

---

## РЕФЕРАТЫ

УДК 532.517.4, 532.542.4

Баранова Т. А., Жукова Ю. В., Чорный А. Д. ТУРБУЛЕНТНОЕ СМЕШЕНИЕ НЕИЗОТЕРМИЧЕСКИХ ПОТОКОВ В КАНАЛЕ ТРОЙНИКОВОГО СОЕДИНЕНИЯ // Тепло- и массоперенос – 2019. Минск: Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси, 2020. С. 13–22.

Проведенное моделирование режимов смешения теплоносителя в тройниковом соединении показало, что решение осредненных по Рейнольдсу уравнений Навье–Стокса (RANS) может быть полезным для качественного анализа течения с получением относительно согласованных значений в распределениях осредненной скорости и температуры (традиционно этим методом рассчитывается только поле осредненной температуры). В отличие от метода моделирования крупных вихрей (LES), RANS в стационарной постановке не может отразить сложную локальную вихревую структуру потока в зонах интенсивного смешения. Тем не менее, использованный метод RANS может быть применен для проведения оценки качества расчетных сеток, граничных условий для дальнейшего моделирования с привлечением метода LES.

Табл. 1. Ил. 10. Библиогр. 15 назв.

УДК 504.0464.43

Бородуля В. А., Гребеньков А. Ж., Михайлов А. А. ЭФФЕКТИВНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ОЧИСТКИ УГЛЕРОД-ГРАФИТОВЫХ МАТЕРИАЛОВ В ЭЛЕКТРОТЕРМИЧЕСКОМ КИПЯЩЕМ СЛОЕ // Тепло- и массоперенос – 2019. Минск: Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси, 2020. С. 23–30.

Проведены экспериментальные исследования по высокотемпературной очистке мелкодисперсных углеродных материалов в электротермическом кипящем слое. Показана эффективность данного метода, позволяющего при температурах 2500 °С и выше получать углеродный материал с высокой степенью чистоты и графитизации.

Табл. 4. Ил. 4. Библиогр. 19 назв.

УДК 536.42.66

Власов А. В., Дашков Г. В., Русакевич М. И., Солодухин А. Д., Тютюма В. Д. ИССЛЕДОВАНИЕ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ГРАДИРНЯХ ТЭЦ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОПТИЧЕСКОЙ ВИЗУАЛИЗАЦИИ // Тепло- и массоперенос – 2019. Минск: Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси, 2020. С. 31–33.

Представлены методики использования оптической визуализации при исследовании аэродинамических процессов на градирнях тепловых электростанций. Предлагаемые методы исследований позволяют получать дополнительную информацию для разработки устройств управления потоками внутри градирен (например, аэродинамические завихрители, вентиляционные окна, ветровые оголовки и др.) и правильно проектировать архитектурный ансамбль промышленных сооружений ТЭЦ для обеспечения их эффективной работы.

Ил. 2. Библиогр. 3 назв.

УДК 536.248.2

Войтик О. Л., Делендик К. И., Коляго Н. В. РАЗРАБОТКА ПЛОСКОЙ ТЕПЛООВОЙ ТРУБЫ ДЛЯ ТЕПЛОАГРУЖЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ЭЛЕКТРОНИКИ // Тепло- и массоперенос – 2019. Минск: Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси, 2020. С. 34–41.

Разработаны и исследованы экспериментальные образцы плоских тепловых труб при различных ориентациях (от  $-90^\circ$  до  $90^\circ$  в различных плоскостях ПТТ), тепловых нагрузках и заправках ПТТ (от 1,8 до 2,2 мл). Трубы характеризуются минимальными габаритными размерами при высокой эффективности отвода тепловых нагрузок от труднодоступных теплонапряженных элементов: до 60 Вт для ПТТК10/1, до 105 Вт для ПТТКр4, до 82 Вт для ПТТС6\*2. ПТТ Экспериментальные образцы гравитационно независимы до 50 Вт для ПТТКр4, до 60 Вт для ПТТК10/1, до 65 Вт для ПТТС6\*2.

