХ РЕЖИМАХ**

**Гузанов В.В., Квон А.З.**

Институт Теплофизики СОРАН, Новосибирск

E-mail: azkvon@gmail.com

Представлены результаты экспериментального исследования влияния неионогенного ПАВ Triton X-100 на трехмерные волновые режимы при вертикальном течении пленок жидкости для  $Re = 40$ . В качестве рабочих жидкостей использовались чистая вода и вода с концентрацией ПАВ 5 — 2000 мг/л. Теневой метод и ЛИФ измерения выявили, что для концентраций ПАВ, при которых не наблюдается полное подавление волнового движения, характеристики течения в трёхмерном волновом режиме отличаются от характеристик течения чистой воды. Вероятно, данные отличия связаны с различиями в структуре потоков под трёхмерной волной, которые были выявлены при помощи одновременных измерений толщины и объемных измерений скорости в трехмерной волне на начальном участке течения. Так, например, при течении раствора с концентрацией ПАВ 2000 мг/л, капиллярная рябь перед трехмерной волной слабо выражена, отсутствуют возвратные течения, а потоки вдоль капиллярных предвестников значительно слабее, чем в случае течения чистой воды.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ № 18-01-00682.*

*Работа выполнена в рамках государственного задания ИТ СО РАН*

## **ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ВЫТЕСНЕНИЯ НЕФТИ ИЗ ПОРИСТОЙ СРЕДЫ С ПОМОЩЬЮ НАНОСУСПЕНЗИЙ**

**Гузей Д.В., Иванова С.В., Минаков А.В., Пряжников А.И.**

Сибирский федеральный университет, Красноярск

E-mail: gudimas@yandex.ru

В работе представлены результаты прямого численного моделирования процесса вытеснения нефти наносуспензией с частицами SiO<sub>2</sub> из двухмерных микромоделей пористой среды с различными значениями проницаемости. В расчетах использованы экспериментально измеренные значения коэффициента межфазного натяжения и краевого угла смачивания. Расчеты проведены для чистой воды и суспензии наночастиц оксида кремния с массовой концентрацией 1%. Расчетное исследование выполнено с помощью VOF метода. Было изучено влияние расхода вытесняющей жидкости, концентрации наночастиц и проницаемости керн на эффективность вытеснения нефти наносуспензией. В результате работы было показано, что применение наносуспензий позволяет добиться увеличения коэффициента извлечения нефти. Показано, что с ростом массовой концентрации частиц возрастает величина коэффициента извлечения нефти.

*Исследование проведено в рамках государственного задания ФГАОУ ВО "Сибирский федеральный университет" (номер FSRZ-2020-0012)*

# ИССЛЕДОВАНИЕ НАТЕКАНИЯ СТРУИ РАСПЛАВА, ВОЗБУЖДАЕМОЙ ПЕРИОДИЧЕСКИМ ИСТОЧНИКОМ ТЕПЛА, НА СЛОЙ ЗАКРИСТАЛЛИЗОВАВШЕГОСЯ ГЕПТАДЕКАНА

Гусельникова О.О., Бердников В.С,

Новосибирский Государственный Технический университет, Новосибирск

E-mail: cersimbod@yandex.ru

Численно исследовано взаимодействие струи, развивающей над линейным источником тепла, температура которого имеет постоянную составляющую и периодическую с заданной амплитудой и частотой, со слоем закристаллизовавшегося гептадекана. Исследуемая область представляет собой прямоугольную полость, заполненную жидкостью.

Моделирование происходит в два этапа: сначала на верхней границе слоя расплава задается температура ниже температуры кристаллизации гептадекана. Дно прямоугольной полости поддерживается при постоянной температуре, выше температуры кристаллизации гептадекана. После формирования слоя закристаллизовавшегося гептадекана и перехода в стационарный режим конвективного теплообмена включается локальный источник тепла на нижней стенке полости. Рассмотрены сценарии формирования термогравитационных струй и их взаимодействия с верхним твердым слоем в зависимости от амплитуды и частоты колебаний температуры на источнике тепла.

Процесс конвективного теплообмена в жидкости описывается системой уравнений нестационарной термогравитационной конвекции в двумерной постановке в декартовых координатах.

*Исследования выполнены в рамках государственного задания ИТ СО РАН (III.18.2.5, Гос.Рег. АААА-А17-117022850021-3).*

## **РАЗВИТИЕ НЕСТАЦИОНАРНОЙ КОНВЕКЦИИ В ВЕРТИКАЛЬНОМ СЛОЕ ЖИДКОСТИ ПРИ МОНОТОННОМ НАГРЕВЕ ВЕРТИКАЛЬНОЙ СТЕНКИ**

**Гусельникова О.О., Бердников В.С.**

НГТУ, Новосибирск

E-mail: cersimbod@yandex.ru

Численно исследовано развитие пограничных слоев на вертикальных стенках и течения в слое этилового спирта в режимах разогрева одной из стенок прямоугольной полости. Высота слоя жидкости – 580 мм, толщина – 58 мм. На правой вертикальной стенке слоя поддерживается постоянная температура, равная начальной. На левой вертикальной стенке полости ставились два типа граничных условий. В первом случае при граничных условиях первого рода температура стенки росла по линейному закону в течение часа. Во втором случае на внешней стороне стенки из зеркального стекла толщиной 7 мм аналогично температура росла по линейному закону в течение часа. На границе раздела стенка-жидкость задавались условия неразрывности температуры и теплового потока.

Конвективный теплообмен в жидкости описывается системой уравнений нестационарной термогравитационной конвекции в двумерной постановке в декартовых координатах. Поле температуры в стенке описывается уравнением нестационарной теплопроводности. Для дискретизации системы уравнений использован метод конечных элементов на треугольниках. Изучена эволюция во времени пограничных слоев, полей температуры и скорости, локальных и интегральных тепловых потоков.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №19-08-00707а.*

## **ЗАВИСИМОСТЬ СТРУКТУРЫ КОНВЕКТИВНОГО ТЕЧЕНИЯ В РЕЖИМЕ РЭЛЕЙ-БЕНАРОВСКОЙ КОНВЕКЦИИ ОТ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО РАЗМЕРА СЛОЯ ЖИДКОСТИ В УСЛОВИЯХ СОПРЯЖЕННОГО ТЕПЛООБМЕНА**

**Данилов Н.И., Митин К.А., Бердников В.С.**

Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск

E-mail: nikita.daniloff@gmail.com

Учет конечной теплопроводности стенок, ограничивающих слой жидкости, усложняет постановку задачи об устойчивости механического равновесия и установления конечно-амплитудного конвективного течения. Численно изучена конвекция в ограниченных фрагментах горизонтальных слоев жидкости (этиловый спирт), равномерно подогреваемых снизу. Методом конечных элементов решалась система уравнений свободной конвекции в приближении Буссинеска. Горизонтальные границы изотермические нагретые до разных температур, было произведено сравнение со случаем линейного распределения температуры на боковых границах. Численное моделирование проводилось в безразмерном виде в двумерной сопряженной постановке в декартовых координатах.

Задана толщина боковых жестких стенок конечной теплопроводности (оргстекло), а также толщина верхней горизонтальной (зеркальное стекло) границы конечной теплопроводности. Поля температуры в стенках и слое жидкости находились из решений уравнений теплопроводности. Учтен сопряженный теплообмен со стенками. Результаты расчетов в режимах сопряженного теплообмена сравнивались с результатами исследований конвекции в прямоугольных полостях тех же относительных размеров, но с идеально проводящими горизонтальными границами.

Производились расчеты полей скорости в конвективных ячейках, получены профили горизонтальной и вертикальной компонент скорости, распределения локальных тепловых потоков и зависимости интегральных чисел Нуссельта от чисел Рэлея.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИКИ И ТЕПЛООБМЕНА ПРИ ДВУХФАЗНОМ ТЕЧЕНИИ В ЩЕЛЕВЫХ МИКРОКАНАЛАХ**

**Дементьев Ю.А., Роньшин Ф.В., Чиннов Е.А.**

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

E-mail: demyurij@inbox.ru

В настоящее время опубликовано и продолжает публиковаться множество работ по тематике двухфазных потоков в микроканалах. Однако щелевые каналы с большим соотношением сторон изучены весьма ограничено. Данная работа посвящена изучению характеристик двухфазного потока в щелевом микроканале при адиабатическом течении и локальном теплообмене. Высота канала 60 мкм, ширина 10 мм, размер локального нагревателя 1 см<sup>2</sup>. В качестве рабочей жидкости использовалась диэлектрическая фторуглеродная жидкость FC-72. Визуализация производилась при помощи модифицированной шпирен системы и тепловизора. Получены тепловые и гидродинамические характеристики такие как коэффициенты теплоотдачи, тепловые потоки с оценкой растечек, газопаросодержание, области плёнок, капли, гидравлическое сопротивление.

*Исследование выполнено за счет гранта РФФИ 18-19-00407*

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ КАМЕРЫ НА ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЭМ, СОДЕРЖАЩИЕ НЕОРГАНИЧЕСКОЕ ГОРЮЧЕЕ**

**Дубкова Я.А., Соколов С.Д., Порязов В.А., Архипов В.А.**

Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск

E-mail: ya.a.dubkova@yandex.ru

В работе описаны составы высокоэнергетических материалов, содержащие в качестве горючего порошки алюминия различных марок, бора, боридов, а также их смеси. Проведены термодинамические расчеты при различных начальных давлениях в камере.

Для всех составов получены тройные фазовые диаграммы с применением программы TRIANGLE. Для получения более детальной картины фазового состава, расчеты выполнялись для камеры, критического сечения и выходного сечения модельного двигателя. Данные для основных термодинамических характеристик были получены путем расчета в программе TERRA.

Показано влияние природы горючего и начального давления на термодинамические характеристики процесса горения. Определен фазовый состав продуктов сгорания.

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект №19-79-10054).*

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРАНИЦ ПРИМЕНИМОСТИ МОДЕЛЕЙ ТУРБУЛЕНТНОСТИ В ЗАДАЧАХ ИНТЕНСИФИКАЦИИ МАССОПЕРЕНОСА УПРАВЛЯЕМЫМ ПОВОРОТНО - ДИВЕРГЕНТНЫМ ПОТОКОМ**

**Езендеева Д. П., Кабардин И. К., Какаулин И.В., Гордиенко М. Р.**  
ИНСТИТУТ ТЕПЛОФИЗИКИ ИМ. С.С. КУТАТЕЛАДЗЕ, Новосибирск  
E-mail: ezendeeva@gmail.com

Настоящая работа посвящена численному моделированию турбулентного массопереноса в поворотных дивергентных течениях. Эффективность массопереноса обусловлена равномерностью полей скорости и мелкомасштабной турбулентности. Потоки реагентов в реальных установках осуществляются в условиях сложной геометрии с поворачивающимися и расширяющимися участками, в которых происходят отрывы потока, формируются пристенные струи и зоны возвратного течения. Подобные эффекты увеличивают гидродинамическое сопротивление потока и ухудшают равномерность турбулентного массопереноса.

При моделировании таких явлений используют современные модели турбулентности. Для того, чтобы понять какая полуэмпирическая модель турбулентности может адекватно описывать турбулентное течение в поворотно-расширяющихся каналах требуется верификация и модернизация моделей турбулентности.

В работе проведен анализ и выбраны модели турбулентности с целью правильного описания течения в поворотно-расширяющихся каналах. Выбор наиболее пригодных моделей осуществлялся при помощи определения границ применимости моделей турбулентности путем сравнения с полученными экспериментальными данными.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ 16-08-01120, 18-31-20036  
гос. задание проект АААА-А18-118051690120-2*

## РАСЧЕТНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТРАНСПОРТА ШЛАМА В КОЛЬЦЕВЫХ КАНАЛАХ МАЛОГО СЕЧЕНИЯ

**Жигарев В.А., Минаков А.В., Неверов А.Л., Пряжников М.И., Гузей Д.В.**

Сибирский федеральный университет, Красноярск

E-mail: zhigarev.vladimir@yandex.ru

Важнейшее условие повышения технико-экономических показателей геологоразведочного бурения - совершенствование буровых растворов. В современных условиях задача управления качеством буровых растворов состоит в том, чтобы в сочетании со сложными горно-геологическими условиями и гидравлической программой бурения поддерживать их требуемые структурно-реологические и фильтрационные свойства при минимальном содержании твердой фазы и заданном уровне ингибирования.

Реологические свойства буровых растворов оказывают значительное влияние на вынос выбуренной породы на поверхность, устойчивости стенок скважин, создание перепада давления в скважине. Перепад давления, в свою очередь, определяет возможность возникновения осложнений в процессе бурения скважин: поглощение бурового раствора и обрушение стенок скважин. Поэтому возникает задача управления реологическими характеристиками буровых растворов в скважине. Эта задача решается путем химической обработки буровых растворов, различными полимерами и добавками различных материалов, такие как жидкое стекло, глина и т.д. В данной работе рассмотрено несколько задач. Таких как разработка и исследование их реологических и физических параметров. А так же расчет перепада давления в кольцевых каналах на примере разработанных буровых растворов.

Для эффективного выполнения своих функций в конкретных геолого-технических условиях бурения скважин буровой раствор должен иметь строго определенные значения показателей свойств или, иными словами, удовлетворять соответствующему данным условиям регламенту на показатели свойств. Одной из таких функций является эффективный вынос частиц выбуренной породы (шлама) из ствола скважины.[1-2]

Выбуренные частицы, образующие в результате работы бурового инструмента, должны удаляться из скважины. Для этого буровой раствор прокачивают по буровой колонне, при этом выбуренная порода улавливается и выносится вверх по кольцевому пространству на поверхность. Эффективность выноса выбуренного шлама (очистки ствола) зависит от размера, формы и плотности твердых частиц, скорости проходки, вращения бурильной колонны, а также от вязкости, плотности и скорости восходящего потока бурового раствора в кольцевом пространстве.

Анализ исследовательских работ и практический опыт авторов показывает, что наиболее полно требованиям бурения удовлетворяют полимерные растворы [3]. Такие растворы эффективно очищают скважину и охлаждают буровой инструмент, снижают гидравлические сопротивления, не диспергируют горные породы.

Целью данной работы было разработка рецептур буровых растворов и расчетное исследование транспорта частиц выбуренной породы (шлама) буровыми растворами в вертикальных скважинах. Для реализации данной цели было решено ряд задач, таких как численное моделирование течения данных растворов в кольцевых каналах на основе геометрии реальной скважины.

Проведено численное моделирование транспорта шлам в скважинах различного диаметра. Проведено исследование зависимости выноса шлама от расхода бурового раствора, от вращения внутренней трубы. Показано что влияние расхода бурового раствора оказывает сильное влияние на распределение шлама по длине канала. Показано что при малых расходах бурового раствора эффективность выноса частиц шлама низкая.

1. Грей Дж.Р., Дарли Г.С.Г. Состав и свойства буровых агентов (промывочных жидкостей) М.: Недра, 1985. — 509 с.

2. Будюков Ю. Е., Власюк В. И., Спирин В. И. Алмазный породоразрушающий

инструмент. — Тула: ИПП “Триф и К”, 2005. — 288 с.

3. Афанасьев И.С., Блинов Г.А., Бухарев Н.Н., Егоров Н.Г., Егоров Э.К. Справочник по бурению геологоразведочных скважин — С-П.: Недра, 2000. — 712 с.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, Правительства Красноярского края, Красноярского краевого фонда науки в рамках научного проекта: «18-41-240001 Расчетно-экспериментальное исследование транспорт*

## ИНДИЙ-ИНДУЦИРОВАННАЯ КРИСТАЛЛИЗАЦИЯ ТОНКИХ ПЛЕНОК $a\text{-SiO}_x$

**Замчий А.О. , Е.А. Баранов, И.Е. Меркулова, Н.А. Лунев**

Институт теплофизики имени С. С. Кутателадзе СО РАН, Новосибирск

E-mail: zamchiy@gmail.com

Впервые была показана возможность получения поликристаллического кремния путем индий-индуцированной кристаллизации тонких пленок аморфного субоксида кремния ( $a\text{-SiO}_x$ ). Тонкие пленки  $a\text{-SiO}_x$  ( $x = 0.5$ ) толщиной около 400 нм были синтезированы методом плазмохимического осаждения из газовой фазы  $\text{SiH}_4\text{-O}_2$  на подложках из кварца. Далее на слои  $a\text{-SiO}_{0.5}$  методом термовакuumного испарения наносились пленки индия толщиной около 420 нм. Полученные структуры были отожжены в условиях высокого вакуума ( $\sim 10^{-4}$  Па) в печи при температуре 550 - 850°C в течение 5 часов. Кристаллические свойства материала были исследованы методом спектроскопии комбинационного рассеяния света. Морфология образцов была изучена методами оптической и сканирующей электронной микроскопии.

Было показано, что использование металла индия в процессе отжига тонких пленок  $a\text{-SiO}_{0.5}$  позволило снизить температуру процесса кристаллизации до 600°C, что значительно ниже температуры твердофазной кристаллизации материала, 850°C.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта Президента Российской Федерации (МК-638.2019.8)*

## **ОПТИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА ТЕМПЕРАТУРНЫХ И СТРУКТУРНЫХ ПАРАМЕТРОВ ВОДОРОДНО-ВОЗДУШНОГО ПЛАМЕНИ**

**Золотухина О.С., Арбузов В.А., Арбузов Э.В., Дубнищев Ю.Н., Лукашов В.В.**

Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук, Новосибирск

E-mail: melexina-olga17@yandex.ru

В работе рассматривается метод восстановления параметров многокомпонентных сред на примере водородно-воздушного пламени. Используются гильберт-визуализация и численное моделирование фазовых возмущений, индуцированных исследуемой средой в зондирующем световом поле. Исследование горящей струи проводилось в модели аксиальной симметрии факела. Разработан программный комплекс, реализующий прямое решение задачи: расчет пространственной оптической фазовой структуры пламени и соответствующих ей гильбертограмм на основе температуры и молярных концентраций продуктов горения смеси. Достоверность результатов подтверждается сравнением гильбертограмм, полученных в эксперименте, и восстановленных из поля фазовой оптической плотности с использованием преобразования Абеля. Разработанный метод может быть применён для решения обратной задачи: реконструкции температурного поля по гильберт-изображению фазовой структуры. Исследование мотивировано научной и практической значимостью проблемы, заключающейся в поиске методов управления структурными и термодинамическими параметрами реагирующих струй и пламен.

