

Секция 12

Объекты наземной инфраструктуры ракетных комплексов

СОПРОВОЖДЕНИЕ СОЗДАНИЯ НОВОГО СТАРТОВОГО СООРУЖЕНИЯ РАКЕТЫ С ДУ ТЯГОЙ 200 ТОНН ОТРАБОТКОЙ ГАЗОДИНАМИКИ СТАРТА НА МАЛОМАСШТАБНЫХ И СРЕДНЕМАСШТАБНЫХ МОДЕЛЯХ

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

*А.Б. Бут, Т.О. Абдурашидов, С.Н. Фатеев, А.В. Кузнецов
(ФГУП "ЦЭНКИ"- НИИСК, г. Москва)*

safronov@tsniimash.ru

В работе изложены методика и результаты наземной экспериментальной отработки процессов газодинамики старта нового стартового сооружения ракеты с тягой двигателя 200 тонн, полученные на моделях малого М1:30 и среднего М1:15 масштабов на этапах создания стартового комплекса и подготовки ЛКИ.

Дается оценка полноты отработки сравнением модельных данных с данными ЛКИ. Экспериментальные данные своевременно обеспечили этапы проектирования с гарантией безопасности старта при ЛКИ по газодинамическим процессам. Определен оптимальный состав моделей, обеспечивших полноту экспериментальной отработки, при которой дорогостоящие и трудоёмкие крупномасштабные испытания (КМИ М1:5) было предложено заменить на среднемасштабные (М1:15).

Программа и методика модельных экспериментальных исследований газодинамических нагрузок всех видов на РКН и ПУ предусматривала проведение сквозных исследований всех стадий пуска, начиная с запуска ДУ при работе системы охлаждения газов ДУ водой и без неё, газодинамические условия при работе ДУ РКН на режиме ПСТ и ГСТ, включая условия по газодинамике, теплообмену и акустике при отходе РКН от ПУ по возможным траекториям с боковыми смещениями.

Синтез результатов этих исследований, включая данные отработки старта РН «Зенит» по влиянию ввода воды на газодинамические и акустические нагрузки (процессы), позволил впервые заменить проведение КМИ для отработки газодинамики старта ракеты космического назначения испытаниями моделей среднего масштаба (М1:15) на стенде ЦНИИмаш.

**ОБОСНОВАНИЕ ГАЗОДИНАМИЧЕСКОЙ СХЕМЫ СТАРТОВОГО
КОМПЛЕКСА ПИЛОТИРУЕМЫХ РАКЕТ-НОСИТЕЛЕЙ ТИПА «АНГАРА» НА
КОСМОДРОМЕ "ВОСТОЧНЫЙ"**

А.В. Сафронов, В.А. Хотулев, Т.В. Шувалова
(ФГУП ЦНИИмаш г. Королев)

А.Б. Бут, Т.О. Абдурашидов
(филиал ФГУП "ЦЭНКИ"- НИИСК г. Москва)

safronov@tsniimash.ru

Проанализированы две газодинамические схемы стартового комплекса РН «Ангара»: прошедшая полный цикл модельной отработки газодинамическая схема старта космодрома «Плесецк», созданная на основе УСК РН «Зенит», не предназначенная для пилотируемых пусков, а также новая газодинамическая схема с использованием задела по геометрии газоотводящего лотка, созданного в рамках проекта «Русь-М» для запуска ПТК РКК «Энергия», при сохранении геометрии проема пускового стола космодрома «Плесецк». Газодинамическая схема старта космодрома «Плесецк», не может быть дооборудована под пилотируемые пуски ввиду более жестких требований по уровням акустических нагрузок, предъявляемых к пилотируемым кораблям. Исходя из этого, ФГУП ЦНИИмаш было предложено рассмотреть новый вариант газоотводного лотка для СК РН «Ангара». С целью обоснования геометрии нового газодинамического лотка, были проведены экспериментальные исследования газодинамики старта на стенде ПВК ФГУП ЦНИИмаш с моделями РН и ПУ масштаба М 1:30. Новая газодинамическая схема старта обеспечивает полный отвод газовых струй ДУ от РН при подъеме по штатной траектории и позволяет снизить уровни акустических нагрузок в зоне полезного груза на 2 дБ, по сравнению с вариантом старта космодрома «Плесецк» с суммарным уровнем акустических нагрузок 151 дБ, удовлетворяющим исходным данным по пилотируемому кораблю РКК «Энергия». Максимальное акустическое нагружение РН «Ангара» для рассматриваемой тесной компоновки проема пускового стола может иметь место при подъеме РН с боковы-

ми траекторными смещениями, поэтому рекомендуется применение верхнего яруса системы водоподдачи, что позволит дополнительно уменьшить уровень акустических нагрузок на РКН в период старта и снизить тепловое нагружение элементов опорной рамы ПУ, подвергающихся тепловой эрозии.

**РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ГАЗОДИНАМИКИ СТАРТОВЫХ СООРУЖЕНИЙ РН ТИПА «СОЮЗ»
С РАЗЛИЧНОЙ ГЛУБИНОЙ ГАЗОХОДА**

***Б.Г. Белошенко, А.А. Казаков, А.В. Сафронов, С.Н. Шипилов
(ФГУП ЦНИИмаш г. Королев)***

***С.П. Рыбак, С.Д. Пушкин, А.Л. Половнев
(РКК "Энергия" г. Королев)***

safronov@tsniimash.ru

Представлены результаты поисковых модельных исследований газодинамики старта модификаций РН "Союз-2".

Исследованы базовый вариант РН "Союз-2" и перспективный вариант РН "Союз-2-3" с двигателем НК-33 на II ступени, увеличивающим общую тягу РН на ~ 15%. Испытания выполнены на модели масштаба М1:60 с использованием твердотопливного газогенератора и моделированием всех сопел блоков РН на моделях стартовых сооружений различной глубины космодрома Байконур. Результаты экспериментов показали, что применение двигателя НК-33 не приводит к существенному изменению суммарных уровней внешних акустических воздействий на РН, однако на «мелком» стартовом сооружении выявлено существенное (до 10 дБ) увеличение интенсивности низкочастотного акустического излучения. Выполнены исследования этой аномалии и средств ее парирования.

Приведены результаты сравнительных экспериментальных исследований газодинамики старта РКН «Союз-2», целью которых являлась оценка возможности уменьшения глубины газохода с 27 до 25 метров для условий космодрома «Восточный». Разработаны методики моделирования акустических процессов при старте РН и акустических измерений на стенде УВ-102 ЦНИИмаш, рабочее тело продукты взрыва смеси Н₂-О₂-N₂, с натурной температурой Тк=3650К. Проведены эксперименты на модели масштаба М1:30 с "эквивалентными" соплами блоков РН. Получено согласование спектров шума с результатами испытаний на модели М1:60 и натурными данными. Применение стартового сооружения глубиной 25 метров обеспечивает отвод газов от РН «Союз-2» и

приводит к незначительному повышению газодинамических нагрузок на РН: ударно-волновые нагрузки возрастут на 0.02 ати и не превысят 0.11 ати, акустические нагрузки возрастут на 1.2 дБ. Проведенные газодинамические исследования показали принципиальную возможность уменьшения глубины стартового сооружения РН «Союз-2» до 25 метров.

РАСЧЕТ ХАРАКТЕРИСТИК СТРУЙНЫХ ТЕЧЕНИЙ НАТУРНЫХ РАКЕТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ И МОДЕЛЬНЫХ ГАЗОГЕНЕРАТОРОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ДЛЯ ОТРАБОТКИ ГАЗОДИНАМИКИ СТАРТА