Ил. 6. Табл. 3. Библиогр. 13 назв.

УДК 536.25:620.98

Данильчик Е. С. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕПЛООТДАЧИ ОДИНОЧНОЙ БИМЕТАЛЛИЧЕСКОЙ РЕБРИСТОЙ ТРУБЫ С РАЗЛИЧНОЙ ВЫСОТОЙ ОРЕБРЕНИЯ К ВОЗДУХУ В РЕЖИМЕ СВОБОДНОЙ КОНВЕКЦИИ // Тепло- и массоперенос – 2019. Минск: Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси, 2020. С. 42–52.

Представлены результаты экспериментального исследования свободно-конвективной теплоотдачи биметаллической ребристой трубы с различной высотой оребрения при углах наклона  $\gamma = 0, 30$  и  $60^\circ$  к горизонтальной плоскости. Были получены графики зависимости в виде критериальных уравнений  $Nu = f(Ra)$  и выявлено, что свободно-конвективная теплоотдача с уменьшением высоты оребрения трубы при таких углах возрастает, что логично для данной ребристой трубы с малым шагом ребра  $s = 2,5$  мм. Установлено, что при уменьшении исходной высоты оребрения трубы с  $h = 14,6$  мм до  $h = 0-0,2$  мм теплоотдача горизонтальной к плоскости трубы ( $\gamma = 0^\circ$ ) увеличилась в 10,6 раза, при угле  $\gamma = 30^\circ$  – в 11,4 раза и при угле  $\gamma = 60^\circ$  – в 16 раз. При увеличении угла наклона  $\gamma$  к горизонтальной плоскости при

одной высоте ребра трубы свободно-конвективная теплоотдача уменьшается. Наибольшее ухудшение теплоотдачи при угле наклона  $\gamma = 30^\circ$  выявлено для трубы с  $h = 14,6$  мм – в 1,23 раза, при  $\gamma = 60^\circ$  – в 1,57 раза, а наименьшее (даже его отсутствие при  $\gamma = 30^\circ$ ) – для трубы с  $h = 12,0$  и 8 мм, при  $\gamma = 60^\circ$  – в 1,14–1,16 раза. Следовательно, для экономии габаритного пространства, занимаемого теплообменными аппаратами, из исследованных труб с  $h = 12,0$  и 8 мм могут быть собраны их теплообменные секции (режим свободной конвекции) при угле наклона труб  $\gamma = 30^\circ$  к горизонтальной плоскости.

Табл. 1. Ил. 5. Библиогр. 20 назв.

УДК 666.3-16, 666.3-183.2

Кияшко М. В., Гринчук П. С., Кузнецова Т. А., Крень А. П. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОДУЛЯ УПРУГОСТИ КАРБИДОКРЕМНИЕВОЙ КЕРАМИКИ // Тепло- и массоперенос – 2019. Минск: Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси, 2020. С. 53–58.

На основе двух независимых методик определен модуль Юнга гетерофазной композиционной карбидокремниевой керамики с различным соотношением фаз. Продемонстрирована применимость модели Фойгта–Рейсса–Хилла для расчета эффективного модуля Юнга по свойствам компонентов керамики. Показано, что расчет имеет преимущество в точности по сравнению с методом динамического индентирования, но требует дополнительных измерений состава керамики и механических свойств компонентов.

Табл. 1. Ил. 3. Библиогр. 15 назв.

УДК 532.135+536.22

Коробко Е. В., Ещенко Л. С., Новикова З. А., Радкевич Л. В. ОСОБЕННОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ ДИСПЕРСНЫХ НАПОЛНИТЕЛЕЙ И РЕОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛЕКТРОУПРАВЛЯЕМЫХ ЖИДКОСТЕЙ С ГИДРАТИРОВАННЫМ ОРТОФОСФАТОМ ХРОМА // Тепло- и массоперенос – 2019. Минск: Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси, 2020. С. 59–64.

