

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК БЕЛАРУСИ  
Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова

# ***ТЕПЛО- И МАССОПЕРЕНОС – 2016***

*Сборник научных трудов*

Минск 2017

---

## РЕФЕРАТЫ

### І. ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ. ТЕПЛОМАССОБМЕННЫЕ АСПЕКТЫ ЭНЕРГЕТИКИ

УДК 621.577

Васильев Л. Л., Канончик Л. Е., Цитович А. П. АККУМУЛЯТОР ГАЗО-ОБРАЗНОГО ТОПЛИВА ДЛЯ ГИБРИДНОГО АВТОМОБИЛЯ // Тепло- и массоперенос – 2016. Минск: Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси, 2017. С. 11–17.

Выполнено экспериментальное исследование и теоретическое моделирование равновесной адсорбции метана на выбранном микропористом адсорбенте при температуре выше критической. Описан образец терморегулируемого аккумулятора-адсорбера и приведена установка для моделирования газовой зарядки и разрядки. Параметрическое исследование режимов зарядки аккумулятора-адсорбера выполнено с помощью CFD-модели, которая учитывает неравновесный характер сорбции, теплоту реакции и верифицирована ранее результатами испытаний. Исследовано влияние массового расхода газа, подаваемого на вход, на закономерности заполнения метаном в условиях теплового контроля слоя адсорбента с помощью тепловой трубы.

Ил. 5. Библиогр. 9 назв.

УДК 536.248.2

Войтик О. Л., Делендик К. И., Коляго Н. В., Пенязьков О. Г. ВЫБОР КОНСТРУКЦИОННОГО РЕШЕНИЯ ТЕПЛОЙ ТРУБЫ ДЛЯ СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ МОЩНЫХ СВЕТОДИОДНЫХ УСТРОЙСТВ // Тепло- и массоперенос – 2016. Минск: Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси, 2017. С. 18–26.

Проведены численные исследования процессов тепло- и массообмена, которые протекают в тепловой трубе (испарение, конденсация, капиллярный транспорт и др.). Предложена методика расчета процессов теплообмена внутри тепловой трубы, алгоритм реализован в среде Microsoft Excel. Изучены теоретические основы оптимизации структуры и свойств капиллярно-пористых материалов для увеличения теплопередающей способности трубы.

Разработаны конструкции тепловых труб с фитильными системами канавчатого и сетчатого типов (теплоноситель – вода, корпус – медная трубка, гомогенный фитиль – канавки, сетки из нержавеющей стали).

Табл. 1. Ил. 9. Библиогр. 13 назв.

УДК 536.248.2

Войтик О. Л., Делендик К. И., Коляго Н. В., Пенязьков О. Г., Рошин Л. Ю. ВЫБОР ФОРМЫ ЭЛЕМЕНТОВ МИКРОСТРУКТУРИРОВАННОГО ФИТИЛЯ ДЛЯ СВЕРХТОНКИХ ИСПАРИТЕЛЬНО-КОНДЕНСАЦИОННЫХ УСТРОЙСТВ // Тепло- и массоперенос – 2016. Минск: Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси, 2017. С. 27–33.

Изучено влияние структурных параметров микропрофилированного фитиля на его капиллярно-транспортные характеристики, произведен выбор микроструктуры для сверхтонких испарительно-конденсационных устройств. Установлено, что паровые камеры с коническими микроструктурами будут характеризоваться минимальной массой при высокой эффективности отвода тепловых нагрузок от труднодоступных теплонапряженных элементов. С использованием разработанных в Институте тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси лабораторных технологий химического и электрохимического фрезерования были получены тестовые микроструктуры с пошаговым изменением линейных размеров и экспериментальные образцы микропрофилированных фитилей.

Табл. 2. Ил. 7. Библиогр. 14 назв.

УДК 551.521.1

Конева Н. С., Жукова Ю. В. ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ГЕЛИОТЕПЛОТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ // Тепло- и массоперенос – 2016. Минск: Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси, 2017. С. 34–39.

С помощью газодинамического решателя ANSYS Fluent 14.5 проведено численное моделирование процессов, протекающих внутри камеры гелиотеплотехнической системы. Описаны особенности движения воздуха внутри камеры, проведен анализ характерных условий обтекания основных элементов. Визуализация распределения потоков и температур позволяет проанализировать и оценить влияние вихревой структуры потока внутри камеры на процессы, происходящие в теплообменных устройствах, предложить пути интенсификации теплообмена между нагретой пластиной и нагреваемым агентом.

Ил. 4. Библиогр. 5 назв.

