

Секция 12**Объекты наземной инфраструктуры
ракетных комплексов****ГАЗОДИНАМИЧЕСКИЕ СХЕМЫ СТАРТА КРК КОСМОДРОМА
«ВОСТОЧНЫЙ»**

*А.В. Сафронов, В.А. Хотулев, Б.Г. Белошенко, Т.В. Шувалова
(ФГУП «ЦНИИмаш», г. Королев)*

А.Б. Бут, Т.О. Абдурашидов

(Филиал ФГУП «ЦЭНКИ» – НИИСК им. В.П. Бармина, г. Москва)

В.И. Хлыбов

(ОАО «ГРЦ Макеева, г. Миасс»)

avsafon@gmail.com

Разработка газодинамических схем стартовых сооружений для перспективных КРК космодрома «Восточный» проведена с использованием научно-технических достижений по газодинамике старта, которые обеспечили создание уникальных стартовых комплексов «Союз», «Протон», «Зенит», «Энергия-Буран». Рекомендованные размеры элементов газодинамических схем выбирались из условий безопасности РКН от ударно-волновых, тепловых и акустических нагрузок, а также оптимальности основных размеров старта в условиях строительства на космодроме «Восточный». Использовались материалы руководств для конструкторов по газодинамике старта ЦНИИмаш и новые методики расчета струйных течений, акустики и теплообмена при старте.

Предложено введение трехуровневой системы подачи воды в газовый поток при которой разработанный вариант стартового сооружения обеспечит приемлемые условия старта для пилотируемых РКН с тягой вплоть до 1400 тонн, включая адаптированные к условиям космодрома «Восточный» РКН «Ангара-5» и «Ангара-7».

Развитие программы создания новых ракетно-стартовых комплексов на полигоне «Восточный» потребовало исследований условий стар-

та, модернизированного в части ДУ РКН «Союз» при ограниченной глубине стартового сооружения. Предложены варианты доработки базового для РКН «Союз» стартового сооружения.

Разработана программа экспериментальной отработки газодинамики старта на основе проведения экспериментов на маломасштабных установках ЦНИИмаш с внедрением методов математического моделирования. Для отработки системы подачи воды в газовые струи предусматриваются фрагментные среднemasштабные эксперименты. Целесообразность проведения крупномасштабных полносистемных испытаний определяется по результатам маломасштабных и среднemasштабных испытаний.

**ФИЗИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ВЛИЯНИЯ ПОДАЧИ ВОДЫ НА АКУСТИКУ
СТАРТА РАКЕТ И ОБОСНОВАНИЕ СИСТЕМЫ ВОДОПОДАЧИ ДЛЯ КРК
КОСМОДРОМА «ВОСТОЧНЫЙ»**

А.Б. Бут, Т.О. Абдурашидов

(Филиал ФГУП «ЦЭНКИ» – НИИСК им. В.П. Бармина, г. Москва)

А.В. Сафронов, В.А. Хотулев, Б.Г. Белошенко, Т.В. Шувалова

(ФГУП «ЦНИИмаш», г. Королев)

avsafiron@gmail.com

Создание перспективных КРК и тиражирование стартов имеющихся РН на космодром «Восточный» требует проведения полного комплекса работ по исследованию газодинамики старта.

При осуществлении запусков пилотируемых кораблей особая роль придается мерам по обеспечению допустимых уровней акустических нагрузок на КГЧ РКН при старте.

В работе проведен анализ источников шумообразования и имеющихся данных по измерениям внешних суммарных и спектральных уровней акустических давлений при старте ракет-носителей. Рассмотрена эффективность систем водоподачи РН «Зенит», «Энергия», «Space Shuttle», «Атлас». Разработаны предложения и схемные решения 3-х ярусной системы водоподачи. При этом каждый из ярусов выполняет отдельную функциональную задачу: 1-й ярус - система подачи воды в струи ДУ, предназначен для снижения уровней ударно-волновых давлений (УВД) при запуске ДУ и снижения тепловых нагрузок на газоотражатель; 2-й ярус – система создания водяной завесы в стартовом проеме и вокруг струй ДУ, обеспечивает снижение уровней УВД и акустических нагрузок в период запуска ДУ и начального движения

РКН при выходе из ПУ; 3-й ярус – система создания водяной завесы над поверхностью ПУ, предназначен для снижения акустических нагрузок при начальном подъеме РКН (до 40-50 м) при боковых смещениях. Эффективность данной схемы многоярусной системы водоподдачи в части снижения акустических нагрузок на КГЧ РКН ожидается порядка 8-12 дБ, что, в совокупности с конструктивными решениями по ПУ, гарантирует их снижение ниже допустимых уровней.

В связи со сложностью акустических процессов при старте ракет, в особенности с применением систем водоподдачи, исследования акустики старта проводятся экспериментально. Представлены программа модельных испытаний и состав стендов для подтверждения предложений по системе водоподдачи для КРК «Восточный».

**РАСЧЕТ РЕЖИМОВ РАБОТЫ И ПРОФИЛЕЙ СОПЕЛ ДЛЯ ОМПЛЕКСА
УСТАНОВОК ПО ОТРАБОТКЕ ГАЗОДИНАМИКИ СТАРТА РАКЕТ**

А.В. Сафронов

(ФГУП «ЦНИИмаш», г. Королев)

А.В. Кузнецов

(Филиал ФГУП «ЦЭНКИ» – НИИСК им. В.П. Бармина, г. Москва)

В.А. Вотяков, К.В. Ганзюк, Б.А. Ремень

(МГТУ им. Баумана)

avsafon@gmail.com

Сверхзвуковые высокоэнтальпийные струи двигательных установок ракет, взаимодействуя с конструкцией стартового сооружения, создают значительные ударные, квазистационарные, тепловые и акустические нагрузки на ракету, оказывающие зачастую решающее влияние на работоспособность системы в целом. Из-за сложности физических процессов, обусловленных неоднородностью и высокой степенью турбулентности струйного потока, многокомпонентностью состава продуктов сгорания топлив двигательных установок, влиянием догорания, а также другими факторами, решение вопросов отработки газодинамики старта расчётным путем в настоящее время не представляется возможным. Поэтому приоритетное значение имеют методы физического моделирования газодинамики старта с использованием комплекса установок для отработки процессов на моделях конструкции ПУ и РКН (масштаба от 1:10 до 1:100). В каждом случае состав стендов, масштаб и количество испытаний требуют научно-экономического обоснования.

В работе приведены методики расчета режимов работы и профилирования сопел для комплекса установок отрасли по отработке газодинамики старта ракет (стенды ЦНИИмаш У-2ГД, ПВК, ТТ и стенды НИЦ РКП ГУС, УТТС), в зависимости от рабочих тел стендов (воздух, ЖРД керосин-воздух, твердое топливо). Приводится сравнительный анализ характеристик струй натуральных и модельных ДУ для пересчета модельных данных на натурные условия.

Методология ЦНИИмаш физического моделирования на комплексе стендов и пересчета модельных данных на натурные условия позволяет прогнозировать газодинамическое нагружение конструкции РКН и ПУ при старте.

АВТОКОЛЕБАНИЯ ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ МНОГОБЛОЧНЫХ СТРУЙ ДВИГАТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ РАКЕТ СО СТАРТОВЫМ СООРУЖЕНИЕМ

Меркулов Е.С., Хлыбов В.И.

(ОАО «ГРЦ Макеева», г. Миасс)

Сафронов А.В.

(ФГУП «ЦНИИмаш», г. Королев)

mes1@yandex.ru

В настоящее время получено большое количество экспериментальных данных по характеристикам газодинамических нагрузок на элементы ракет космического назначения (РКН) стартовых сооружений (газоходы и др.). Однако автоколебательные процессы при старте изучены не достаточно.

