

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

*К 90-летию
Национальной академии наук Беларуси*

ТЕПЛО- И МАССОПЕРЕНОС – 2017

Сборник научных трудов

Минск 2018

РЕФЕРАТЫ

І. ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ. ТЕПЛОМАССОБМЕННЫЕ АСПЕКТЫ ЭНЕРГЕТИКИ

УДК 536.42.66

Дашков Г. В., Солодухин А. Д. УСТРОЙСТВО ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ОТРИЦАТЕЛЬНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ВЕТРОВЫХ НАГРУЗОК НА ОХЛАЖДАЮЩУЮ СПОСОБНОСТЬ ИСПАРИТЕЛЬНОЙ ГРАДИРНИ // Тепло- и массоперенос – 2017. Минск: Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси, 2018. С. 13–18.

Для уменьшения отрицательного воздействия ветра разработано устройство для снижения влияния внешнего ветра на тепловую эффективность работы градирни за счет использования его собственной кинетической энергии. На основании проведенных экспериментальных исследований на лабораторной модели башенной испарительной градирни создан оптимальный вариант пассивного ветрового оголовка в виде усеченного конуса вершиной вверх с направляющими каналами, устанавливаемого на верхнем срезе градирни. Определены оптимальные параметры оголовка, при которых охлаждающая способность модели в условиях ветровой нагрузки является максимальной.

Ил. 5. Библиогр. 10 назв.

УДК 532.529

Дубина В. А., Пицуха Е. А., Теплицкий Ю. С. О МЕХАНИЗМЕ УНОСА ТВЕРДЫХ ЧАСТИЦ ИЗ ЦИКЛОННО-СЛОЕВОЙ КАМЕРЫ С КИПЯЩИМ СЛОЕМ // Тепло- и массоперенос – 2017. Минск: Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси, 2018. С. 19–22.

Выполнено экспериментальное исследование механизма уноса частиц кварцевого песка из циклонно-слоевой камеры с кипящим слоем. Получена обобщенная зависимость скорости уноса частиц от определяющих физических, геометрических и режимных параметров камеры.

Ил. 5. Библиогр. 10 назв.

УДК 536.246

Журавский Г. И. ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ ПЕРЕРАБОТКИ УГЛЕВОДОРОДНОГО СЫРЬЯ // Тепло- и массоперенос – 2017. Минск: Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси, 2018. С. 23–27.

Описана технология парового термолиза нефтяных отходов и показана возможность подавления процессов образования высокотоксичных диоксинов и фуранов за счет снижения парциального давления кислорода и связывания молекулярного хлора при подаче водяного пара в реактор. Представлена установка для переработки нефтяных отходов с использованием технологии парового термолиза.

Ил. 4. Библиогр. 3 назв.

УДК 536.24

Кузьмич М. А., Куликовский В. К. ИССЛЕДОВАНИЕ КОЛЬЦЕВОГО ТЕРМОСИФОНА С ПРОТЯЖЕННЫМ ИСПАРИТЕЛЕМ, СОДЕРЖАЩИМ ВНУТРЕННИЙ КАНАЛ ВОЗВРАТА КОНДЕНСАТА // Тепло- и массоперенос – 2017. Минск: Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси, 2018. С. 28–33.

Разработана конструкция кольцевого термосифона с протяженным испарителем, исследованы его свойства в широком диапазоне тепловых нагрузок и рабочей температуры конденсатора. Результаты измерения тепловых характеристик допускают работу устройства для охлаждения электроники.

Ил. 6. Табл. 2. Библиогр. 4 назв.

УДК 532.529

Пицуха Е. А., Бучилко Э. К., Дубина В. А. ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ТЕМПЕРАТУР И КОНЦЕНТРАЦИЙ ТОПОЧНЫХ ГАЗОВ ПРИ СЖИГАНИИ ТВЕРДЫХ БИОТОПЛИВ В ЦИКЛОННО-СЛОЕВЫХ КАМЕРАХ РАЗЛИЧНОГО МАСШТАБА // Тепло- и массоперенос – 2017. Минск: Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси, 2018. С. 34–39.

Представлены результаты экспериментального исследования распределения температур и концентраций топочных газов при сжигании твердых биотоплив (пеллеты и влажные древесные отходы повышенной зольности) в модельной циклонно-слоевой топке с кипящим слоем мощностью 25 кВт и аналогичной топке промышленного масштаба опытного образца водогрейного котла мощностью 2 МВт.

Табл. 1. Ил. 8. Библиогр. 2 назв.

УДК 532.546

Теплицкий Ю. С., Бучилко Э. К., Исьемин Р. Л., Михалев А. В., Муратова Н. С. ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ЭКВИВАЛЕНТНОГО ДИАМЕТРА ЧАСТИЦ ДЛЯ РАСЧЕТА СКОРОСТИ НАЧАЛА ПСЕВДООЖИЖЕНИЯ ПОЛИДИСПЕРС-

НОГО ЗЕРНИСТОГО СЛОЯ // Тепло- и массоперенос – 2017. Минск: Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси, 2018. С. 40–44.

Представлены и обобщены результаты экспериментального исследования скорости начала псевдооживления различных смесей полифракционных частиц. Установлено, что при $d_b/d_s \leq 5.1$ для расчета скорости начала псевдооживления допустимо использовать величину средневесового диаметра частиц. В условиях суффозии ($d_b/d_s \geq 20$) существуют две характерных скорости: скорость начала псевдооживления u_{mf} (определяется по измерениям пульсаций перепада давления) и скорость полного оживления u_m (определяется по измерениям перепада давления), а использование представлений об эффективном диаметре частиц теряет физический смысл.