УДК 536.422

Кузьмич М. А., Цитович А. П., Васильев Л. Л. ПОЛИМЕРНЫЕ ПАРОДИНАМИЧЕСКИЕ ТЕРМОСИФОНЫ ДЛЯ СИСТЕМ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В СТРАНАХ С ХОЛОДНЫМ КЛИМАТОМ // Тепло- и массоперенос – 2016. Минск: Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси, 2017. С. 40–46.

Разработана конструкция теплообменника-утилизатора на базе полимерных пародинамических термосифонов для нагрева, увлажнения воздуха и получения льда, что особенно актуально для применения в регионах, для которых характерны суровые зимы с морозами  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  и ниже. Экспериментально исследован процесс намораживания капель воды и таяния льда на поверхности полимерного термосифона и на поверхности металлического термосифона, покрытого полимерной пленкой. Система позволяет утилизировать теплоту и влагу выпускаемого из помещения отработанного воздуха и отходящих газов.

Ил. 10. Библиогр. 12 назв.

УДК 621.1-462; 536.24

Сайнболд С., Авирмед Я., Енебиш Н., Хуухенхуу Б., Баяннасан С., Васильев Л. Л., Журавлёв А. С., Гракович Л. П., Кузьмич М. А. СИСТЕМА ОТОПЛЕНИЯ МОНГОЛЬСКОЙ ЮРТЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ // Тепло- и массоперенос – 2016. Минск: Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси, 2017. С. 47–53.

Представлены результаты натурных испытаний системы, использующей солнечную энергию для обогрева монгольской юрты. Согласно полученным данным, солнечный коллектор способен обеспечить часть необходимого количества тепла во время отопительного сезона и удовлетворить половину потребности в течение года, тем самым снизив количество сжигаемого топлива. Такой способ отопления популярного в Монголии жилища позволит значительно уменьшить количество выбрасываемых в атмосферу вредных дымовых газов и таким образом улучшить экологическую обстановку. Рассмотренная система может быть усовершенствована совместными усилиями специалистов Института физики и технологии Монгольской академии наук и Института тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси. Задачи по использованию энергии Солнца актуальны и для Республики Беларусь.

Табл. 1. Ил. 6. Библиогр. 19 назв.

УДК 544.342:53.072:53.04

Шабуня С. И., Мартыненко В. В., Калинин В. И. УНИВЕРСАЛЬНЫЙ КОНВЕРТОР ЖИДКИХ УГЛЕВОДОРОДОВ ДЛЯ ГЕНЕРАЦИИ ЗАЩИТНОЙ АТМОСФЕРЫ // Тепло- и массоперенос – 2016. Минск: Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси, 2017. С. 54–60.

Представлены результаты экспериментальных исследований генерации защитной атмосферы из жидких углеводородов в коаксиальном каталитическом реакторе с обогреваемым корпусом. Необходимый компонентный состав защитной атмосферы получен в экспериментах по конверсии шести типов жидких углеводородов: авиационного и осветительного керосинов, изооктана, нефти, дизельного топлива, бензинами марок А80 и АИ92, а также определены температурные параметры испарителя и нагревателей, обеспечивающие требуемое качество конверсии.

Табл. 4. Ил. 1. Библиогр. 6 назв.

## **II. ТЕПЛО- И МАССОПЕРЕНОС В КАПИЛЛЯРНО-ПОРИСТЫХ ТЕЛАХ И ГЕТЕРОГЕННЫХ СИСТЕМАХ ПРИ ФАЗОВЫХ И ХИМИЧЕСКИХ ПРЕВРАЩЕНИЯХ. ПРОЦЕССЫ СУШКИ МАТЕРИАЛОВ**

УДК 536.4

Брич М. А., Горбачев Н. М., Козначеев И. А. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ, ПРОТЕКАЮЩИХ ПРИ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ ДРЕВЕСНЫХ МАТЕРИАЛОВ МЕТОДОМ СБРОСА ДАВЛЕНИЯ // Тепло- и массоперенос – 2016. Минск: Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси, 2017. С. 61–64.

Разработана математическая модель гидромеханических процессов в капиллярно-пористом теле при термомеханической обработке сбросом давления, которая может быть использована в инженерных приложениях к методике расчета режимных параметров этой обработки. Найдены зависимость поля давления, создаваемого в материале при декомпрессии, от времени сброса давления и зависимость времени релаксации давления в материале от проницаемости и размера частицы.

Табл. 1. Ил. 2. Библиогр. 7 назв.

УДК 536.655

Саверченко В. И., Фисенко С. П., Ходыко Ю. А. ИСПАРИТЕЛЬНОЕ ОХЛАЖДЕНИЕ ПОДЛОЖКИ ПОТОКОМ МИКРОННЫХ КАПЕЛЬ // Тепло- и массоперенос – 2016. Минск: Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси, 2017. С. 65–70.