Проведено математическое моделирование процесса запуска двигательной установки (ДУ) РКН, установленной на одном из вариантов полузаглубленного стартового комплекса (СК). Моделирование проводилось на основе решения нестационарных уравнений Навье-Стокса с помощью метода контрольного объема с учетом трехмерной геометрии и реальной циклограммы выхода двигателя на режим. Замыкание системы уравнений осуществлялось с помощью модели турбулентности $k-\varepsilon$, модифицированной для расчета сверхзвуковых струйных течений. Проведено тестирование расчетной методики и применяемой модели турбулентности путем сравнения расчетных и имеющихся экспериментальных данных для свободных холодных и горячих струй.

В ходе расчетов получено периодическое, с числами Струхала $Sh \approx 0,15$, газодинамическое воздействие на донный экран, боковую поверхность РКН и СК. Установлено, что данный эффект связан с автоколе-

баниями многоблочных струй при их взаимодействии с газоотражателем стартового сооружения при острых углах натекания струй ($\alpha=30^\circ$).

Измерения акустических давлений, проведенные в ЦНИИмаше с помощью моделей РКН и СК масштаба М1:40 на ЖРД стенда ПВК с рабочим телом керосин-воздух подтвердили полученную в расчетах дискретную составляющую при аналогичных числах Струхала.

Приведенные данные требуют дальнейшего расчетно-теоретического и экспериментального подтверждения.

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИЕЙ ВОЗВРАЩАЕМЫХ РАКЕТНЫХ БЛОКОВ МНОГОРАЗОВОЙ РАКЕТЫ КОСМИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ ПРИ МЕЖПОЛЕТНОМ ОБСЛУЖИВАНИИ

Серикова А.И.

(ФГУП ЦНИИмаш)

alla7371@ya.ru

Многоразовая ракета космического назначения (МРКН) – частично многоразовое средство выведения КА нового поколения. МРКН включает в свой состав два возвращаемых ракетных блока (ВРБ) многоразового использования и одноразовую вторую ступень.

ВРБ представляет собой крылатый летательный аппарат, способный в автоматическом режиме совершать устойчивый, управляемый полет в широком диапазоне высот и скоростей при продолжительном крейсерском полете с воздушно реактивными двигательными установками и посадкой на взлетнопосадочную полосу заданного аэродрома.

Запуски МРКН планируется осуществлять с космодрома «Восточный». Исходя из этого при создании космодрома «Восточный» необходимо учитывать организацию межполетного обслуживания (МПО), как стадию цикла эксплуатации ВРБ, поскольку оно влияет на проектный облик самого космодрома и эффективность использования МРКН.

В обеспечение эффективной эксплуатации ВРБ при проведении МПО предполагается система управления этим процессом, которая позволит сформировать рекомендации по составу и расположению наземной космической инфраструктуры необходимой для МПО.

Предметом доклада являются основные принципы для формирования системы управления эксплуатацией ВРБ при МПО, регламент (порядок) принятия решения о допуске ВРБ к следующему запуску.

В настоящее время, когда проектно-конструкторские работы по созданию МРКН находятся на начальном этапе, особенно важно особенностям организации МПО, исходя из проведенного анализа, уменьшить, по возможности, стоимость и срок обслуживания.

СОЗДАНИЕ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО СТЕНДА ДИНАМИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ

**д.э.н. А.Г. Варочко, д.т.н. А.И. Забегаев
(Филиал ФГУП «ЦЭНКИ»- КБ Мотор, г. Москва)**

Целью создания стенда является обеспечение динамических испытаний изделий ракетно-космической техники на ударные воздействия, а также испытаний амортизаторов и систем амортизации гидравлического и пневмогидравлического типов в режимах скоростного нагружения.

Стенд содержит пространственную рамную конструкцию, установленную на силовом полу и раскрепленную к силовой стене в испытательном зале, силовозбудитель, тормозное устройство - формирователь ударной нагрузки, замковое устройство и испытательную платформу маятниковой конструкции. Схема стенда представлена на рисунке.

Особенностями стенда является применение качающейся – маятниковой платформы в виде коромысла, установленного на опорном узле, применение пневмогидравлического силовозбудителя с толкающим усилием от 25 до 100 тс с рабочим ходом до 1000 мм. Силовозбудитель постоянно заряжен азотом с давлением до 250...300 ати и содержит в своей конструкции демпфирующие узлы, гасящие обратный отскок коромысла после удара в тормозное устройство. Силовозбудитель имеет ступенчатую характеристику толкающего усилия и выполнен по двухштоковой схеме. После срабатывания силовозбудителя с помощью гидравлического привода производится его взведение в пусковом положении. Угол поворота платформы стенда $\pm 10^\circ$ относительно исходного положения. Спусковое устройство обеспечивает спуск платформы во всем диапазоне углов ее поворота.

Стенд рассчитан на воспроизведение ударных импульсов в расширенном диапазоне длительностей и амплитуд ударных нагрузок. Для формирования импульсов миллисекундной длительности в стенде применен контур преобразования динамической нагрузки. В состав стенда входят пневмосистема питания силовозбудителя и пневмоавтоматики спускового устройства, также развитая гидросистема, циф-

ровая система измерения и регистрации динамических и статических параметров: давлений, перемещений, ускорений и сил.

При проектировании стенда выполнен большой объем динамических расчетов с целью оптимизации конструкции и обеспечения заданного диапазона испытательных режимов. Динамические и статические расчеты проводились в программной среде SADAS. Стенд может воспроизводить ударные импульсы полусинусоидальной формы с длительностями от 2,0...2,5 мс до 50...100 мс при скоростях нагружения до 5...6 м/с и обеспечивать скоростной режим испытаний амортизаторів до 2,0...4,0 м/с при грузоподъемности амортизаторов 30...50 тс.

В стенде в зависимости от задач испытаний используются три типа формирателей ударной нагрузки:

- для создания импульсов миллисекундной длительности – контур динамического преобразования нагрузки в сочетании с резино-металлическим буфером – ограничителем хода платформы с достижением ударных ускорений до 200...400 g;

- для длительностей от 10...12 до 30...40 мс – тормозное устройство с резинометаллическими, полиуретановыми и свинцовыми элементами;

- для длительностей от 20...30 до 50...100 мс – гидравлический буфер-амортизатор.

Масса изделий при испытаниях на удар – до 1000кг. Динамическое усилие при испытаниях амортизаторов – до 50...100 тс.

Кроме задач динамических испытаний стенд обеспечивает испытания амортизаторов в статических режимах, включая получение статических характеристик.

Стенд спроектирован, изготовлен и применяется для испытаний в филиале ФГУП «ЦЭНКИ»-«КБ Мотор». В конструкцию стенда заложен потенциал модернизации под расширение задач и режимов испытаний.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЕСОВОЙ НАГРУЗКИ ПРИ ДИНАМИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЯХ СИСТЕМ АМОРТИЗАЦИИ

д.э.н. А.Г. Варочко, д.т.н. А.И. Забегаев

(Филиал «ФГУП ЦЭНКИ»- КБ Мотор, г. Москва)

Цель работы – создание средств имитации веса амортизируемого объекта при динамических испытаниях систем амортизации.

При отработке систем амортизации пневмогидравлического типа необходимо создание весовой нагрузки как одного из факторов моделирования при испытаниях.

При весовой нагрузке 30...60 тс моделирование веса объекта в стендовых условиях представляет серьезную проблему.

Требуется создание металлоемких весовых макетов и конструкций для их установки в составе испытательного стенда или создание специальных быстродействующих следящих систем, что сопряжено со значительными затратами.