**Ю.Н Братков, Ю.И. Ливинский, Б.А. Ремень, А.В. Сафронов
(ФГУП «ЦНИИмаш», г. Королев)**

safronov@tsniimash.ru

Созданные в ЦНИИмаш методы физического моделирования газодинамических процессов для отработки старта ракет основаны на применении комплекса газогенераторов с различными рабочими телами (воздух высокого давления, продукты сгорания керосин-воздух и твердого топлива), отличающимися от натуральных условий по температуре и составу. При этом для пересчета модельных данных на натурные условия необходимо знать детальные параметры модельных и натуральных струй, в значительной степени определяющих облик стартового сооружения. Применение адекватных численных моделей, описывающих детальную структуру течений в ракетных струях и зонах взаимодействия их с газоотводящим лотками при старте, позволяет дополнить экспериментальную отработку в части решения задач, невозпроизводимых на стендах, сократить объем испытаний и одновременно повысить надежность переноса данных на натурные условия. Представлена методика ЦНИИмаш численного расчета турбулентных сверхзвуковых неизобарических струйных течений с учетом химических реакций (догорания). Метод основан на эффективных численных схемах решения уравнений газодинамики типа Годунова С.К. повышенного порядка, которые могут быть использованы в решении широкого круга практических задач аэротермодинамики. Даны результаты расчетов струйных течений для комплекса установок по отработке газодинамики старта ракет в зависимости от рабочих тел стендов при выполнении критериев моделирования, в качестве которых выбраны: число Маха, давление и угол раскрытия на срезе сопел. Приведены расчеты рассматриваемых струйных течений с помощью перспективного пакета программ ЛОГОС ФГУП

«РФЯЦ-ВНИИЭФ» с использованием технологий параллельных вычислений.

Приведены результаты валидации численных методов расчета на серии экспериментов с холодными и горячими сверхзвуковыми струями, протестирован ряд моделей турбулентной вязкости с целью определения области адекватности численного определения характеристик струйных течений при старте.

**АНАЛИЗ НДС РАЗЪЕМНЫХ СОЕДИНЕНИЙ НЕСУЩИХ СИСТЕМ,
ПРОЕКТИРУЕМЫХ ПО МОДУЛЬНОМУ ПРИНЦИПУ**

П.П. Мишин

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

MishinPP@yandex.ru

Процесс проектирования несущих систем перспективных транспортнх средств для транспортировки крупногабаритных тяжеловесных грузов связан не только с применением различных конструктивных решений и технологических методов, но и с оценкой прочностной надежности создаваемых агрегатов. Анализ прочности при этом должен иметь многоуровневый характер. Вначале оцениваются прочностные и жесткостные параметры системы в целом на упрощенных моделях при различных режимах нагружения. Затем несущая способность конструкции исследуется на более подробных имитационных моделях для уточнения значений напряжений и деформаций в местах их концентрации. В качестве таких мест традиционно выступают заклепочные, сварные и болтовые соединения. Современная тенденция создания несущих систем транспортировочных агрегатов основывается на модульном принципе построения конструкций. Системы, проектируемые таким способом, позволяют расширить область применения транспортных средств и ограничиться универсальным агрегатом для перевозки широкого класса грузов с различными массогабаритными параметрами.

В данной работе рассматривается анализ местной прочности прототипа рамы агрегата для транспортировки длинномерных грузов, состоящей из модульных секций, которые соединяются посредством разъемных соединений. На первом этапе проведен расчет общей прочности рамы на основе ее балочной КЭ модели. Далее был выявлен участок наибольшей концентрации напряжений и деформаций, и создана его подробная модель в системе MSC.NASTRAN. Моделирование велось с учетом контактного взаимодействия между разъемными элементами и возможностью и пластического деформирования.

В результате получены данные о значениях напряжений и деформаций в зоне их концентрации при упругом и пластическом деформировании. Приведена методика анализа преднапряженного состояния несущих систем и учета остаточных деформаций, возникающих в процессе эксплуатации. Предложены рекомендации о способах моделирования разъемных соединений.

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОМПЛЕКСА
«МОРСКОЙ СТАРТ» ЗА СЧЕТ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЗАПУСКОВ
ПИЛОТИРУЕМЫХ КОРАБЛЕЙ**

А.В. Дегтярев, А.П. Кушнарев, Н.Г. Литвин, А.В. Мокин, А.А. Исаев
(ГП «Конструкторское бюро «Южное», г. Днепропетровск, Украина)
info@yuzhnoye.com

В настоящее время загрузка комплекса «Морской старт» составляет менее 50% от возможностей (2-3 запуска в год от 5-6 запланированных на этапе проектных работ) и зависит в основном от наличия заказов по запуску коммерческих космических аппаратов (КА). При этом подготовка стартовой платформы (СП) с РН осуществляется в Базовом порту (БП), а запуски проводятся в открытом океане при определенных параметрах окружающей среды (высота волн, скорость морского течения), которые накладывают ограничения на запуски.