Описаны результаты экспериментального и теоретических исследований охлаждения подложки потоком микронных капель. Показано, что при давлении 300 торр с помощью потока микронных капель с подложки можно снимать тепловые потоки порядка  $0.5 \text{ МВт/м}^2$ . Представлены численные расчеты по испарению тонкой пленки воды на подложке при пониженном давлении. Установлено, что плотность теплового потока, снимаемого с подложки, зависит от материала подложки, ее толщины, а также от толщины пленки.

Табл. 2. Ил. 6. Библиогр. 11 назв.

УДК 536.2:532/533

Сычевский В. А. ТЕМПЕРАТУРНЫЕ И ВЛАЖНОСТНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ В ПИЛОМАТЕРИАЛЕ ПРИ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ СУШКЕ // Тепло- и массоперенос – 2016. Минск: Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси, 2017. С. 71–82.

Выполнено трехмерное компьютерное моделирование конвективной сушки при высоких температурах образца из древесины с учетом его влажностной усадки и температурного расширения, используя программное обеспечение теплофизического профиля. Получены закономерности деформирования и развития напряжений в материале, обусловленные как градиентами температуры, так и градиентами влаги. В рамках заданных физических условий установлено, что температурные напряжения меньше влажностных напряжений и меньше прочности материала, поэтому ими можно пренебречь.

Табл. 4. Ил. 5. Библиогр. 2 назв.

### **III. ЯВЛЕНИЯ В НЕРАВНОВЕСНЫХ СРЕДАХ. ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫЕ ПРОЦЕССЫ. НАНОТЕХНОЛОГИИ И НАНОМАТЕРИАЛЫ**

УДК 621.43.05-62/-64

Ассад М. С., Ознобишин А. Н., Пенязьков О. Г., Тарасенко И. Н. // ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ВОСПЛАМЕНЕНИЯ БЕНЗИНА С ВОЗДУХОМ В УСТАНОВКЕ ПЕРЕМЕННОГО ОБЪЕМА // Тепло- и массоперенос – 2016. Минск: Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси, 2017. С. 83–86.

Приведено описание установки адиабатного сжатия, предназначенной для исследования высокотемпературных процессов воспламенения и горения жидких и газообразных топлив в условиях изменяемых температур и степени сжатия. Выполнено моделирование внутрикамерного процесса воспламенения бензина в камере сгорания бензинового двигателя на установке адиабатного сжатия. В качестве топлива использовался бензин марки АИ-95, подаваемый в цилиндр под давлением 20 бар. Получены диаграммы рабочего процесса с самовоспламенением топливно-воздушной смеси, а также с электроискровым зажиганием смеси. Установлена зависимость давления от времени и положения поршня при горении смеси бензина с воздухом при прямом двух- и трехфазном впрыске топлива на такте сжатия.

Ил. 3. Библиогр. 2 назв.

УДК 537.523.5.924

Лактюшин А. Н., Лактюшина Т. В. КОМПЬЮТЕРНОЕ ФОРМИРОВАНИЕ ДОКРИТИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО КАТОДА В ПЛАЗМОТРОНЕ ЛИНЕЙНОЙ СХЕМЫ // Тепло- и массоперенос – 2016. Минск: Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси, 2017. С. 87–92.

Выполнено подробное трехфакторное исследование удельной эрозии цилиндрического катода с учетом коллективного влияния рабочих параметров линейного плазмотрона, формирующих режимы взаимодействия опорного пятна дуги с внутренней поверхностью катода. Исследование проводилось методом многомерного компьютерного синтеза на специально разработанном эмпирическом уравнении. С помощью процедуры синтеза получен большой объем информации о тех сочетаниях рабочих параметров, которые формируют безопасные докритические режимы работы цилиндрического катода и обеспечивают приемлемые в технологических приложениях ресурсы. Выбор докритических режимов в этом случае является научно обоснованным и полностью защищенным от режимов с недопустимо высоким уровнем удельной эрозии катода, способствующим его преждевременному неконтролируемому разрушению.

Ил. 3. Библиогр. 9 назв.

УДК 504.064.4

Леончик А. И., Савчин В. В., Сабиров Н. М., Хведчин И. В., Скоморохов Д. С., Долголенко Г. В. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ДВУХСТАДИЙНОЙ ГАЗИФИКАЦИИ ОРГАНИЧЕСКИХ МАТЕ-

РИАЛОВ // Тепло- и массоперенос – 2016. Минск: Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси, 2017. С. 93–95.