Для практического решения проблемы предложено моделирование веса с помощью пневмоцилиндра с низкой упругой жесткостью силовой характеристики, создающего нагрузку, равную весу объекта, и вызывающего начальное сжатое (растянутое) состояние системы амортизации и создающего моделированную весовую нагрузку в процессе рабочих ходов системы амортизации.

При динамическом нагружении и возникновении рабочего хода системы амортизации происходит адиабатическое расширение объема газовой полости в пневмоцилиндре и снижение моделирующей силы. Задавая начальный объем газовой полости, можно получить требуемый (допустимый) закон падения моделирующей силы. На практике при приемлемых габаритах и затратах снижение величины моделирующей силы при развитии ходов системы амортизации может быть доведено до уровня не более, чем 10...15% относительно начального значения весовой нагрузки. Регулировка упругой жесткости в характеристике моделирующей силы может производиться дискретно изменением объема рабочей жидкости, подаваемой в полость пневмоцилиндра при подготовке эксперимента. На начальных участках динамической характеристики системы амортизации в фазе максимальной скорости рабочий ход амортизаторов и соответственно ход пневмоцилиндра не максимальны и составляют 5...20% максимального хода, что уменьшает влияние падающего по ходу амортизаторов характера моделирующей силы. Для учета влияния, создаваемого падением моделирующей силы, и корректировки динамической характеристики системы амортизации, получаемой в эксперименте, производится динамический расчет системы «стенд - система амортизации - пневмоцилиндр», в котором учитывается динамическая характеристика пневмоцилиндра.

Для расширения диапазона моделирования пневмоцилиндр может быть сообщен с дополнительным пневмоаккумулятором, установ-

лен-ным на стенде или вне стенда. Для создания необходимого давления в пневмоцилиндре в состав динамического стенда вводится система питания азотом. Рабочее давление в пневмоцилиндре от 100 до 300 ати. Расчетный объем рабочей жидкости в пневмоцилиндре составляет 0,5...1,0 % от объема газа.

МОДИФИКАЦИЯ ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА ДЛЯ ПЕРЕВОЗКИ ДЛИННОМЕРНЫХ ГРУЗОВ БОЛЬШОЙ МАССЫ

П.П. Мишин

(филиал ФГУП "ЦЭНКИ"- НИИСК им. В.П. Бармина)

MishinPP@yandex.ru

Транспортировка грузов - довольно сложный процесс, в котором особый интерес представляет техника, осуществляющая доставку оборудования большой массы и габаритов. Зачастую несущие системы таких агрегатов для перестраховки проектируют с избыточным запасом прочности, что ведет к увеличению массы всей транспортной системы.

В современных условиях целесообразнее либо проектировать универсальное транспортное средство под широкий круг перевозимых изделий, либо модифицировать ранее спроектированные и изготовленные транспортные средства для более широкого круга перевозимых грузов и условий эксплуатации. Последнего можно добиться прежде всего за счет снижения массы самого транспортного средства. При этом необходимо отказаться от первоначально заложенных избытков прочности, а также учесть тот факт, что изменяемые дорожные условия приводят к повышенным динамическим воздействиям.

В данной работе рассматривается модификация рамы транспортно-ровочного агрегата, предназначенного для перевозки длинномерных (от 4 до 10 метров) грузов большой массы (до 10,5 тонн). Усовершенствование осуществляется путем варьирования жесткостными параметрами несущих элементов рамы для обеспечения ее минимальной массы при вполне приемлемых показателях прочности, жесткости и долго-вечности. Задача решается посредством исследования прочности рамы как целостного объекта. При этом в основе решения лежит разработка математической модели конструкции по методу конечных элементов в рамках программного комплекса MSC.NASTRAN.

В результате проведенных модификаций рамы получены адекватные многократным испытаниям аналогичных изделий результаты: значения интенсивностей напряжений, перемещения для всех узловых

точек. Также были вскрыты значительные резервы прочности и жесткости во всех элементах конструкции. Предложенные модификации способствуют уменьшению массы рамы транспортного устройства более чем в 2 раза при сохранении его прочностных и жесткостных показателей.

СИСТЕМЫ НАЗЕМНОГО ОБОРУДОВАНИЯ, ОТВОДИМЫЕ ОТ БОРТА РКН ПРИ ПУСКЕ

А.В. Патай

(филиал ФГУП "ЦЭНКИ" - НИИСК им. В.П. Бармина)

PatayAlexey@gmail.com

За все время создания ракетно-космической техники основные пути ее развития с целью обеспечения ряда факторов (экономические, экологические, надежность) можно сгруппировать в следующем виде: постоянное повышение надежности РКН; повышение грузоподъемности РКН в рамках одного класса; универсальность (частичная универсальность) космического ракетного комплекса; снижение количества ручных операций при обслуживании РКН на стартовом комплексе; снижение газодинамических, тепловых, акустических нагрузок на РКН при пуске.

Реализация намеченных задач, как правило, обеспечивается за счет следующих технических решений: перенос с борта РКН на элементы наземного оборудования части пневмогидравлической системы (ПГС) РКН с возможностью его дублирования; размещение на наземном оборудовании систем и механизмов, обеспечивающих коммуникациями различные РБ и КА; введение в состав наземного оборудования систем и механизмов обеспечивающих автоматизированный подвод и отвод коммуникаций, в том числе и при пуске РКН; введение в конструкцию пускового стола опорной системы РКН, способной отводиться при пуске РКН для обеспечения беспрепятственного течения струй двигательной установки в стартовом проеме.

Таким образом, в составе наземного оборудования появляются системы, выполняющие операции по обеспечению различных связей (гидравлических, пневматических, электрических, механических) борту и их отвода по командам.

Для выполнения данных операций такая система должна обладать рядом приводов и устройств для обеспечения отвода и подвода, обеспечения прокладки и защиты коммуникаций от внешних воздействий,

управлением операциями по заправке и т.д. при этом отвечать требованиям безопасности отвода без соударения, обеспечить многоразовое использование и удобную эксплуатацию. Такие системы представляют значительный интерес для их исследования и систематизации с целью формирования методик создания и обеспечения их высокой функциональности и надежности в заданных условиях.

**ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОЧНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ
АГРЕГАТОВ СТАРТОВЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ РКН
СЕМЕЙСТВА «СОЮЗ»**

В.А. Зверев, В.В. Ломакин, А.В. Ульяенков, А.В. Языков
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)

sm8@sm8.bmstu.ru

В соответствии с перспективными программами по развитию средств выведения предусматривается несколько этапов модернизации ракет-носителей (РН) серии «Союз», что позволит обеспечить их дальнейшую востребованность в российских космических программах, а также программах международного сотрудничества в области освоения и использования космического пространства.

Разрабатываемые варианты РН «Союз» имеют отличные от эксплуатируемых характеристики по стартовой массе и тяге двигательной установки (ДУ), что требует проведения расчетов для обоснования несущей способности конструкций агрегатов существующих и вновь создаваемых стартовых комплексов (СК).

Опыт расчетов агрегатов СК показал, что оценка их несущей способности на основе анализа общей прочности возможна лишь на начальных этапах проектирования. Во всех остальных случаях для обоснования несущей способности необходимо определять местную прочность конструкций агрегатов СК.

В работе приводятся результаты расчета местной прочности элементов кабель-заправочной мачты (КЗМ) для РН семейства «Союз» при действии на нее собственного веса и газодинамической струи ДУ РН.

Расчет проводится на основе метода конечных элементов. На первом этапе проводится оценка общей прочности конечноэлементной модели КЗМ в целом. Модель создается на основе стержневых и пластинчатых конечных элементов и имеет относительно небольшую размерность. По результатам этой оценки определяются области, включающие в себя элементы с наименьшим коэффициентом запасом по

прочности. Затем осуществляется расчет местной прочности подробных конечноэлементных моделей выбранных областей КЗМ. Граничные условия для этих моделей задаются также на основе расчета общей прочности модели КЗМ в целом.