Табл. 1. Ил. 2. Библиогр. 9 назв.

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

УДК 539.217.1+531.135:536.24

Гринчик Н. Н. ТЕПЛО- И МАССОПЕРЕНОС В ДЕФОРМИРУЕМЫХ НЕНАСЫЩЕННЫХ КАПИЛЛЯРНО-ПОРИСТЫХ СРЕДАХ // Тепло- и массоперенос – 2017. Минск: Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси, 2018. С. 45–55.

Методом дифференциальных соотношений термодинамики найдены зависимости для определения количества тепла, которое затрачивается на деформации пористой среды и изменение межфазной поверхности. Разработана схема учета первого инварианта тензора деформации – коэффициента объемного расширения – в формулах для определения пористости, давления жидкости, интенсивности фазовых переходов, теплоты фазового перехода.

Табл. 2. Библиогр. 19.

УДК 666.3-16, 666.3-183.2

Гринчук П. С., Кияшко М. В., Степкин М. О., Торопов В. В., Акулич А. В., Соловей Д. В., Хорт А. А., Шашков М. Д., Лях М. Ю., Abuhimd Н. М., Alshahrani М. S. ПОЛУЧЕНИЕ ПЛОТНОЙ РЕАКЦИОННО-СВЯЗАННОЙ КЕРАМИКИ НА ОСНОВЕ КАРБИДА КРЕМНИЯ // Тепло- и массоперенос – 2017. Минск: Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси, 2018. С. 56–68.

Отработана многостадийная технология получения плотной реакционно-связанной керамики на основе карбида кремния. Проведена оптимизация каждой технологической стадии приготовления керамики. Определены оптимальные режимы и параметры процессов шликерного литья, удаления связующего и пропитки заготовки фенолформальдегидной смолой. Исследованы структура и состав карбидокремниевой керамики до и после финальной стадии силицирования. Оптимизация технологических стадий позволяет получать карбидокремниевую керамику со средней плотностью до 3.13 г/см^3 и теплопроводностью 259 Вт/(м·К) .

Ил. 8. Табл. 2. Библиогр. 25 назв.

УДК 536.2:532/533

Сычевский В. А. НАПРЯЖЕНИЯ И ДЕФОРМАЦИИ В ШТАБЕЛЕ ИЗ ПИЛОМАТЕРИАЛОВ В ПРОЦЕССЕ КОНВЕКТИВНОЙ КАМЕРНОЙ СУШКИ // Тепло- и массоперенос – 2017. Минск: Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси, 2018. С. 69–74.

Построена трехмерная геометрическая модель конвективной сушильной камеры, которая может быть использована как для расчета аэродинамики и тепломассообмена, так и для расчета напряженно-деформированного состояния в штабеле. Выполнена адаптация специализированного программного обеспечения теплофизического профиля для расчета задач тепломассопереноса и влажностных напряжений и деформаций в штабеле из пиломатериалов в процессе камерной конвективной сушки. Получены распределения деформаций и напряжений в штабеле из пиломатериалов в пространстве и их изменения во времени. Обнаружено возникновение дополнительных напряжений в штабеле, которые отсутствуют при сушке единичных образцов.

Ил. 4. Библиогр. 5 назв.

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

УДК 543.544.45

Генарова Т. Н., Грушевский В. В., Пенязьков О. Г., Жданок С. А., Лещев С. М., Буяков И. Ф., Дмитренко Ю. М., Чернухо А. П. ГАЗОХРОМАТОГРАФИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОМПОНЕНТНОГО СОСТАВА ПРОДУКТОВ ПИРОЛИЗА ПРОПАН-БУТАНОВОЙ СМЕСИ ПРИ ПОЛУЧЕНИИ ИЗ НЕЕ УГЛЕРОДНОГО НАНОМАТЕРИАЛА // Тепло- и массоперенос – 2017. Минск: Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси, 2018. С. 75–78.

Проведен отбор проб отходящих газов установки пиролиза пропан-бутановой смеси на стадии синтеза углеродных наноматериалов. Установлен качественный и количественный состав отходящих газов. Обнаружено, что помимо углеродных наноматериалов и неконденсируемых газообразных продуктов образуются полициклические ароматические углеводороды. Установлен количественный состав 16 ПАУ в экстрактах, который показал, что основными ароматическими соединениями являются соединения с двумя и тремя бензольными кольцами: нафталин, стирол, инден, 2-метилнафталин, аценафтилен, аценафтен, флуорен, фенантрен и антрацен. Обнаружено, что ПАУ, содержащие в своей структуре от четырех до шести бензольных колец, находятся в следовых количествах.

Табл. 2. Библиогр. 19 назв.

УДК 543.052

Генарова Т. Н., Грушевский В. В., Жданок С. А., Лещев С. М., Пенязьков О. Г. УЛУЧШЕНИЕ СТЕПЕНИ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ПОЛИЦИКЛИЧЕСКИХ АРОМАТИЧЕСКИХ УГЛЕВОДОРОДОВ ИЗ ОТХОДЯЩИХ ГАЗОВ ПИРОЛИЗНЫХ УСТАНОВОК // Тепло- и массоперенос – 2017. Минск: Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси, 2018. С. 79–83.