Описана установка для двухстадийной пиролизно-плазменной газификации материалов с преобладающей органической частью. Представлены результаты экспериментальных исследований по переработке модельных материалов: древесных опилок и резиновой крошки.

Табл. 1. Ил. 1. Библиогр. 5 назв.

УДК 543.637:546.271-386

Минкина В. Г., Шабуня С. И., Калинин В. И. ИССЛЕДОВАНИЕ РАСТВОРИМОСТИ БОРОГИДРИДА И МЕТАБОРАТА НАТРИЯ В ВОДНОМ РАСТВОРЕ // Тепло- и массоперенос – 2016. Минск: Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси, 2017. С. 96–100.

Установлено, что количество воды, необходимое для реакции гидролиза борогидрида натрия и растворения метабората натрия значительно больше, чем количество воды, содержащейся в насыщенном растворе борогидрида натрия. С увеличением температуры раствора оптимальная концентрация борогидрида натрия растет, что повышает плотность производства водорода. В то же время формирование кристаллогидратов метабората натрия приводит к значительно более низкой объемной плотности водорода, чем теоретическая. Поэтому следует отказаться от технологии, рассчитанной на работу без осадка кристаллогидрата метабората натрия. Удаление продукта гидролиза метабората натрия из рабочего раствора является необходимым условием конструкции стационарного генератора водорода.

Ил. 4. Библиогр. 11 назв.

УДК 662.61:62-405.8

Миронов В. Н., Пенязьков О. Г., Каспаров К. Н., Баранышин Е. А., Иванов И. А., Вязова Е. А., Делендик К. И., Роцин Л. Ю. О ДИНАМИКЕ И ТЕМПЕРАТУРЕ ГОРЕНИЯ ТОНКОГО СЛОЯ ПОРИСТОГО КРЕМНИЯ В КИСЛОРОДНОЙ СРЕДЕ // Тепло- и массоперенос – 2016. Минск: Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси, 2017. С. 101–114.

Представлены результаты экспериментов по горению сформированных на монокристалле кремния слоев пористого кремния толщиной 19 и 39 мкм при давлении кислорода до 30 бар. Показано, что характер и скорости горения пористого кремния, а также интенсивность энерговыделения зависят как от толщины пористого слоя, так и от давления окислительной среды. При начальном давлении кислорода выше 15–20 бар начинается спровоцированный фронтальным горением пористого слоя и возникновением вследствие этого в пористом скелете разрушающих напряжений выброс частичек пористого кремния в газовую среду, приводящий к резкому повышению массовой скорости горения (преимущественно в этой среде). Полученные результаты позволяют утверждать, что исследуемые процессы являются высокоэнергетическими, а пористый кремний – перспективный материал для создания на его основе твердых топлив.

Ил. 16. Библиогр. 7 назв.

УДК 502.174.1; 658.567; 621.039.6

Мосса А. Л., Савчин В. В. ПРИМЕНЕНИЕ ПЛАЗМЕННЫХ РЕАКТОРОВ С ТРЕХСТРУЙНОЙ КАМЕРОЙ СМЕШЕНИЯ ДЛЯ СИНТЕЗА СФЕРИЧЕСКИХ НАНОПОРОШКОВ РАЗЛИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ // Тепло- и массоперенос – 2016. Минск: Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси, 2017. С. 115–120.

Рассмотрена возможность использования плазменного реактора с трехструйной камерой смешения для сфероидизации нанопорошков металлов и композиционных материалов. Показано, что способность формирования необходимых профилей температур определяет преимущества реакторов такого типа при обработке дисперсных материалов.

Ил. 6. Библиогр. 9 назв.

УДК 621.38.049.77+539.23

Футько С. И., Чорный А. Д., Ермолаева Е. М. МОДЕЛИРОВАНИЕ КИНЕТИКИ РОСТА МНОГОСЛОЙНОГО ГРАФЕНА НА НИКЕЛЕВОМ КАТАЛИЗАТОРЕ В ПРОЦЕССАХ ХИМИЧЕСКОГО ПАРОФАЗНОГО ОСАЖДЕНИЯ // Тепло- и массоперенос – 2016. Минск: Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси, 2017. С. 121–126.

Представлена изотермическая кинетическая модель образования графена на катализаторе с высокой растворимостью атомарного углерода в условиях процесса химического парофазного осаждения с импульсной подачей углеводородов. Проведены параметрические расчеты для зависимости количества слоев графена от параметров процесса ХПО в широком диапазоне значений температуры синтеза и концентрации ацетилена. Определены параметры режимов ХПО, для которых характерно образование однослойных и двухслойных графеновых доменов. Установлено, что временные зависимости скорости роста таких доменов графена имеют характерный нелинейный вид с точкой минимума, определяемой условием равенства скоростей нуклеации и роста графена.