Результаты работы были использованы при модернизации агрегатов существующего СК для РН «Союз-2» под обслуживание перспективного РН «Союз-2» этапа 1в. По результатам проведенных расчетов предложены технические решения, направленные на обеспечение прочности КЗМ, которые были приняты разработчиками с внесением соответствующих изменений в конструкторскую документацию.

АКТИВНАЯ МАГНИТОЖИДКОСТНАЯ СИСТЕМА ВИБРОИЗОЛЯЦИИ

С.В. Рулев, А.С. Рулев, А.Н. Сова, Р.Б. Борисов, В.В. Солдатов
(Военная академия РВСН им. Петра Великого)

brb777@rambler.ru

Современный рынок космических услуг диктует свои жесткие условия, а именно требует снизить затраты на изготовление космического аппарата (КА) и сократить сроки его подготовки к запуску, сохранить гарантии качества КА на всех этапах эксплуатации, в том числе в процессе транспортировки на космодром запуска.

При транспортировке КА должны обеспечиваться следующие комфортные условия: температура воздуха внутри контейнера 5...35°C, относительная влажность не более 55% при температуре 20°C, чистота воздуха соответствующая классу чистоты 8 по ГОСТ КСО 14644-1-2002, нормированные эксплуатационные значения коэффициента перегрузки с учетом коэффициента безопасности 2.0. Указанные условия при транспортировке железнодорожным транспортом должен обеспечиваться при следующих параметрах наружной среды: температуре от минус 40 до плюс 50°C, относительной влажности до 100%, скорости ветра до 20 м/с.

Для обеспечения комфортных условий при транспортировке КА в состав транспортных контейнеров (ТК), как правило, включают систему обеспечения температурно-влажностного режима (СОТВР), систему наддува (СН), реже систему амортизации (СА) или систему виброизоляции.

Основными причинами отказа от использования СА являются габариты элементов СА, широкий амплитудно-частотный спектр (АЧС) механических колебаний (вибраций) во время транспортировки, огра-

ничения по габаритам перевозимых грузов на железнодорожном и автомобильном транспорте, предъявляемые МПС и действующим законодательством РФ.

Использование пассивных пневмо- и гидровиброизоляторов, а также тросовых виброизоляторов не представляется возможным в виду их узкого рабочего диапазона и существенных габаритов. Поэтому вопрос эффективной защиты крупногабаритных КА от механических воздействий, ударов и вибраций при транспортировке до настоящего времени остается открытым.

Значительными преимуществами при обеспечении требуемого уровня снижения нагрузок в условиях интенсивного динамического воздействия имеют активные (управляемые) системы виброизоляции (УСВ). Они представляют собой системы автоматического управления виброзащитой объекта с целью снижения вибраций до допустимого уровня в определенных точках за заданное время в широком АЧС внешних воздействий.

Поскольку УСВ имеют внешние источники энергии, то их классифицируют как активные виброизоляционные системы (АВС).

Они используются в станкостроении при виброизоляции прецизионного оборудования; в ракетостроении - для виброизоляции стартовых платформ, технологического оборудования и радиоэлектронной аппаратуры (РЭА); на транспорте – для защиты кресла водителя и повышения плавности хода транспортных средств.

Однако практическое применение АВС затрудняется как специфическими требованиями к надежности, стоимости, простоте обслуживания, затратами энергии, так и отсутствием четкого обоснования тактико-технических требований (ТТТ) к ним.

В связи с возрастанием требований к надежности и безотказности при транспортировке крупногабаритных КА, повышения эффективности их эксплуатации и применения по назначению, которые определяются прежде всего быстродействием и энергозатратами, наиболее перспективными средствами виброизоляции являются управляемые виброизоляторы на магнитной жидкости (МЖ).

МЖ как рабочее тело управляемого виброизолятора представляет собой взвешенный раствор частиц ферромагнитного материала диаметром $10^{-6} \dots 10^{-10}$ м в обычной немагнитной жидкости. При воздействии внешнего магнитного поля магнитные частицы образуют мгновенно (в течение 0,0001..0,0005 с) вдоль силовых линий поля прочные цепи и

МЖ «затвердевает» (управляемый клапан). Стоит полю исчезнуть, как состав снова обретает текучесть. Таким образом, МЖ позволяют осуществить непосредственную стыковку электрических сигналов управления, в том числе каналов микропроцессора, с гидравлическими каналами исполнительных устройств систем виброизоляции без промежуточных механических элементов (сопло-заслонка, клапан и т.п.).

Проведенные авторами теоретические и экспериментальные исследования упругих, демпфирующих, амплитудно-частотных характеристик ряда магнитожидкостных виброизоляторов, оценка точности и устойчивости работы УСВ с МЖ показали реальную возможность четкого обоснования ТТТ и разработки активных магнитожидкостных систем виброизоляции КА в процессе транспортировки железнодорожным транспортом на космодром запуска.

АКТИВНОЕ ДЕМПФИРОВАНИЕ КОЛЕБАНИЙ НА БАЗЕ НЕВМОУСТРОЙСТВ

Г.С. Аверьянов, Р.Н. Хамитов, В.Н. Бельков, А.А. Перчун

(ОмГТУ, г. Омск)

apple_27@mail.ru

Создание упругих и демпфирующих элементов систем амортизации, способных защитить стартовые ракетные комплексы от ударов и вибрации одновременно и обладающих ограниченными размерами – сложная техническая проблема, правильное решение которой возможно только при всестороннем учете характера возмущений и конструктивных свойств самих амортизационных систем. Использование пневматических упругих элементов с резинокордными оболочками в системах поддрессоривания транспортных средств и в системах амортизации (СА) фортификационных сооружений стимулировало создание нового способа демпфирования колебаний, основанного на управлении характеристикой восстанавливающей силы пневмоэлемента. Управляемые пневмоамортизаторы (ПА) могут наиболее полно удовлетворять требованиям СА, т. к. обеспечивают регулирование упруго-демпфирующих характеристик, хорошую виброзащиту. В качестве рабочего тела в них используется лишь одна фаза – газ, благодаря чему нет необходимости выполнения отдельных демпфирующих устройств. При активном управлении упругодемпфирующих характеристик масса газа будет переменной вследствие сообщения объемов пневмоэлемента с атмосферой или с другими источниками энергии.

Предложены запатентованные технические решения ПА с активной системой управления, где демпфирование колебаний объекта осуществляется периодическим уменьшением и восстановлением упругой составляющей основного упругого элемента, в противофазе движению объекта.

Для анализа динамики амортизируемых объектов с активной системой демпфирования построена математическая модель, включающая уравнение динамики вертикальных колебаний АО и уравнения процессов наполнения и опорожнения ПА. Исследование модели при свободных колебаниях показало возможность увеличения коэффициента поглощения энергии колебаний основного элемента до значения 0,8...1 при различных значениях давления газа дополнительного источника (ресивера).

**ПРОБЛЕМНЫЕ ВОПРОСЫ ФОРМИРОВАНИЯ МЕТОДОЛОГИИ
ПОСТРОЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ РАКЕТНЫХ
КОМПЛЕКСОВ СТРАТЕГИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

И.А. Сальников, М.М. Шепилов
(ВА РВСН имени Петра Великого)

rolekst@mail.ru

В настоящее время, в состав ракетного комплекса в качестве технических средств эксплуатации используются технологическое оборудование на подвижных средствах различного назначения. Область их использования ограничена, как правило, особенностью выполняемых технологических операций и грузоподъемностью данных средств.