Актуальной и решаемой задачей по повышению эффективности комплекса и устранению ненужного простоя инфраструктуры может быть обеспечение проведения также запусков пилотируемых космических кораблей (ПКК).

Решение задачи выполняется усовершенствованным способом подготовки и проведения пуска ракеты-носителя с ПКК с СП, который обеспечивает повышение эксплуатационных характеристик комплекса путем введения в технологию работ новых операций:

- для проведения запуска СП осуществляет переход в точку старта, расположенную у пустынного берега океана на безопасное расстояние от БП, и швартуется к специализированному причалу;
- после установки ракеты-носителя на ПУ мобильная башня обслуживания (МБО) перемещается с берега на причал, а перед пуском МБО отводится с причала на берег.

Размещение на берегу МБО, имеющей большой вес и парусность, позволяет исключить ее из состава СП, а расположение СП у причала обеспечивает более благоприятные параметры окружающей среды.

Предложенный способ обеспечивает высокую надежность запусков ПКК как с космонавтами, так и с туристами с использованием берегов материков или островов.

ОСОБЕННОСТИ РЕЖИМОВ ДИНАМИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ ПНЕВМОГИДРАВЛИЧЕСКИХ АМОРТИЗАТОРОВ ВЫСОКОЙ ГРУЗОПОДЪЕМНОСТИ

***А.Г. Варочко, А.И. Забегаев, А.А. Цуцков
(Филиал ФГУП «ЦЭНКИ» – «КБ «Мотор», г. Москва)***

При формировании испытательных режимов пневмо-гидравлических амортизаторов (ПГА) необходимо учитывать специфику работы и устройства их отдельных узлов в зависимости от величины, длительности и формы импульса приходящего воздействия, а также необходимой степени обеспечения защищенности амортизируемого объекта. При работе амортизаторов пневмо-гидравлического типа со ступенчатой упругой характеристикой, имеется режим отслеживания основания с обеспечением положительной реакции в начальной фазе внешнего воздействия. По классификации режимов работы амортизаторов он относится к режиму «растяжение из исходного положения». Режим сложен при отработке, поскольку требует высоких относительных скоростей выхода штока достигающих 5 – 9 м/с и большой величины хода штока, достигающей 0,3-0,7 м.

Учитывая высокую грузоподъемность амортизаторов, возникает проблема использования энергоемких силовых приводов, требующих разгона больших масс и высоких скоростей движения и торможения этих масс в лабораторных условиях.

Для моделирования режима слежения предложена технология, основанная на использовании запаса потенциальной энергии испытываемого пневмогидравлического амортизатора. Для этого производится внезапное освобождение штока слежения, выход его на величину хода 0,3...0,7 м в динамическом режиме с последующим торможением. Величина скорости разгона зависит от величины массы связанной со штоком амортизатора и пути разгона, а также возможностей тормозного устройства. Динамические расчеты показали, что для целей испытаний по предложенной технологии пригодны стенды для скоростного растяжения-обжатия амортизаторов, использующие в качестве нагружающего элемента поворотное коромысло, связанное с приводом. К этим стендам относятся: стенд СДИ.0000-0 филиала ФГУП «ЦЭНКИ» - «КБ «Мотор» и стенд СМ-1057 предприятия ФКП НИЦ РКП.

При использовании стенда СДИ с постоянно заряженным приводом поворотное коромысло в исходном положении находится в состоянии балансировки сил: реакции привода, достигающей десятков тонн, реакции замка, удерживающего коромысло, и реакции испытуемого амортизатора. При открытии замка привод совместно с амортизатором разгоняет коромысло до взаимодействия с тормозным устройством. Возможен режим испытаний без использования привода за счет энергии сжатого газа в испытуемом амортизаторе. За счет этого достигается широкий диапазон регулирования режимов с достижением скоростей до 10-15 м/с.

При использовании стенда СМ-1057, в котором использован пневмопривод, коромысло также находится в состоянии балансировки сил: реакции пневмопривода, реакции испытуемого амортизатора и реакции дополнительной фиксирующей связи, работающей на растяжение или срез. Уравновешивание коромысла производится за счет изменения давления в пневмоприводе. Фиксирующая связь при этом не нагружена. При снижении давления в пневмоприводе фиксирующая связь нагружается до её разрушения. Под действием несбалансированных сил шток амортизатора разгоняется до высокой скорости 5-7 м/с, а избыток энергии гасится пневмоприводом, давление в котором снижено и который в этом случае выполняет функцию тормозного устройства.