## О СПИРАЛЬНОМ ТУРБУЛЕНТНОМ ТЕЧЕНИИ В КОЛЬЦЕВОМ КОНЦЕНТРИЧЕСКОМ КАНАЛЕ

**Игнатенко Я.С., Гаврилов А.А., Бочаров О.Б.**

Новосибирский Технологический Центр Бейкер Хьюз, Новосибирск

E-mail: yaroslav.ignatenko@bakerhughes.com

Проведено моделирование спирального течения ньютоновской жидкости через кольцевой канал с отношением диаметров 0.5 при числах Рейнольдса  $Re=100\div 10000$  и безразмерной скорости вращения внутреннего цилиндра  $\chi=0.5\div 5$ . Моделирование турбулентных режимов течения выполнено с помощью нестационарной статистической модели турбулентности URANS.

Выявлены следующие режимы течения: однородное течение без выраженных структур ( $Re=100$ ,  $\chi\leq 3$ ); непрерывные спиральные вихри типа Гётлера возле внутреннего цилиндра ( $Re=300$ ,  $\chi\leq 1$  и  $Re=300\div 10000$ ,  $\chi=0.5$ ); вихри Тейлора ( $Re\leq 300$  и  $\chi\geq 3$ ); течение с образованием вихрей Гётлера возле обеих стенок канала ( $Re>1000$  и  $\chi\geq 1$ ). Спираль вихрей типа Гётлера возле внешнего цилиндра со направлена вращению внутреннего цилиндра, при этом вихри возле самого внутреннего цилиндра намотаны против его вращения.

Образование крупных вихревых структур типа Тейлора приводит к снижению коэффициента сопротивления канала  $f_a Re$ . Взаимодействие вихрей Гётлера приводит к образованию мелкомасштабных структур, что ведет к росту сопротивления канала с увеличением числа Рейнольдса и скорости вращения.

*Авторы выражают благодарность компании Бейкер Хьюз за разрешение на публикацию этих материалов.*

## **НЕСТАЦИОНАРНЫЙ ТЕПЛООБМЕН В РАСТВОРАХ ЗА ЛИНИЕЙ РАВНОВЕСИЯ ЖИДКОСТЬ-ЖИДКОСТЬ**

**Игольников А.А., Рютин С.Б., Скрипов П.В.**  
Институт теплофизики УрО РАН, Екатеринбург  
E-mail: alexander.igolnikov@bk.ru

На сегодняшний день теплофизиками активно изучаются способы интенсификации теплообмена в рамках проектирования эффективных теплообменников. В качестве теплоносителя могут выступать растворы, имеющие ограниченную (в координатах концентрация-температура) область смешения. Таким соединениям присуще явление спиnodального распада, в результате которого усиление крупномасштабных флуктуаций концентрации приводит к разделению изначально однофазного бинарного раствора на две жидкие фазы различного состава. Предполагается, что в этом процессе реализуется самоиндуцированная конвекция, приводящая к интенсификации теплообмена. В работе будут представлены результаты исследования бинарных водных растворов полипропиленгликолей ППГ-425 и ППГ-725 в рамках опытов по нестационарному импульсному нагреву проволочного зонда, помещенного в исследуемую жидкость. Также в докладе будут продемонстрированы результаты оценки критических параметров растворов, в том числе с переходом в область неустойчивых состояний.

*Работа выполнена при поддержке гранта РФФ №19-19-00115*

## **РАСТЕКАНИЕ КАПЕЛЬ ПО АБРАЗИВНО-ОБРАБОТАННЫМ ПОВЕРХНОСТЯМ МЕДИ И СТАЛИ**

**Исламова А.Г.**

Томский политехнический университет, Томск

E-mail: anastasya.isl@gmail.com

Известно, что количественной характеристикой смачивания молекулярно-гладких поверхностей является равновесный контактный угол. Однако поверхность твердого тела не бывает идеально гладкой, их текстура характеризуется хаотичным расположением неоднородностей, контактный угол отклоняется от равновесного на величину гистерезиса контактного угла. Последний определяется как разница между динамическим контактным углом натекания и оттекания, измеренных, в условиях зацепления контактной линии при растекании и откачивании. Целью настоящей работы является установление влияния шероховатости абразивно-обработанных поверхностей металла (меди и стали) на статические и динамические контактные углы.

Разработана процедура оценки шероховатости поверхности на основе трехмерных параметров шероховатости и статистической оценки. Установлены зависимости статического и динамического углов натекания и оттекания, гистерезиса, скорости перемещения контактной линии от трехмерных параметров шероховатости.

трехмерных параметров шероховатости.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-38-90136*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ТУРБУЛЕНТНОГО МАССОПЕРЕНОСА В ПОВОРОТНО-ДИВЕРГЕНТНЫХ ТЕЧЕНИЯХ**

**Какаулин С.В., Гордиенко М.Р., Езендеева Д.П., Кабардин И.К.**  
Институт Теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН, Новосибирск  
E-mail: kakaulin\_serger@mail.ru

Объектом исследования является макет распределителя газового потока для дожига летучих органических соединений.

Проведена модернизация экспериментального стенда для диагностики турбулентного массопереноса в поворотно-дивергентных течениях с управлением потока. Изготовлен поворотный расширяющийся рабочий участок и экспериментальный стенд для диагностики характеристик турбулентного потока. Адаптированы методики экспериментальных исследований турбулентного поворотно-дивергентного течения оптическими методами для восстановления поля скорости в необходимых областях исследования потока, используя визуализацию, системы лазерно-доплеровской анемометрии.

Проведенный цикл экспериментальных исследований турбулентного потока в поворотно-расширяющемся рабочем участке при различных режимных параметрах, позволил выявить две области. Первая область отвечает области струйного течения. Вторая область – возвратного течения.

Полученные результаты позволили модернизировать стенд, посредством установки крыловидных профилей и получить необходимое распределение скорости на каталитическом картридже.

*Проекты РФФИ 16-08-01120 а, РФФИ 18-31-20036  
Гос. задание проект АААА-А18-118051690120-2*

**ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕНОСА ГОРЯЩИХ ЧАСТИЦ В  
ПОЛУНАТУРНЫХ УСЛОВИЯХ ДЛЯ ТЕСТИРОВАНИЯ И ВЕРИФИКАЦИИ  
РАЗРАБАТЫВАЕМОГО ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА**

**Касымов Д.П.<sup>1</sup>, Агафонцев М.В.<sup>1</sup>, Орлов К.Е.<sup>1</sup>, Проханов С.А.<sup>1</sup>, Мартынов П.С.<sup>1</sup>,  
Фильков А.И.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Томский государственный университет, Томск

<sup>2</sup>Университет Мельбурна, Австралия

E-mail: denkasymov@gmail.com

Понимание того, как тлеющие частицы образуются во фронте природного пожара и как воспламеняют постройки в случае перехода на природно-урбанизированные территории очень важно для развития нового поколения математических моделей, позволяющих улучшить прогноз распространения природных пожаров и их воздействия на населенные пункты. С этой целью проведено физическое моделирование переноса горящих частиц в полунатурных условиях в широком диапазоне параметров на уникальной установке "Генератор горящих и тлеющих частиц". Одной из важных характеристик горящих частиц, образующихся во время природных пожаров, является дальность переноса, а также их траектории полета. Использование ИК-камеры совместно с данной установкой при наличии тепловых реперов в поле зрения ИК-камеры позволяет определить траектории горящих частиц, их размеры и температуру, а также дальность переноса.

*Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ (проект № 18-07-00548)*

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ НА НЕПОДВИЖНОМ И ВРАЩАЮЩЕМСЯ ОХЛАЖДАЕМОМ ДИСКЕ**

**Кислицын С.А.**

Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе; Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск  
E-mail: 100pch@mail.ru

Численно исследован процесс роста кристалла на охлаждаемом диске, расположенном на свободной поверхности расплава. Исследования проведены в режимах свободной и смешанной конвекции. Рассмотрено влияние вращения диска или цилиндрического тигля, вмещающего расплав, на форму фронта кристаллизации. Расчеты проведены методом конечных элементов с использованием адаптивной треугольной сетки и учетом теплоты кристаллизации в осесимметричной постановке. Треугольная сетка отслеживает положение фронта кристаллизации на каждом временном шаге и сгущается с обеих его сторон, а также в различной степени ко всем границам и угловым точкам расчетной области. Задача в данной постановке является упрощенной моделью метода Чохральского – метода выращивания монокристаллов путем вытягивания со свободной поверхности расплава.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ 19-48-540003p\_a*

# **ИЗУЧЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК СЖИГАНИЯ ЖИДКИХ УГЛЕВОДОРОДОВ ПРИ ИХ РАСПЫЛЕНИИ СТРУЕЙ ПЕРЕГРЕТОГО ВОДЯНОГО ПАРА В РАСПЫЛИТЕЛЬНОМ ГОРЕЛОЧНОМ УСТРОЙСТВЕ**

**Копьев Е.П., Мухина М.А., Садкин И.С.**

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

E-mail: kopyeve@itp.nsc.ru

В Институте теплофизики СО РАН предложен новый способ сжигания жидкого топлива с использованием водяного пара, при котором происходит газификация углеродосодержащих частиц неполного сгорания жидких углеводородов. Такой способ сжигания является перспективным для экологически безопасной утилизации низкокачественных жидких углеводородных топлив и горючих производственных отходов с получением тепловой энергии. В данной работе изучается процесс горения жидкого углеводородного топлива в горелочном устройстве с принудительной регулируемой подачей пара. Распыление топлива обеспечивается в результате взаимодействия с высокоскоростной струей перегретого водяного пара. В работе показано, что при таком режиме работы обеспечивается высокая полнота сгорания топлива при одновременно низком содержании вредных выбросов СО и NO<sub>x</sub> в газообразных продуктах реакции.

## **ОБОСНОВАНИЕ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ УСЛОВИЙ И ХАРАКТЕРИСТИК ЗАЖИГАНИЯ ЧАСТИЦ ВЛАЖНОЙ ДРЕВЕСИНЫ ОДНОГО ИЗ СПОСОБОВ ПОВЫШЕНИЯ РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКИ**

**Косторева Ж.А. , Косторева А.А., Малышев Д.Ю.**

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск

E-mail: zhanna.kostoreva@yandex.ru

Приведены результаты экспериментальных исследований процессов зажигания сухих и влажных частиц четырех видов древесной биомассы в среде нагретого до высоких температур воздуха, выполненные с целью обоснования ресурсоэффективности использования в теплоэнергетике древесной биомассы (как базового топлива паровых и водогрейных котлов). Установлено существенное влияние вида древесины на условия и характеристики зажигания её одиночных частиц. Также установлено значительное влияние влажности на времена задержки зажигания частиц исследовавшихся видов биомассы. Такие времена, соответствующие древесине в естественном состоянии в 3-4 раза превышают во всем (достаточно широком) диапазоне изменения значимых для практики температур времена задержки зажигания сухих частиц древесины. Установленные в проведенных экспериментах закономерности иллюстрируют перспективности использования в теплоэнергетике древесной биомассы, как основного топлива или компоненты древесно-угольной смеси.

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 18-79-10015)*

# ПРОГНОЗИРОВАНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ ТЕПЛОТДАЧИ НА ДВУХМЕРНЫХ МИКРОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ПОВЕРХНОСТЯХ ПРИ КИПЕНИИ РАЗЛИЧНЫХ ЖИДКОСТЕЙ В УСЛОВИЯХ СВОБОДНОЙ КОНВЕКЦИИ

Коханова Ю.С., Аксянов Р.А., Попов И.А.

Казанский Национальный Исследовательский Технический Университет им. А. Н. Туполева,  
Казань  
E-mail: yulkoh@yandex.ru

Для расчетов интенсификации теплоотдачи на микроструктурированных поверхностях, полученных методом деформированного резания, проведено обобщение экспериментальных данных методом полиномиальной регрессии.

Получена зависимость (1) для коэффициента теплоотдачи при кипении воды, этанола, 60% водного раствора глицерина, фреонов R113, R123, хладона Noves649 в большом объеме на поверхностях с двумерным рельефом:

$$\alpha/\alpha_0 = 6Kq^{(-0,2)} \cdot (\theta/90)^{(0,554)} \cdot (h/l_0)^{(0,19)} \cdot (\Delta/l_0)^{(0,201)} \cdot (\delta/l_0)^{(-0,394)}, \quad (1)$$

где  $\alpha$  и  $\alpha_0$  – коэффициенты теплоотдачи на микроструктурированной и гладкой поверхностях,  $Kq$  – масштаб осредненной скорости движения жидкости, обусловленной процессом парообразования  $Kq = q \cdot l_0 / (r \cdot \rho \cdot v)$ ,  $l_0$  – постоянная Лапласа, пропорциональная отрывному диаметру пузырька.

Зависимость (1) описывает экспериментальные точки с отклонением  $\pm 30\%$  при доверительной вероятности 0,95 и справедлива при  $q = 3800 - 2,17 \cdot 10^6$  Вт/м<sup>2</sup>,  $Kq = 5 - 11500$ ,  $\theta/90 = 0,72 - 1$ ,  $h/l_0 = 0,09 - 1,45$ ,  $\Delta/l_0 = 0,002 - 1,29$ ,  $\delta/l_0 = 0,01 - 1$ ,  $Pr = 1,75 - 35,7$ ,  $F/F_0 = 1,66 - 9,75$ .

## **ДИНАМИКА РАЗРЫВА НЕИЗОТЕРМИЧЕСКОГО СЛОЯ ЖИДКОСТИ**

**Кочкин Д.Ю., Зайцев Д.В.**

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

E-mail: kochkin1995@mail.ru

Пленки жидкости широко используются в промышленности, однако тонкие пленки подвержены разрыву, что может снижать эффективность аппаратов. Эксперименты проводились на рабочем участке, представляющем собой текстолитовое основание, в центре которого впрессован медный нагреватель круглой формы диаметром 12 мм. Горизонтальная пленка жидкости формировалась на поверхности рабочего участка, после чего включался нагреватель, на котором спустя некоторое время образовывалось сухое пятно. В эксперименте использовались скоростная камера с оптической шпирен системой, позволяющая визуализировать деформации и разрушение пленки, а также конфокальный сенсор Micro-Epsilon, позволяющий с высокой точностью измерять толщину слоя жидкости. Было выявлено, что процесс разрыва пленки происходит с образованием остаточного слоя на нагревателе. Установлено, что толщина остаточного слоя жидкости не зависит от начальной толщины слоя, однако увеличивается с увеличением вязкости жидкости и с увеличением скорости нагрева.

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧЕК ПЕРЕХОДА К НЕСТАЦИОНАРНЫМ РЕЖИМАМ ТЕЧЕНИЯ В МАЛЫХ КАНАЛАХ**

**Кравцова А.Ю., Янко П.Е.**

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук, Новосибирск  
E-mail: Kravtsova.Alya@gmail.com

Экспериментальное исследование точек перехода от стационарных к нестационарным режимам течения, реализующихся в микроканале Т-типа, при изменении соотношения входных расходов было проведено методом лазерной индуцированной флуоресценции. При этом одна из жидкостей, поступающих в канал была подкрашена родамином 6Ж с концентрацией 362 мг/л. Подсветка потока в рабочем участке осуществлялась импульсным лазером Nd:Yag в течении 10 нс, что позволило получить поля концентрации с минимальной ошибкой, вызванной осреднением поля по времени. На основе детальных мгновенных картин течения было показано, что для микроканала Т-типа при изменении соотношения расходов входных потоков, переход от стационарных режимов течения к нестационарным можно в значительной степени отодвинуть в область более высоких чисел Рейнольдса.

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 19-79-10217)*

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТНЫХ СВОЙСТВ РАСТВОРОВ ВОДА-ПАВ

**Пещенюк Ю.А., Семенов А.А., Вожаков И.С.**

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук, Новосибирск  
E-mail: krotcenkoulia@gmail.com

Расширение области применения пульсационных тепловых труб стимулирует проведения новых теоретических и экспериментальных исследований. Одним из актуальных вопросов является проблема кризиса теплообмена. Перенос кризиса в область более высоких температур возможен за счет изменения свойств рабочей жидкости. В данной работе представлены данные по изучению поверхностных свойств растворов вода – ПАВ в зависимости от концентрации. В качестве ПАВ использовались СТАВ, SLS и ТВИН – 80. Выбор веществ обусловлен их широким распространением в промышленном использовании, а также отличными друг от друга зарядными композициями (катионный, неионный и анионный типы ПАВ). Свойства растворов измерялись на высокоточном тензиометре Kruss K100 методом пластины Вильгельми. Полученные данные по зависимости поверхностного натяжения раствора от его концентрации хорошо согласуются с экспериментальными данными в других работах. Также проведены исследования смачиваемости медной поверхности.

*Работа выполнена при поддержке гранта РНФ №20-79-10096.*

# **ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ СОВМЕСТНОГО ГОРЕНИЯ ПЫЛЕУГОЛЬНОГО И ГАЗОВОГО ТОПЛИВА НА ОСНОВЕ ВИХРЕРАЗРЕШАЮЩИХ МЕТОДОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ ТУРБУЛЕНТНОСТИ**

**Кузнецов В.А., Дектерев Ар.А., Минаков А.В.**

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе  
Сибирского отделения Российской академии наук, Новосибирск  
E-mail: victor\_partner@mail.ru

При оптимизации и проектировании горелочно-топочных устройств пылеугольных котлов широко используется математическое моделирование, основанное на стационарном приближении с использованием моделей турбулентности, основанных на осредненных уравнениях переноса. Такой подход не позволяет исследовать устойчивость горения, процессы срыва пламени, локального воспламенения, переходные процессы и др. Для этой цели предполагается развить нестационарные методы моделирования для условий совместного горения пылеугольного и газового топлива.