По функциональному назначению оборудование можно разделить на подъемно-перегрузочное, транспортно-установочное, стыковочно-монтажное, термостатирования и осушки, заправки сжатыми газами, техническими жидкостями и др. При этом большое число данных средств выполняют уникальные или специфичные только для них операции. При постановке РК СН изыскания по оптимизации и унификации данных операций не проводилось, что существенно увеличило число подвижных агрегатов находящихся в районе, а следовательно и увеличивало стоимость эксплуатации РК СН в целом.

К настоящему времени накоплен большой объем экспериментальных и теоретических данных, позволяющих унифицировать данные агрегаты, или обосновать совмещение операций. Кроме того, совершенствование в области грузоподъемных машин позволяет существен-

но снизить массу и габариты подобного технологического оборудования, повысить их компактность и позволяет выполнять сложные технологические операции в ограниченном объеме.

Анализ выполнения работ по устранению неисправностей позволяет сделать вывод о трудностях при выполнении некоторых операций по замене блоков и устройств из-за их труднодоступности и большого веса конструкции. При этом изменить вес устройства или положения блока не представляется возможным. Однако используя специальное оснащение возможно существенно облегчить эту работу и существенно сократить количество личного состава, привлекаемого для этих работ.

Основными направлениями совершенствования технологического оборудования подобных систем являются:

1. Формирование методов, основанных на решении обратных задач динамики и декомпозиция управляющих сигналов;
2. Формирование силовой обратной связи;
3. Динамическое планирование движения с учётом динамических ограничений;
4. Проблем реализуемости, модульности и расширяемости.

АНАЛИЗ ВАРИАНТОВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРНО-ВЛАЖНОСТНОГО РЕЖИМА ШАХТНЫХ ПУСКОВЫХ УСТАНОВОК

А.А. Сошников, В.В. Чугунков

(Филиал ФГУП «ЦЭНКИ»- КБТХМ г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана)

sm8@sm8.bmstu.ru

Необходимость решения задач обеспечения требуемых параметров обеспечения температурно-влажностных режимов (ТВР) шахтных пусковых установок (ШПУ) обусловлена требованиями к стабильным условиям функционирования находящихся в постоянной работе в процессе боевого дежурства приборов и аппаратуры шахтных ракетных комплексов стратегического назначения, что являются одной из важных задач в проблеме создания и надежной эксплуатации отечественных ракетно-ядерных средств сдерживания, т.е. в конечном итоге для обеспечения стратегической безопасности страны в современных условиях и в будущем.

Для поддержания температурно-влажностного режима оборудования ШПУ в процессе боевого дежурства в составе ракетных комплексов применяются специальные активные системы обеспечения ТВР. Данные системы должны обеспечивать заданные температурный и

влажностный режимы ШПУ с постоянно функционирующей аппаратурой систем управления и связи с высокими показателями надежности и ресурса.

Приводится анализ вариантов построения и режимов работы систем обеспечения температурно-влажностного режима ШПУ и путей их совершенствования с учётом опыта экспериментальной отработки и эксплуатации.

Показано, что эффективное поддержание ТВР в ШПУ не представляется в настоящее время возможным без использования подвижных агрегатов, что связано с экономической нецелесообразностью сооружения высокопроизводительных систем обеспечения ТВР на каждом объекте. Таким образом, совершенствование систем обеспечения ТВР ШПУ может быть эффективно при совместном совершенствовании подвижных агрегатов и технологий взаимодействия с ними.

АНАЛИЗ ПРИЧИН ВОЗНИКНОВЕНИЯ ЯВЛЕНИЯ «РОЛЛОВЕР» В СИСТЕМАХ ХРАНЕНИЯ СЖИЖЕННОГО ПРИРОДНОГО ГАЗА

Н.С. Королев

(МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва)

hocleric@rambler.ru

Для обеспечения безопасности на стартовых ракетных комплексах, при использовании такого нового альтернативного топлива как сжиженный природный газ (СПГ), необходимо определить все возможные риски. Уникальным для данного компонента является явление «ролловер», возникающего при дозаправке емкости системы заправки новой дозой, физические параметры которой отличаются от имеющейся. По этой причине происходит стратификация СПГ на два горизонтальных слоя.

Нижний слой за счет внешнего теплопритока перегревается и аккумулирует часть тепла, не успевая передать его на верхний.

При выравнивании плотностей происходит мгновенное перемешивание, а накопленное тепло уходит на фазовый переход части жидкости, тем самым увеличивая давление в газовой подушке. Такой неконтролируемый рост давления может привести к повреждению хранилища и самой системы заправки.

Так как СПГ является многокомпонентной смесью, необходимо определить основные компоненты ракетного топлива, оказывающие существенное влияние на возникновение стратификации хранимого

продукта в емкости системы заправки. Поскольку нами рассматривается СПГ в качестве ракетного топлива, согласно принятой нормативной документации вводятся ограничения на его химический состав.

Для описания явления «ролловера» используются дифференциальное уравнение сохранения энергии с учетом массообмена в области термодинамики необратимых процессов.

С учетом ряда допущений, были проанализированы различные компоненты входящие в смесь СПГ, и выявлено, что наибольший эффект на возникновение явления «ролловера» оказывает пара метан-этан, из-за большей начальной концентрации этана по сравнению с другими тяжелыми углеводородами.

Результаты анализа могут быть использованы для дальнейшего изучения явления «ролловер», а так же для непосредственного упрощения математической модели поведения СПГ при образовании стратифицированных слоев в системе заправки на стартовых ракетных комплексах.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА РАКЕТНОГО ТОПЛИВА ПРИ ЗАПРАВКЕ БАКОВ РАКЕТЫ-НОСИТЕЛЯ

А.В. Золин, В.В. Чугунков

(МГТУ им. Н.Э. Баумана)

sm8@sm8.bmstu.ru

Перед заправкой баков ракеты проводится комплекс операций по подготовке компонентов ракетного топлива по различным параметрам, в том числе по температуре. Температурная подготовка важна не только для криогенных продуктов, но и для высококипящих компонентов по ряду причин, в том числе для обеспечения повышения их плотности и уменьшения растворимости воды.

Во время движения компонентов топлива по магистралям заправочных систем реализуются процессы сложного теплообмена с окружающей средой. Кроме того при выполнении заправочных операций, к топливу подводятся тепловые потоки от работающих насосов и трения за счет движения топлива в трубопроводе. Также необходимо учитывать тот факт, что магистральный трубопровод обладает некоторой теплоемкостью, которая может быть значительной при больших расстояниях от хранилищ ракетного топлива до стартового устройства и серьезно повлиять на динамику температуры горючего в процессе заправки.

Наряду с процессом движения по магистралям необходимо рассматривать теплообмен горючего, поступившего в бак ракеты, с корпусом бака и окружающей средой.

Для выбора технического облика и определения рациональных параметров заправочных систем при их проектировании необходимо проводить анализ динамики температуры горючего в процессе заправки с учётом всех перечисленных факторов. Данная задача имеет ряд особенностей, одной из которых является необходимость рассмотреть зависимости температуры от двух переменных (времени и координаты) при движении продукта по магистралям. Другой особенностью данного анализа является расчёт процессов теплообмена для тела переменной массы при моделировании теплообмена горючего в заполняемом топливом баке ракеты.

Приводятся методика проведения численных расчётов и результаты анализ динамики температуры углеводородного горючего в процессе заправки для одного из вариантов заправочной системы с протяженным трубопроводом для перспективного стартового ракетно-космического комплекса космодрома «Восточный».