Проведено сравнение результатов определения полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) из отходящих газов пиролизных установок по стандартной методике с использованием адсорбента и ранее не изученного малолетучего полярного растворителя. Получен количественный анализ ПАУ в отходящих газах установки пиролиза пропан-бутановой смеси на стадии синтеза углеродного наноматериала. Показано, что использование ранее не применяемого полярного органического растворителя приводит к более приемлемым результатам, повышая эффективность извлечения токсичных многокольчатых аренов.

Табл. 1. Ил. 1. Библиогр. 24 назв.

УДК 533.9:51-73

Леончик А. И., Морозов Д. О. Савчин В. В., Долголенко Г. В., Курбанов Н. М. ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЛАЗМЕННОГО РЕАКТОРА ПРИ ГАЗИФИКАЦИИ УГЛЕВОДОРОДОВ // Тепло- и массоперенос – 2017. Минск: Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси, 2018. С. 84–95.

Описаны результаты численного моделирования плазменного реактора для газификации органических материалов в газовой фазе в режиме прогрева и при конверсии смесей углеводородов с различными окислителями. Показаны важность учета излучения, влияние учета образования сажи и теплотеря через боковую стенку реактора. Проведено сравнение результатов моделирования с экспериментом. Описаны результаты моделирования для оптимизации конструкции реактора.

Табл. 3. Ил. 11. Библиогр. 16 назв.

УДК 543.637:546.271-386

Минкина В. Г., Шабуня С. И., Калинин В. И. ПРОИЗВОДСТВО ВОДОРОДА В ПРОЦЕССЕ КАТАЛИТИЧЕСКОГО ГИДРОЛИЗА ВОДНОГО РАСТВОРА БОРОГИДРИДА НАТРИЯ // Тепло- и массоперенос – 2017. Минск: Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси, 2018. С. 96–99.

Представлены результаты испытаний разработанного каталитического реактора. Установлено, что с увеличением количества катализатора существенно повышается температура процесса, и эффект разбавления раствора практически не влияет на скорость гидролиза. Определены оптимальные с точки зрения времени проведения процесса гидролиза концентрации борогидрида натрия и количество катализатора.

Ил. 4. Библиогр. 5 назв.

УДК 532.529; 533.95

Нестерович Д. В., Пенязьков О. Г., Станкевич Ю. А., Третьяк М. С., Чупрасов В. В., Шатан И. Н. ИССЛЕДОВАНИЕ СКОРОСТИ ДИСПЕРСНОЙ ФАЗЫ В ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОМ ГАЗОВОМ ПОТОКЕ // Тепло- и массоперенос – 2017. Минск: Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси, 2018. С. 100–106.

Приведены результаты численного моделирования и экспериментов по определению скоростей частиц в струях плазматрона в различных режимах истечения (звуковом и сверхзвуковом). На основе численного моделирования определены конфигурация, размеры сверх-

звукового сопла и положение источника ввода дисперсной фазы в поток с целью получения максимальных скоростей частиц. С помощью метода PIV экспериментально определены скорости кварцевых частиц (диаметром в максимуме функции распределения ~ 15 мкм) в высокотемпературной струе плазмотрона мощностью ~ 1 МВт и массовым расходом воздуха ~ 100 г/с. Скорости кварцевых частиц при использовании сверхзвуковой насадки могут достигать 2200–2300 м/с. Отмечено хорошее соответствие результатов численного моделирования с экспериментом.

Ил. 8. Библиогр. 7 назв.

УДК 536.71; 536.42

Сметанников А. С. МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ИМПУЛЬСНОГО ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА МЕТАЛЛИЧЕСКУЮ МИШЕНЬ // Тепло- и массоперенос – 2017. Минск: Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси, 2018. С. 107–121.

Описана физическая модель и приведены результаты расчета задачи о воздействии импульсного лазерного излучения на металлическую мишень с параметрами, характерными для получения наночастиц металлов. При этом исследуется взаимодействие излучения неодимового лазера (длина волны 1.064 мкм) с металлической мишенью (медь) в среде. Длительность лазерного импульса составляет 1–100 нс, радиус пятна облучения – несколько миллиметров, плотность мощности лазерного излучения 0.5–10 ГВт/см². Показано, что в процессе расширения вещества мишени в волне разгрузки происходит фазовый переход. От мишени «отрывается» сравнительно тонкая оболочка (толщиной ~ 100 нм) с довольно высокой плотностью. При заданных параметрах воздействия лазера вещество этой оболочки попадает в двухфазную область при разгрузке через жидкостную ветвь бинодали, т. е. представляет собой вскипевший жидкий металл.

Ил. 9. Библиогр. 21 назв.

УДК 532.546

Теплицкий Ю. С., Бучилко Э. К., Исьемин Р. Л., Муратова Н. С. О ПУЛЬСАЦИЯХ ДАВЛЕНИЯ В БИДИСПЕРСНЫХ КИПЯЩИХ СЛОЯХ // Тепло- и массоперенос – 2017. Минск: Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси, 2018. С. 122–126.

Выполнено экспериментальное исследование среднеквадратичного отклонения пульсаций перепада давления в бидисперсных кипящих слоях. Установлены обобщенные зависимости интенсивности пульсаций от высоты насыпного слоя, избыточной скорости фильтрации газа, доли крупных частиц. Показана особенность пульсаций перепада давления в бидисперсном слое в условиях суффозии.

Ил. 4. Библиогр. 9 назв.