Рассмотренная кинетическая модель и результаты параметрических расчетов могут быть применены для выбора оптимальных режимов синтеза графена с заданным количеством слоев в процессах ХПО с целью повышения эффективности функциональных элементов микро- и нанoeлектроники.

Ил. 4. Библиогр. 12 назв.

УДК 536.248.2

Шнип А. И. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА СИНТЕЗА НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ УГЛЕРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ // Тепло- и массоперенос – 2016. Минск: Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси, 2017. С. 127–135.

Разработана математическая модель и ее программная реализация, на основе которой проведено детальное численное моделирование нового метода для синтеза наноструктурированного углеродного материала в проточном реакторе с внешним нагревом с помощью трубчатой печи. Результаты численных экспериментов на основе разработанной модели показали наличие ряда тепловых режимов, в которых удовлетворяются все требования, необ-



ходимые для того, чтобы в этом процессе могли образовываться наноструктурированные углеродные материалы. Рассчитаны технические и управляющие параметры для реализации этих режимов.

Ил. 5. Библиогр. 13 назв.

#### **IV. ПРОЦЕССЫ ГИДРОГАЗОДИНАМИКИ В СРЕДАХ СЛОЖНОГО СОСТАВА И СТРУКТУРЫ**

УДК 532.517.2

Жданов В. Л., Баранова Т. А. ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРЫ ТЕЧЕНИЯ В СФЕРИЧЕСКОЙ ЛУНКЕ НА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ НА ПОВЕРХНОСТИ И СКОРОСТИ В КАНАЛЕ ЗА НЕЙ. ЛАМИНАРНЫЙ РЕЖИМ ОБТЕКАНИЯ // Тепло- и массоперенос – 2016. Минск: Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси, 2017. С. 136–143.

Выполнены численные исследования ламинарного обтекания ( $500 \leq Re \leq 2500$ ) глубокой сферической лунки диаметром  $D$  в узком канале. Рассмотрена связь между структурой течения в лунке и изменением гидродинамических характеристик течения за ней. Показано, что изменения давления, поля скорости проявляются до расстояний  $0,25D$  за лункой и сокращаются с ростом числа Рейнольдса. Снижение влияние лунки связано с ее полным заполнением обтекаемой средой.

Ил. 10. Библиогр. 10 назв.

УДК 66.063.62

Свириденко А. И., Микулич С. И., Кравцевич А. В., Шашура Л. И. ВЛИЯНИЕ СТАТИЧЕСКОГО ДАВЛЕНИЯ НА АКТИВНОСТЬ КАВИТАЦИИ ПРИ УЛЬТРАЗВУКОВОМ ДИСПЕРГИРОВАНИИ СУСПЕНЗИЙ // Тепло- и массоперенос – 2016. Минск: Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси, 2017. С. 144–148.

Приведены результаты исследований, направленных на оптимизирование ультразвуковых технологических процессов получения гетерогенных систем, суспензий наночастиц. Показано влияние избыточного статического давления при ультразвуковых воздействиях на изменение полной и нестационарной активности кавитации, температуры и эффективности диспергирования суспензий углеродного наноматериала.

Табл. 1. Ил. 6. Библиогр. 10 назв.

УДК 533.6.011.72

Станкевич Ю. А. ОБ УДАРНО-ВОЛНОВОЙ КОНФИГУРАЦИИ ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ УДАРНОЙ ВОЛНЫ С ИЗЛОМОМ ПОВЕРХНОСТИ ПЛОСКОГО КАНАЛА // Тепло- и массоперенос – 2016. Минск: Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси, 2017. С. 149–153.

Приведены результаты численного моделирования задачи о взаимодействии сильной ударной волны (в диапазоне чисел Маха  $3 \leq M \leq 10$ ) с изломом поверхности плоского

канала. Расчеты проведены с помощью коммерческого пакета вычислительной газодинамики ANSYS Fluent. Исследован переход различного типа отражения ударной волны (регулярного, двойного и обычного маховского) в зависимости от угла ее падения для идеально-го газа с показателем адиабаты  $\gamma = 1.4$ .

Ил. 5. Библиогр. 8 назв.

## **V. МЕТОДИКА И ТЕХНИКА ЭКСПЕРИМЕНТОВ, РАСЧЕТОВ И МОДЕЛИРОВАНИЯ. ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ, ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ И ДРУГИЕ СВОЙСТВА ОБЪЕКТОВ**

УДК 616-71+616-08-039.11+681.7: 681.787, 681.784.8

Базылев Н. Б., Рубникович С. П., Денисова Ю. Л., Фомин Н. А. ЦИФРОВЫЕ СПЕКЛ-ЛАЗЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СТОМАТОЛОГИИ // Тепло- и массоперенос – 2016. Минск: Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси, 2017. С. 154–164.