**ВОПРОСЫ ОРГАНИЗАЦИИ ОХЛАЖДЕНИЯ УГЛЕВОДОРОДНОГО
РАКЕТНОГО ГОРЮЧЕГО В ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТАХ С
ПРИМЕНЕНИЕМ ЖИДКОГО АЗОТА**

Р.А. Гончаров, В.В. Чугунков
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)

sm8@sm8.bmstu.ru

Для обеспечения возможности заправки в бортовые баки ракеты-носителя максимального количества углеводородного ракетного топлива необходимо проведение операции по его охлаждению, целью которой является повышение плотности компонента.

Одним из перспективных вариантов построения систем предварительного охлаждения ракетного топлива является применение в качестве источника холода жидкого азота, кипящего во внешнем по отношению к емкости-хранилищу теплообменнике. Выбор данного типа систем обусловлен рядом факторов, в числе которых низкие значения энергопотребления, малое время выхода на режим, высокие значения отводимого от компонента ракетного топлива теплового потока, а также доступность жидкого азота как попутного продукта работы технологических систем космодрома.

При построении систем охлаждения горючего с применением кипящего жидкого азота требуется обратить особое внимание на режим теплообмена, главной особенностью которого являются сравнительно высокие значения плотности теплового потока от горючего к азоту через стенки теплообменника. Для предотвращения намерзания компонента на теплообменных поверхностях необходима организация режима теплообмена, при котором температура компонента на стенке теплообменника не опускается ниже значений, соответствующих началу кристаллизации. Другой важной задачей, решаемой в ходе проектирования систем охлаждения, является минимизация относительного массового расхода жидкого азота. Данные требования могут быть выполнены в результате подбора оптимальных типов и параметров конструкций теплообменных аппаратов, рациональных режимов работы систем (расходов горючего и жидкого азота).

Задача определения конструктивных параметров, при которых проектируемая система охлаждения отвечает заданным требованиям, решается в ходе проведения сравнительного анализа систем с различными типами теплообменных аппаратов. При этом должно быть учтено влияние на режим теплообмена организации различных направлений движения сред и применения искусственной шероховатости на теплообменных поверхностях.

Представлена методика и результаты сравнительного анализа относительного массового расхода жидкого азота для систем с продольной и поперечной организацией движения охлаждаемого компонента в теплообменных аппаратах. Приведены значения рациональных параметров элементов конструкции и режимов работы систем.

МОДЕЛИРОВАНИЕ МАССООБМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ОСУШКЕ УГЛЕВОДОРОДНОГО РАКЕТНОГО ГОРЮЧЕГО БАРБОТИРОВАНИЕМ ГАЗООБРАЗНЫМ АЗОТОМ

С.В. Кобызев

(МГТУ им. Н.Э.Баумана)

sm8@sm8.bmstu.ru

Рассмотрена задача определения параметров процесса массообмена газообразного азота с углеводородным ракетным горючим (УВГ), содержащим растворенную воду в концентрациях от 100 до 150 ppm. Рассмотрены параметры существующих барботеров и характеристики применяемых типов УВГ. Путем обработки имеющихся данных прове-

дена оценка химического состава УВГ и получены коэффициенты диффузии воды в компонентах УВГ. Определены параметры гидродинамической обстановки и параметры процесса массопередачи для диапазона отверстий барботеров от 1 мм до 4 мм и для диапазона температур от -38 до +20 °С. На основании определенных диапазонов чисел Рейнольдса, диффузионного числа Фурье и числа Пекле выбрана модель процесса диффузии. Составлена модель диффузии паров воды в индивидуальном сферическом пузырьке азота. Проведено упрощение модели на основании оценки толщины диффузионного пограничного слоя, постановка граничных условий.

Определены варианты аналитических решений уравнения диффузии, пригодные для использования в установленном диапазоне чисел Пекле и Рейнольдса.

Существенной особенностью построенной модели диффузионного переноса является то, что в найденных решениях уравнения диффузии корректируемым параметром является коэффициент проскальзывания Ламба, определяющий параметры гидродинамической обстановки в конкретном случае. Этот коэффициент может быть выбран по рекомендуемой зависимости от числа Рейнольдса и может быть дополнительно уточнен по времени всплытия единичного пузырька при известных геометрических параметрах конкретного барботера. Таким образом, построенная модель массообмена при осушке УВГ допускает подстройку под параметры конкретной партии УВГ для точного определения количества азота для барботирования.

ОПЫТ РАСЧЁТНОГО АНАЛИЗА ПРОЧНОСТИ И ЖЕСТКОСТИ МОБИЛЬНОЙ БАШНИ ОБСЛУЖИВАНИЯ ДЛЯ РКН ТЯЖЁЛОГО КЛАССА

Р.Р. Туйбаев, А.О. Цакун, А.В. Языков
(МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва)

sm8@sm8.bmstu.ru

В соответствии с программами по развитию средств выведения предусматривается создание перспективных РКН тяжелого класса, что в свою очередь предусматривает создание новых или модернизацию уже существующих агрегатов стартовых комплексов (СК). Одним из направлений в рамках этой задачи является разработка средств предстартового обслуживания перспективных РКН.

Ввиду значительного газодинамического воздействия стартующей РКН тяжелого класса на близлежащие к месту старта конструкции, целе-

сообразно рассматривать возможность создания мобильной башни обслуживания (МБО).

В данной работе рассматривается возможность использования модернизированной МБО для РКН "Энергия" под обслуживание перспективной РКН тяжелого класса.

Для МБО характерны несколько режимов эксплуатации: стоянка в исходном положении (на определенном расстоянии от пусковой установки), движение от исходного положения к рабочему положению (месту старта РКН) и обратно, стоянка в рабочем положении с обслуживанием и удержанием (при необходимости) РКН от опрокидывания.

С точки зрения обеспечения прочности, расчётными случаями для МБО являются: предельное (максимальное) ветровое воздействие при стоянке в исходном положении и экстренное торможение в условиях действия максимально допустимого попутного ветра.

При стоянке в рабочем положении важно обеспечение жёсткости конструкции МБО с целью обеспечения удержания РКН в вертикальном положении, а также отсутствия соударений элементов МБО с РКН.

Анализ прочности и жесткости МБО осуществлялся на основе метода конечных элементов и суперэлементов. Моделирование МБО и все виды расчетов проводились с использованием программного комплекса "SADAS", разработанного на кафедре "Стартовые ракетные комплексы" МГТУ им. Н.Э. Баумана.

На основе полученных результатов может быть сделан вывод о возможности использования МБО для РКН "Энергия" под обслуживание перспективной РКН тяжелого класса, а также может быть дана оценка резервов этого использования.

МЕТОДИКА ВЫБОРА ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМ АМОРТИЗАЦИИ С ДИСКРЕТНОЙ КОММУТАЦИЕЙ ЧАСТЕЙ ПНЕВМОЭЛЕМЕНТОВ

Н.Н. Рассказова

(ОмГТУ, г. Омск)

nata_rasskazova@mail.ru

Создание эффективных средств защиты от вибраций и ударов является одной из важных проблем современной техники. Системы амортизации (СА) объектов находят широкое применение в различных транспортных средствах, летательных аппаратах, морских судах, а также в шахтных пусковых установках для гашения низкочастотных колебаний.

Системы вертикальной амортизации должны обеспечивать неизменность положения защищаемого объекта независимо от его массы. При изменении массы амортизируемого объекта поддержание его постоянного положения (клиренса в системах первичного подрессоривания транспортных средств) возможно двумя путями: гидравлическим и пневматическим. Гидравлический способ поддержания положения амортизируемого объекта по высоте может быть реализован с использованием трёх схем: путём закачивания жидкости только в деформируемую часть (первая схема), только в аккумулирующую часть (вторая схема) и одновременно в обе части (третья схема).

