

МЕХАНИКА

Ю. А. Бурьян, М. В. Силков

Виброизоляционная опора с эффектом квазинулевой жесткости

Исследование относится к важному направлению прикладной механики — теории виброизоляции виброактивных объектов, таких как генераторы, двигатели, насосы, компрессоры, вентиляторы, трубопроводы и т.д. Предложена конструкция, рассмотрены вопросы математического моделирования и получены выражения для выбора необходимых параметров простой и перспективной опоры с использованием эффекта квазинулевой жесткости. Показано, что предложенная опора позволяет расширить в сторону низких частот диапазон уменьшения коэффициента передачи силы на основание и тем самым улучшить виброизоляцию различных технологических объектов.

Ключевые слова: виброизоляция, квазинулевая жесткость, математическая модель упругой подвески, пневмопружина, коэффициент передачи силы на основание.

В. С. Корнеев, В. В. Шалай

Линеаризованная математическая модель резинокордной оболочки вращения

Проведена процедура линеаризации ранее построенной математической модели резинокордной оболочки вращения с упругодеформируемыми нитями корда при симметричном нагружении внутренним избыточным давлением и осевой силой. Проанализированы характерные особенности линеаризованной математической модели, особое внимание обращено на правильный выбор ненагруженной отсчётной конфигурации, имеющей место не при нулевом избыточном давлении, а при избыточном давлении, стремящемся к нулю. Отмечено, что наибольший практический интерес линеаризованная математическая модель представляет для аналитического расчёта и проектирования резинокордных патрубков и пневматических амортизаторов рукавного типа с оптимальными рабочими характеристиками.

Ключевые слова: резинокордная оболочка вращения, математическая модель, линеаризация, ненагруженная конфигурация.

ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ И ХИМИЧЕСКОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ

Ю. Б. Галеркин, А. А. Дроздов

Разработка новой версии математической модели метода универсального моделирования для расчета центробежных компрессоров

В практике проектирования центробежных компрессоров широко используются различные инженерные методики. В их основе лежат результаты обобщения экспериментальных данных и положения газовой динамики. Математическая модель Метода универсального моделирования представляет собой набор уравнений, определяющих потери напора в элементах проточной части центробежной компрессорной ступени. При помощи Метода универсального моделирования были спроектированы десятки компрессоров мощностью до 32 МВт. Опыт применения программ позволил определить направления развития

математической модели для новой, 9-й версии. Для расчета осерадиальных рабочих колес применен квазитрехмерный подход, при котором параметры потока рассчитываются на 8-ми осесимметричных поверхностях тока. Разработана модель напорной характеристики, определяющая её через угол наклона и коэффициент теоретического напора при нулевом расходе. Для расчета потерь в БЛД применена математическая модель, основанная на результатах и обобщении CFD-расчетов, что уменьшает количество эмпирических коэффициентов. Произведена идентификация математической модели по результатам экспериментальных данных модельных ступеней. Точность расчета КПД достаточна для практического применения инженерного метода.

Ключевые слова: центробежный компрессор, коэффициент напора, безлопаточный диффузор, условный коэффициент расхода, КПД, математическая модель, рабочее колесо.

В. И. Карагусов, И. Н. Погуляев

Среднесуточная холодопроизводительность радиационной системы кондиционирования

Актуальность — одно из главных достоинств радиационного охлаждения, заключается в автономности, т.е. независимости систем радиационного охлаждения от электрической и тепловой энергии. При эксплуатации радиационных систем жизнеобеспечения не требуются значительные затраты ни при создании, ни при эксплуатации. Цель исследования — определение возможности использования радиационной системы охлаждения для кондиционирования воздуха в жилых или офисных помещениях. Задача исследования — определить холодопроизводительность радиационной системы кондиционирования воздуха. Проведенные экспериментальные исследования показали, что радиационная система кондиционирования имеет холодопроизводительность в летнее время от 4 до 7 кВт с радиационным охладителем площадью 100 м².

Ключевые слова: системы радиационного охлаждения, системы жизнеобеспечения, тепловой поток, теплоизоляция, возобновляемая энергия, кондиционирование.

А. А. Малышев, А. В. Зайцев, К. Ф. Куадио, К. В. Киссер

Экспериментальное исследование гидродинамических характеристик при кипении хладагентов в миниканалах с использованием истинных параметров фаз

Данная работа посвящена развитию комплексного метода расчета теплогидродинамических характеристик двухфазных потоков с учетом специфики течения в миниканалах. В основу предлагаемого подхода заложена методология расчета истинного объемного паросодержания и прогнозирование режимов течения двухфазных потоков. В работе представлены экспериментальные данные по истинному объемному паросодержанию и модифицированная карта режимов течения.