Разработана методика оценки напряженно-деформированного состояния в системе ортодонтическая аппаратура – твердые ткани зубов с применением лазерно-оптической диагностики на основе цифровой спекл-фотографии. Определены показатели напряженно-деформированного состояния в системе ортодонтическая аппаратура – твердые ткани зубов в зависимости от состава сплава и вида сечения ортодонтических дуг.

Определены оптимальные показатели напряженно-деформированного состояния ортодонтических дуг у пациентов с болезнями периодонта в сочетании с зубочелюстными аномалиями и деформациями, которым соответствуют следующие дуги: из сплава медь–никель–титан (CuNiTi) с круглым (0.012"; 0.013"; 0.014"; 0.016"; 0.018") и прямоугольным (0.014×0.025"; 0.016×0.025") сечениями; из сплава титан–молибден (ТМА) с прямоугольным сечением (0.016×0.025") и из нержавеющей стали (SS) с круглым сечением (0.016"; 0.018").

Установлены прямая корреляционная связь между показателями напряженно-деформированного состояния в системе ортодонтическая аппаратура – твердые ткани зубов и капиллярным давлением периодонта ( $r = 0,78$ ;  $p < 0,05$ ), а также обратная сильная корреляционная связь с интенсивностью микроциркуляции периодонта ( $r = -0,88$ ;  $p < 0,05$ ).

Табл. 1. Ил. 8. Библиогр. 27 назв.

УДК 539.3

Веремейчик А. И., Хвисевич В. М., Цыганов Д. Л. НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ТЕЛ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ФОРМЫ ПРИ МЕХАНИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ И ТЕРМОРАДИАЦИОННОМ ОБЛУЧЕНИИ // Тепло- и массоперенос – 2016. Минск: Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси, 2017. С. 165–171.

Проведено исследование осесимметричного напряженно-деформированного состояния тел конечной длины при термомеханическом нагружении и радиационном облучении. С помощью метода конечных разностей разработан алгоритм и программа численного решения. Получены зависимости перемещений, напряжений и деформаций от координат.

Ил. 4. Библиогр. 6 назв.

УДК 66.071.6.081.6

Войтик О. Л., Грушевский В. В., Делендик К. И., Игнатенко Д. Г., Коляго Н. В. КОНЦЕНТРИРОВАНИЕ ПРИМЕСЕЙ В НАКОПИТЕЛЬНОМ РЕЖИМЕ МЕМБРАННОГО ГАЗОРАЗДЕЛИТЕЛЬНОГО МОДУЛЯ // Тепло- и массо-перенос – 2016. Минск: Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси, 2017. С. 172–178.

Разработан алгоритм расчета накопительного режима мембранного газоразделения, с помощью которого проведено сравнение характеристик мембранных элементов различного типа, исследовано влияние процессов массопереноса на степень концентрирования примесей в мембранном модуле. Наблюдается удовлетворительное согласие результатов эксперимента и расчета концентрации примеси. Данный подход позволяет выбрать оптимальное конструктивное решение для достижения максимальной эффективности процесса разделения газовых смесей под конкретную задачу и тем самым дает возможность в полной мере раскрыть потенциал экспериментальной установки для мембранной сепарации газов, изготовленной в лаборатории физико-химической гидродинамики Института тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси.

Табл. 2. Ил. 8. Библиогр. 6 назв.

УДК 537.876.23+519.6

Гринчик Н. Н., Лазук В. И. СОЛИТОНОПОДОБНЫЙ ИМПУЛЬСНЫЙ СИГНАЛ В СРЕДЕ С СИЛЬНЫМИ РАЗРЫВАМИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ. I. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ // Тепло- и массоперенос – 2016. Минск: Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси, 2017. С. 179–188.

Разработана согласованная физико-математическая модель распространения солитоноподобного электромагнитного импульса в гетерогенной неоднородной среде при наличии сильных разрывов электромагнитного поля. Модель основана на сведении уравнений Максвелла к хорошо изученному волновому уравнению. При задании электромагнитного импульса учитывалась его амплитудная модуляция, уширение спектральной линии, а также время установления сигнала. Получены условия согласования импульса для первой начально-краевой задачи. Временная дисперсия электрической индукции учитывается через функцию установления сигнала с учётом уширения его спектральной линии и интегрирования по сплошному спектру. При данном подходе нет необходимости пренебрегать пространственными производными, а также пользоваться пространственными нелокальными соотношениями для учёта влияния поверхностного заряда, поверхностного тока и пространственной дисперсии электрической индукции на границах раздела смежных сред.