Определены режимные условия синтеза и реологические характеристики электро-реологических жидкостей с ортофосфатом хрома состава  $\text{CrPO}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ . Установлен экстремальный характер зависимости электро-реологической активности от количества молей воды с максимумом при определенном ее содержании, что позволило получить в электрическом поле до 3,5 кВ/мм значительное увеличение напряжения сдвига ЭРЖ.

Табл. 2. Ил. 4. Библиогр. 11 назв.

УДК 534.121.1

Коробко Е. В., Журавский Н. А. ДЕМПФИРУЮЩИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТРЕХСЛОЙНОЙ И ПЯТИСЛОЙНОЙ «СЭНДВИЧ»-ПЛАСТИН С МАГНИТОУПРАВЛЯЕМЫМ МАТЕРИАЛОМ // Тепло- и массоперенос – 2019. Минск: Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси, 2020. С. 65–71.

Определены амплитудно-частотные характеристики вынужденных колебаний трехслойной и пятислойной «сэндвич»-пластин с вязкоупругими магнитоуправляемыми слоями. Показано, что наличие второго магнитоуправляемого слоя при уменьшении толщины металлических слоев приводит к повышению демпфирующих характеристик «сэндвич»-пластины в магнитном поле. Для пятислойной пластины получено снижение амплитуды вынужденных колебаний в магнитном поле более чем в два раза на резонансных частотах и почти в 25 раз на резонансной частоте в отсутствие магнитного поля.

Ил. 8. Библиогр. 17 назв.

УДК 517.518.8:519.633:536.2

Кот В. А. НОВЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ В ПРИБЛИЖЕННОМ МАТЕМАТИЧЕСКОМ ОПИСАНИИ ОДНОФАЗНОЙ ЗАДАЧИ СТЕФАНА С КОНВЕКТИВНЫМ ГРАНИЧНЫМ УСЛОВИЕМ НА ФИКСИРОВАННОЙ ГРАНИЦЕ: РЕШЕНИЕ // Тепло- и массоперенос – 2019. Минск: Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси, 2020. С. 75–86.

Представлены две математические формулировки однофазной задачи Стефана с конвективным граничным условием на фиксированной границе, которые основаны на новых интегральных соотношениях, заменяющих дифференциальное уравнение теплопроводности, а также классическое граничное условие Стефана на свободной границе. Решения задач получены в явном виде, при этом доказана их единственность.

Библиогр. 16 назв.

УДК 517.518.8:519.633:536.2

Кот В. А. НОВЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ В ПРИБЛИЖЕННОМ МАТЕМАТИЧЕСКОМ ОПИСАНИИ ОДНОФАЗНОЙ ЗАДАЧИ СТЕФАНА С КОНВЕКТИВНЫМ ГРАНИЧНЫМ УСЛОВИЕМ НА ФИКСИРОВАННОЙ ГРАНИЦЕ: АНАЛИЗ // Тепло- и массоперенос – 2019. Минск: Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси, 2020. С. 87–96.

Новая модификация интегрального соотношения, вытекающего из дифференциального уравнения теплопроводности (задача V), дает существенное увеличение точности аппроксимационных решений, при этом обеспечивается более точное определение свободной границы. Расчет на основе задачи VI позволяет получить очень высокую аппроксимационную точность как при определении свободной границы, так и при расчете температуры фиксированной границы. Математический анализ процесса образования ледяной корки при конвективном теплообмене с внешней средой подтвердил исключительно высокую точность определения положения свободной границы согласно задачам V (0.0005%) и VI (0.0007%).

Табл. 7. Ил. 5. Библиогр. 3 назв.

УДК 662.612.2, 662.311.1

Кривошеев П. Н., Миронов В. Н., Пенязьков О. Г., Футько С. И. АНАЛИЗ ВЫСОКОСКОРОСТНОГО РЕЖИМА ГОРЕНИЯ НАНОСТРУКТУРИРОВАННОГО КРЕМНИЯ С ТВЕРДОФАЗНЫМ ОКИСЛИТЕЛЕМ // Тепло-

и массоперенос – 2019. Минск: Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси, 2020. С. 97–103.