УДК 536.655

Фисенко С. П., Ходыко Ю. А. МОДЕЛИРОВАНИЕ ИСПАРЕНИЯ ОБЛАКА ФЕМТОЛИТРОВЫХ КАПЕЛЬ В АЭРОЗОЛЬНОМ РЕАКТОРЕ // Тепло- и массоперенос – 2017. Минск: Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси, 2018. С. 127–131.

Описана и численно исследована математическая модель испарения фемтолитровых капель в неизотермическом высокотемпературном воздушном потоке в приближении сплошной среды и в свободномолекулярном приближении. Показано, что существенную роль на положение капель в аэрозольном реакторе оказывает скорость термофореза, которая смещает их в осевую часть реактора. Обнаружено, что в зависимости от радиуса и числа монодисперсных капель полное испарение достигается на различном их положении в реакторе z^*/d , которое в значительной степени уменьшается при переходе в свободномолекулярный режим.

Табл. 1. Ил. 4. Библиогр. 7 назв.

УДК 662.612.2, 662.311.1

Футько С. И., Козначеев И. А., Рабинович О. С., Миронов В. Н., Пенязьков О. Г., Бараньшин Е. А., Кривошеев П. Н. КИНЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ГОРЕНИЯ ТОНКИХ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ КРЕМНИЕВЫХ ПЛАСТИН В КИСЛОРОДЕ ПРИ ПОВЫШЕННОМ ДАВЛЕНИИ // Тепло- и массоперенос – 2017. Минск: Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси, 2018. С. 132–138.

На основе анализа экспериментальных данных установлено, что при распространении волны горения по наноструктурированной кремниевой пленке горят жидкие капли кремния, получаемые в результате термохимического разрушения протравленного кремния, и ведущим процессом является процесс гетерогенного горения газозвеси частиц кремния в кислороде. Сформулирована физико-химическая модель, описывающая скорость распространения фронта волны горения в газозвеси частиц кремния в жидкой фазе в зависимости от давления кислорода и диаметра кремниевых частиц. Рассчитаны зависимости для скорости фронта горения и времени горения частиц от давления кислорода и размера частиц в газозвеси. Установлено, что частицы кремния горят по кинетическому механизму с обратной зависимостью времени горения от давления и пропорциональной – от диаметра частицы. Рассчитана зависимость диаметра частиц во фронте волны горения от структуры наноструктурированного образца и давления кислорода. Сформулированы важные для практики рекомендации для получения более высоких скоростей горения наноструктурированных кремниевых пленок при более низких давлениях кислорода.

Ил. 5. Библиогр. 12 назв.

УДК 621.38.049.77+539.23

Футько С. И., Чорный А. Д., Ермолаева Е. М. РАСЧЕТ ДИНАМИКИ РОСТА ГРАФЕНА НА МЕДНОМ КАТАЛИЗАТОРЕ В ПРОЦЕССАХ ХИМИЧЕСКОГО ПАРОФАЗНОГО ОСАЖДЕНИЯ // Тепло- и массоперенос – 2017. Минск: Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси, 2018. С. 139–145.

Сформулирована изотермическая кинетическая модель образования графена на катализаторе с низкой растворимостью атомарного углерода в условиях процесса химического парофазного осаждения. Модель учитывает хемосорбцию и каталитическую декомпозицию этилена на медной поверхности, диффузию атомов углерода в радиальном направлении к центрам нуклеации в пределах тонкого расплавленного приповерхностного слоя меди, нуклеацию и рост графеновых доменов. Показано, что зависимость скорости роста графенового домена от времени имеет характерный ассиметричный колоколообразный вид. Получены

временные зависимости для площади поверхности графенового домена, его размера и скорости роста при разных температурах синтеза и концентрациях этилена. Рассчитаны временные характеристики роста графеновых доменов от параметров процесса химического парофазного осаждения. Рассмотренная кинетическая модель и результаты параметрических расчетов могут быть применены для выбора оптимальных режимов синтеза однослойного графена в процессах ХПО с целью повышения эффективности функциональных элементов микро- и нанoeлектроники.

Ил. 4. Библиогр. 22 назв.

IV. ПРОЦЕССЫ ГИДРОГАЗОДИНАМИКИ В СРЕДАХ СЛОЖНОГО СОСТАВА И СТРУКТУРЫ

УДК 533.6.011.72

Асташинский В. М., Лупсякова О. Ф., Присмотров А. А., Станкевич Ю. А., Третьяк М. С., Чупрасов В. В. ТЕПЛОВОЕ И ЭРОЗИОННОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ ГЕТЕРОГЕННОЙ СТРУИ НА ПРЕГРАДУ // Тепло- и массоперенос – 2017. Минск: Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси, 2018. С. 146–151.

Приведены результаты экспериментальных исследований влияния частиц дисперсной фазы в сверхзвуковом плазменном потоке на величину теплового потока при взаимодействии с преградой. В экспериментах использовался плазмотрон мощностью 1.25 МВт с массовым расходом воздуха ~120 г/с и давлением в камере $\sim 10 \cdot 10^5$ Па. Величина эффективного теплового потока при обтекании пластины для гетерогенных струй выше, чем однородной плазменной струи. Отличие в величине теплового потока для однородной и гетерогенной струи зависит от материала преграды. Наличие частиц увеличивает скорость уноса теплозащитных покрытий в 2–3 раза.

Ил. 10. Библиогр. 9 назв.

УДК 532.526.4

Жданов В. Л., Кухарчук И. Г. МЕТОДЫ СНИЖЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО ТРЕНИЯ ТУРБУЛЕНТНОГО ПОГРАНИЧНОГО СЛОЯ // Тепло- и массоперенос – 2017. Минск: Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси, 2018. С. 152–160.