Библиогр. 24 назв.

УДК 537.876.23+519.6

Гринчик Н. Н., Лазук В. И. СОЛИТОНОПОДОБНЫЙ ИМПУЛЬСНЫЙ СИГНАЛ В СРЕДЕ С СИЛЬНЫМИ РАЗРЫВАМИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ II. ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ // Тепло- и массоперенос – 2016. Минск: Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси, 2017. С. 189–196.

Получены условия согласования импульса для первой начально-краевой задачи с введением в рассмотрение солитоноподобного импульсного электромагнитного сигнала. Обоснован метод «нерезкой» границы раздела смежных сред с использованием теоремы Дирихле для кусочно-гладких функций и условием непрерывности полного тока. Проведенное численное моделирование распространения солитоноподобных импульсных сигналов в средах с сильными разрывами электромагнитного поля с учетом нестационарного уширения спектральной линии доказало перспективность предложенного подхода для исследования взаимодействия электромагнитных полей с неоднородными (слоистыми, угловыми, кусочно-однородными и т. д.) структурами.

Ил. 6. Библиогр. 4 назв.

УДК 536.2:621.1.016

Гринчук П. С., Павлюкевич Н. В., Мастерков А. М. ПРИБЛИЖЕННЫЙ РАСЧЕТ ТЕПЛООБМЕНА КРУПНОГАБАРИТНОЙ АВТОМОБИЛЬНОЙ ШИНЫ С ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДОЙ // Тепло- и массоперенос – 2016. Минск: Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси, 2017. С. 197–199.

Приведены теоретические результаты по зависимости температуры в центре и на поверхности крупногабаритной шины от времени, полученные на основании аналитического решения нестационарного двумерного уравнения теплопроводности с заданным источником тепла для двух значений коэффициента теплообмена.

Табл. 1. Ил. 1. Библиогр. 5 назв.

УДК 536.2:536.5

Данилова-Третьяк С. М., Евсеева Л. Е. ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ НЕКОТОРЫХ ТЕПЛОПРОВОДЯЩИХ ПАСТ И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА ПОГРЕШНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЙ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ТВЕРДЫХ МАТЕРИАЛОВ // Тепло- и массоперенос – 2016. Минск: Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси, 2017. С. 200–204.

Измерены коэффициенты теплопроводности нескольких теплопроводящих паст, применяемых в качестве термоинтерфейса для активного охлаждения процессоров. Установлено, что пасты MX-4 и Platinum Thermal Grease A1 имеют на порядок меньшее значение коэффициента теплопроводности, чем заявляемое в паспорте.

Приведены результаты экспериментального исследования влияния типа смазки на контактное термическое сопротивление и погрешность измерений коэффициента теплопроводности на автоматизированном приборе ИТ-λ-400. Показано, что применение термопаст в качестве адаптирующей смазки существенно снижает систематическую погрешность и расширяет температурный диапазон измерений в низкотемпературную область.

Табл. 5. Библиогр. 10 назв.

УДК 536.2.083

Данилова-Третьяк С. М., Евсеева Л. Е. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ С ГИБРИДНЫМ НАПОЛНЕНИЕМ НА ОСНОВЕ ПОЛИАМИДА //

Тепло- и массоперенос – 2016. Минск: Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси, 2017. С. 205–209.

Приведены результаты исследований теплофизических свойств композитов на основе полиамида, содержащих гибридный наполнитель (углеродный наноматериал, наночастицы алюминия) в разной концентрации. Показано, что коэффициенты тепло- и температуропроводности нанокompозита с 50 мас.% УНМ увеличиваются более чем в 4 раза по сравнению с ненаполненным полиамидом. В температурном диапазоне от комнатной температуры до 155 °С коэффициент теплопроводности практически постоянен. Удельная теплоемкость наполненных нанокompозитов уменьшается с ростом концентрации нанонаполнителя.

Табл. 1. Ил. 5. Библиогр. 12 назв.

УДК 536.24

Жданов В. Л., Кухарчук И. Г., Чорный А. Д. СТЕНД ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕНОСА В СДВИГОВЫХ ТЕЧЕНИЯХ // Тепло- и массоперенос – 2016. Минск: Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси, 2017. С. 210–213.