В работе проведено численное исследование процессов сжигания пылевидного угля в газовом пламени на основе предложенной математической модели процессов нестационарного горения, с применением вихреразрешающей модели турбулентности, сложного теплообмена и редуцированного механизма для химической кинетики.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ 19-08-00781*

# ПОЛУЧЕНИЕ КРИТЕРИАЛЬНОЙ ЗАВИСИМОСТИ ДЛЯ ТЕПЛОТДАЧИ ПРИ КИПЕНИИ РАЗЛИЧНЫХ ЖИДКОСТЕЙ НА ТРЕХМЕРНЫХ МИКРОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ПОВЕРХНОСТЯХ В УСЛОВИЯХ СВОБОДНОЙ КОНВЕКЦИИ

**Куимов Е.С., Лей Р.А., Попов И.А.**

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н.Туполева-  
КАИ», Казань  
E-mail: egor-qu@ya.ru

Для инженерных расчетов теплоотдачи при кипении различных жидкостей (воды, этанола, 60% водного раствора глицерина, фреонов R11, R113, R123, R134a) в большом объеме на поверхностях с трехмерным рельефом, полученных методом деформирующего резания, было произведено обобщение экспериментальных данных:  $\alpha/\alpha_0 = 3,2 \cdot Kq^{(-0,2)} \cdot (\theta/90)^{(-1,64)} \cdot (h/l_0)^{(0,395)} \cdot (\Delta/l_0)^{(0,08)} \cdot (\delta/l_0)^{(0,18)} \cdot (u/l_0)^{(-0,47)} \cdot (s/l_0)^{(-0,47)}$ , где  $\alpha$  – коэффициент теплоотдачи на микроструктурированной поверхности,  $\alpha_0$  – коэффициент теплоотдачи на гладкой поверхности,  $Kq$  – безразмерный критерий – масштаб осредненной скорости движения жидкости, обусловленной процессом парообразования  $Kq = q \cdot l_0 / (r \cdot \rho \cdot v)$ ,  $l_0$  – постоянная Лапласа  $l_0 = \sqrt{(\sigma / (g \cdot (\rho' - \rho)))}$ . Зависимость описывает экспериментальные точки с отклонением  $\pm 30\%$  при доверительной вероятности 0,85 и в диапазоне  $q = 2400 \div 3,5 \cdot 10^6$  Вт/м<sup>2</sup>,  $Kq = 8,7 \div 22030$ ,  $\theta/90 = 0,77 \div 1$ ,  $h/l_0 = 0,09 \div 0,71$ ,  $\Delta/l_0 = 0,002 \div 0,3$ ,  $\delta/l_0 = 0,042 \div 0,42$ ,  $u/l_0 = 0,009 \div -0,28$ ,  $s/l_0 = 0,02 \div 0,79$ ,  $Pr = 1,75 \div 7,35$ ,  $F/Fo = 2,23 \div 4,8$

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОПЕРЕДАЮЩИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПУЛЬСИРУЮЩЕЙ ТЕПЛОВОЙ ТРУБЫ**

**Литвинцева А.А., Чеверда В.В., Роньшин Ф.В., Элоян К.С.**

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки институт теплофизики им. С. С.  
Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук, Новосибирск  
E-mail: nastja\_\_@mail.ru

В настоящее время тепловые трубы широко используются в различных областях: от охлаждения микроэлектроники до космических задач. Существует несколько основных типов тепловых труб: с пористым наполнителем, с фитилем, с микроребрием, контурная и пульсирующая. Основным преимуществом пульсирующей тепловой трубы является простота ее изготовления, что обеспечивает ее широкое применение.

В работе исследуются процессы теплообмена в пульсирующей тепловой трубе. Тепловая труба представляет собой медную трубку диаметром  $\varnothing 4 \times 1$  мм с 10 секциями с двумя вставками из стекла для визуализации процессов внутри трубы. Измерялся тепловой поток в зависимости от перепада температур между испарителем и конденсатором. Визуализация процессов в тепловой трубе производилась с помощью фотокамеры Nikon D7000.

**ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ  
ХАРАКТЕРИСТИК МИКРОТРЕЩИНЫ В ГОРНОЙ ПОРОДЕ НА  
ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВЫМЫВАНИЯ ИЗ НЕЁ НЕФТИ С ПОМОЩЬЮ  
ВЫТЕСНЯЮЩЕГО АГЕНТА**

**Лобасов А.С., Минаков А.В.**

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего  
образования "Сибирский федеральный университет", Красноярск

E-mail: perpetuityrs@mail.ru

Постепенное истощение месторождений нефти происходит повсеместно, поэтому становятся актуальными вопросы разработки и применения новых технологий нефтедобычи, позволяющих значительно увеличить нефтеотдачу уже разрабатываемых пластов, а также использовавшихся и законсервированных месторождений, на которых традиционными методами извлечь значительные остаточные запасы нефти уже невозможно. Использование в широком смысле микро- и нанотехнологий является одним из перспективных способов решения этих задач. В работе с помощью численного моделирования проведено исследование эффективности вымывания нефти из прямых микроканалов, имитирующих пору или трещину в горной породе, с использованием воды в качестве вытесняющего агента. Построены карты режимов течения и эффективности вымывания от числа Рейнольдса, получены зависимости этих характеристик от геометрических параметров микроканала, имитирующего пору или трещину, таких как его ширина, глубина и угол наклона относительно основного канала.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ 19-48-240015*

## СТРУКТУРНЫЕ СВОЙСТВА ТОНКИХ ПЛЕНОК НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО КРЕМНИЯ, ПОЛУЧЕННЫХ В РЕЗУЛЬТАТЕ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО ОТЖИГА $\alpha$ -SiO<sub>x</sub> РАЗЛИЧНОГО СОСТАВА

Лунев Н.А., Меркулова И.Е.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук, Новосибирск  
E-mail: nanochirik9@gmail.com

В данной работе исследовалась зависимость размера кристаллита и кристалличности от начальной концентрации кислорода в тонких пленках аморфного нестехиометрического оксида кремния ( $\alpha$ -SiO<sub>x</sub>), полученных методом газоструйного химического осаждения с активацией электронно-пучковой плазмой, при их высокотемпературном отжиге.

Осаждение пленок  $\alpha$ -SiO<sub>x</sub> велось на кварцевых и кремниевых подложках при варьировании расхода газовой смеси 5% моносилана и 95% аргона при постоянных расходах кислорода и водорода. Далее образцы были подвергнуты отжигу в течение 2 часов при температуре 950°C, что привело к формированию нанокристаллической фазы кремния. Структура и состав синтезированного и отожженного материала были изучены методами ИК Фурье-спектроскопии, спектроскопии комбинационного рассеяния света и сканирующей электронной микроскопии. Отжиг привел к снижению кристалличности пленок с 69 до 42 % с ростом стехиометрического коэффициента  $\alpha$ -SiO<sub>x</sub>, при этом размер кристаллита вырос от 4,42 до 5,84 нм.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 19-79-10143)*

## **ВЛИЯНИЕ ВИДА ЛЕСНОГО ГОРЮЧЕГО МАТЕРИАЛА НА ХАРАКТЕРИСТИКИ И УСЛОВИЯ ЗАЖИГАНИЯ БИО-ВОДОУГОЛЬНЫХ ТОПЛИВ**

**Малышев Д.Ю., Косторева Ж.А., Сыродой С.В., Наумкин А.С.**

федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»,  
Томск

E-mail: dmitry.mlv@gmail.com

Приведены результаты экспериментальных исследований процессов зажигания нового класса топлива: био-водоугольного с добавлением 10 % листового или хвойного опада различных пород деревьев, а также древесного угля.

По результатам анализа кадров типичных видеogramм выделены основные этапы термической подготовки, предшествующие зажиганию капель Био-ВУТ.

Установлено, что добавление 10 % биомассы позволяет существенно (до 30 %) уменьшить время задержки зажигания био-водоугольных суспензий в условиях относительно низких температур ( $T_g \leq 1073$  К).

При высоких температурах окислителя ( $T_g \geq 1273$  К) значения времен задержки зажигания ВУТ и Био-ВУТ отличаются незначительно. Вид ЛГМ несущественно влияет на продолжительность индукционного периода.

Установлено, что уменьшение диаметра капли Био-ВУТ с 3 мм до 2 мм приводит к сокращению индукционного периода практически в два раза.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке фонда РФФ 18-79-10015*

## **ОСАЖДЕНИЕ ФТОРПОЛИМЕРНЫХ ПОКРЫТИЙ ИЗ ФТОРОРГАНИЧЕСКОГО ГАЗА, АКТИВИРОВАННОГО ТЛЕЮЩИМ РАЗРЯДОМ**

**Мельник А.В., Петрова А.В., Сафонов А.И.**

Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН, Новосибирский государственный университет, Новосибирск  
E-mail: koltekreit@gmail.com

В настоящее время придание материалам различных функциональных свойств является одной из востребованных задач современных технологий. Особый интерес представляют материалы с гидрофобными и супергидрофобными свойствами. Такие покрытия могут быть использованы для интенсификации теплообмена, снижения гидродинамического сопротивления и т.д. Одним из способов получения заданных свойств у материала является нанесение на его поверхность тонкой плёнки другого материала, обладающего необходимыми свойствами. Среди множества типов вакуумных покрытий особый интерес представляют полимерные, а в особенности фторполимерные покрытия, которые обладают гидрофобными свойствами. В представленной работе для осаждения фторполимерных покрытий был применён тлеющий разряд. Данный метод позволяет не только осадить покрытия, но и предварительно очистить поверхность перед осаждением с помощью изменения параметров разряда. В результате проделанной работы были получены гидрофобные и супергидрофобные покрытия.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ 17-08-01342*

*Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Правительства РФ для поддержки научных исследований, проводимых под руководством ведущих ученых № 075-15-2019-1888.*

## **ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ГИДРОФОБНЫХ СВОЙСТВ МЕМБРАН НА ПРОЦЕСС СЕПАРАЦИИ ВОДОНЕФТЯНОЙ ЭМУЛЬСИИ**

**Мельник А.В., Петрова А.В., Старинский С.В., Сафонов А.И.**

Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН, Новосибирский государственный университет, Новосибирск  
E-mail: a.melnik@g.nsu.ru

Сепарация водонефтяных эмульсии является одной из важнейших задач современной нефтяной промышленности. Существующие методы являются высокоэнергозатратными и, следовательно, менее экономичными, что в свою очередь увеличивает стоимость добываемой нефти. Одним из способов сепарации является применение мембранных технологий. Мембрана должна обладать гидрофобными свойствами. В представленной работе в качестве такой мембраны предлагается использовать металлические сетки покрытые гидрофобным фторполимером. На металлические сетки были нанесены фторполимерные покрытия с различными свойствами смачивания методом HW CVD. Используя полученные мембраны были проведены исследования по изучению влияния свойств смачивания покрытий мембраны на эффективность и скорость сепарации водонефтяных и нефтеводяных эмульсий. Полученные результаты показали высокую эффективность применения разработанных мембран.

*Работа выполнена при госбюджетной поддержке (AAAA-A17-117030110017-0).*

## ПОЛУЧЕНИЕ ПОЛИКРЕМНИЯ ПУТЕМ АЛЮМИНИЙ-ИНДУЦИРОВАННОЙ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ТОНКИХ ПЛЕНОК СУБОКСИДА КРЕМНИЯ

Меркулова И.Е., Замчий А.О., Баранов Е.А.

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

E-mail: itpmerkulova@gmail.com

Алюминий-индуцированная кристаллизация (AIC) аморфного кремния (a-Si) позволяет получать пленки поликремния при низких температурах и малых временах отжига. Предполагается, что использование в процессе AIC аморфного субоксида кремния (a-SiO<sub>x</sub>) взамен a-Si позволит получать пленки с меньшей плотностью центров кристаллизации, большим размером зерна и меньшей протяженностью границ зерен. В данной работе было изучено влияние стехиометрии тонких пленок a-SiO<sub>x</sub> на процесс AIC для исходной компоновки слоев «стекло/алюминий/SiO<sub>2</sub>/a-SiO<sub>x</sub>». Пленки алюминия толщиной 200 нм были синтезированы методом термовакuumного осаждения на стеклянных подложках. Мембранный слой SiO<sub>2</sub> толщиной 4 нм и пленка a-SiO<sub>x</sub> осаждались методом PECVD из смеси газов SiH<sub>4</sub>/O<sub>2</sub>. Отжиг производился в вакуумной камере при температуре 550°C. Показано, что время полной кристаллизации образца увеличивается с 40 до 105 часов, при увеличении стехиометрического коэффициента исходных пленок субоксида кремния с 0,2 до 0,4. Полученные кристаллиты имеют основную ориентацию <111>.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда в рамках научного проекта № 19 79-10143*

## ПОЛУЧЕНИЕ ПОЛИКРЕМНИЯ ПУТЕМ ЭЛЕКТРОННО-ПУЧКОВОГО ОТЖИГА ТОНКИХ ПЛЕНОК СУБОКСИДА КРЕМНИЯ

**Меркулова И.Е., Замчий А.О., Константинов В.О., Баранов Е.А.**

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

E-mail: itpmerkulova@gmail.com

В данной работе, для кристаллизации тонких пленок аморфного гидрогенизированного оксида кремния ( $a\text{-SiO}_x\text{H}$ ) использовали электронно-пучковый отжиг. Обычно, электронно-пучковый отжиг применяется для перекристаллизации пленок аморфного кремния, где либо формируются нанокристаллиты кремния, либо проходит полная перекристаллизация материала с образованием поликристаллического кремния. На кварцевых подложках были получены тонкие пленки  $a\text{-SiO}_x\text{H}$  толщиной 560 нм из газовой смеси  $\text{SiH}_4/\text{O}_2$  методом плазмохимического осаждения. Методом энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии был определен стехиометрический коэффициент  $x=0,5$  синтезированных пленок. Отжиг исходных пленок  $a\text{-SiO}_x\text{H}$  электронным пучком проходил в вакуумной камере. Электронный пучок получали с помощью электронной пушки на основе разряда с полым катодом. Время воздействия составляло 60 и 600 секунд для ускоряющего напряжения 2 кВ и тока 100 мА. Электронно-пучковый отжиг привел к кристаллизации  $a\text{-SiO}_x\text{H}$  с образованием больших (больше 100 нм) поликристаллитов кремния, что было показано с помощью спектров комбинационного рассеяния света.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №19-08-00848.*

## **ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОСТРОВА ТЕПЛА В УСЛОВИЯХ ГОРОДСКОЙ ЗАСТРОЙКИ**

**Мешкова В.Д., Дектерев А.А., Литвинцев К.Ю., Филимонов С.А.**

Сибирский Федеральный Университет Институт инженерной физики и радиоэлектроники,  
Красноярск

E-mail: Redel-VD@yandex.ru

Неуклонный рост городского населения приводит к быстрому разрастанию городских территорий. Рациональное использование городского пространства приводит к развитию высотных зданий и увеличению плотности застройки, что, в свою очередь, приводит к ухудшению экологической обстановки как застройки, так и города в целом. Немаловажной задачей является создание благоприятных условия для проживания людей в городах, что, в свою очередь, не возможно достичь без оценки влияния городской застройки на пешеходную комфортность. Одной из важных характеристик пешеходной комфортности в условиях умеренного и штилевого ветра является интенсивность свободной конвекции, возникающей за счет увеличения доли поглощения солнечной радиации вследствие снижения альбедо городской застройки, а также выделения техногенного тепла в приземном слое атмосферы в зимний период. Оценка влияния данного эффекта на пешеходную комфортность будет рассмотрена в данной работе.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ - 19-31-90096; РФФИ - 18-41-242006*

## **СРАВНЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИЙ ВЫБРОСОВ ПРИ СЖИГАНИИ ДВОЙНОГО ГАЗОВОГО ГИДРАТА ПРОПАН-МЕТАН ПРИ РАЗНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ В МУФЕЛЬНОЙ ПЕЧИ**

**Мисюра С.Я., Морозов В.С.**

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

E-mail: morozov.vova.88@mail.ru

В последние годы все большее внимание в мире уделяется развитию экологически чистой технологии по сжиганию газовых гидратов. В настоящей работе были выполнены экспериментальные исследования горения двойного газового гидрата пропан-метан при разных температурах в муфельной печи от 600 до 1000 °С. Установлено, что повышение температуры в муфельной печи позволяет снизить вредные выбросы и уменьшить потери топлива. С применением газового анализатора проведены измерения концентрации газов CO, NO<sub>x</sub>, H<sub>2</sub> при горении газового гидрата.

## **ВЛИЯНИЕ СТРУКТУР ПОВЕРХНОСТИ НА СВОБОДНУЮ КОНВЕКЦИЮ И ТЕПЛООБМЕН В ИСПАРЯЮЩИХСЯ СИДЯЧИХ КАПЛЯХ**

**Мисюра С.Я., Морозов В.С.**

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

E-mail: morozov.vova.88@mail.ru

Экспериментально изучено влияние различных структур поверхности алюминиево-магниевого сплава AlMg6 на свободную конвекцию и теплообмен в сидячей капле. Структуры на поверхности создавались с помощью механической обработки и лазерного воздействия. Испарение капель воды на нагретых структурированных поверхностях сравнивалось с гладкой стенкой. Уменьшение высоты капли при испарении приводило к снижению влияние структур поверхности. Смачиваемость поверхности после лазерного воздействия изменялась с супергидрофильной поверхности на гидрофобную. Для измерения мгновенных полей скоростей в горизонтальном сечении капли использовался оптический метод Micro-PIV. Наиболее сильный эффект усиления конвекции и теплообмена наблюдался для полостей с наибольшим исследуемым диаметром.