Для теоретического обоснования данных схем и расчета практических режимов испытаний выполнен большой объем динамических расчетов системы «стенд-амортизатор», позволивший выбрать оптимальные сочетания хода разгона испытуемого амортизатора, достигаемой скорости при действующих ограничениях нагрузок в конструкциях стендов.

Предложенная технология реализована на практике при испытаниях двух типов большегрузных систем пневмогидравлической амортизации.

ИССЛЕДОВАНИЕ УСТРОЙСТВ СТОПОРЕНИЯ В СИСТЕМАХ АМОРТИЗАЦИИ ИЗДЕЛИЙ

А.И. Забегаев, А.А. Садков

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

В состав системы амортизации изделия входят устройства стопорения. Их основная задача позиционирование изделий при эксплуатации и восприятие нагрузок при пуске изделия.

Устройства стопорения выполняют следующие основные функции:

- ограничение перемещения изделия по 6-ти обобщенным координатам пространственного движения твердого тела;
- обеспечение восприятия импульсных нагрузок при движении изделия в пусковом контейнере и после выхода из контейнера;
- обеспечение стопорения за заданное время и с использованием автономных источников питания;
- обеспечение высоконадежного пуска изделия.

В зависимости от предъявляемых требований устройства стопорения могут иметь различный конструктивный облик и реализовывать при работе различные принципы.

По существу устройства стопорения объединенные единой решаемой задачей стопорения изделия представляют собой систему стопорения, встроенную в систему амортизации.

Системы стопорения могут быть классифицированы по ряду признаков:

- по принципу наложения фиксирующих связей
- по источнику используемой энергии;
- по времени срабатывания
- по принципу восприятия действующих нагрузок.

В практике проектирования для оптимизации конструкторских решений стремятся максимально использовать несущую способность изделия. Поэтому целесообразно не создавать отдельную систему стопорения, которая требует введения специальных силовых звеньев, рассчитанных на восприятие нагрузок высоких уровней, а использовать систему амортизации, которая обеспечивает благоприятное распределение и передачу нагрузок на изделие от контейнера. Поскольку система амортизации при внешнем воздействии управляет движением изделия в пространстве, и рассчитана на восприятие интенсивных нагрузок, предпочтительно использовать ее для стопорения изделия в пусковом режиме с переводом узлов амортизации системы в застопоренный режим.

Перевод в застопоренный режим производится с помощью исполнительных устройств, обеспечивающих фиксацию длины амортизаторов или поясов амортизации.

Наиболее простым является применение системы пневмонаддува с повышенными рабочими давлениями. При подаче давления многократно возрастают фиксирующие усилия в амортизаторах, обеспечивающие стабильность длины амортизаторов в необходимом диапазоне

нагрузок. Время срабатывания такой системы составляет первые десятки секунд.

При необходимости сокращения времени срабатывания – целесообразно использовать пиросредства, используя пироэнергодатчики для привода перемещения узлов стопорения в зафиксированный режим. Время срабатывания такой системы может быть сокращено до единиц секунд. Импульсное воздействие горячего газа от пироэнергодатчика способно приводить в движение механические стопорные устройства, ограничивающие ход амортизатора. Для более сложных схем можно использовать внутренний потенциал амортизаторов - запас потенциальной энергии сжатого газа для осуществления «самостопорения» амортизаторов с созданием под штоками амортизаторов «жидкостной пружины», которая при сжатии эффективно ограничивает ход пускового контейнера.

В качестве источника потенциальной энергии для перевода амортизаторов в застопоренный режим может использоваться также потенциал внешней среды, например, гидростатическое давление. Внешнее давление может использоваться для перемещения приводных устройств для перевода амортизатора в режим стопорения, например, поршня для включения механических цанговых замков.

В случаях возникновения пусковых нагрузок повышенной интенсивности, превосходящих возможности системы амортизации, целесообразна установка дополнительных устройств стопорения, замыкающих избыток нагрузки от пускового контейнера на основание (сооружение). Такие решения целесообразны при минометном способе пуска.