Представлено описание конструкции стенда для исследования структуры ламинарного и турбулентного пограничных слоев оптическими методами диагностики характеристик течения. Стенд включает в себя замкнутый водяной канал и измерительную аппаратуру. Измерения выполняются в плоском расширяющемся канале длиной 0.8 м и шириной 0.15 м при максимальном расходе 18 м<sup>3</sup>/ч, что соответствует числу Рейнольдса  $Re = 40\,000$ , рассчитанному по эквивалентному диаметру канала. Уровень начальной турбулентности потока в канале при этом числе Рейнольдса меньше 1%, а толщина турбулентного пограничного слоя на выходе из канала 0.015 м. Канал имеет стеклянные стенки для обеспечения оптической диагностики характеристик течения. Измерительная аппаратура состоит из лазера Nd:YAG с частотой 100 Гц, синхронизатора, двух цифровых камер 4Mр-180 (2к×2к) пикселей со скоростью съемки 180 кадр/с и компьютера с программой обработки изображений 4G Insight (TSI). Две камеры позволяют измерять одновременно три компоненты вектора скорости (стерео PIV) или две компоненты вектора скорости и поле скаляра (PLIF). Минимальный размер изображения течения, фиксируемый камерой, равен 0.012 м, что меньше толщины турбулентного пограничного слоя.

Ил. 7.

УДК 517.518.8:519.633:536.2

Кот В. А. СИСТЕМЫ ТОЖДЕСТВЕННЫХ РАВЕНСТВ ДЛЯ ОБОБЩЕННОГО УРАВНЕНИЯ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ В ПЕРВОЙ НАЧАЛЬНО-КРАЕВОЙ ЗАДАЧЕ // Тепло- и массоперенос – 2016. Минск: Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси, 2017. С. 214–223.

На основе рассмотрения уравнения теплопроводности в канонической форме доказано существование в краевой задаче Дирихле, по крайней мере, шести множеств, включающих разные весовые функции. Данные функции образуют, соответственно, шесть последовательностей из интегральных тождественных равенств, которые могут быть эффективно применены при решении ряда задач нестационарной теплопроводности.

Библиогр. 12 назв.

УДК 517.518.8:519.633:536.2

Кот В. А. РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ НЕСТАЦИОНАРНОЙ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ С НЕСИММЕТРИЧНЫМИ И СМЕШАННЫМИ ГРАНИЧНЫМИ УСЛОВИЯМИ МЕТОДОМ ВЗВЕШЕННОЙ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ФУНКЦИИ // Тепло- и массоперенос – 2016. Минск: Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси, 2017. С. 224–236.

На примере решения краевых задач нестационарной теплопроводности для протяженной пластины с несимметричными и смешанными граничными условиями установлена высокая эффективность интегрального метода взвешенной температурной функции. Простота данного метода позволяет его рекомендовать для решения различных научно-технических задач в области тепло- и массопереноса.

Ил. 6. Библиогр. 12 назв.

УДК 621.372.413

Левченко С. А., Плюта С. В., Тимонович Г. Л. ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ УМНЫМИ ЭНЕРГОСЕТЯМИ НА ОСНОВЕ МАТЕМАТИКИ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ // Тепло- и массоперенос – 2016. Минск: Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси, 2017. С. 237–244.

Описаны базовые алгоритмы математики нечетких множеств применительно к проблемам управления современными электросетями городов, основанными на сетевых умных технологиях. Показан пример решения, базирующийся на математике нечетких множеств и нечеткой логики. Приводятся алгоритмы управляющих процессов, модифицированный алгоритм Мандани и система управления смарт-грид электроячейки.

Рис. 7. Библиогр. 11 назв.

УДК 621.372.413

Левченко С. А., Плюта С. В., Тимонович Г. Л. СЕРВИСЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ // Тепло- и массоперенос – 2016. Минск: Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси, 2017. С. 245–249.

Описана архитектура интеллектуальной системы водоснабжения и инфраструктура компьютерных веб-сервисов управления применительно к проблемам управления современными системами водоснабжения небольших поселков и городов, основанными на сетевых умных технологиях. Приводится пример запросов к сервисам и ответов на запросы в рамках существующих протоколов обмена компьютерной информацией.

Рис. 3. Библиогр. 5 назв.

УДК 532.135: 620.191.4

Попченя Ю. В., Худoley А. Л. МАГНИТОРЕОЛОГИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ПОДЛОЖЕК МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ // Тепло- и массоперенос – 2016. Минск: Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси, 2017. С. 250–255.

Рассмотрена эффективность метода магнитореологической обработки для коррекции формы и повышения качества поверхности подложек и пленок микроэлектроники. Выполнено моделирование процесса уноса материала с поверхности детали. Приведены зависимости времени магнитореологической обработки кремниевых подложек и достигаемой шероховатости поверхности от величины рабочего зазора. Установлены оптимальные диапазоны рабочего зазора для коррекции формы и полирования пластин монокристаллического кремния.

Ил. 5. Библиогр. 10 назв.