## **ТЕПЛООТДАЧА ОТ ВЕРТИКАЛЬНОГО СТЕРЖНЯ, РАЗОГРЕВАЕМОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ТОКОМ, В РЕЖИМЕ НЕСТАЦИОНАРНОЙ СВОБОДНОЙ КОНВЕКЦИИ**

**Митина А.В., Митин К.А.**

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе  
Сибирского отделения Российской академии наук, Новосибирск  
E-mail: alina\_kir@ngs.ru

Численно в трехмерной постановке рассмотрена задача нестационарного сопряженного конвективного теплообмена вертикального стержня, помещенного в заполненный газом контейнер с квадратным сечением с холодными изотермическими стенками. Решалась система уравнений нестационарной термогравитационной конвекции для расчетов полей температуры и скорости в газе аргоне и уравнение теплопроводности для определения полей температуры в стержне. Использован пакет программ собственной разработки. Использован метод конечных элементов. Для регулирования режима нагрева на поверхности стержня выбрана точка, в которой с помощью динамического подбора напряжения электрического тока поддерживается постоянная температура. Изучена трехмерная пространственная форма конвективных течений. Получено поле температуры внутри стержня и заполненной газом области. Исследованы локальные особенности сопряженного конвективного теплообмена и сценарии развития нестационарных свободноконвективных пограничных слоев.

*Исследования выполнены в рамках государственного задания ИТ СО РАН (III.18.2.5, Гос.Рег. АААА-А17-117022850021-3)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛООБМЕНА ПРИ КОНДЕНСАЦИИ НА НАКЛОННЫХ ТРУБАХ МЕТОДОМ ГРАДИЕНТНОЙ ТЕПЛОМЕТРИИ**

**Митяков В. Ю., Митяков А. В., Сапожников С. З., Зайнуллина Э. Р., Бабич А. Ю.**  
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, г. Санкт-Петербург  
E-mail: zaynullinaelza@gmail.com

Метод градиентной теплотметрии успешно использован при исследовании конденсации насыщенного водяного пара на поверхности труб различной ориентации. С помощью градиентных датчиков теплового потока (ГДТП) получены распределения коэффициентов теплоотдачи (КТО) по периметру и длине трубы, определён оптимальный для условий эксперимента угол наклона, обеспечивающий максимум среднего КТО. По данным градиентной теплотметрии выявлены характерные зоны течения конденсатной плёнки. Предлагаемый подход перспективен в ряде прикладных задач, в первую очередь, связанных с геометрией конденсационных поверхностей. Характеристики гетерогенных градиентных датчиков теплового потока (ГДТП) позволяют применять их при температурах 500 К и выше, диапазон давлений практически неограничен.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ 17-08-01143 А "Исследование теплообмена при конденсации на внутренней и внешней поверхности труб методами и средствами градиентной теплотметрии"*

# **ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КОНВЕКТИВНО-РАДИАЦИОННОГО ТЕПЛООБМЕНА ВО ВРАЩАЮЩЕЙСЯ КВАДРАТНОЙ ПОЛОСТИ ПРИ НАЛИЧИИ НАГРЕВАЕМОГО ЭЛЕМЕНТА И ТЕПЛОПРОВОДНОЙ ПОДЛОЖКИ**

**Михайленко С.А., Шеремет М. А.**

Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск

E-mail: stepanmihaylenko@gmail.com

На сегодняшний день широко распространена задача охлаждения компонентов электронного оборудования. Производительность и износостойкость электроники требует грамотного регулирования температурных режимов. Часто техника участвует во вращательном движении, например, в технологиях выращивания кристаллов, космической промышленности, различных роторных системах и многих других областях. Моделирование таких систем с комбинированным взаимодействием конвекции, теплопроводности и теплового излучения позволяет подробно изучить теплообмен в рассматриваемой области. Данная работа посвящена конвективно-радиационному тепломассопереносу во вращающемся квадратном корпусе при наличии источника тепловой энергии, моделирующего элемент электронной аппаратуры, и удерживающего его теплопроводную подложку. Рассмотрено влияние теплофизических свойств источника и подложки на теплообмен.

*Работа выполнена в рамках реализации государственного задания Министерства науки и высшего образования РФ (проект 0721-2020-0036)*

## **ЗАВИСИМОСТЬ ПОЛЕЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ТОНКОЙ ВЕРТИКАЛЬНОЙ СТЕНКИ ОТ ИНТЕНСИВНОСТИ НАБЕГАЮЩЕГО ПОТОКА НАГРЕТОЙ ЖИДКОСТИ**

**Михайлов А.В., Гришков В.А.**

Новосибирский Государственный Технический Университет, Новосибирск

E-mail: senya\_mik@ngs.ru

Экспериментально исследованы процессы развития свободной конвекции этанола в режимах нагрева вертикальной стенки прямоугольной полости. Изучена гидродинамика в полости и зависимость поля температуры на противоположной тонкой вертикальной стенке. Поля скорости жидкости измерялись при помощи цифровой видеокамеры. Нестационарные поля температуры на тонкой стенке измерялись тепловизором. Эксперименты проводились при различных плотностях тепловых потоков на нагревателе и при дискретном наборе высот слоев жидкости.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ 18-38-00790, 19-48-540003*

## **РАЗРАБОТКА МОДИФИЦИРОВАННОГО СИНТЕТИЧЕСКОГО ШЛИРЕН МЕТОДА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕРМОКАПИЛЛЯРНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО СЛОЯ ЖИДКОСТИ**

**Мунгалов А.С., Кочкин Д.Ю., Кабов О.А.**

Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН, Новосибирск  
Новосибирский национальный исследовательский государственный университет,  
Новосибирск  
E-mail: a.mungalov@g.nsu.ru

При исследовании многих теплофизических процессов важной задачей является измерение деформаций на границе раздела жидкости и газа. Одним из таких процессов является термокапиллярная конвекция. Представленная работа посвящена разработке полевого метода для измерения деформаций поверхности неизотермической горизонтальной пленки жидкости нагреваемой со стороны подложки.

Модифицированный синтетический шлирен метод основан на анализе изображений фона, отраженного от поверхности жидкой пленки. Фон, находящийся на некотором расстоянии от исследуемой поверхности, представляет собой прозрачную пленку со случайно распределенными точками. Фон просвечивается LED панелью. Камера регистрирует отражение фона от поверхности жидкости. Деформация поверхности пленки жидкости приводит к отклонению отраженных лучей и смещению точек фона на изображении.

Для определения смещения точек фона проводится кросскорреляционный анализ изображений недеформированного слоя жидкости и деформированного. Далее, определив смещение, численно решается дифференциальное уравнение Пуассона. В качестве граничного условия принято, что на краях исследуемой области деформации отсутствуют.

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВНУТРЕННЕГО ОРЕБРЕНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ МЕТАЛЛОГИДРИДНЫХ СИСТЕМ ОЧИСТКИ ВОДОРОДА**

**Нащекин М.Д., Минко К.Б., Минко М.В., Моргунова С.Б.**  
ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ», Москва  
E-mail: minkokb@gmail.com

Среди разрабатываемых систем для очистки водорода экономически целесообразными могут стать системы, основанные на методе фильтрации загрязненного примесями водорода через металлогидрид, способный поглощать исключительно водород. Засыпки из частиц металлогидрида обладают крайне низкой теплопроводностью (около 1 Вт/(мК)), что приводит к снижению эффективности работы подобных систем вследствие перегрева, т.к. процесс сорбции водорода сопровождается значительным выделением тепла фазового перехода. В работе исследуется возможность интенсификации процессов тепло- и массообмена за счет установки внутреннего оребрения. Исследуется цилиндрический реактор с радиальным внутренним оребрением. Представлены результаты для конфигураций с 8 и 16 трапециевидными ребрами длиной 20мм. Для обеих конфигураций были проведены расчеты с использованием различных материалов ребер, а именно: сталь, латунь, алюминий, медь. За счет внедрения внутреннего оребрения было достигнуто существенное увеличение эффективности работы рассмотренной системы очистки водорода. Все расчеты были выполнены с использованием CFD-кода ANES.

*Работа выполнена при финансовой поддержке совета по грантам Президента РФ (грант МК-829.2019.8).*

## **ВЛИЯНИЕ МАСШТАБА ТУРБУЛЕНТНОСТИ ГАЗОВЫХ ПОТОКОВ НА ИНТЕНСИВНОСТЬ ТЕПЛООБМЕНА В ДЛИННОЙ ГЛАДКОЙ ТРУБЕ**

**Неволин А.М., Осипов Л.Е., Плотников Л.В.**

ФГАОУ ВО "Уральский федеральный университет имени первого Президента Б.Н.  
Ельцина", Екатеринбург  
E-mail: leonplot@mail.ru

Известно, что начальный уровень турбулентности потока газа оказывает заметное влияние на развитие и структуру пограничного слоя, а соответственно, на интенсивность теплообмена. Многие ученые проводили оценку влияния степени турбулентности потока на уровень теплообмена для разных приложений, среди них можно выделить Дыбан Е.П., Kestin J., Simonich J.C., Isomoto K., Дрейцер Г.А., Терехов В.И., MacMullin R. и др. Во всех случаях турбулизация потока приводила к интенсификации теплообмена. Однако, исследованиям влияния турбулентности на теплообмен потоков в трубопроводах уделяется недостаточно внимания. В данной статье представлены результаты численного моделирования по оценке влияния масштаба турбулентности потоков газа на теплообмен в длинной гладкой трубе с диаметром 42 мм и длиной 1 м. Граничные условия расчетов: рабочая среда – реальный газ с температурой 20 С, на входе в канал задавалась скорость 10-100 м/с, начальный масштаб турбулентности от 3 до 30 %, разные модели турбулентности (на основе  $k-\epsilon$ ). Установлено, что с ростом масштаба турбулентности имеет место рост коэффициента теплоотдачи. Например, при росте масштаба турбулентности от 10 до 30 % имеет место увеличение коэффициента теплоотдачи примерно на 3 % при скорости потока воздуха 100 м/с.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ 16-38-00004*

# ВЛИЯНИЕ ЗАГУСТИТЕЛЯ И ПРОТИВОТУРБУЛЕНТНОЙ ПРИСАДКИ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗАЖИГАНИЯ ТИПИЧНЫХ ЖИДКИХ УГЛЕВОДОРОДНЫХ ТОПЛИВ

Нига́й А.Г., Глушков Д.О.

Томский политехнический университет, Томск

E-mail: agn4@tpu.ru

Влияние загустителя и противотурбулентной присадки на характеристики зажигания типичных жидких углеводородных топлив.

Выполнено экспериментальное исследование зажигания в высокотемпературной воздушной среде частиц (капель) для группы топливных составов на основе керосина и дизельного топлива с добавлением загустителя (диоксида кремния) и противотурбулентной присадки (полигексена), соответственно. Составы топлив следующие: К-100 (100% керосин), К-99 (99% масс. керосин, 1% масс. диоксид кремния), К-95 (95% масс. керосин, 5% масс. диоксид кремния), К-90 (90% масс. керосин, 10% масс. диоксид кремния), К-85 (85% масс. керосин, 15% масс. диоксид кремния), D-100 (100% дизельное топливо), D-FTA (99.96% масс. дизельное топливо, 0.04% масс. противотурбулентная присадка ForeFTA по ТУ 2458-002-10022712-2015), D-FTA02 (99.96% масс. дизельное топливо, 0.04% масс. противотурбулентная присадка ForeFTA-02 по ТУ 20.59.42-015-10022712-2018). Инициирование процесса горения образцов происходило в полости трубчатой муфельной печи при 873–1273 К. С использованием программно-аппаратного комплекса высокоскоростной видеорегистрации установлено, что при разных начальных температурах топливных составов в течение индукционного периода протекает идентичная совокупность физико-химических процессов, которая отличается от совокупности процессов, протекающих при зажигании жидких топлив в обычном состоянии (без добавления загустителей и присадок). Времена задержки зажигания образцов К-100 и К-99 идентичны, а образцов К-90 и К-85 больше до 7% и 15%, соответственно, по сравнению с длительностью индукционного периода для горючей жидкости в обычном состоянии. Для составов на основе дизельного топлива с добавлением противотурбулентной присадки характерны меньшие времена задержки зажигания по сравнению с аналогичной характеристикой для горючей жидкости в обычном состоянии. Это связано с диспергированием топливных образцов при нагревании, интенсификацией их прогрева, что ведет к уменьшению времен задержки зажигания на 1–2%. Также установлено отличие длительностей стадий выгорания образцов топлива с разными начальными температурами, которое соответствует отличию их времен задержки зажигания: 5–60% для образцов топлива с начальной температурой 295 К и температурами 188–233 К. Причиной этого является более длительная (в 2.2–3.5 раза) стадия прогрева топливного образца до температур, соответствующих условиям зажигания.

Данная работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (номер гранта 18-13-00031).

*Данная работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (номер гранта 18-13-00031).*

## ДИНАМИКА ЩЕЛЕВОЙ КАВИТАЦИИ В ТОРЦЕВОМ ЗАЗОРЕ: ЭКСПЕРИМЕНТ НА ДВУХМЕРНОМ КРЫЛЕ

**Ничик М.Ю., Тимошевский М.В.**

Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе, Новосибирск

E-mail: nichik.mikle@gmail.com

Одной из самых распространенных и агрессивных форм кавитации в гидравлическом оборудовании является щелевая кавитация.

В качестве лопатки был взят профиль NASA0022-34 с двусторонней осью вращения. Эксперименты были проведены на кавитационной гидродинамической трубе ИТ СО РАН. Исследования были выполнены при  $\alpha = 3^\circ$  и  $9^\circ$  углах атаки для щелевого зазора толщиной  $h = 0,8$  и  $1,75$  мм.

Для данного профиля поток жидкости через зазор разделен осью на носовую и хвостовую части, в которых вихри развиваются независимо.

В случае малого угла атаки кавитация зарождается в центрах концевых вихрей ниже по потоку относительно оси. При уменьшении числа кавитации, в хвостовой части крыла кавитационные пузырьки увлекаются в зазор попеременно со стороны разрежения и поджатия. Поле средней скорости в зазоре состоит из восьми основных зон, в которых направление и скорость течения заметно изменяются. Однако положение и размеры этих зон практически не зависят от режима основного течения.

При большом угле атаки кавитация появляется в зазоре за передней кромкой профиля.

С увеличением размера щелевого канала поток внутри него становится более предрасположенным к кавитации.

## ОТНОСИТЕЛЬНЫЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ, ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ И ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ТОПЛИВНЫХ КОМПОЗИЦИЙ С БИОМАССОЙ

**Няшина Г.С., Вершинина К.Ю., Курганкина М.А., Дорохов В.В.**

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск, Томская  
область

E-mail: gsn1@tpu.ru

В настоящее время исследования по использованию биомассы в качестве дополнительного топливного компонента приобретают все больший интерес. В рамках данного направления проведены экспериментальные исследования характеристик зажигания и горения и теоретические расчеты интегральных экологических, энергетических и экономических показателей топливных композиций на основе отходов углепереработки с наиболее типичными видами биомассы (опилки, листва, солома, маслосодержащие отходы, рапсовое масло). В ходе экспериментов выявлено, что совместное сжигание биомассы и отходов углеобогащения позволяет снизить концентрации NO<sub>x</sub> на 25–62% и SO<sub>x</sub> на 61–88% в сравнении с углем. Также с применением мультикритериального анализа (MCDM) вычислены значения относительных экологических, энергетических и экономических показателей топливных композиций с биомассой. Установлено, что по относительным параметрам суспензионные топлива с биомассой могут повысить эффективность сжигания на 10–24% в сравнении с углем.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта РФФИ в рамках научного проекта БРИКС № 19-53-80019*

## **ХАРАКТЕРИСТИКИ КОНДЕНСИРОВАННЫХ ПРОДУКТОВ СГОРАНИЯ БОРСОДЕРЖАЩИХ ТОПЛИВНЫХ КОМПОЗИЦИЙ**

**Орлова М.П., Горбенко Т.И.**

Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск

E-mail: maria-orlova-93@mail.ru

Для совершенствования работы технологических установок специального назначения необходимо создание металлизированных смесевых композиций (СК), способных к самостоятельному горению в широком диапазоне давлений. Для повышения энергетических характеристик топливных композиций в них вводят металлические горючие, такие как алюминий, бор и другие. В процессе горения таких топлив образуются конденсированные оксиды, бориды, нитриды металлов, карбид бора, это в свою очередь приводит к двухфазным потерям в сопловом блоке двигателя. За счет активации физико-химических процессов взаимодействия между собой металлических частиц и реагентов топлива можно влиять на воспламенение СК, окисление и агломерацию частиц металлического горючего в конденсированных продуктах сгорания.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ в рамках государственного задания No. 0721-2020-0036.*

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ КИПЕНИЯ НА МИКРОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ПОВЕРХНОСТЯХ

**Остапченко Анастасия Евгеньевна, Федосеев Александр Владимирович, Суртаев  
Антон Сергеевич**

Новосибирский государственный университет, Новосибирск

E-mail: a.ostapchenko@g.nsu.ru

Кипение является одним из наиболее эффективных механизмов отвода тепла от нагретой поверхности, поэтому широко используется в различных технических приложениях. Целью данного исследования является изучение процессов пузырькового, переходного и пленочного кипения и кризиса пузырькового кипения на микроструктурированных поверхностях (с различной шероховатостью) с помощью численного моделирования для определения оптимальных параметров для интенсификации теплообмена и повышения критического теплового потока. В работе используется гибридная модель, основанная на методе решеточных уравнений Больцмана и уравнения теплопроводности. Проведено изучение влияния на кипение микроструктуры поверхностей - выступов и каверн ступенчатой формы различных масштабов (1-10 мкм). Показано, что структурированная поверхность способствует более быстрому образованию паровых пузырей и приводит к увеличению теплообмена при малых тепловых перегревах. Обнаружено, что при более мелких масштабах шероховатости тепловой поток и коэффициент теплопередачи может быть существенно выше, чем на ровной поверхности.