Представлен обзор существующих методов снижения поверхностного трения (сдвиговых напряжений) на поверхности с развитым турбулентным пограничным слоем. Методы можно разделить на две группы: активные требуют дополнительной энергии для создания заданного возмущения потока; пассивные вносят возмущения в поток, используя его энергию. Снижение сдвиговых напряжений достигает 50% активными методами, против 10% пассивными методами. Однако с учетом расхода энергии, необходимой для функционирования активных методов, чистый выигрыш от их применения сравним с эффектом пассивных методов.

Ил. 12. Библиогр. 27 назв.

УДК 532.529.5; 537.634

Жолудь А. М. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ ЧАСТИЦ ПРИ МАГНИТНОЙ СЕПАРАЦИИ В ЯЧЕЙКЕ ХЕЛЕ–ШОУ // Тепло- и массоперенос – 2017. Минск: Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси, 2018. С. 161–166.

Разработана методика, позволяющая при обработке экспериментальной видеозаписи определять пространственное распределение концентрации и скорости движения частиц суспензии в ячейке Хеле–Шоу. Она апробирована на суспензии, представляющей собой человеческую кровь, в процессе ее магнитной сепарации.

Ил. 5. Библиогр. 11 назв.

УДК 621.314

Кашевский С. Б., Кашевский Б. Э. ДИССИПАЦИЯ ЭНЕРГИИ В СУСПЕНЗИИ ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩИХ НАНОЧАСТИЦ СТОНЕРА–ВОЛЬФАРТА // Тепло- и массоперенос – 2017. Минск: Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси, 2018. С. 167–172.

На основе разработанной модели совместной динамики пары частиц Стонера–Вольфарта в вязкой жидкости изучено влияние межчастичного взаимодействия на поглощение энергии переменного магнитного поля. Показано, что с учетом существующего физиологического ограничения на амплитуду и частоту магнитного поля межчастичное взаимодействие не увеличивает максимально возможную удельную мощность поглощения энергии, а лишь изменяет необходимые для ее достижения параметры поля.

Ил. 5. Библиогр. 9 назв.

УДК 536.244, 536.27

Лях М. Ю., Акулич А. В., Гринчук П. С., Савчин В. В. МОДЕЛИРОВАНИЕ ГАЗОПЛАМЕННОГО РЕАКТОРА РЕКУПЕРАТИВНОГО ТИПА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПОЛЫХ СТЕКЛЯННЫХ МИКРОСФЕР // Тепло- и массоперенос – 2017. Минск: Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси, 2018. С. 173–183.

Описана математическая модель нагрева и движения частиц стекла в высокотемпературном газовом потоке, учитывающая сопряженный теплообмен между реактором и рекуператором. Приведены результаты моделирования для двух вариантов работы рекуператора и показано, что оптимальной является подача воздуха по внутреннему каналу рекуператора.

Ил. 7. Библиогр. 15 назв.

УДК 536.248.2

Шнип А. И. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ТЕПЛОВОГО СПОСОБА ФОКУСИРОВКИ ПУЧКА УЛЬТРАДИСПЕРСНЫХ ЧАСТИЦ В ЛАМИНАРНОМ ГАЗОВОМ ПОТОКЕ // Тепло- и массоперенос – 2017. Минск: Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси, 2018. С. 184–194.

Построена физико-математическая модель термического метода фокусировки пучка наночастиц в ламинарном газовом потоке и создана ее численная реализация. Проведены расчеты, подтверждающие перспективность метода как для создания узких пучков наночастиц в газовом потоке, так и для очистки газов от наночастиц или повышения концентрации частиц в газе.

Ил. 9. Библиогр. 10 назв.

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

УДК 536.248.2, 532.64.08

Войтик О. Л., Делендик К. И., Коляго Н. В., Роцин Л. Ю. ВЛИЯНИЕ МИКРОШЕРОХОВАТОСТИ НА СМАЧИВАЕМОСТЬ ПОВЕРХНОСТИ ЧАСТЕЙ ПАРОВОЙ КАМЕРЫ // Тепло- и массоперенос – 2017. Минск: Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси, 2018. С. 195–202.

Изучено влияние условий электрохимического осаждения меди на характеристики структуры покрытия, отработаны режимы для создания поверхности с заданной шероховатостью. Исследовано влияние микрошероховатости на смачивание поверхности, что позволило обосновать оптимальные режимы нанесения покрытий и создать элементы паровых камер с контролируемыми свойствами смачивания.

Табл. 2. Ил .6. Библиогр. 13 назв.

УДК 536.248.2, 532.64.08

Войтик О. Л., Делендик К. И., Коляго Н. В., Роцин Л. Ю. О ДЕГРАДАЦИИ ПАРАМЕТРОВ СМАЧИВАЕМОСТИ ЧАСТЕЙ ПАРОВОЙ КАМЕРЫ В ПРОЦЕССЕ МЕЖОПЕРАЦИОННОГО ХРАНЕНИЯ // Тепло- и массоперенос – 2017. Минск: Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси, 2018. С. 203–209.