Предложен физический механизм детонационного горения наноструктурированного кремния с твердофазным окислителем при скорости движения фронта горения 1000–3000 м/с. Рассчитаны термодинамические характеристики горения модельных твердофазных смесей кремний–перхлорат аммония с разными эквивалентными соотношениями их компонентов при разных давлениях. Установлено, что характерной чертой детонационного горения наноструктурированного кремния с твердофазным окислителем является стационарная скорость движения фронта детонации со значительным дефицитом (10–50%) относительно скорости детонации Чепмена–Жуге. Определены детонационный (сверхзвуковой) и дозвуковой режимы горения наноструктурированного кремния с твердофазным окислителем.

Ил. 4. Библиогр. 17 назв.

УДК 621.38.049.77+539.23

Лабунов В. А., Футько С. И., Ермолаева Е. М. МОДЕЛИРОВАНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ ГИБРИДНЫХ НАНОСТРУКТУР ГРАФЕН–УГЛЕРОДНЫЕ НАНОТРУБКИ В ПРОЦЕССАХ ХИМИЧЕСКОГО ПАРОФАЗНОГО ОСАЖДЕНИЯ УГЛЕВОДОРОДОВ // Тепло- и массоперенос – 2019. Минск: Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси, 2020. С. 104–113.

Предложена физико-химическая модель изотермического синтеза гибридных наноструктур графен–углеродные нанотрубки в процессах химического парофазного осаждения (ХПО) углеводородов на катализаторах из переходных металлов. Разработана кинетическая модель формирования многослойного графена на катализаторе из переходного металла с высокой растворимостью углерода. Установлен факт наличия двух различных стадий роста многослойного графена в условиях синтеза гибридных наноструктур в процессах ХПО. Рассчитаны зависимости синтезируемого числа графеновых слоев и длины нанотрубок от толщины кобальтовой пленки для разных значений температуры процесса ХПО и концентрации углеводородов. Показано, что существует максимум в зависимости длины углеродных нанотрубок от толщины каталитической пленки в условиях формирования гибридных наноструктур. Разработанная модель и результаты расчетов могут быть применены для оптимизации условий синтеза гибридных наноструктур в процессах ХПО углеводородов на переходных металлах для создания инновационных материалов, устройств и повышения эффективности функциональных элементов микро- и нанoeлектроники.

Ил. 6. Библиогр. 18 назв.

УДК 66.045.13

Лях М. Ю., Гринчук П. С. МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ РЕГЕНЕРАТИВНОГО ТЕПЛООБМЕННИКА ДЛЯ ПЕЧИ ПЛАВКИ АЛЮМИНИЯ // Тепло- и массоперенос – 2019. Минск: Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси, 2020. С. 114–126.

Сформулирована математическая модель тепло- и массопереноса при фильтрации газа через дисперсную засыпку шариков, описывающая работу регенеративного теплообменника. На основе описанной модели проведено моделирование работы данного теплооб-

менника при различных параметрах системы и получены зависимости показателей, указывающих на эффективность работы исследуемого устройства, от размеров шариков и времени реверсии. Показано, что для эффективной работы исследованного регенеративного рекуператора необходимо использовать шарики размером 10–12 мм и устанавливать время реверсии газовых потоков не более 60 с.

Ил. 11. Библиогр. 9 назв.

УДК 543.637:546.271-386

Минкина В. Г., Шабуня С. И., Калинин В. И. ГИДРОЛИЗ ВОДНОГО РАСТВОРА БОРОГИДРИДА НАТРИЯ С КАТАЛИЗАТОРАМИ НИКЕЛЯ // Тепло- и массоперенос – 2019. Минск: Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси, 2020. С. 127–130.