*Работа выполнена при поддержке гранта РФФ № 18-79-10119*

## **МИКРОВЗРЫВНОЕ ДИСПЕРГИРОВАНИЕ КАПЕЛЬ КОМПОЗИЦИОННЫХ ТОПЛИВ ИЗ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ ПРИ ЗАЖИГАНИИ В ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЕ**

**Паушкина К.К., Глушков Д.О.**

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск

E-mail: kkp1@tpu.ru

Выполнено экспериментальное исследование зажигания и горения одиночных капель 7 составов композиционного топлива на основе влажного отхода углеобогащения (угольная пыль + 50% вода) с добавлением 40% растительных (касторовое, рапсовое) и нефтяных (моторное, компрессорное, гидравлическое, трансформаторное, турбинное) масел. Инициирование горения происходило при введении одиночных капель топлив в разогретую ( $T=700-1000$  °C) муфельную печь. Выявлена предельная концентрация горючей жидкости, при которой происходит полное диспергирование, зажигание и интенсивное выгорание топлив. С использованием высокоскоростной видеорегистрации установлены характеристики горения топлив при диспергировании капель: времена задержки зажигания, длительность периода выгорания, скорость движения продуктов диспергирования, размеры области выгорания. На основании анализа свойств компонентов (температур кипения, скоростей испарения, поверхностного натяжения и свободной поверхностной энергии масел, смачиваемости угольной пыли) сформулирована гипотеза о влиянии компонентного состава топлива на диспергирование при зажигании.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ № 18-43-700001 p\_a, РФФИ № 19-53-80019 БРИКС\_m.*

## ПОВЕДЕНИЕ ПЛЕНОК НЕРАСТВОРИМОГО СУРФАКТАНТА НА НЕОДНОРОДНО НАГРЕТОЙ ПОВЕРХНОСТИ ЖИДКОСТИ В ЯЧЕЙКЕ ХЕЛЕ – ШОУ

Петухов М.И., Шмыров А.В., Шмырова А.И., Демин В.А.

ФГБОУ ВО Пермский государственный национальный исследовательский университет,  
Пермь

E-mail: geniusmaxp@yandex.ru

Работа посвящена теоретическому исследованию поведения пленки нерастворимого сурфактанта, расположенного на свободной неоднородно нагретой поверхности жидкости в ячейке Хеле – Шоу. Неоднородности поверхностного натяжения приводят к возникновению термокапиллярного течения, смещающего пленку вдоль поверхности. При определенных значениях параметров течение полностью вытесняет пленку из горячей части поверхности. Таким образом на поверхности формируется точка стагнации, разделяющая полностью очищенный участок от участка, покрытого пленкой ПАВ. Положение точки стагнации в зависимости от параметра упругости сравнивалось с экспериментальными данными после выхода системы на стационарный режим. Также в работе рассмотрена динамика положения точки стагнации после отключения внешнего нагрева поверхности. Результаты расчетов дают объяснение нелинейного закрытия свободного участка пленкой ПАВ, ранее наблюдавшегося экспериментально.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ, грант № 19-71-00097.*

*Исследование выполнено при финансовой поддержке 16-01-00662 Особенности описания термокапиллярной конвекции в бинарных системах жидкостей с поверхностно-активной компонентой*

## МОДЕЛЬ ОБЪЕМНОЙ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ МИКРОСЛОЯ РАСПЛАВА

**Пильник А.А., Чернов А.А.**

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

E-mail: pilnika@gmail.com

При рассмотрении затвердевания слоя расплава, находящегося в контакте с холодной массивной подложкой, зачастую предполагают, что кристаллизация происходит последовательно (образуется монокристалл). Такое предположение допустимо лишь для случая крайне низких переохлаждений. В большинстве же случаев затвердевание материала происходит путем зарождения и роста большого количества зародышей новой фазы и приводит к поликристаллической структуре. В таких случаях прямое численное моделирование задачи затвердевания расплава крайне затруднительно. Однако, ввиду большого количества растущих зародышей новой фазы возможно построение упрощенной модели затвердевания микрослоя оказывается возможным. В полученной модели учитывается образование зародышей новой фазы (нуклеация) в течение всего процесса, выделение теплоты в процессе роста новой фазы, усадка при фазовом переходе. Модель позволяет предсказывать морфологическую структуру затвердевшего материала при различных условиях охлаждения расплава.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ 15-08-04474*

## ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ГЕЛЕВЫХ СИСТЕМ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К АДДИТИВНЫМ ТЕХНОЛОГИЯМ

**Покусаев Б.Г., Вязьмин А.В., Карлов С.П., Захаров Н.С., Сулягина О.А.**  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего  
образования «Московский политехнический университет», Москва  
E-mail: Schev\_olga@mail.ru

Реализация аддитивных (послойных) технологий, основанных на трехмерной печати из гелевых материалов, требует решения новых фундаментальных и практических задач. При разработке технологии печати с использованием готовых гелевых систем, хранящихся в специальных условиях, необходимо понимание об устойчивости теплофизических и реологических свойств используемого материала при многократном переходе из жидкого в гелеобразное состояние и наоборот. В работе представлены результаты исследования переходного процесса «охлаждение - нагрев - охлаждение» как с точки зрения кинетики образования геля, так и с точки зрения зависимости реологических свойств от температуры.

*Работа подготовлена в рамках выполнения базовой части государственного задания ФГБОУ ВО «Московский политехнический университет» (проект АААА-А20-120092190052-9).*

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛООБМЕНА В КАПЛЕ ЖИДКОСТИ НА ТОНКОЙ НАГРЕВАЕМОЙ ФОЛЬГЕ

**Пономаренко Т.Г., Чеверда В.В.**

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

E-mail: t.evans2010@yandex.kz

Изучение взаимодействия капель жидкости с нагретыми поверхностями представляет особый интерес, так как на данный момент отсутствует полное понимание всех аспектов этого процесса, что сдерживает разработку спрейных систем охлаждения электроники, а также многих других приложений в энергетике, медицине, химической, фармацевтической и пищевой промышленности. Данная работа посвящена экспериментальному исследованию динамики теплообмена при испарении капли жидкости на нагреваемой горизонтальной фольге из константана толщиной 25 мкм. Основной задачей является определение плотности теплового потока вблизи трёхфазной контактной линии капли, поскольку многие предыдущие исследования показали наличие сверхинтенсивного испарения в этой области. В связи с тем, что толщина жидкости в области контактной линии очень мала, прямые измерения плотности теплового потока в этом регионе произвести пока затруднительно. В работе используется способ, основанный на использовании данных инфракрасной термографии и метода решения некорректной задачи - нестационарного уравнения теплопроводности.

*РНФ 18-19-00538 "Динамика и испарение капель жидкости на поверхностях с микро- и нанопокрывтиями", руководитель - Карчевский А. Л.*

## **ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕЧЕНИЯ ТОНКОГО СЛОЯ ЖИДКОСТИ ПО НАКЛОННОЙ ПОДЛОЖКЕ С УЧЕТОМ ИСПАРЕНИЯ**

**Резанова Екатерина Валерьевна**

Алтайский государственный университет, Барнаул

E-mail: katerezanova@mail.ru

Изучается процесс стекания тонкого слоя вязкой несжимаемой жидкости по наклонной неравномерно нагреваемой подложке с учетом испарения. В качестве математической модели использованы система уравнений Навье-Стокса и переноса тепла или уравнения Обербека-Буссинеска. На границе раздела полагаются выполненными обобщенные кинематическое, динамическое и энергетическое условия, величина локального потока массы определяется с помощью уравнения Герца-Кнудсена. С учетом анализа безразмерных коэффициентов были получены постановки задач для главных и первых членов разложений по степеням малого параметра задачи. Для определения положения границы раздела получено эволюционное уравнение, численно решаемое с помощью неявной конечно-разностной схемы. На торцах исследуемой области выполняются периодические условия. Проведено сравнение рассматриваемых математических моделей, исследовано влияние физических параметров системы и дополнительных слагаемых в энергетическом условии на изменение толщины жидкого слоя.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ 17-08-00291*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ФОНОВОГО ОКРУЖЕНИЯ НА СОСТАВ ТОНКИХ ПЛЕНОК СУБОКСИДА КРЕМНИЯ, ПОЛУЧЕННЫХ ПРИ ЛАЗЕРНОЙ АБЛЯЦИИ**

**Родионов А.А., Старинский С.В., Шухов Ю.Г., Булгаков А.В.**

Институт теплофизики имени С. С. Кутателадзе СО РАН, Новосибирск

E-mail: alderad@mail.ru

Тонкие пленки субоксида кремния ( $\text{SiO}_x$ ) находят применение для широкого круга задач. Одним из перспективных методов их синтеза является импульсная лазерная абляция (ИЛА). Для эффективного использования пленок  $\text{SiO}_x$ , полученных методом ИЛА, необходимо понимание влияния фонового окружения на механизмы их роста.

В работе исследован состав пленок, синтезированных методом наносекундной ИЛА в фоновой смеси различного состава и давления. Показана согласованность различных методик определения состава пленок. С помощью метода FTIR получена зависимость стехиометрического коэффициента от давления фоновой кислород-аргоновой смеси при постоянном парциальном давлении кислорода. Установлено повышение степени окисления пленок с ростом давления фоновой смеси, вызванное увеличением времени, за которое продукты абляции достигают поверхности подложки. В ходе прямых массовых измерений получена зависимость массы кремния, уносимой с поверхности мишени за один импульс, от фонового давления.

*Грант Президента РФ МК-2404.2019.8*

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ В ЖИДКОМ СОСТОЯНИИ**

**Самошкин Д.А., Станкус С.В., Агажанов А.Ш.**

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

E-mail: d.a.samoshkin@gmail.com

Активное изучение свойств лантаноидов началось с конца 50-х годов прошлого столетия, когда были разработаны методики их очистки и получены металлы со сравнительно малым содержанием примесей. Тем не менее, до настоящего времени многие свойства РЗМ экспериментально не исследованы, либо изучены недостаточно. Анализ литературы показал, что данные по тепло- и температуропроводности легких РЗМ в жидком состоянии малочисленны, малоинформативны, противоречивы (характер изменения теплопроводности с температурой не воспроизводится), а также результаты измерений могут существенно расходиться за пределы суммарных погрешностей. В этой связи полученные нами экспериментальные результаты позволяют заполнить этот пробел и уточнить существующую информацию о коэффициентах переноса тепла РЗМ в широком интервале температур жидкого состояния. В настоящей работе методом лазерной вспышки исследованы тепло- и температуропроводность жидких La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu и Gd.

## **ГРАДИЕНТНАЯ ТЕПЛОМЕТРИЯ В ИССЛЕДОВАНИИ КИПЕНИЯ НА ШАРЕ**

**Сапожников С. З. , В. Ю. Митков, А. В. Павлов, П. Г. Бобылев, М. Д. Виноградов**  
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра великого, Санкт-петербург  
E-mail: pavel\_b.g.97@mail.ru

Методом градиентной теплотметрии исследован теплообмен при кипении насыщенной и недогретой воды при атмосферном давлении на поверхности шара. Малые размеры гетерогенных градиентных датчиков теплового потока и их высокое быстродействие позволили определить местную плотность теплового потока и коэффициент теплоотдачи при погружении шара с температурой 450...700 К в воду с температурой 293...373 К. Высокоскоростная видеосъёмка обеспечила привязку результатов к картине кипения и смене его режимов.

Построены распределения плотности теплового потока и коэффициента теплоотдачи поверхности шара, а также определены средние значения этих параметров. Показано влияние недогрева воды и перепада температур на интенсивность теплообмена.

Полученные данные сопоставлены с приводимыми в литературе, обсуждается их согласование. Подтверждены возможности нового метода в исследовании кипения на поверхностях различной формы и в разных режимах.

## **ОСОБЕННОСТИ ТЕЧЕНИЯ И ТЕПЛООБМЕНА ВБЛИЗИ ПАРЫ КРУГЛЫХ ЦИЛИНДРОВ.**

**Гусаков А.А., Сероштанов В.В., Власов А.С., Сучок В.В., Жидков Н.А.**

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург  
E-mail: vas19997@gmail.com

В работе рассмотрено исследование гидродинамики и теплообмена на основе комплексного использования PIV и градиентной теплометрии.

Исследуемая модель представляет собой пару круглых цилиндров. Использование градиентных датчиков теплового потока позволит оценить пульсации теплового потока в различных точках второго цилиндра и сравнить их с мгновенными полями скорости, полученными с помощью PIV. Результаты согласуются с данными других авторов и показывают перспективы предлагаемой методологии.

С целью интенсификации теплообмена на первый цилиндр были размещены два турбулизатора, расположенные симметрично под углом  $\beta = 55^\circ$  относительно лобовой точки. Постоянная температура поверхности цилиндров обеспечивалась путем обогрева насыщенным водяным паром. Исследования проводились при межтрубном расстоянии, варьирующимся от  $0,5d$  до  $4d$  и различных числах Рейнольдса.

В результате были получены распределения плотности теплового потока и коэффициента теплоотдачи по поверхности цилиндра для диапазона чисел Рейнольдса от 4800 до 48000. Показано влияние турбулизатора на интенсивность теплообмена при сходных режимах без турбулизатора.

## **ДВИЖЕНИЕ КОНТАКТНОЙ ЛИНИИ, ВЫЗВАННОЕ ПАВ**

**Сибиряков Н.Е.**

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

E-mail: kolyasibir@yandex.ru

В данной работе исследуется способность поверхностно-активных веществ приводить в движение контактную линию на границе раздела жидкость-жидкость-твёрдое тело. Мы погружаем подложку из стекла в декан и садим на неё каплю с чистой водой. После установления равновесия небольшая капля с поверхностно-активным веществом сливается с сидячей каплей воды. Градиент поверхностного натяжения, который вызывает течение Марангони, доминирует в течение приблизительно 1 мс после касания капель. Поверхностное натяжение на границе раздела будет равномерным после диффузии поверхностно-активного вещества (примерно через несколько мс). Адсорбция ПАВ на подложке изменяет напряжение между жидкостью и твёрдым телом, и контактная линия приходит в движение. В результате мы обнаружили, что движение контактной линии начинается с задержкой, которая зависит от концентрации и типа ПАВ. Установившаяся скорость движения определяется коэффициентом трения и отклонением контактного угла от равновесного.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ 19-58-45041*

*Эта работа была поддержана Национальным фондом естественных наук Китая (№ 51425603) и Министерством образования и науки Российской Федерации (Соглашение 14.613.21.0067, идентификатор проекта RFMEFI61317X0067).*

## ОСОБЕННОСТИ ВИХРЕВОЙ КАВИТАЦИИ ПРИ ОБТЕКАНИИ ДВУМЕРНЫХ ТЕЛ В ЩЕЛЕВОМ КАНАЛЕ

**Скрипкин С.Г., Цой М.А., Кравцова А.Ю.**

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

E-mail: skripkin.s.g@gmail.com

Работа связана с изучением кавитационных течений вблизи различных тел обтекания. Получение достоверных количественных данных, позволяющих верифицировать математические модели, описывающие движение жидкости в сложных гидродинамических кавитационных системах актуально и востребовано. Были проведены исследования кавитационного течения в щелевом мини канале с соотношением ширины к толщине более 100 при обтекании цилиндра и крыла профиля НАСА0015. Развитый кавитационный режим наблюдался начиная с расхода  $Q = 7,3 \text{ м}^3/\text{ч}$ , однако появление первых отдельных кавитационных пузырей было зарегистрировано при  $Q = 6,9 \text{ м}^3/\text{ч}$  что соответствует средним скоростям  $\sim 12 \text{ м/с}$ . На основе данных высокоскоростной визуализации были рассчитаны зависимости частоты отрыва и объёма кавитационных каверн от расхода через рабочий участок, установлена их нелинейность. При частоте съёмки 100000 кадров в секунду удалось обнаружить формирование вторичных вихревых структур, образующихся как до, так и после схлопывания основных полостей.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ № 19-79-10217*

## **ОПТИЧЕСКИЕ И МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НАНОЧАСТИЦ ЗОЛОТА, ВНЕДРЕННЫХ В МАТРИЦУ НЕСТЕХИОМЕТРИЧЕСКОГО ОКСИДА КРЕМНИЯ.**

**Старинский С.В., Баранов Е.А., Замчий А.О.**

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

E-mail: starikhbz@mail.ru

Наночастицы (НЧ) благородных металлов (золота, серебра и др.) проявляют выраженные плазмонные свойства в видимом диапазоне длин волн. Зачастую практическое использование плазмонных НЧ предполагает их внедрение в диэлектрическую или полупроводниковую матрицу с функциональными и/или защитными свойствами. В настоящей работе с помощью взаимодополняющих методик проведено исследование морфологии, структурных и оптических свойств композитного материала, представляющего собой НЧ Au в матрице аморфного нестехиометрического оксида кремния ( $\alpha$ -SiO<sub>x</sub>), широко применяемого в полупроводниковой промышленности. Полученные экспериментальные результаты сопоставлены с аналитическим расчетом оптических свойств синтезированного материала. Классическая аналитическая модель на базе теории Ми хорошо описывает полученные из эксперимента оптические свойства НЧ Au и композитного материала в УФ-области спектра, а также изменение амплитуды плазмонного пика при формировании композитного материала.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке грантов Президента Российской Федерации МК-638.2019.8 (синтез пленок  $\alpha$ -SiO<sub>x</sub>) и МК-2404.2019.8 (синтез НЧ Au)*

**СРАВНЕНИЕ ОПТИЧЕСКИЕ И МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК  
ПЛЕНОК СЕРЕБРА, ПОЛУЧЕННЫХ ТЕРМОВАКУУМНЫМ ГАЗОСТРУЙНЫМ  
МЕТОДОМ И ИМПУЛЬСНЫМ ЛАЗЕРНЫМ ОСАЖДЕНИЕМ.**

**Старинский С.В., Родионов А.А., Шухов Ю.Г., Булгаков А.В.**  
Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН, Новосибирск  
E-mail: starikhbz@mail.ru

Тонкие покрытия из серебра представляют интерес для многих прикладных задач в биомедицине благодаря своим уникальным оптическим и бактерицидным свойствам. Характеристики получаемого покрытия определяются методом и режимом синтеза. В данной работе мы сопоставили морфологию и оптические свойства пленок серебра осаждённых термовакuumным газоструйным методом и методом импульсного лазерного осаждения. Обнаружена корреляция между толщиной покрытия и его оптическими характеристиками, связанными с переходом между откликом электронов проводимости и внутренних электронов. Обсуждается влияние морфологии на плазмонные свойства.