Изучено влияние межоперационного хранения частей паровой камеры на смачивание поверхностей. Показано, что наличие шероховатости приводит к метастабильному равновесию смачивания. Установлено, что сразу после изготовления поверхности являются гидрофильными и результаты измерений краевых углов коррелируют с моделью Венцеля–Дерягина. При межоперационном хранении утрачиваются гидрофильные свойства и поверхности становятся гидрофобными, способными стабилизировать состояние Касси, что объясняется окислением и загрязнением поверхности. Полученные при этом большие значения гистерезиса свидетельствуют о нестабильном характере гидрофобности. Смачиваемость улучшается по мере удаления загрязнений. На основе проведенных исследований влияния длительности и условий межоперационного хранения частей камеры, а также различных способов подготовки к измерению выработаны рекомендации: 1) изготовленные части паровой камеры должны сразу быть использованы в сборке готового изделия без хранения; 2) если межоперационного хранения избежать невозможно, то необходима активация частей паровой камеры перед сборкой готового изделия.

Ил. 4. Библиогр. 8 назв.

УДК 539.2/6+530.417+541.1

Зайцев А. Л., Генарова Т. Н. ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ НЕОДНОРОДНОСТЬ НИЗКОИНДЕКСНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ОКСИДА ТИТАНА // Тепло- и массоперенос – 2017. Минск: Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси, 2018. С. 210–219.

Методом функционала электронной плотности изучена локальная энергетическая неоднородность низкоиндексных поверхностей оксида. Установлен характер распределения, определены положения центров адсорбции (ям потенциальной энергии) и построены карты топографии поверхности оксида титана в величинах потенциальной энергии. Взаимодействие атомов или молекул с поверхностью оксида сопровождается формированием энергетически активных центров, число и положение которых зависят от структуры поверхности, энергии адсорбата и его расстояния до поверхности. Низкоиндексные поверхности оксида титана вследствие специфической атомной структуры способны по-разному изменять энергетическую активность, которая проявляется в вырождении центров ПЭ. Вырождение обусловлено возмущением электронной плотности в области приповерхностного пространства при адсорбции частицы. Для всех поверхностей характерно повышение числа центров адсорбции на малых расстояниях и неопределенности положения адсорбированного атома в потенциальной яме. Наиболее активной поверхностью оксида титана является поверхность (111), минимальной активностью обладает атомная плоскость (001).

Табл. 1. Ил. 7. Библиогр. 20 назв.

УДК 536.2:532/533; 544.774

Козначеев И. А., Малиновский А. И., Иванов Д. А., Лях М. Ю., Рабинович О. С. ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕПЛО- И МАССОПЕРЕНОСА В КАПИЛЛЯРНО-ПОРИСТЫХ СРЕДАХ С ФАЗОВЫМИ И ХИМИЧЕСКИМИ ПРЕВРАЩЕНИЯМИ // Тепло- и массоперенос – 2017. Минск: Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси, 2018. С. 220–227.

Разработан программный комплекс, предназначенный для моделирования транспорта различных фаз, а также химических компонентов и тепла в пористых системах, встречающихся в разнообразных технических приложениях. Созданы микромоделли, позволяющие рассчитывать связь параметров макроскопической задачи со структурными характеристиками пористой среды и локальными значениями температуры и содержания фаз. Для решения задач макроскопического масштаба в рамках модели взаимопроникающих континуумов используется среда и набор библиотек платформы с открытым кодом OpenFOAM®, а также библиотеки проекта *porousMultiphaseFoam*. Программный комплекс допускает добавление новых модулей. Архитектура кода делает возможным параллельное многопоточное выполнение расчетов на многопроцессорных кластерах. Приведены примеры использования программного комплекса для решения ряда модельных задач.

Ил. 6. Библиогр. 5 назв.

УДК 53.097

Коробко Е. В., Харламова И. М., Махнач Л. В. ОСОБЕННОСТИ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ НА РЕОЛОГИЮ ЭР-СУСПЕНЗИИ, СОДЕРЖАЩЕЙ СЛОЖНООКСИДНЫЙ НАПОЛНИТЕЛЬ С ПЕРОВСКИТОПО-

ДОБНОЙ СТРУКТУРОЙ // Тепло- и массоперенос – 2017. Минск: Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси, 2018. С. 228–233.

Рассмотрена методика получения сложных оксидов с перовскитоподобной структурой методом твердофазного синтеза. Проведены исследования диэлектрических и реологических свойств ЭР-суспензии, содержащей перовскитоподобный наполнитель, в электрических полях. Отмечены особенности влияния постоянного и переменного электрических полей на реологию исследуемой суспензии.

Ил. 5. Библиогр. 12 назв.

УДК 517.518.8:519.633:536.2

Кот В. А. ПОЛИНОМИАЛЬНОЕ РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ СТЕФАНА ДЛЯ МИКРО- И НАНОРАЗМЕРНОЙ СФЕРИЧЕСКОЙ ЧАСТИЦЫ: УСЛОВИЕ ДИРИХЛЕ // Тепло- и массоперенос – 2017. Минск: Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси, 2018. С. 234–250.

Решена задача о плавлении сферических микро- и наноразмерных частиц с учетом формулы Гиббса–Томсона при граничном условии Дирихле. Для скорости перемещения межфазной границы в сферических микро- и наночастицах выделены три характерных области. Установлено, что учет уравнения Гиббса–Томсона в наночастицах дает существенное приращение в скорости перемещения межфазовой границы. Установлено, что по сравнению с микрочастицами время плавления наночастиц сокращается на 25–30%.

Ил. 7. Библиогр. 46 назв.