Ключевые слова: миниканал, двухфазный поток, устойчивое течение, истинное объемное паросодержание, режим течения, диаграмма режимов течения, критерий Фруда, критерий Вебера.

Н. А. Райковский, В. Л. Юша, А. В. Третьяков, В. А. Захаров, К. И. Кузнецов

Методика исследования температурных деформаций самосмазывающихся подшипниковых узлов трения высокотемпературных малорасходных турбоагрегатов

В работе предложена методика численного исследования температурных деформаций охлаждаемых самосмазывающихся подшипников турбокомпрессора, система охлаждения которых реализована по типу «водяной рубашки» на базе пакета ANSYS CFX. Апробация методики реализована на примере малорасходного турбоагрегата с консольным расположением двух подшипниковых узлов. Методика, обеспечивающая проведение инженерного анализа в части температурных деформаций с учетом температурного поля, соответствующего реальным условиям эксплуатации, обеспечивает приемлемую погрешность результатов расчета.

Ключевые слова: самосмазывающийся подшипник, система охлаждения, турбоагрегат, деформация.

В. В. Карбанова, А. Д. Ваняшов, В. Л. Юша

Некоторые особенности реализации расчетной модели высоконапорной центробежной компрессорной ступени с входным направляющим аппаратом

Проведен анализ особенностей реализации математической модели трансзвуковой центробежной компрессорной ступени с входным направляющим аппаратом (ВНА) и полуоткрытым осерадиальным рабочим колесом. Исследование течения проведено с помощью уравнений Навье–Стокса, замкнутые моделью турбулентности Shear Stress Transport (SST). Моделирование выполнялось для режима регулирования при пониженной частоте вращения 28076 об/мин и двух углов поворота ВНА в широком диапазоне массового расхода. В ходе проведенного исследования рассмотрены параметры расчетной модели (густота расчетной сетки, межсеточное соединение двух элементов проточной части) и проведена оценка влияния зазора между лопатками рабочего колеса и корпусом на газодинамические характеристики ступени. По результатам исследования установлены наиболее значимые параметры, влияющие на точность получаемых результатов.

Ключевые слова: центробежная ступень компрессора, полуоткрытое аксиально-радиальное рабочее колесо, газодинамические характеристики, трансзвуковое течение, вычислительная гидродинамика.

Т. В. Рябова, А. Б. Сулин, А. К. Рубцов, С. С. Муравейников

Моделирование процессов радиационного теплообмена

Предложено для анализа процессов формирования теплового режима помещения использовать имитационную модель с черным шаровым термометром. Модель верифицирована по результатам натурального эксперимента. Показатели радиационного фактора учитываются в виде зависимостей средней радиационной разности температур от отклонения температуры шарового термометра. На базе предложенной модели выполнены численные эксперименты на примере модели помещения с теплоизлучающими панелями и охлажденным потолком.

Ключевые слова: моделирование процессов теплообмена, шаровой термометр, тепловой поток, тепловой режим помещений, теплоизлучающие панели.

А. Ю. Усс, А. В. Чернышев, Н. В. Атамасов

Разработка метода расчета и создание вихревого струйного устройства для управления потоком газа

В работе на основе проведенного анализа и предварительного численного расчета течения газа в рабочей полости регулятора разработана новая конструкция вихревого регулятора давления газа. С применением аддитивных технологий изготовлен экспериментальный образец устройства. На базе разработанного стенда для проведения испытаний вихревого регулятора проведен ряд экспериментов. Результаты экспериментальных исследований подтвердили работоспособность конструкции. Проведены численные исследования и разработана новая конструкция вихревого регулятора с распределенной подачей управляющего потока рабочей среды, а также с регулированием закрутки питающего и управляющего потоков рабочей среды.

Ключевые слова: вихревой регулятор, вихревой усилитель, вихревая камера, поток управления, ручка блокировки.

В. Е. Щерба, А. В. Григорьев, А. В. Занин

Математическая модель рабочих процессов поршневой гибридной энергетической машины объемного действия с уменьшенными колебаниями давления газа в линии нагнетания

В работе рассмотрена новая схема уменьшения колебаний давления на линии нагнетания газа в компрессорной секции гибридной энергетической машины, выделены основные контрольные объемы для компрессорной и насосной секций. На основе общих законов сохранения энергии, массы, движения и уравнения состояния разработана математическая модель для расчета контрольных объемов компрессорной секции постоянного и переменного объемов. На основе использования уравнения сплошности движения и энергии, с учетом потерь энергии на трение и внешний теплообмен, разработана математическая модель течения газа в межступенчатых коммуникациях компрессорной секции. На основе использования уравнений Гука массы, объема и движения разработана математическая модель работы компрессорной секции в насосном режиме. Рассматривая течение жидкости в соединительных трубопроводах как квазистационарное, проведен их расчет на основе использования уравнений Бернулли. Разработанные математическая модель и принципиальная схема могут быть использованы при расчете новых эффективных конструкций как поршневых компрессоров, так и гибридных энергетических машин.