*Работа выполнена при финансовой поддержки Российского научного фонда (проект № 20-79-00139).*

## ИССЛЕДОВАНИЕ НАНОСЕКУНДНОЙ ЛАЗЕРНОЙ АБЛЯЦИИ ОЛОВА В ВОДЕ И ВАКУУМЕ.

**Старинский С.В., Родионов А.А., Шухов Ю.Г., Булгаков А.В.**  
Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН, Новосибирск  
E-mail: starikhbz@mail.ru

В данной работе представлены результаты исследования наносекундной лазерной абляции олова. Интерес к данному металлу обусловлен его особыми теплофизическими свойствами – низкой температурой плавления и высокой температурой кипения. Такая комбинация свойств позволяет экспериментально моделировать процесс лазерного плавления материала без испарения. С помощью ряда взаимодополняющих экспериментальных методик (весовые измерения удаленной массы, лазерное напыление, электронная микроскопия, спектрофотометрия) было найдено, что основным продуктом абляции олова импульсами ИК диапазона (1064 нм) в вакууме являются капли микронного и субмикронного размера, генерация которых обусловлена развитием гидродинамической неустойчивостью поверхности расплава. Эти же режимы при облучении в воде приводят к формированию наночастиц оксида олова, несмотря на пренебрежимо малое тепловое испарение материала мишени. При этом в жидкости унос массы в  $\sim 2,5$  раза эффективнее, чем в вакууме. Обсуждаются возможные сценарии процесса абляции в воде.

*Работа выполнена при поддержке фонда РФФИ (проект №18-38-00057)*

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ЯДРА ВИХРЯ ЗА КРЫЛОМ КОНЕЧНОГО РАЗМАХА И МОДЕЛЬЮ ИЗОЛИРОВАННОГО ВИНТА**

**Степанов Р.П., Кусюмов А.Н.**

Казанский национальный исследовательский технический университет им.А.Н.Туполева -  
КАИ, Казань

E-mail: otto365@mail.ru

В данной работе представлены результаты экспериментальных исследований концевых вихрей крыла конечного размаха и модели изолированного винта вертолета. Эксперименты проводились с использованием Stereo-PIV системы в аэродинамической трубе Т1-К КНИТУ-КАИ им А.Н. Туполева. Приводится эмпирическая формула зависимости нижнего значения отсечения Q-критерия от площади ядра вихря. Концевые вихри за крылом конечного размаха исследовались при разных углах атаки и при разном удалении от задней кромки крыла. Концевые вихри модели вертолетного винта исследовались при разных значениях общего шага винта.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭВОЛЮЦИИ ПАРОВЫХ ПУЗЫРЕЙ И СУХИХ ПЯТЕН ПРИ КИПЕНИИ В УСЛОВИЯХ СУБАТМОСФЕРНЫХ ДАВЛЕНИЙ

Суртаев А.С. <sup>(1,2)</sup>, Сердюков В.С. <sup>(1,2)</sup>, Малахов И.П. <sup>(1,2)</sup>, Селищев Д.С. <sup>(1,3)</sup>

Новосибирский Государственный Исследовательский Университет <sup>(1)</sup>, Институт теплофизики СО РАН им. С.С. Кутателадзе <sup>(2)</sup>, Институт Катализа СО РАН им. Г.К. Борескова <sup>(3)</sup>, Новосибирск

E-mail: ivan.pavlovich.malakhov@gmail.com

Давление является ключевым режимным параметром, влияющим на теплообмен и развитие кризисных явлений при кипении. Однако сегодня в литературе отсутствуют опытные данные по влиянию давления на эволюцию микрослоя, сухих пятен и температурного поля под паровым пузырьём. При этом знание указанных локальных характеристик крайне важно для понимания физики процесса кипения, характеристик теплообмена и развития кризисных явлений при изменении давления.

В настоящей работе представлены результаты экспериментального исследования особенностей кипения воды в широком диапазоне изменения давления (от 0.08 до 1 атм) и тепловых потоков. Использование в работе специальной конструкции прозрачного нагревателя на основе сапфировой подложки позволило изучить с помощью высокоскоростной видеосъемки влияние давления на эволюцию паровых пузырей и сухих пятен. Для исследования нестационарного поля температур нагревательной поверхности в работе была использована высокоскоростная термографическая съемка.

В результате проведенных экспериментов в работе получены новые опытные данные по динамике роста и отрыва паровых пузырей при различных давлениях, интенсивности теплоотдачи при кипении, а также впервые было исследовано влияние давления на эволюцию сухих пятен, образующихся под паровыми пузырями. Установлено, что радиус сухих пятен линейно растёт во времени, при этом зависимость скорости роста сухих пятен от давления имеет немонотонный характер и достигает минимума в диапазоне 20-40 кПа в зависимости от теплового потока. Впервые продемонстрировано влияния супергидрофильных покрытий на основе TiO<sub>2</sub> на эволюцию паровых пузырей и сухих пятен в области субатмосферных давлений.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ № 20-58-46008 СТ\_а*

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ НЕУСТОЙЧИВОСТЕЙ В ВОЗДУШНОЙ МОДЕЛИ ОТСАСЫВАЮЩЕЙ ТРУБЫ ГИДРОТУРБИНЫ**

**Суслов Д.А., Литвинов И.В., Гореликов Е.Ю., Шторк С.И.**

Новосибирский государственный университет, Институт теплофизики СО РАН,  
Новосибирск

E-mail: d.suslov@g.nsu.ru

В докладе отражены результаты экспериментального исследования прецессирующего вихревого ядра (ПВЯ) при различных режимах работы воздушной модели гидротурбины. Выполнен ряд стереоскопических PIV (SPIV) экспериментов с высоким временным разрешением, а также измерение давления акустическими датчиками для анализа спектральных характеристик гидродинамической устойчивости и идентификации когерентных структур в потоке. Для исследования влияния режимов работы на поведение потока и возникающие вихревые структуры, проанализировано поле скорости в конусе отсасывающей трубы от режима глубокой частичной нагрузки до точки с наивысшим КПД гидротурбины и далее в режимах перегрузки. Найденные частоты ПВЯ находятся в диапазоне 15-20 Гц. Полученные данные составляют основу для правильного определения динамических характеристик ПВЯ при различных условиях эксплуатации гидротурбины и впоследствии будут использованы для разработки стратегии управления ПВЯ.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ 20-58-12012 - ННЮ-а*

## **ОСОБЕННОСТИ ДВИЖЕНИЯ АТОМОВ ГЕЛИЯ И МОЛЕКУЛ МЕТАНА ВБЛИЗИ СИСТЕМЫ ГРАФЕН-НАНОТРУБКА**

**Тарасов Е.А.**

Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск  
E-mail: Diomedis@mail.ru

Данная работа посвящена решению актуальной задачи: исследованию характера взаимодействия низкоэнергетических атомов и молекул, составляющих природный газ со сложной структурой углерод-нанотрубка. Уравнения, описывающие процесс движения около данной системы, были построены для структуры, в которой нанотрубка находится на листе графена. Поставленная задача решалась численно методом Рунге-Кутты, а математическая модель была создана с применением основных уравнений классической механики и модифицированного потенциала Леннард-Джонса. Приведены результаты численного моделирования для двух газов – метана и гелия. Приведена оценка влияния сеточного параметра (шаг по времени) и проверка закона сохранения энергии в изолированной системе.

## **МИКРОСТРУЙНОЕ ОХЛАЖДЕНИЕ СВЕТОДИОДНОГО МОДУЛЯ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ НАТЕКАЮЩЕЙ ЖИДКОСТИ.**

**Трофимова В. В., Гатапова Е.Я.**

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

E-mail: v.trofimova3@g.nsu.ru

В связи со стремительным развитием электронных устройств и их миниатюризацией, на сегодняшний день актуальной является задача создания эффективных систем охлаждения. Целью данной работы являлось исследование влияния температуры охлаждающей жидкости на интенсификацию теплообмена при охлаждении светодиодного модуля с номинальной мощностью 300 Вт микроструйной системой.

В работе приведены экспериментальные данные по исследованию теплообмена при микроструйном охлаждении светодиодного модуля при температурах натекающей жидкости 10 и 25 °С. Приведены показания с термопар, припаянных к подложке светодиода. Методом наименьших квадратов были найдены калибровочные коэффициенты для каждой термопары. Показано существенное влияние температуры натекающей жидкости на интенсификацию теплообмена.

## **ХАРАКТЕРИСТИКИ ВТОРИЧНЫХ КАПЕЛЬ ПРИ МИКРО-ВЗРЫВНОЙ ФРАГМЕНТАЦИИ КАПЕЛЬ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ ТОПЛИВ**

**Федоренко Р.М., Антонов Д.В., Стрижак П.А.**

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск

E-mail: vfedrm@gmail.com

Процессы микро-взрывной фрагментации капель многокомпонентных топлив позволяют обеспечить их интенсивное вторичное измельчение до нескольких сотен и даже десятков микрон. Это приводит к кратному росту площади поверхности испарения и химического реагирования, тем самым снижению инерционности зажигания топливных композиций, повышению полноты их выгорания, минимизации расхода топлива, а также равномерному распылению топлива в камере сгорания. Незучеными остаются условия, влияющие на последствия распада, т.е. образования вторичных капель с требуемыми характеристиками. В настоящей работе приведены результаты экспериментальных исследований распределений вторичных капель по размерам при варьировании группы влияющих факторов (температура нагрева, размер родительских капель, концентрации компонентов, материалы держателей) при различных схемах теплообмена капли и греющей среды. Рассмотрены два типа композиций: двухкомпонентные капли без перемешивания, капли эмульсий.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ 19-53-80019*

## ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ТЕПЛООВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В ТОНКОЙ КАПЛЕ, ЛЕЖАЩЕЙ НА НАГРЕВАЕМОЙ ПОДЛОЖКЕ

**Федотова Я.В.**

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе  
Сибирского отделения Российской академии наук,  
Новосибирский национальный исследовательский университет, Новосибирск  
E-mail: anton38v@gmail.com

Данная работа посвящена актуальной задаче – исследованию последних стадий испарения капли, лежащей на нагреваемой подложке. В работе предложена теоретическая модель распространения теплового излучения в тонкой капле на нагреваемой поверхности, позволяющая рассчитать излучение подложки и внутренних слоев капли. Модель применима для любых жидкостей с высоким коэффициентом поглощения в спектральном диапазоне тепловизора. Разработанный алгоритм позволяет выполнить коррекцию тепловизионных изображений капли на последних стадиях испарения с учетом вклада нагревателя, зависимости излучательной способности жидкости от угла наблюдения и отражения фонового излучения. Проанализированы факторы, влияющие на точность измерения температуры.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФ №18-29-19197*

## **ПАРАМЕТРИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ИНТЕНСИВНОСТИ ИМПУЛЬСНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ГЕНЕРИРУЕМЫЕ ВОЗМУЩЕНИЯ В СВЕРХЗВУКОВОМ ПОГРАНИЧНОМ СЛОЕ**

**Хайбуллина С.Р., Яцких А.А., Семенов А.Н., Кочарин В.Л.**

Институт теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича  
Сибирского отделения Российской академии наук, Новосибирск

E-mail: shaybullina@gmail.com

Одной из сложностей изучения нелинейных процессов при развитии возмущений в пограничных слоях является высокая чувствительность к характеристикам исходных возмущений. В частности, при сопоставлении экспериментальных и расчетных исследований, сложно подобрать параметры возбуждения возмущений в расчетах, аналогичные экспериментальным. Необходимы обширные систематизированные данные по возбуждению и развитию возмущений с различными параметрами.

В работе проводится прямое численное моделирование возбуждения и развития локализованных возмущений в пограничном слое пластины с острой передней кромкой при числе Маха 2. Искусственные возмущения генерируются с помощью локализованного по времени изменения граничных условий. Получено, что при увеличении интенсивности воздействия на пограничный слой амплитуда генерируемых возмущений возрастает. Развитие возмущений различной амплитуды подобно, что указывает на линейный характер эволюции в данных исследованиях.

*Работа выполнена в рамках Программы фундаментальных научных исследований  
государственных академий наук на 2013-2020 годы (проект АААА-А19-119051590050-2)*

## КАЛОРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЖИДКИХ СПЛАВОВ КАЛИЙ–СВИНЕЦ

Хайрулин А.Р., Агажанов А.Ш., Абдуллаев Р.Н., Станкус С.В.

Институт теплофизики имени С.С. Кутателадзе, Новосибирск

E-mail: rainjke95@yandex.ru

Жидкие сплавы системы калий–свинец относятся к классу веществ, у которых наряду с металлическим типом связи в той или иной степени проявляется тенденция к образованию ионного межатомного взаимодействия. Предполагается, что в расплавах этой системы образуются ассоциированные ионные комплексы, диссоциирующие с ростом температуры. Концентрация таких комплексов достигает максимума при определенных стехиометрических составах, что отражается на концентрационных зависимостях многих структурно–чувствительных свойств. Для материаловедения и развития теоретических представлений об ионных комплексах в подобных системах требуется достоверная экспериментальная информация об их теплофизических и, в том числе, калорических свойствах. В настоящей работе методом смешения были исследованы приращение энтальпии и удельная теплоемкость жидких сплавов К–Рв с содержанием свинца 50, 66,7 и 90,7 ат %.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 19-79-00024).*

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ КРИТИЧЕСКОГО ПОТОКА ЖИДКОСТЬ-ПАР ПРИ ИСТЕЧЕНИИ ИЗ ТРУБЫ С ЗЕРНИСТЫМ СЛОЕМ**

**Храмцов Д.П.**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "МИРЭА - Российский технологический университет", Москва

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Московский политехнический университет", Москва

E-mail: dp@khrantsov.net

На основе метода сглаженных частиц разработана расчетная модель критического истечения парожидкостной смеси из трубы с зернистой засыпкой. Получены расчетные данные по массовому расходу парожидкостной смеси в зависимости от перепада давления для труб с рабочими участками длиной 250 и 355 мм, заполненные зернистой засыпкой при значениях массовой доли пара от 0 до 0.2. Выполнены расчеты для промежуточных длин рабочих участков от 250 до 355 мм с шагом 5 мм. Получены зависимости массового расхода парожидкостной смеси из трубы с зернистой засыпкой. Показано, что увеличение доли пара в смеси приводит к уменьшению массового расхода смеси. Определена зависимость критического расхода от линейных размеров рабочего участка. Произведено сопоставление результатов расчета с имеющимися экспериментальными данными и получена хорошая согласованность численного расчета с экспериментом.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ 17-08-00709*

*Работа выполнена в рамках выполнения базовой части государственного задания ФГБОУ ВО "Московский политехнический университет" (проект АААА-А20-120092190052-*

*9).*

## **ТРЕХКОМПОНЕНТНАЯ ЛАЗЕРНАЯ ДОППЛЕРОВСКАЯ ДИАГНОСТИКА ЗАКРУЧЕННОГО ПОТОКА В МОДЕЛИ УСОВЕРШЕНСТВОВАННОЙ ЧЕТЫРЕХВИХРЕВОЙ ТОПКИ**

**Шадрин Е.Ю., Ануфриев И.С., Алексеенко С.В.**

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

E-mail: evgen\_zavita@mail.ru

Вихревые технологии сжигания топлива позволяют существенно повысить качество сжигания топлива и снизить эмиссию токсичных выбросов. Вместе с тем, в вихревых камерах сгорания возникают различные пульсационные эффекты, такие как, прецессия вихревого ядра, которые могут негативно влиять на топочное оборудование. Поэтому, при проектировании новых устройств является актуальным исследование сложной пространственной структуры и анализ стационарности потока.

В данной работе с использованием бесконтактного оптического метода диагностики потоков (трехкомпонентная Лазерная Допплеровская Анемометрия, 3D-ЛДА) исследована пространственная структура закрученного течения в изотермической модели (масштаб 1:25) усовершенствованной четырехвихревой топки. Получено распределение трех компонент скорости (и пульсаций скорости) в различных областях модели. С использованием I2-, Q-, p0-критериев визуализированы вихревые структуры в камере сгорания.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 19-19-00443)*

## **СРАВНЕНИЕ СТРУКТУРЫ ВИХРЕВОГО ПОТОКА ДВУХ НЕСМЕШИВАЕМЫХ ЖИДКОСТЕЙ В ЦИЛИНДРИЧЕСКОМ КОНТЕЙНЕРЕ ПРИ ЗАКРУТКЕ СВЕРХУ И СНИЗУ**

**Шарифуллин Б.Р., Гусев Г.Е.**

Институт Теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН, Новосибирск

E-mail: sharifullinbulat@mail.ru

Исследования процессов тепломассопереноса в вихревых течениях важны для развития газо-вихревых биореакторов. Закрученные потоки в таких системах позволяют решить проблему эффективного перемешивания разных жидкостей или получения равномерного распределения содержащихся в них реагентов. Целью работы является экспериментальное исследование структуры вихревого течения двух несмешиваемых жидкостей различной плотности в цилиндрическом контейнере с нижним вращающимся торцом, а также сравнение полученных экспериментальных результатов со случаем верхнего вращающегося торца. Исследование проводилось в оптически прозрачном цилиндрическом контейнере ( $R = 47$  мм). Контейнер заполнялся подсолнечным маслом и водным раствором глицерина. Исследование проводилось методом визуализации потока. В ходе работы был подробно исследован процесс формирования и эволюции вихревого течения в двухкомпонентной жидкости, а также получен стабильный режим с касанием дна верхней жидкостью.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ № 18-08-00508*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НАНО-СТРУКТУРИРОВАННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ НА РАСПРОСТРАНЕНИЕ ВИХРЕВОГО ПОТОКА В ЗАКРЫТОМ ЦИЛИНДРИЧЕСКОМ КОНТЕЙНЕРЕ**

**Шарифуллин Б.Р., Ломакина В.А.**

Институт Теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН, Новосибирск

E-mail: sharifullinbulat@mail.ru

Важнейшим направлением при разработке вихревых аппаратов является снижение трения о его стенки. В связи с этим большой интерес вызывает использование различных покрытий, например, нано-шероховатостей, нанесенных на стенки вихревого аппарата. В данной работе исследовалось влияние нано-структурированных поверхностей на распространение потока вдоль замкнутого цилиндрического контейнера с верхним вращающимся торцом. Нано-структуры представляют собой различные комбинации полосок, цилиндров и «нано-травы». Исследование проводилось в оптически прозрачном цилиндрическом контейнере ( $R = 47$  мм,  $h = 10R$ ) с верхним вращающимся диском, на который наносились шероховатости. Контейнер заполнялся 66% водным раствором глицерина (плотность 1170 кг/м<sup>3</sup>, вязкость 11,3 мм<sup>2</sup>/с). Исследование проводилось методом визуализации потока в лазерном ноже. В ходе работы было получено, что исследуемые нано-структуры увеличивают распространение закрутки. Наибольший эффект оказывают структуры с цилиндрами и «нано-травой».