В зависимости от принятой схемы гидравлического способа поддержания уровня объекта отношение масс частей, выбранное для некоторой начальной массы объекта и некоторого геометрического отношения высот цилиндров частей, будет изменяться. Отношение масс частей элемента при пневматическом способе поддержания уровня при увеличении массы объекта выше начальной массы будет оставаться постоянным независимо от величины начальной массы. При уменьшении массы объекта ниже начальной массы отношение масс и геометрическое отношение частей будут уменьшаться. Общая масса газа обеих частей пневмоэлемента при этом будет оставаться неизменной.

Изменение отношения масс частей в свою очередь оказывает влияние на резонансные коэффициенты передачи, что приводит к деформации частотных характеристик по вертикали, а изменение длины деформируемой части оказывает влияние на собственную частоту колебаний, что приводит к деформации частотных характеристик вдоль оси частот.

О ПРОЕКТИРОВАНИИ СИЛОВЫХ ПРИВОДОВ АВТОМАТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАЗЛИЧНЫХ ПАКЕТОВ

А.М. Мурзин, М.С. Логинов, А.В. Панфилов

(ЮУрГУ, г. Челябинск)

awpsoft@acf.susu.ac.ru

Для уменьшения веса проектируемых конструкций автоматических установок часто используются силовые приводы с нетрадиционными источниками энергии неограниченной мощности, такими, как гидропневмоаккумуляторы, газовые генераторы. Математические модели при автоматизированном проектировании силовых приводов с учетом приведенной податливости жидкости и трубопроводов и без

учета податливостей элементов металлоконструкций системы «привод–качающаяся часть» обладают высокой устойчивостью при численном решении с учетом процесса управления приводом. По мере усложнения математической модели системы «силовой привод–металлоконструкция автоматической установки» удается получать устойчивое решение при численном интегрировании систем дифференциальных уравнений движения до определенного момента, после которого возникает неустойчивое поведение вычислительного процесса, что связано с учетом влияния высших форм изгибных колебаний элементов конструкции и переходных процессов в гидравлической системе. Если при учете дополнительных податливостей элементов конструкции в математической модели привода, используемой в пакете параметрической оптимизации, получается неустойчивое численное решение, то целесообразно использовать один из современных пакетов конечно-элементного анализа, в котором учитываются эти дополнительные податливости, но не учитывается сам привод. При таком подходе после получения устойчивого решения с помощью пакета оптимизации для математической модели без учета этих податливостей достаточно переписать в общую базу данных информацию, необходимую для работы пакета конечно-элементного анализа, и запустить этот пакет.

Были получены математические модели как силовых приводов с учетом различных комбинаций дополнительных степеней свободы, так и модели конечно-элементного анализа минимальной сложности. Анализ результатов позволил сделать выводы о влиянии дополнительных степеней свободы, конструктивных параметров и законов управления процессом подъема качающейся части на получение рациональных конструкторских решений.

О ВЫБОРЕ СИСТЕМЫ КРЕПЛЕНИЯ МОДЕЛЕЙ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ НА БЕГОВЫХ СТЕНДАХ

А.В. Панфилов, А.М. Мурзин

(ЮУрГУ, г. Челябинск)

awpsoft@acf.susu.ac.ru

При проведении испытаний моделей транспортных средств на беговых стендах приходится сталкиваться с выбором такой системы крепления модели на стенде, при которой обеспечивается надежная фиксация модели относительно стенда и минимальное воздействие со сто-

роны этой системы крепления на характер динамического взаимодействия модели с движущимися неровностями.

Одним из возможных способов крепления модели является использование тросовой системы. С помощью четырех тросов с пружинными элементами модель крепится к неподвижному основанию в виде четырех неподвижных стоек. Точки крепления тросов к модели можно рассматривать как фиксированные, а координаты точек крепления тросов со стойками в вертикальном направлении и координаты точек крепления четырех стоек с неподвижным основанием в горизонтальной плоскости – переменными. Следует подобрать такое положение элементов тросовой системы, а также жесткостные характеристики пружин, при которых будет минимальное воздействие на динамический процесс модели. Эти переменные параметры являются управляемыми в параметрической оптимизации тросовой системы. Математическая модель описывает движение корпуса транспортного средства, как твердого тела, так и движение поддресоренных масс в вертикальном направлении у каждого борта. Учитывается пространственный характер нагружения колес транспортного средства.

Была поставлена и реализована задача параметрической оптимизации тросовой системы крепления модели на стенде. В качестве одного из критериев оптимизации использовался минимум суммарных усилий, действующих в четырех тросах в процессе динамического взаимодействия модели со стендом. Проведено сравнение полученных результатов с тросовой системой фиксации модели на стенде с результатами динамических процессов модели без тросового крепления. Анализ полученных результатов позволяет сделать выводы о влиянии тросовой системы на динамику движения модели при различных режимах нагружения и скорости движения, а методика и программное обеспечение – при проведении практических и лабораторных работ в учебном процессе.

ОСОБЕННОСТИ ЭНЕРГОАУДИТА КОМПЛЕКТОВ АППАРАТУРНОГО ОТСЕКА

А.С. Шевченко, С.В. Рулев, А.А. Немков

(Военная академия РВСН имени Петра Великого, г. Москва)

Многие виды вооружения, являясь перспективными в XXI веке, создавались по принципу избыточности, существовавшему в СССР, поэтому в последние годы энергоаудиту стали уделять значительное внима-

ние по разным причинам: убывает систематически энерговооруженность большинства предприятий развивающихся отраслей; существенно снизилась надежность электроснабжения от промышленной сети.

Основная цель энергоаудита систем ШПУ (шахтной пусковой установки) – количественно определить и оценить рациональность потребления ими электрической энергии. Особенностью проводимого исследования энергоаудита является отсутствие возможности оценки его на базе сравнения энергетических показателей полученных для систем ШПУ с данными для аналогичных предприятий. Можно считать, что содержание известных энергоаудитов по многим ступеням может совпадать с энергоаудитом систем ШПУ. Вторым немаловажным отличием данного энергоаудита от известных является невозможность выразить количество затраченной энергии на единицу продукции ввиду специфики ШПУ. Однако многолетний опыт методологии проведения шести этапов энергоаудита в промышленности в той или иной степени можно использовать в дальнейшей работе.

Основы обобщенной теории энергоаудита применены к наиболее энергоемким системам ШПУ: системе освещения, системе электроснабжения комплекта 15Р168, системе охлаждения приборов ракеты.

В результате исследований предложено более эффективное техническое решение каждой из анализируемых систем, основанное на достижениях: отечественной порошковой металлургии, электротехники и силовой электроники, электромашиностроения. Это позволяет значительно сократить объем потребляемой электроэнергии; повысить коэффициент полезного действия каждой из систем и комплекта электрооборудования в целом; увеличить срок службы систем; упростить техническую реализацию, позволяя поддерживать уровень боеготовности ШПУ неизменным независимо от наличия или отсутствия источников переменного тока промышленной частоты.

ВЫБОР ПОКАЗАТЕЛЯ И КРИТЕРИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОМПЛЕКТОВ АППАРАТУРНОГО ОТСЕКА ПРИ ЭНЕРГОАУДИТЕ

А.С. Шевченко, С.В. Рулев, И.А. Рябцев

(Военная академия РВСН имени Петра Великого, г. Москва)

Можно выделить несколько способов совершенствования, применительно к КЭО (комплекту электрооборудования), как системе бесперебойного электроснабжения, при этом среди них имеется ряд способов, применяемых в любых системах электроснабжения.

Как и всякое свойство, эффективность обладает определенной интенсивностью своего проявления, при этом меру проявления интенсивности называют ПЭ (показателем эффективности). Для того чтобы числовая функция, определенная на множестве стратегий, могла рассматриваться в качестве ПЭ помимо требования соответствия цели операции должна удовлетворять и многим другим требованиям.