Ключевые слова: поршневой компрессор, поршневой насос, колебания давления, гибридная энергетическая машина, поршень, цилиндр.

АВИАЦИОННАЯ И РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКАЯ ТЕХНИКА

В. Н. Блинов, А. И. Лукьянчик, В. В. Шалай

Методика выбора основных проектных параметров малого разгонного блока методом случайного поиска

Значительное количество основных проектных параметров малого разгонного блока для группового выведения малых космических аппаратов с двигательной установкой с вытеснительной системой подачи топлива обуславливает актуальность использования метода случайного поиска. Целью работы является создание методики выбора основных проектных параметров малого разгонного блока методом случайного поиска. Математическая

модель на основе габаритномассовой модели расчетного определения масс обеспечивает выбор оптимальной массы разгонного блока с учетом сложных связей исследуемых параметров.

Ключевые слова: адаптер, малый космический аппарат, малый разгонный блок, основные проектные параметры, метод случайного поиска.

В. И. Трушляков, В. А. Урбанский

Исследование параметров процессов испарения невырабатываемых остатков жидкого топлива в баках отделяющейся части ступени ракеты-носителя в условиях невесомости

Предлагается методика исследования процесса испарения невырабатываемых остатков компонентов ракетного топлива в отработавшей ступени в условиях невесомости. В качестве граничных условий остатков жидких компонентов ракетного топлива рассмотрено два варианта: а) капельное распределение жидкости в N одинаковых каплях, поверхность которых уменьшается в процессе испарения и б) расположение жидкости в нижнем днище бака и наличие зеркала, площадь которого уменьшается в процессе испарения. В качестве теплоносителя, подаваемого в топливный бак, используется высокотемпературный поток продуктов разложения перекиси водорода. Физико-математическая модель процесса испарения жидкости основана на первом законе термодинамики. На основе анализа критериев Фруда, Грасгофа, предположении об отсутствии конвекционного движения внутри капли (число Рэлея меньше критического) для обоих вариантов граничных условий коэффициент теплоотдачи парогазовой смеси (ПГС), получающейся в баке, определяется на основе регрессионной зависимости, полученной в наземных условиях как функции от чисел Нуссельта, Рейнольдса, Прандтля. Проведены сравнения параметров парогазовой смеси для рассматриваемых вариантов граничных условий и предложенной физико-математической модели с результатами, полученными ранее, для варианта граничных условий равномерного распределения жидкости по внутренней стенке бака (третий вариант граничных условий) и использованием теории пограничного слоя на основе интегральных соотношений импульсов, энергии и диффузии. Приведены теплофизические параметры парогазовой смеси и скорости истечения парогазовой смеси для кислорода, керосина для двух типов граничных условий на примере топливных баков ракеты-носителя типа «Союз-2.1.в». Общая масса конструкции системы испарения остатков компонентов ракетного топлива менее 1,3% от общей массы конструкции «сухой» отработавшей ступени.

Ключевые слова: отработавшая ступень ракеты, жидкие остатки топлива, перекись водорода, теплоноситель, испарение.

Б. Т. Суйменбаев, В. И. Трушляков, Г. Т. Ермолдина, Ж. Б. Суйменбаева, А. М. Бапышев

Концепция снижения техногенного воздействия пусков перспективной ракеты-носителя «Иртыш» в районах падения космодрома Байконур

Рассмотрены научно-методические подходы к минимизации техногенного воздействия пусков перспективных ракет-носителей типа «Иртыш» кислородно-керосиновыми маршевыми жидкостными ракетными двигателями космического ракетного комплекса Байтерек в районах падения космодрома Байконур. В качестве базовых направлений снижения техногенного воздействия отработавшего ускорителя первой ступени ракет-носителей типа «Иртыш» в районах падения приняты: определение оптимальных участков для падения отработавшего ускорителя в выделенных зонах районов падения, обладающих наибольшей устойчивостью

и минимальной стоимостью работ на восстановление почвогрунтов участка падения отработавшего ускорителя в исходное состояние — (А); управляемый спуск отработавшего ускорителя после отделения от ракет-носителей в выделенный участок падения с точностью, не превышающей размеры выделенного оптимального участка — (Б). Для решения задач направления А предлагается создание дополнительной информационно-аналитической системы района падения. Для решения задач направления Б предлагаются возможные проектно-конструкторские решения, основанные на испарении невырабатываемых жидких остатков топлива в баках отработавшего ускорителя, и использовании полученных парогазовых смесей для управляемого спуска отработавшего ускорителя в выделенную зону районов падения.