УДК 517.518.8:519.633:536.2

Кот В. А. АНАЛИТИЧЕСКОЕ РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ СТЕФАНА О ПЛАВЛЕНИИ МИКРО- И НАНОРАЗМЕРНОЙ СФЕРИЧЕСКОЙ ЧАСТИЦЫ В УСЛОВИЯХ ПОСТОЯННОГО И ГАРМОНИЧЕСКОГО ТЕПЛОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ // Тепло- и массоперенос – 2017. Минск: Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси, 2018. С. 251–268.

Решены задачи о плавлении сферических микро- и наноразмерных частиц под действием постоянного и гармонического теплового потока с учетом формулы Гиббса–Томсона. Проведенный анализ фронта плавления и скорости межфазной границы, температурных профилей и температуры поверхности частицы позволил установить ряд новых характерных закономерностей при гармоническом тепловом воздействии. Установлен эффект синхронности между гармонически изменяющимся тепловым потоком, законом перемещения межфазной границы и температурой поверхности частицы, принимающей в определенные моменты времени пренебрежимо малые значения.

Ил. 8. Библиогр. 26 назв.

УДК 541.66:539.42:42:621.3:536.2.083

Кравцевич А. В., Данилова-Третьяк С. М., Евсева Л. Е., Микулич С. И., Шашура Л. И., Жогло Г. А., Лысенко В. И. ТЕПЛО- И ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НАНОКОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИАМИДА // Тепло- и массоперенос – 2017. Минск: Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси, 2018. С. 269–275.

Приведены результаты исследований тепло- и электрофизических свойств нанокompозитов на основе полиамида, содержащих гибридный наполнитель (углеродный наноматериал, диоксид кремния и оксиды некоторых металлов) в разной концентрации. Показано, что частицы SiO₂ и MeO способствуют формированию более совершенных тепло- и электропроводящих кластеров, при этом коэффициенты тепло- и температуропроводности увеличиваются в 2,7 раза по сравнению с ненаполненным полиамидом, а комплексное сопротивление уменьшается на 4–5 порядков. Минимальные значения полного комплексного сопротивления и отклонения угла сдвига фаз, а также максимальные значения коэффициентов тепло- и температуропроводности наблюдались у образца, содержавшего трехкомпонентный наполнитель (УНМ + SiO₂ + ZrO₂).

Табл. 2. Ил. 3. Библиогр. 8 назв.

УДК 536.2:621.1.016

Мастерков А. М., Гринчук П. С. НЕСТАЦИОНАРНАЯ МОДЕЛЬ ТЕПЛОПЕРЕНОСА ДЛЯ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ ТЕПЛООБРАЗОВАНИЯ В РЕЗИНЕ // Тепло- и массоперенос – 2017. Минск: Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси, 2018. С. 276–281.

Рассмотрено тепловое состояние резиновых образцов, подверженных циклическим деформациям в испытательной машине. Для получения на основе экспериментальных данных по измерению температуры образца информации о плотности внутренних источников тепла предложена одномерная нестационарная модель, описывающая процесс нагрева образцов, испытывающих циклическое сжатие. Проведен расчет зависимости температуры образца от времени, адаптированный к условиям эксперимента. Показано, что одномерная нестационарная модель недостаточно точно описывает данную систему, при этом увеличение коэффициента внешнего теплообмена несколько улучшает соответствие экспериментальных и расчетных данных.

Табл. 1. Ил. 5. Библиогр. 7 назв.

УДК 577.31+615.832.9

Маханёк А. А., Левин М. Л. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ ОБЩЕЙ ГАЗОВОЙ КРИОТЕРАПИИ // Тепло- и массоперенос – 2017. Минск: Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси, 2018. С. 282–290.

Приведены результаты теоретического исследования оптимальных условий проведения общей газовой криотерапии (ОГКТ). С использованием критерия для тепловых условий на поверхности кожи пациента, при которых происходит криостимуляция организма пациента во время ОГКТ, получена оптимальная продолжительность данной процедуры при нескольких температурах газового хладагента, характерных для применяемых систем криотерапии. Рассмотрено влияние индекса массы тела пациентов, имеющих стандартизованное телосложение, на времена начала и окончания, а также продолжительность этапа криостимуляции пациентов с показателями роста (см) и массы (кг) от 160×60 до 200×100. Установлено, что в диапазоне температур газового хладагента от –160 до –110 °С эти времена слабо зависят от индекса массы тела. Пороговое для лечебного этапа ОГКТ значение скорости снижения средней температуры поверхности кожи пациента сильно влияет на его продолжительность при ОГКТ с температурой в процедурной камере –110 °С, но не оказывает влияния,

когда эта температура ниже -140 °С. Оптимальной для достижения максимальной продолжительности этапа криостимуляции организма пациентов является ОГКТ при температуре газового хладагента в диапазоне от -145 до -130 °С.

Табл. 2. Ил. 4. Библиогр. 18 назв.

УДК 544.023.221:547.458 (045)

Мельникова Г. Б., Ледвиг О. Г., Козлова-Козыревская А. Л. ФОРМИРОВАНИЕ И ИЗУЧЕНИЕ СТРУКТУРНО-МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЛБ-ПЛЕНОК НАФИОНА // Тепло- и массоперенос – 2017. Минск: Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси, 2018. С. 291–296.

Показана возможность использования метода Ленгмюра–Блоджетт для формирования пленок нафiona как на планарных, так и на пористых поверхностях. Рассмотрены перспективные области их применения. Подобраны условия формирования плотных пленок нафiona из различных типов коммерческих суспензий в низших алифатических спиртах. Приведены результаты изучения структуры ЛБ-пленок методом атомно-силовой микроскопии.