Применительно к рассматриваемой научной технической задаче цель операции заключается в обеспечении повышения срока службы комплекта до уровня, не ниже требуемого, т.е. ПЭ есть степень гарантии или вероятность того, что срок службы КЭО при отсутствии ИЭЭ (источника электрической энергии) переменного тока (типа сеть или ЭБ (энергоблок)) будет не менее требуемого. В результате исследования выбрано среднее время безотказной работы, которое является интегральным ПЭ предлагаемого КЭО, при этом эффективность КЭО выражена через надежность КЭО.

Ввиду того, что стратегий может быть несколько, то возникает необходимость их сравнения между собой, для чего вводят критерий эффективности (КЭ). КЭ вводится на основе определенной концепции рационального поведения (КРП), при этом нашли применение три типа КРП: пригодности, оптимизации, адаптивизации. В результате исследования критерий эффективности КЭО принимает вид целевой функции, которая стремится к максимальному значению из допустимого множества.

В данном случае исследования КЭО проводятся при условии, что время функционирования каждого из ИЭЭ равно времени службы систем ШПУ (шахтной пусковой установки), что ранее не исследовалось.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ПРИ ЭНЕРГОАУДИТЕ КОМПЛЕКТОВ АППАРАТУРНОГО ОТСЕКА

А.С. Шевченко, С.В. Рулев, А.Б. Созыкин

(Военная академия РВСН имени Петра Великого, г. Москва)

Научная задача обычно выражается в виде пары, включающей предмет исследования и цель исследования, при этом подразумевается, что, по крайней мере, один метод решения задачи опубликован.

При формулировании постановки научной задачи предмет исследования излагается ситуационно в виде исходных научных посылок, выражающих, что дано: состав переменных и постоянных исходных

данных, вводимые допущения и ограничения, а также в виде конкретных условий проведения исследования.

Нашли применение два варианта постановки задачи: постановка задачи в виде полной математической модели любого технологического процесса и постановка задачи в классической формулировке.

Если считать, что среднее время безотказной работы известного и предлагаемого комплектов определены, то математическая постановка задачи в классическом варианте принимает следующий вид. Дано:

1. Математическая модель объекта.
2. Начальные условия поддержания боеготовности систем ШПУ (шахтной пусковой установки), при известной структуре КЭО (комплекта электрооборудования).
3. Конечные условия поддержания боеготовности систем ШПУ при известной структуре КЭО.
4. Начальные условия поддержания боеготовности систем ШПУ при предлагаемой структуре КЭО.
5. Конечные условия обеспечения боеготовности систем ШПУ с предлагаемым КЭО.

Требуется: найти способ снижения входной мощности систем ШПУ, способ построения КЭО с совокупностью электрических, структурных, конструктивных, функциональных и динамических связей и способ восстановления мощности комплекта без использования промышленной сети, при технической реализации которых эффективность ШПУ в любой момент времени на определенном интервале, будет максимальной при условии, что затраты на разработку, производство и эксплуатацию не превысят заданного значения.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ ФОРМЫ РАБОЧЕЙ КАМЕРЫ ВИХРЕВОЙ ТРУБЫ

В.И. Кузнецов, Е.А. Черевко, И.С. Вавилов
(ОмГТУ, каф. «Авиа-и ракетостроение», г. Омск)
piloteg@list.ru , vava-igg@mail.ru

В системах термостатирования ракетных комплексов применяют вихревые трубы. Рабочие камеры вихревых труб изготавливают с различными профилями внутренней поверхности: цилиндрические, конически-сходящиеся и конически-расходящиеся. Нет единого мнения относительно их температурной эффективности и хладопроизводительности.

сти. Для конически-расходящихся труб различные авторы рекомендуют различные углы раскрытия.

На основании вышеизложенного основной задачей данной работы являлось определение оптимальной формы рабочей камеры вихревой трубы.

В вихревой трубе на газовый поток идут следующие воздействия: геометрическое, механическое, тепловое, массообмен и трение. Все эти пять видов воздействий на поток идут одновременно. Это вызывает большие трудности при расчете параметров вихревой трубы.

Все виды воздействий на газовый поток в вихревой трубе вызывают определенное распределение скоростей и давлений. Для расчета распределений скоростей и давлений в потоке было применено уравнение Навье-Стокса. В результате получены законы распределения осевой и радиальной скоростей по длине рабочей камеры вихревой трубы. Оказалось, что уравнение закона распределения радиальной составляющей скорости по длине вихревой трубы выражает кривую второго порядка. Кривые второго порядка описываются эллиптическими, гиперболическими и параболическими уравнениями. Решение уравнения второго порядка показало, что оно является гиперболическим.

Таким образом, образующая вращающегося потока газа при его движении от входного тангенциального сопла до горячего конца перед истечением в атмосферу является гиперболой.

Следовательно, для снижения гидравлических потерь потока газа и повышения термодинамической эффективности вихревой трубы образующая вихревой камеры должна быть гиперболой, а сама вихревая камера – усеченным гиперболоидом.

ИССЛЕДОВАНИЕ БЛОЧНЫХ СТРУЙ, ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩИХ ДРУГ С ДРУГОМ

***В.П. Зюзликов, Б.Е. Синильщиков, В.Б. Синильщиков,
(БГУ)***

А.Ю. Яковлев

(Филиал ФГУП «ЦЭНКИ» – НИИСК им. В.П. Бармина, г. Москва)

При проектировании РКН, имеющих многокамерные ДУ, по соображениям компоновки во многих случаях целесообразно располагать сопла достаточно близко друг к другу. Это приводит к тому, что струи начинают взаимодействовать друг с другом, в результате чего образует-

ся единая струя, дальнобойность которой, определяемая силовым и тепловым воздействием на преграду, существенно увеличивается. Для исключения этого явления струи «разводят» друг от друга, наклоняя на угол 4-5° к оси РКН. В этом случае струи не взаимодействуют друг с другом и дальнобойность каждой струи оказывается такой же, как и одиночной. Однако, при этом ухудшается эффективность работы внутрискрупуной системы охлаждения, так как патрубок системы быстро смешивается к периферии струи; кроме того струи раньше и на более низких высотах начинают воздействовать на нулевую отметку. Были проведены расчеты таких струй с использованием трехмерных уравнений нестационарного течения газа. Такой подход позволил учитывать, такие факторы, как взаимодействие ударноволновых конфигураций струй на начальном участке, сближение осей и образование единой струи на основном участке. Проведены расчеты для пяти вариантов: свободная одиночная струя; две струи параллельны; угол между осями сопел -2,0° (друг к другу; оси сопел наклонены под углом 1,0° к оси РКН), угол между осями сопел +2,0° (друг от друга) и угол между осями сопел +4,0° (друг от друга) Расстояние между осями сопел по срезу составляло $1,19D_0$ ($D_0=1,43\text{м}$).

При параллельных соплах струи сливаются с образованием одного максимума давления торможения начиная с расстояний от среза 35 м. Начиная с 30 м максимум давления торможения в блочной струе заметно превосходит максимум в одиночной, причем на расстояниях более 60 м это отличие достигает 1,5-2,0. При угле между осями сопел на +4° на расстояниях более 60 м блочная струя имеет один максимум давления торможения. Это приводит к тому, что максимумы давления торможения струи с углом между осями сопел +4° на больших расстояниях оказываются до 2,0 раз меньше чем в случае параллельных сопел и незначительно превышают давление торможения свободной струи. Расстояние от оси струи до ее условной границы, определенной по давлению торможения 0,05 МПа в струе с углом между осями сопел +4° на расстояниях 30-70 м от среза оказывается в среднем в 1,3 раза больше чем для струи с параллельными соплами и в 3-4 раза меньше, чем для струи с углом между осями сопел 8-10°.