Системы стопорения должны обеспечивать пуск в различных условиях: пуск в воздушной среде, подводный пуск. Это предполагает различную систему нагрузок на изделие и пусковой контейнер. Для осуществления надежного пуска система стопорения должна обеспечивать необходимые характеристики, например, быть двух- или более уровневой с характеристиками, переключаемыми в зависимости от условий пуска.

Изложенные принципы построения и подходы подтверждены практикой создания ряда систем стартового стопорения, обеспечивающих высоконадежный пуск изделия в разнообразных условиях.

**О ФОРМИРОВАНИИ ОТРИЦАТЕЛЬНОЙ ПОЛУВОЛНЫ
СКОРОСТИ ПРИ ИСПЫТАНИЯХ АМОРТИЗАТОРОВ
ПНЕВМОГИДРАВЛИЧЕСКОГО ТИПА**

***С.И. Алымов, А.Г. Варочко, А.И. Забегаев
(Филиал ФГУП «ЦЭНКИ» – «КБ «Мотор», г. Москва)***

При работе амортизаторов пневмогидравлического типа со ступенчатой упругой характеристикой, которые применяются для ударовиброзащиты объектов, требующих позиционирования при эксплуатации, выделяют четыре основных режима работы:

- сжатие из исходного положения;
- растяжение из сжатого положения.
- растяжение из исходного положения;
- сжатие из растянутого положения;

Указанные режимы при эксплуатационном воздействии могут следовать в единой последовательности или фрагментарно.

Особенностью работы амортизаторов при знакопеременном воздействии является встречный характер нагружения, когда вследствие изменения знака скорости движения основания происходит смена знака относительной скорости штока амортизатора, связанного с основанием. В результате в двух-штоковом амортизаторе прекращается режим прямого демпфирования и наступает совмещенный режим работы, при котором первый шток, совершавший прямой ход, переходит в режим обратного демпфирования, а ограничение нагрузок производится за счет прямого (рабочего) хода второго штока амортизатора, ранее стоявшего на упоре в первом штоке.

По существующим технологиям испытания на указанные режимы производятся поочередно из начальных статических состояний.

Для повышения качества экспериментальной отработки амортизаторов разработана технология испытаний на совмещенные режимы, когда амортизатор, совершавший ход, например, по первому режиму на сжатие, в процессе динамического сжатия подвергается режиму динамического растяжения из сжатого состояния, происходит совмещение первого и второго режимов работы амортизатора. Такой подход позволяет создавать импульсные переходные режимы работы амортизатора, связанные с переключением демпфирования с прямого на обратное, когда при включении обратных клапанов происходит изменение коэффициентов гидравлического сопротивления в сотни и тысячи раз при

постоянстве передаваемой нагрузки. Ограничение передаваемой нагрузки происходит за счет характеристик второго штока, который работает в расчетном режиме характеристик прямого хода. Наблюдается одновременный (параллельный) ход штоков. Этот режим является одним из важнейших при работе амортизаторов.

Для реализации данной технологии испытаний в филиале ФГУП ЦЭНКИ - «КБ Мотор» разработан стенд динамических испытаний амортизаторов СДИ.0000-0 в котором нагружающее устройство выполнено в виде поворотного упругого коромысла, которое в исходном состоянии перед испытанием нагружено реакцией силовозбудителя и удерживается замком.

Испытательный режим формируется следующим образом: при сбросе замка происходит суммирование двух видов движений: разгон коромысла реакцией силовозбудителя – фаза аperiodического движения и упругие колебания коромысла, возбужденные сбросом удерживающей силы при открытии замка. Таким образом, формируется режим скоростного растяжения или сжатия амортизатора из исходного положения. Ограничение хода амортизатора производится при ударе коромысла в буфер, при этом происходит упругое деформирование коромысла, создающее колебательную скорость, которая является фактором испытательного нагружения. Амплитуда колебательной скорости, имеющей отрицательный знак, может достигать 30...40% от амплитуды положительной скорости – скорости аperiodического движения, а амплитуда упругих колебаний достигать 10...30 мм от хода амортизатора, что достаточно для обеспечения хода переключения демпфирующих узлов, которые требуют для переключения ход 2...3 мм и необходимого скоростного режима движения штока на обратном ходе. Таким образом, при испытаниях в одном цикле моделируется основной испытательный режим нагружения из исходного положения и встречно направленного динамического нагружения с реализацией режима переключения демпфирования. Это позволило повысить точность испытаний, получить при испытаниях режимы, ранее недоступные для экспериментальной отработки, сократить трудоемкость работ.