## **ИССЛЕДОВАНИЕ УПОРЯДОЧЕННОГО ДВУМЕРНОГО МАССИВА ИЗ МИКРОКАПЕЛЬ, ЛЕВИТИРУЮЩИХ НАД НАГРЕВАЕМЫМ СЛОЕМ ЖИДКОСТИ**

**Шатекова А.И., Зайцев Д.В.**

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

E-mail: [shatekova@list.ru](mailto:shatekova@list.ru)

Данное конкретное исследование является продолжением экспериментального исследования самоорганизующегося двумерного массива из левитирующих микрокапель жидкости, образующихся над локально нагретой поверхностью воды. Двумерный массив состоит из нескольких сотен или тысяч капель, образующих треугольную структуру. Типичный размер капель составляет 10 мкм, высота левитации сравнима с размером капель. Микрокапли образуются благодаря конденсации восходящего потока пара, механизм левитации капель заключается в силе трения Стокса, действующей на каплю со стороны восходящего потока. Примечательно, что данное явление можно наблюдать и в повседневной жизни. Так если взять чашку горячего чая или кофе, то на поверхности видны характерные белые пятна. При большом увеличении видно, что эти пятна состоят из микрокапель конденсата левитирующих над поверхностью. Целью данного исследования является определение зависимости расстояния между микрокаплями от размера и количества капель в двумерном массиве и от других параметров эксперимента.

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СНАРЯДНОГО РЕЖИМА ТЕЧЕНИЯ НЕСМЕШИВАЮЩИХСЯ ЖИДКОСТЕЙ С НЕНЬЮТОНОВСКИМИ СВОЙСТВАМИ В Т-ОБРАЗНОМ МИКРОКАНАЛЕ**

**Ягодницына А.А., Ковалев А.В., Бильский А.В.**

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

E-mail: yagodnitsinaaa@gmail.com

Работа направлена на экспериментальное исследование снарядного режима несмешивающихся жидкостей, когда одна из них проявляет неньютоновские свойства. В качестве неньютоновских жидкостей использовались водные растворы следующих веществ: натрий карбоксилметилцеллюлоза в массовых концентрациях 0,5 и 1,5% и ксантановая камедь с массовой концентрацией 0,5%. Данные вещества широко используются в пищевой, химической, фармацевтической и строительной сферах в качестве загустителя и стабилизатора. Зависимость напряжения сдвига от скорости сдвига была установлена с помощью ротационного вискозиметра. На основе визуализации построены карты режимов для всех наборов исследуемых жидкостей. Показано, что для построения универсальной карты режимов, в том числе при течении жидкостей с неньютоновскими свойствами, может быть использован безразмерный параметр  $We \cdot Oh^*$ , где  $We$  – число Вебера,  $Oh$  – число Онезорге, построенное по эффективной динамической вязкости при средней скорости сдвига в канале.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФ № 19-79-00145*

## СОДЕРЖАНИЕ

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ И ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СЖИГАНИЯ МИКРОУГЛЯ В ГАЗОВОМ ПЛАМЕНИ $\text{CH}_4/\text{N}_2$ .....	4
Алексеев С.В., Бутаков Е.Б., Кузнецов В.А. ....	
ПРЕДЕЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ МИКРО-ВЗРЫВНОГО РАСПАДА МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ КАПЕЛЬ .....	6
Антонов Д.В., Федоренко Р.М., Стрижак П.А. ....	
МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЗАКОНА СКОРОСТИ ГОРЕНИЯ .....	7
Архипов В.А., Бондарчук С.С., Золоторёв Н.Н., Коноваленко А.И. ....	
МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ АКУСТИЧЕСКОЙ ПРОВОДИМОСТИ ПОВЕРХНОСТИ ГОРЕНИЯ ТВЕРДЫХ ТОПЛИВ .....	8
Архипов В.А., Волков С.А., Золоторёв Н.Н. ....	
ЗАЖИГАНИЕ ВРАЩАЮЩИХСЯ ОБРАЗЦОВ ТВЕРДОГО ТОПЛИВА ИЗЛУЧЕНИЕМ $\text{CO}_2$ -ЛАЗЕРА .....	9
Архипов В.А., Коротких А.Г., Кузнецов В.Т., Золоторёв Н.Н. ....	
ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССОВ КОНВЕКТИВНОГО ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОСА ЖИДКОСТИ ПЕРЕМЕННОЙ ВЯЗКОСТИ В ТРЁХМЕРНОЙ КУБИЧЕСКОЙ ОБЛАСТИ С ИЗОТЕРМИЧЕСКИМ НАГРЕВОМ ВЕРТИКАЛЬНОЙ ГРАНИЦЫ .....	10
Астанина М.С., Шеремет М.А. ....	
ИССЛЕДОВАНИЕ ЛОКАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДВУХФАЗНОГО ТЕЧЕНИЯ В ПРЯМОУГОЛЬНЫХ МИКРОКАНАЛАХ МЕТОДОМ LIF .....	11
Барткус Г. В., Кузнецов В. В. ....	
ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ КАПЕЛЬ ВОДЫ НА МОДИФИЦИРОВАННЫХ НАНОСЕКУНДНЫМИ ЛАЗЕРНЫМИ ИМПУЛЬСАМИ ПОВЕРХНОСТЯХ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА .....	12
Батищева К.А. ....	
КИПЕНИЕ НА ЛОКАЛЬНЫХ НАГРЕВАТЕЛЯХ В МИКРОКАНАЛАХ .....	13
Белослудцев В.В., Зайцев Д.В. ....	
ОСАЖДЕНИЕ ФТОРПОЛИМЕРНЫХ ПОКРЫТИЙ С РАЗЛИЧНЫМ СТРОЕНИЕМ НА ЦИЛИНДРИЧЕСКИЕ ПОВЕРХНОСТИ МЕТОДОМ $\text{HWCVD}$ .....	14
Богословцева А.Л., Мельник А.В., Петрова А.В., Старинский С.В., Сафонов А.И. ....	
НАГРЕВАТЕЛЬ НА ОСНОВЕ ГРАФЕНА .....	15
Бойко Е.В., Костогруд И.А., Смовж Д.В. ....	
ТЕПЛОВОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ПЛЕНКУ РАСТВОРА С ЛЕТУЧЕЙ КОМПОНЕНТОЙ .....	16
Бородина К.А., Татосов А.В. ....	
ТЕПЛО- И МАССОПЕРЕНОС ПРИ СУБЛИМАЦИИ СМЕСИ МЕТАЛЛООРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ В ПОТОКЕ ИНЕРТНОГО ГАЗА .....	17
Бочкарева Е. М., Миськив Н. Б., Лукашов В. В. ....	
ИЗУЧЕНИЕ ДИНАМИКИ ИСПАРЕНИЯ КАПЛИ КОЛЛОИДНОГО РАСТВОРА НА СУПЕРБИФИЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТИ .....	18
Бочкарева Е.М., Миськив Н.Б., Старинский С.В. ....	

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОРОГА МОДИФИКАЦИИ МЕДИ В РЕЗУЛЬТАТЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ НАНОСЕКУНДНОГО ЛАЗЕРНОГО .....	19
Васильев М.М., Шухов Ю.Г., Старинский С.В .....	
МНОГОФАКТОРНАЯ ОЦЕНКА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТОПЛИВНЫХ СМЕСЕЙ НА ОСНОВЕ ОТХОДОВ В ЭНЕРГЕТИКЕ РОССИИ, КИТАЯ И ЯПОНИИ .....	20
Вершинина К.Ю., Няшина Г.С., Романов Д.С.....	
ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ТЕПЛООБМЕНА ПРИ КИПЕНИИ НА ОРЕБРЕННЫХ ПОВЕРХНОСТЯХ..	21
Владимиров В.Ю., Чиннов Е.А. ....	
ОСОБЕННОСТИ РОСТА ОДИНОЧНЫХ ПАРОВЫХ ПУЗЫРЕЙ В ОДНОРОДНО ПЕРЕГРЕТОЙ ЖИДКОСТИ .....	22
Владыко Илья Владимирович .....	
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЛОКАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПУЗЫРЬКОВОГО ПОТОКА В СБОРКЕ СТЕРЖНЕЙ.....	23
Воробьев М.А., Кашинский О.Н. ....	
ВЛИЯНИЕ ЧИСЛА МАХА НА УГЛОВОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ КАПЕЛЬНОЙ ФАЗЫ ЗА СРЕЗОМ СОПЛА ПРИ ИСТЕЧЕНИИ ПРИСТЕННОЙ ПЛЕНКИ ЖИДКОСТИ СО СПУТНЫМ ПОТОКОМ ГАЗА В ВАКУУМ.....	24
Вязов Ю.Н., Ярыгин И.В. ....	
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУЙНОГО ИСТЕЧЕНИЯ ГАЗА ИЗ СВЕРХЗВУКОВОГО СОПЛА С ЭКРАНОМ В ВАКУУМ.....	25
Вязов Ю.Н., Ярыгин И.В., Приходько В.Г.....	
ИССЛЕДОВАНИЕ ВНУТРИ ТРУБЫ РАНКА–ХИЛША, С ПОМОЩЬЮ ОПТИЧЕСКОЙ И ТЕМПЕРАТУРНОЙ ДИАГНОСТИКИ .....	26
Гордиенко М.Р., Кабардин И.К., Какаулин С.В., Езендеева Д.П.....	
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАВ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ВОЛН В ТРЕХМЕРНЫХ ВОЛНОВЫХ РЕЖИМАХ .....	27
Гузанов В.В., Квон А.З.....	
ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ВЫТЕСНЕНИЯ НЕФТИ ИЗ ПОРИСТОЙ СРЕДЫ С ПОМОЩЬЮ НАНОСУСПЕНЗИЙ .....	28
Гузей Д.В., Иванова С.В., Минаков А.В., Пряжников А.И. ....	
ИССЛЕДОВАНИЕ НАТЕКАНИЯ СТРУИ РАСПЛАВА, ВОЗБУЖДАЕМОЙ ПЕРИОДИЧЕСКИМ ИСТОЧНИКОМ ТЕПЛА, НА СЛОЙ ЗАКРИСТАЛЛИЗОВАВШЕГОСЯ ГЕПТАДЕКАНА .....	29
Гусельникова О.О., Бердников В.С, .....	
РАЗВИТИЕ НЕСТАЦИОНАРНОЙ КОНВЕКЦИИ В ВЕРТИКАЛЬНОМ СЛОЕ ЖИДКОСТИ ПРИ МОНОТОННОМ НАГРЕВЕ ВЕРТИКАЛЬНОЙ СТЕНКИ.....	30
Гусельникова О.О., Бердников В.С. ....	
ЗАВИСИМОСТЬ СТРУКТУРЫ КОНВЕКТИВНОГО ТЕЧЕНИЯ В РЕЖИМЕ РЭЛЕЙ-БЕНАРОВСКОЙ КОНВЕКЦИИ ОТ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО РАЗМЕРА СЛОЯ ЖИДКОСТИ В УСЛОВИЯХ СОПРЯЖЕННОГО ТЕПЛООБМЕНА.....	31
Данилов Н.И., Митин К.А., Бердников В.С. ....	
ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИКИ И ТЕПЛООБМЕНА ПРИ ДВУХФАЗНОМ ТЕЧЕНИИ В ЩЕЛЕВЫХ МИКРОКАНАЛАХ .....	32
Дементьев Ю.А., Роньшин Ф.В., Чиннов Е.А. ....	

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ КАМЕРЫ НА ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЭМ, СОДЕРЖАЩИЕ НЕОРГАНИЧЕСКОЕ ГОРЮЧЕЕ.....	33
Дубкова Я.А., Соколов С.Д., Порязов В.А., Архипов В.А. ....	
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРАНИЦ ПРИМЕНИМОСТИ МОДЕЛЕЙ ТУРБУЛЕНТНОСТИ В ЗАДАЧАХ ИНТЕНСИФИКАЦИИ МАССОПЕРЕНОСА УПРАВЛЯЕМЫМ ПОВОРОТНО - ДИВЕРГЕНТНЫМ ПОТОКОМ.....	34
Езендеева Д. П., Кабардин И. К., Какаулин И.В., Гордиенко М. Р. ....	
РАСЧЕТНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТРАНСПОРТА ШЛАМА В КОЛЬЦЕВЫХ КАНАЛАХ МАЛОГО СЕЧЕНИЯ .....	35
Жигарев В.А., Минаков А.В., Неверов А.Л., Пряжников М.И., Гузей Д.В. ....	
ИНДИЙ-ИНДУЦИРОВАННАЯ КРИСТАЛЛИЗАЦИЯ ТОНКИХ ПЛЕНОК $a\text{-SiO}_x$ .....	37
Замчий А.О. , Е.А. Баранов, И.Е. Меркулова, Н.А. Лунев .....	
ОПТИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА ТЕМПЕРАТУРНЫХ И СТРУКТУРНЫХ ПАРАМЕТРОВ ВОДОРОДНО-ВОЗДУШНОГО ПЛАМЕНИ.....	38
Золотухина О.С., Арбузов В.А., Арбузов Э.В., Дубнищев Ю.Н., Лукашов В.В. ....	
О СПИРАЛЬНОМ ТУРБУЛЕНТНОМ ТЕЧЕНИИ В КОЛЬЦЕВОМ КОНЦЕНТРИЧЕСКОМ КАНАЛЕ .....	39
Игнатенко Я.С., Гаврилов А.А., Бочаров О.Б. ....	
НЕСТАЦИОНАРНЫЙ ТЕПЛООБМЕН В РАСТВОРАХ ЗА ЛИНИЕЙ РАВНОВЕСИЯ ЖИДКОСТЬ-ЖИДКОСТЬ.....	40
Игольников А.А., Рютин С.Б., Скрипов П.В. ....	
РАСТЕКЕНИЕ КАПЕЛЬ ПО АБРАЗИВНО-ОБРАБОТАННЫМ ПОВЕРХНОСТЯМ МЕДИ И СТАЛИ .....	41
Исламова А.Г. ....	
ИССЛЕДОВАНИЕ ТУРБУЛЕНТНОГО МАССОПЕРЕНОСА В ПОВОРОТНО-ДИВЕРГЕНТНЫХ ТЕЧЕНИЯХ.....	42
Какаулин С.В., Гордиенко М.Р., Езендеева Д.П., Кабардин И.К.....	
ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕНОСА ГОРЯЩИХ ЧАСТИЦ В ПОЛУНАТУРНЫХ УСЛОВИЯХ ДЛЯ ТЕСТИРОВАНИЯ И ВЕРИФИКАЦИИ РАЗРАБАТЫВАЕМОГО ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА .....	43
Касымов Д.П., Агафонцев М.В., Орлов К.Е., Проханов С.А., Мартынов П.С., Фильков А.И. ....	
МОДЕЛИРОВАНИЕ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ НА НЕПОДВИЖНОМ И ВРАЩАЮЩЕМСЯ ОХЛАЖДАЕМОМ ДИСКЕ.....	44
Кислицын С.А. ....	
ИЗУЧЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК СЖИГАНИЯ ЖИДКИХ УГЛЕВОДОРОДОВ ПРИ ИХ РАСПЫЛЕНИИ СТРУЕЙ ПЕРЕГРЕТОГО ВОДЯНОГО ПАРА В РАСПЫЛИТЕЛЬНОМ ГОРЕЛОЧНОМ УСТРОЙСТВЕ.....	45
Копьев Е.П., Мухина М.А., Садкин И.С. ....	
ОБОСНОВАНИЕ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ УСЛОВИЙ И ХАРАКТЕРИСТИК ЗАЖИГАНИЯ ЧАСТИЦ ВЛАЖНОЙ ДРЕВЕСИНЫ ОДНОГО ИЗ СПОСОБОВ ПОВЫШЕНИЯ РЕСУРСООБЪЕКТИВНОСТИ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКИ.....	46
Косторева Ж.А. , Косторева А.А., Малышев Д.Ю. ....	