Ключевые слова: отработавшая ступень ракеты-носителя, информационно-аналитическая система, оценка экологического воздействия, пироженное воздействие.

В. С. Корнеев, С. А. Корнеев

Расчётно-экспериментальный метод определения начальных геометрических параметров резинокордных оболочек вращения

Представлен расчётно-экспериментальный метод определения в явном виде начальных распределений угла наклона нитей корда, шага между ними, объёмных долей нитей корда и резины в резинокордном композите вдоль меридиана оболочки вращения. Предварительно изложена краткая теория метода, разработанная ранее с участием одного из авторов. Основное внимание уделено процедуре подготовки образцов, порядку проведения измерений и математической обработке первичных данных для установления усреднённых значений угла наклона и шага нитей корда на экваторе оболочки. Практическое применение предложенного расчётно-экспериментального метода проиллюстрировано на примере резинокордной оболочки баллонного типа модели Н-50. Результаты проведённого исследования представляют интерес при проектировании систем ударовиброзащиты технических объектов, таких как подземные и подвижные комплексы пусковых установок стратегических ракет, радиоэлектронная аппаратура летательных аппаратов и автотранспортные средства общего назначения.

Ключевые слова: резинокордная оболочка, начальные распределения, угол наклона нитей корда, шаг между нитями корда, объёмные доли корда и резины.

В. И. Карагусов

Анаэробные тепловые двигатели внешнего сгорания

Анаэробные, т.е. воздухонезависимые двигатели, находят применение в ракетной и космической технике, на подводных судах и в труднодоступных для регулярного обслуживания наземных объектах. В подавляющем большинстве таких приложений в ракетной и космической технике используются жидкостные и твердотопливные ракетные и реактивные двигатели. В наземных и подводных объектах применяются анаэробные двигатели на атомной энергии, а также дизельные двигатели внутреннего сгорания с запасами топлива и окислителя, зачастую в криогенном виде. Двигатели внутреннего сгорания при всех их преимуществах имеют ряд недостатков, которые отсутствуют в двигателях внешнего сгорания. Двигатели внешнего сгорания на базе пульсационной трубы и термоакустического эффекта являются перспективными для орбитальных, ракетных, подводных бортовых и автономных наземных энергоустановок. В них могут отсутствовать механически подвижные детали и узлы, что определяет длительный ресурс, высокую надежность, минимальные шумы

и вибрации. Для работы такие двигатели могут использовать любое топливо, они практически не требуют обслуживания.

Ключевые слова: анаэробные энергоустановки, бортовые системы, двигатель Стирлинга, пульсационная труба, термоакустическая система.

В. И. Горбунков, В. В. Шалай

Оценка эрозии вольфрамовых электродов электротермического микродвигателя спектрально-оптическим методом

Оценка эрозии вольфрамовых электродов электротермического микродвигателя, работающего на постоянном токе, произведена с применением методов кинетической теории газов на примере аргона, взятого в качестве технологического плазмообразующего газа. Предложен подход к определению газовой температуры электродугового микродвигателя и максимальной скорости истечения газов, позволяющий оценить массовый расход вольфрама за счет эрозии.

Ключевые слова: аргоновая плазма высокого давления, газовая температура, эрозия вольфрамовых электродов, распределение Больцмана, эмиссионная спектроскопия, электродуговой микродвигатель.

В. И. Кузнецов, А. Ю. Шандер

Эффект Гартмана-Шпренгера и его применение на летательных аппаратах

Рассмотрен вопрос влияния вязкости на возникновение в тупиковой полости температуры торможения выше температуры торможения набегающего потока газа, так называемого эффекта Гартмана-Шпренгера. Показано, что эффект Гартмана-Шпренгера может быть применен для создания конструкции противообледенительной системы летательного аппарата.

Ключевые слова: эффект Гартмана-Шпренгера, вязкость, кинетическая энергия, летательный аппарат, противообледенительная система.

Е. В. Шендалева, Х. И. Халимов

Планирование эксперимента при стендовых испытаниях топливорегулирующей аппаратуры

В статье рассмотрены вопросы планирования экспериментов при испытаниях топливорегулирующей аппаратуры газотурбинных двигателей. Несомненна актуальность использования статистических методов и, в частности, планов экспериментов для повышения надёжности и безопасности авиационной техники. Целью статьи является разработка методологических аспектов оценки неопределённости измерения расхода топлива в условиях испытания на полунатурном моделирующем стенде. Предложено использование плана эксперимента для построения статистической модели топливорегулирующей аппаратуры и нахождения неопределённости измерения расхода топлива.

Ключевые слова: планирование экспериментов, топливорегулирующая аппаратура, газотурбинный двигатель, полунатурный испытательный стенд.