Ил. 5. Библиогр. 25 назв.

УДК 616.15; 615.38

Мельникова Г. Б., Толстая Т. Н., Петровская А. С., Константинова Е. Э., Жоров О. В., Кравчук З. И., Марцев С. П. ОЦЕНКА МОРФОФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ЭРИТРОЦИТОВ НА РАЗЛИЧНЫХ СРОКАХ ХРАНЕНИЯ ЭРИТРОЦИТСОДЕРЖАЩИХ КОМПОНЕНТОВ ДОНОРСКОЙ КРОВИ МЕТОДАМИ ИНДУЦИРОВАННОГО ГЕМОЛИЗА И АТОМНО-СИЛОВОЙ МИКРОСКОПИИ // Тепло- и массоперенос – 2017. Минск: Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси, 2018. С. 297–307.

Приведены результаты изучения кислотной и осмотической резистентности, локальных механических свойств мембран эритроцитов в процессе хранения в различных гемоконсервирующих средах. Получено, что эритроцитная масса в среде CPDA-1 обладает наибольшей резистентностью к влиянию pH среды, в процессе хранения в гемоконсервирующих средах увеличивается процент патологических форм клеток, что обусловлено протеканием гемолиза. В конце срока хранения установлено образование плотной структуры мембран клеток и уменьшение среднеквадратической шероховатости до исходных значений. Средние значения механических свойств мембран всех доноров с увеличением срока хранения изменяются нелинейно до достижения мембранами равновесного состояния, окончания процессов клеточного разрушения, а также зависят от используемой гемоконсервирующей среды.

Табл. 1. Ил. 10. Библиогр. 16 назв.

УДК 536.491:620.193.53

Новицкий А. О., Кривошеев П. Н., Севрук К. Л., Пенязьков О. Г., Баранышин Е. А. ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМОИМПУЛЬСНОЙ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ СМЕСЬЮ МЕТАН–КИСЛОРОД // Тепло- и массоперенос – 2017. Минск:

Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси, 2018.
С. 308–313.

Проведено исследование термоимпульсной обработки металлов для смеси метана с кислородом при различных начальных давлениях. Из экспериментов получены режимы обработки различных металлов термоимпульсным методом. Исследовано влияние данного метода на шероховатость и твердость поверхности металлических образцов.

Табл. 1. Ил. 7. Библиогр. 8.

УДК 621.384.639

Плевако Ф. В., Приходько Е. М., Горбатов С. В., Давидович П. А., Курносков И. В. РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ПИТАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ МАЛОГАБАРИТНОГО ИМПУЛЬСНОГО БЕТАТРОНА // Тепло- и массоперенос – 2017. Минск: Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси, 2018. С. 314–318.

Приводится описание разработанной системы питания и управления малогабаритного импульсного бетатрона. Она включает 14 различных модулей, которые выполняют функции, необходимые для инъекции, контракции, разгона, свода электронов со стационарной орбиты и направления их на мишень для создания тормозного рентгеновского излучения. Данная система питания и управления продемонстрировала в сравнении с коммерческим устройством ряд преимуществ.

Ил. 8. Библиогр. 2 назв.

УДК 533.6.078.2; 533.6.011.55

Храмцов П. П., Васецкий В. А., Дорошко М. В., Грищенко В. М., Ших И. А., Махнач А. И. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЛЕГКОГАЗОВОЙ БАЛЛИСТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ГИПЕРЗВУКОВОГО ОБТЕКАНИЯ КОНУСОВ // Тепло- и массоперенос – 2017. Минск: Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси, 2018. С. 319–326.

Предложен новый способ генерации гиперзвуковых течений, основанный на использовании легкогазовой баллистической установки с соплом Лавалья вместо канала разгона. Представлены результаты экспериментального исследования гиперзвукового обтекания конусов с углами полураствора равными 3° и 12° при числах Маха набегающего потока 18 и 14.4 соответственно. Полученный гиперзвуковой поток характеризовался высокой оптической плотностью истекающего газа, позволяющей проводить оптическую диагностику течения. Визуальные картины течения получены теневым методом ножа и щели. Теневые картины регистрировались с помощью высокоскоростной камеры Photron Fastcam с временем экспозиции 1 мкс и скоростью съемки 300 000 кадр/с. Расчет числа Маха для набегающего потока проведен на основе определенного по теневым картинам угла наклона ударной волны.

Ил. 7. Библиогр. 20 назв.

УДК 531.58

Храмцов П. П., Васецкий В. А., Махнач А. И., Дорошко М. В., Грищенко В. М., Ших И. А., Черник М. Ю. ДИНАМИКА ВЫСОКОСКОРОСТНОГО ПРОНИКНОВЕНИЯ СТАЛЬНЫХ УДАРНИКОВ В МАССИВНЫЕ МИ-

ШЕНИ ИЗ ПОЛИМЕТИЛМЕТАКРИЛАТА // Тепло- и массоперенос – 2017.
Минск: Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси,
2018. С. 327–333.

Приведены результаты экспериментальных исследований взаимодействия одиночных сферических стальных частиц диаметром 2.5 мм с мишенями из полиметилметакрилата в диапазоне скоростей 0.94–2.4 км/с. Получена зависимость глубины проникновения ударника в мишень от квадрата его скорости. Рассматриваются возможности метода определения скорости ударника по глубине его проникновения в ПММА с использованием полученной зависимости.

Табл. 1. Ил. 9. Библиогр. 15 назв.