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ ТЕПЛООТДАЧИ НА ДВУХМЕРНЫХ МИКРОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ПОВЕРХНОСТЯХ ПРИ КИПЕНИИ РАЗЛИЧНЫХ ЖИДКОСТЕЙ В УСЛОВИЯХ СВОБОДНОЙ КОНВЕКЦИИ .....	47
Коханова Ю.С., Аксянов Р.А., Попов И.А. ....	
ДИНАМИКА РАЗРЫВА НЕИЗОТЕРМИЧЕСКОГО СЛОЯ ЖИДКОСТИ.....	48
Кочкин Д.Ю., Зайцев Д.В. ....	
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧЕК ПЕРЕХОДА К НЕСТАЦИОНАРНЫМ РЕЖИМАМ ТЕЧЕНИЯ В МАЛЫХ КАНАЛАХ.....	49
Кравцова А.Ю., Янко П.Е. ....	
ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТНЫХ СВОЙСТВ РАСТВОРОВ ВОДА-ПАВ .....	50
Пещенюк Ю.А., Семенов А.А., Вожаков И.С.....	
ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ СОВМЕСТНОГО ГОРЕНИЯ ПЫЛЕУГОЛЬНОГО И ГАЗОВОГО ТОПЛИВА НА ОСНОВЕ ВИХРЕРАЗРЕШАЮЩИХ МЕТОДОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ ТУРБУЛЕНТНОСТИ .....	51
Кузнецов В.А., Дектерев Ар.А., Минаков А.В. ....	
ПОЛУЧЕНИЕ КРИТЕРИАЛЬНОЙ ЗАВИСИМОСТИ ДЛЯ ТЕПЛООТДАЧИ ПРИ КИПЕНИИ РАЗЛИЧНЫХ ЖИДКОСТЕЙ НА ТРЕХМЕРНЫХ МИКРОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ПОВЕРХНОСТЯХ В УСЛОВИЯХ СВОБОДНОЙ КОНВЕКЦИИ .....	52
Куимов Е.С., Лей Р.А., Попов И.А. ....	
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОПЕРЕДАЮЩИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПУЛЬСИРУЮЩЕЙ ТЕПЛОВОЙ ТРУБЫ .....	53
Литвинцева А.А., Чеверда В.В., Роньшин Ф.В., Элоян К.С.....	
ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МИКРОТРЕЩИНЫ В ГОРНОЙ ПОРОДЕ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВЫМЫВАНИЯ ИЗ НЕЁ НЕФТИ С ПОМОЩЬЮ ВЫТЕСНЯЮЩЕГО АГЕНТА.....	54
Лобасов А.С., Минаков А.В. ....	
СТРУКТУРНЫЕ СВОЙСТВА ТОНКИХ ПЛЕНОК НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО КРЕМНИЯ, ПОЛУЧЕННЫХ В РЕЗУЛЬТАТЕ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО ОТЖИГА $\alpha$ -SiO <sub>x</sub> РАЗЛИЧНОГО СОСТАВА.....	55
Лунев Н.А., Меркулова И.Е.....	
ВЛИЯНИЕ ВИДА ЛЕСНОГО ГОРЮЧЕГО МАТЕРИАЛА НА ХАРАКТЕРИСТИКИ И УСЛОВИЯ ЗАЖИГАНИЯ БИО-ВОДОУГОЛЬНЫХ ТОПЛИВ.....	56
Мальшев Д.Ю., Косторева Ж.А., Сыродой С.В., Наумкин А.С. ....	
ОСАЖДЕНИЕ ФТОРПОЛИМЕРНЫХ ПОКРЫТИЙ ИЗ ФТОРОРГАНИЧЕСКОГО ГАЗА, АКТИВИРОВАННОГО ТЛЕЮЩИМ РАЗРЯДОМ.....	57
Мельник А.В., Петрова А.В., Сафонов А.И.....	
ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ГИДРОФОБНЫХ СВОЙСТВ МЕМБРАН НА ПРОЦЕСС СЕПАРАЦИИ ВОДОНЕФТЯНОЙ ЭМУЛЬСИИ .....	58
Мельник А.В., Петрова А.В., Старинский С.В., Сафонов А.И. ....	
ПОЛУЧЕНИЕ ПОЛИКРЕМНИЯ ПУТЕМ АЛЮМИНИЙ-ИНДУЦИРОВАННОЙ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ТОНКИХ ПЛЕНОК СУБОКСИДА КРЕМНИЯ.....	59
Меркулова И.Е., Замчий А.О., Баранов Е.А. ....	

ПОЛУЧЕНИЕ ПОЛИКРЕМНИЯ ПУТЕМ ЭЛЕКТРОННО-ПУЧКОВОГО ОТЖИГА ТОНКИХ ПЛЕНОК СУБОКСИДА КРЕМНИЯ .....	60
Меркулова И.Е., Замчий А.О., Константинов В.О., Баранов Е.А.....	
ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОСТРОВА ТЕПЛА В УСЛОВИЯХ ГОРОДСКОЙ ЗАСТРОЙКИ .....	61
Мешкова В.Д., Дектерев А.А., Литвинцев К.Ю., Филимонов С.А.....	
СРАВНЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИЙ ВЫБРОСОВ ПРИ СЖИГАНИИ ДВОЙНОГО ГАЗОВОГО ГИДРАТА ПРОПАН-МЕТАН ПРИ РАЗНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ В МУФЕЛЬНОЙ ПЕЧИ .....	62
Мисюра С.Я., Морозов В.С. ....	
ВЛИЯНИЕ СТРУКТУР ПОВЕРХНОСТИ НА СВОБОДНУЮ КОНВЕКЦИЮ И ТЕПЛООБМЕН В ИСПАРЯЮЩИХСЯ СИДЯЧИХ КАПЛЯХ.....	63
Мисюра С.Я., Морозов В.С. ....	
ТЕПЛООТДАЧА ОТ ВЕРТИКАЛЬНОГО СТЕРЖНЯ, РАЗОГРЕВАЕМОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ТОКОМ, В РЕЖИМЕ НЕСТАЦИОНАРНОЙ СВОБОДНОЙ КОНВЕКЦИИ.....	64
Митина А.В., Митин К.А.....	
ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛООБМЕНА ПРИ КОНДЕНСАЦИИ НА НАКЛОННЫХ ТРУБАХ МЕТОДОМ ГРАДИЕНТНОЙ ТЕПЛОМЕТРИИ .....	65
Митяков В. Ю., Митяков А. В., Сапожников С. З., Зайнуллина Э. Р., Бабич А. Ю.....	
ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КОНВЕКТИВНО-РАДИАЦИОННОГО ТЕПЛООБМЕНА ВО ВРАЩАЮЩЕЙСЯ КВАДРАТНОЙ ПОЛОСТИ ПРИ НАЛИЧИИ НАГРЕВАЕМОГО ЭЛЕМЕНТА И ТЕПЛОПРОВОДНОЙ ПОДЛОЖКИ.....	66
Михайленко С.А., Шеремет М. А.ЗАВИСИМОСТЬ ПОЛЕЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ТОНКОЙ ВЕРТИКАЛЬНОЙ СТЕНКИ ОТ ИНТЕНСИВНОСТИ НАБЕГАЮЩЕГО ПОТОКА НАГРЕТОЙ ЖИДКОСТИ .....	67
Михайлов А.В., Гришков В.А. ....	
РАЗРАБОТКА МОДИФИЦИРОВАННОГО СИНТЕТИЧЕСКОГО ШЛИРЕН МЕТОДА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕРМОКАПИЛЛЯРНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО СЛОЯ ЖИДКОСТИ .....	68
Мунгалов А.С., Кочкин Д.Ю., Кабов О.А.....	
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВНУТРЕННЕГО ОРЕБРЕНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ МЕТАЛЛОГИДРИДНЫХ СИСТЕМ ОЧИСТКИ ВОДОРОДА.....	69
Нащекин М.Д., Минко К.Б., Минко М.В., Моргунова С.Б.....	
ВЛИЯНИЕ МАСШТАБА ТУРБУЛЕНТНОСТИ ГАЗОВЫХ ПОТОКОВ НА ИНТЕНСИВНОСТЬ ТЕПЛООБМЕНА В ДЛИННОЙ ГЛАДКОЙ ТРУБЕ .....	70
Неволин А.М., Осипов Л.Е., Плотников Л.В.....	
ВЛИЯНИЕ ЗАГУСТИТЕЛЯ И ПРОТИВОТУРБУЛЕНТНОЙ ПРИСАДКИ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗАЖИГАНИЯ ТИПИЧНЫХ ЖИДКИХ УГЛЕВОДОРОДНЫХ ТОПЛИВ.....	71
Нигай А.Г., Глушков Д.О.....	
ДИНАМИКА ЦЕЛЕВОЙ КАВИТАЦИИ В ТОРЦЕВОМ ЗАЗОРЕ: ЭКСПЕРИМЕНТ НА ДВУХМЕРНОМ КРЫЛЕ.....	72
Ничик М.Ю., Тимошевский М.В. ....	
ОТНОСИТЕЛЬНЫЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ, ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ И ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ТОПЛИВНЫХ КОМПОЗИЦИЙ С БИОМАССОЙ .....	73

Няшина Г.С., Вершинина К.Ю., Курганкина М.А., Дорохов В.В. ....	
ХАРАКТЕРИСТИКИ КОНДЕНСИРОВАННЫХ ПРОДУКТОВ СГОРАНИЯ БОРСОДЕРЖАЩИХ ТОПЛИВНЫХ КОМПОЗИЦИЙ .....	74
Орлова М.П., Горбенко Т.И.....	
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ КИПЕНИЯ НА МИКРОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ПОВЕРХНОСТЯХ.....	75
Остапченко Анастасия Евгеньевна, Федосеев Александр Владимирович, Суртаев Антон Сергеевич ....	
МИКРОВЗРЫВНОЕ ДИСПЕРГИРОВАНИЕ КАПЕЛЬ КОМПОЗИЦИОННЫХ ТОПЛИВ ИЗ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ ПРИ ЗАЖИГАНИИ В ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЕ.....	76
Паушкина К.К., Глушков Д.О. ....	
ПОВЕДЕНИЕ ПЛЕНОК НЕРАСТВОРИМОГО СУРФАКТАНТА НА НЕОДНОРОДНО НАГРЕТОЙ ПОВЕРХНОСТИ ЖИДКОСТИ В ЯЧЕЙКЕ ХЕЛЕ – ШОУ .....	77
Петухов М.И., Шмыров А.В., Шмырова А.И., Демин В.А. ....	
МОДЕЛЬ ОБЪЕМНОЙ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ МИКРОСЛОЯ РАСПЛАВА.....	78
Пильник А.А., Чернов А.А. ....	
ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ГЕЛЕВЫХ СИСТЕМ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К АДДИТИВНЫМ ТЕХНОЛОГИЯМ.....	79
Покусаев Б.Г., Вязьмин А.В., Карлов С.П., Захаров Н.С., Сулягина О.А.....	
ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛООБМЕНА В КАПЛЕ ЖИДКОСТИ НА ТОНКОЙ НАГРЕВАЕМОЙ ФОЛЬГЕ .....	80
Пономаренко Т.Г., Чеверда В.В. ....	
ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕЧЕНИЯ ТОНКОГО СЛОЯ ЖИДКОСТИ ПО НАКЛОННОЙ ПОДЛОЖКЕ С УЧЕТОМ ИСПАРЕНИЯ.....	81
Резанова Екатерина Валерьевна.....	
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ФОНОВОГО ОКРУЖЕНИЯ НА СОСТАВ ТОНКИХ ПЛЕНОК СУБОКСИДА КРЕМНИЯ, ПОЛУЧЕННЫХ ПРИ ЛАЗЕРНОЙ АБЛЯЦИИ.....	82
Родионов А.А., Старинский С.В., Шухов Ю.Г., Булгаков А.В. ....	
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ В ЖИДКОМ СОСТОЯНИИ.....	83
Самошкин Д.А., Станкус С.В., Агажанов А.Ш. ....	
ГРАДИЕНТНАЯ ТЕПЛОМЕТРИЯ В ИССЛЕДОВАНИИ КИПЕНИЯ НА ШАРЕ .....	84
Сапожников С. З. , В. Ю. Митков, А. В. Павлов, П. Г. Бобылев, М. Д. Виноградов.....	
ОСОБЕННОСТИ ТЕЧЕНИЯ И ТЕПЛООБМЕНА ВБЛИЗИ ПАРЫ КРУГЛЫХ ЦИЛИНДРОВ. ....	85
Гусаков А.А., Сероштанов В.В., Власов А.С., Сучок В.В., Жидков Н.А.....	
ДВИЖЕНИЕ КОНТАКТНОЙ ЛИНИИ, ВЫЗВАННОЕ ПАВ.....	86
Сибиряков Н.Е. ....	
ОСОБЕННОСТИ ВИХРЕВОЙ КАВИТАЦИИ ПРИ ОБТЕКАНИИ ДВУМЕРНЫХ ТЕЛ В ЩЕЛЕВОМ КАНАЛЕ.....	87
Скрипкин С.Г., Цой М.А., Кравцова А.Ю.....	
ОПТИЧЕСКИЕ И МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВ НАНОЧАСТИЦ ЗОЛОТА, ВНЕДРЕННЫХ В МАТРИЦУ НЕСТЕХИОМЕТРИЧЕСКОГО ОКСИДА КРЕМНИЯ. ....	88

Старинский С.В., Баранов Е.А., Замчий А.О. ....	
СРАВНЕНИЕ ОПТИЧЕСКИЕ И МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЛЕНОК СЕРЕБРА, ПОЛУЧЕННЫХ ТЕРМОВАКУУМНЫМ ГАЗОСТРУЙНЫМ МЕТОДОМ И ИМПУЛЬСНЫМ ЛАЗЕРНЫМ ОСАЖДЕНИЕМ. ....	89
Старинский С.В., Родионов А.А., Шухов Ю.Г., Булгаков А.В. ....	
ИССЛЕДОВАНИЕ НАНОСЕКУНДНОЙ ЛАЗЕРНОЙ АБЛЯЦИИ ОЛОВА В ВОДЕ И ВАКУУМЕ. .	90
Старинский С.В., Родионов А.А., Шухов Ю.Г., Булгаков А.В. ....	
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ЯДРА ВИХРЯ ЗА КРЫЛОМ КОНЕЧНОГО РАЗМАХА И МОДЕЛЬЮ ИЗОЛИРОВАННОГО ВИНТА .....	91
Степанов Р.П., Кусюмов А.Н. ....	
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭВОЛЮЦИИ ПАРОВЫХ ПУЗЫРЕЙ И СУХИХ ПЯТЕН ПРИ КИПЕНИИ В УСЛОВИЯХ СУБАТМОСФЕРНЫХ ДАВЛЕНИЙ .....	92
Суртаев А.С.), Сердюков В.С., Малахов И.П., Селищев Д.С.) .....	
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ НЕУСТОЙЧИВОСТЕЙ В ВОЗДУШНОЙ МОДЕЛИ ОТСАСЫВАЮЩЕЙ ТРУБЫ ГИДРОТУРБИНЫ.....	93
Суслов Д.А., Литвинов И.В., Гореликов Е.Ю., Шторк С.И. ....	
ОСОБЕННОСТИ ДВИЖЕНИЯ АТОМОВ ГЕЛИЯ И МОЛЕКУЛ МЕТАНА ВБЛИЗИ СИСТЕМЫ ГРАФЕН-НАНОТРУБКА .....	94
Тарасов Е.А. ....	
МИКРОСТРУЙНОЕ ОХЛАЖДЕНИЕ СВЕТОДИОДНОГО МОДУЛЯ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ НАТЕКАЮЩЕЙ ЖИДКОСТИ.....	95
Трофимова В. В., Гатапова Е.Я. ....	
ХАРАКТЕРИСТИКИ ВТОРИЧНЫХ КАПЕЛЬ ПРИ МИКРО-ВЗРЫВНОЙ ФРАГМЕНТАЦИИ КАПЕЛЬ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ ТОПЛИВ.....	96
Федоренко Р.М., Антонов Д.В., Стрижак П.А.....	
ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ТЕПЛООВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В ТОНКОЙ КАПЛЕ, ЛЕЖАЩЕЙ НА НАГРЕВАЕМОЙ ПОДЛОЖКЕ .....	97
Федотова Я.В. ....	
ПАРАМЕТРИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ИНТЕНСИВНОСТИ ИМПУЛЬСНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ГЕНЕРИРУЕМЫЕ ВОЗМУЩЕНИЯ В СВЕРХЗВУКОВОМ ПОГРАНИЧНОМ СЛОЕ .....	98
Хайбуллина С.Р., Яцких А.А., Семенов А.Н., Кочарин В.Л. ....	
КАЛОРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЖИДКИХ СПЛАВОВ КАЛИЙ–СВИНЕЦ .....	99
Хайрулин А.Р., Агажанов А.Ш., Абдуллаев Р.Н., Станкус С.В. ....	
МОДЕЛИРОВАНИЕ КРИТИЧЕСКОГО ПОТОКА ЖИДКОСТЬ-ПАР ПРИ ИСТЕЧЕНИИ ИЗ ТРУБЫ С ЗЕРНИСТЫМ СЛОЕМ.....	100
Храмцов Д.П. ....	
ТРЕХКОМПОНЕНТНАЯ ЛАЗЕРНАЯ ДОППЛЕРОВСКАЯ ДИАГНОСТИКА ЗАКРУЧЕННОГО ПОТОКА В МОДЕЛИ УСОВЕРШЕНСТВОВАННОЙ ЧЕТЫРЕХВИХРЕВОЙ ТОПКИ .....	101
Шадрин Е.Ю., Ануфриев И.С., Алексеенко С.В. ....	
СРАВНЕНИЕ СТРУКТУРЫ ВИХРЕВОГО ПОТОКА ДВУХ НЕСМЕШИВАЕМЫХ ЖИДКОСТЕЙ В ЦИЛИНДРИЧЕСКОМ КОНТЕЙНЕРЕ ПРИ ЗАКРУТКЕ СВЕРХУ И СНИЗУ .....	102

Шарифуллин Б.Р., Гусев Г.Е. ....	
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НАНО-СТРУКТУРИРОВАННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ НА РАСПРОСТРАНЕНИЕ ВИХРЕВОГО ПОТОКА В ЗАКРЫТОМ ЦИЛИНДРИЧЕСКОМ КОНТЕЙНЕРЕ .....	103
Шарифуллин Б.Р., Ломакина В.А. ....	
ИССЛЕДОВАНИЕ УПОРЯДОЧЕННОГО ДВУМЕРНОГО МАССИВА ИЗ МИКРОКАПЕЛЬ, ЛЕВИТИРУЮЩИХ НАД НАГРЕВАЕМЫМ СЛОЕМ ЖИДКОСТИ .....	104
Шатекова А.И., Зайцев Д.В. ....	
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СНАРЯДНОГО РЕЖИМА ТЕЧЕНИЯ НЕСМЕШИВАЮЩИХСЯ ЖИДКОСТЕЙ С НЕНЬЮТОНОВСКИМИ СВОЙСТВАМИ В Т-ОБРАЗНОМ МИКРОКАНАЛЕ .....	105
Ягодницына А.А., Ковалев А.В., Бильский А.В. ....	