Представлены результаты измерения степени гидролиза концентрированного водного раствора борогидрида натрия с использованием никелевых катализаторов, полученных восстановлением в токе водорода коммерческих катализаторов на основе окиси никеля. Определены значения энергии активации процесса гидролиза в присутствии никелевых катализаторов в виде гранул и порошков, полученных их измельчением.

Ил. 4. Библиогр. 7 назв.

УДК 666.3-127.7; 66.092-977; 543.424.2

Соловей Д. В., Гринчук П. С., Степкин М. О., Кияшко М. В., Акулич А. В., Лях М. Ю., Филатов С. А., Даненков Д. А., Свито И. А., Королик О. В., Мазаник А. В. КЕРАМИЧЕСКИЙ МАТРИЧНЫЙ КОМПОЗИТ ИЗ КАРБИДА КРЕМНИЯ И НАНОСТРУКТУРИРОВАННОГО УГЛЕРОДА С ВЫСОКОЙ УДЕЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ // Тепло- и массоперенос – 2019. Минск: Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси, 2020. С. 131–140.

Описан технологический процесс получения керамического матричного композитного материала из карбида кремния и наноструктурированного углерода с высокой удельной поверхностью. В данном композите основу составляет пористая матрица из карбида кремния, изготовленная методом шликерного литья, а наноструктурированный углеродный материал формируется на стенках кристаллов и в порах матрицы SiC из бакелитового лака посредством высокотемпературного пиролиза.

Приведены результаты исследований, полученных с помощью методов сканирующей электронной микроскопии и спектроскопии комбинационного рассеяния, согласно которым углеродный материал представляет собой модифицированный стеклоуглерод, состоящий из нанопор, графитовых нанокристаллитов и графеноподобных образований, формирующий объемную и непрерывную сеть по всей структуре композита. Показано, что наноструктурированный углерод, входящий в состав композита, имеет максимальную удельную поверхность порядка 1180 м<sup>2</sup>/г, а сам композит имеет максимальную пористость 40,9% и минимальную плотность 1,49 г/см<sup>3</sup>. Полученный материал успешно применяется в качестве электродов суперконденсаторов.

Табл. 2. Ил. 6. Библиогр. 37 назв.

УДК 541.182.2

Фисенко С. П. МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ВЫХЛОПНЫХ ГАЗОВ ОТ АВТОМОБИЛЯ // Тепло- и массоперенос – 2019. Минск: Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси, 2020. С. 141–145.

Представлены результаты моделирования распространения выхлопных газов от одиночного легкового автомобиля в городских условиях в приближении турбулентной диффузии. Предполагается, что коэффициент турбулентной диффузии линейно зависит от вертикальной координаты в приземном слое высотой до 10 м. Показано, что диффузия в вертикальном направлении является основным каналом распространения выхлопных газов. В поперечном направлении распространение ограничено 1-2 м от автомобиля и зависит от таких параметров как скорости ветра и автомобиля, высота автомобиля.

Ил. 3. Библиогр. 7 назв.

УДК 66.096.5;544.47;661.666.23;620.3

Циценко А. Н., Рабинович О. С., Мазаник А. В. МОДИФИКАЦИЯ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК ПАРАМИ ПЕРЕКИСИ ВОДОРОДА В ПСЕВДООЖИЖЕННОМ СЛОЕ: ХИМИЧЕСКИЕ И СТРУКТУРНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ // Тепло- и массоперенос – 2019. Минск: Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси, 2020. С. 146–153.

Установлены закономерности удаления аморфных отложений и формирования кислородсодержащих функциональных групп на поверхности многостенных углеродных нанотрубок (МУНТ) в результате их окисления парами перекиси водорода в псевдоожигенном слое. Показана корреляция между количеством указанных групп в наноматериале и параметрами его спектров комбинационного рассеяния света, что свидетельствует об изменениях структурных характеристик материала на наномасштабах. Продемонстрированы преимущества газофазной функционализации МУНТ в псевдоожигенном слое как перспективной промышленной технологии.

Табл. 2. Ил. 4. Библиогр. 18 назв.