На практике предложенная технология реализована при отработке 3-х типов амортизаторов пневмогидравлического типа с положительными результатами.

**ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОНСТРУКЦИИ
ТРАНСБОРДЕРА ТЕХНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА КОСМОДРОМА
«ВОСТОЧНЫЙ»**

Буланов С.В., Драгун Д.К.
(филиал ФГУП «ЦЭНКИ» - КБ «Мотор»)

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

lomakin_vv@mail.ru

На космодроме «Восточный» предполагается создание единого монтажно-испытательного корпуса (МИКа) модульного типа с зонами, где будут собираться ракеты среднего и тяжелого классов, зоны подготовки космических аппаратов различных разработчиков, зоны сборки космической головной части (КГЧ) и ракеты космического назначения (РКН) в целом. В целях минимизации площадей и объемов МИКа предполагается организация транспортных потоков путем параллельно-перпендикулярного движения отдельных объектов. Ключевым элементом такого комплекса является трансбордерная галерея, где перемещаются два (с учетом резервирования) трансбордера, на которые заезжают элементы РКН, транспортирующиеся в соответствующие зоны сборки. Сам трансбордер представляет собой плоскую ферменную конструкцию размером 6х28 метров с 4-мя двойными тележками на ж/д ходу. Максимальная суммарная масса такой конструкции может достигать 200 т. В связи с этим вопросы обеспечения динамической прочности, податливости и местной прочности конструкции имеют актуальное значение.

В данной работе представляются результаты статического и динамического расчетного анализа несущих конструкций трансбордера, соответствующего этапу эскизного проектирования и рабочего проекта.

Физическое моделирование трансбордера осуществлялось с помощью метода конечных элементов и метода суперэлементов, что позволило понизить размерность результирующих уравнений, в значительной степени повысило наглядность представления результатов и упростило работу с моделью трансбордера. В результате расчета было определено напряженно-деформированное состояние конструкции при различных вариантах нагружения трансбордера элементами РКН. Формирование модели трансбордера и расчетный анализ прочности и жесткости осуществлялись при помощи ПК «SADAS», созданного на кафедре «Стартовые ракетные комплексы» МГТУ им. Н.Э. Баумана.

По результатам расчетов общей прочности и жесткости в конструкцию трансбордера были внесены соответствующие изменения – дополнительные усиления элементов опорных конструкций трансбордера, а также введено шпренгельное усиление несущих элементов трансбордера. Созданные модели конструктивных элементов трансбордера стали основой для динамического расчетного анализа, объектом которого являются следующие режимы функционирования агрегата: разгон-торможение, режим передвижения элементов РКН, движение трансбордера при «рассинхронизации» двигателей и т.д.

**ВЕНТИЛЬНО-ИНДУКТОРНЫЙ ПРИВОД ПРИМЕНИТЕЛЬНО
К ТРАНСПОРТНЫМ АГРЕГАТАМ ПОВЫШЕННОЙ
ГРУЗОПОДЪЕМНОСТИ**

О.В. Егоров

(«КБ «Мотор», г. Москва)

o-v-egorov@mail.ru

Развитие силовой и информационной электроники привело к появлению на рынке ряда новых электроприводов с различными типами электромеханических преобразователей. Среди этих новых электроприводов особенно выделяется вентильно-индукторный электропривод (ВИП). Интерес к вентильно-индукторному электроприводу связан с рядом его особенностей.

Во-первых, это предельно простая, технологичная, дешевая и надежная конструкция. В нем не используются существенно усложняющие технологию производства постоянные магниты, цена которых иногда составляет около половины цены всего привода. Отсутствует технологическая операция заливки ротора, неизбежная при производстве асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором. Обмотки (катушки) статора хорошо приспособлены к машинному производству, просты сборка и, что важно при массовых применениях, разборка для ремонта или утилизации. Осуществляется пропитка собственно катушек, а не статора в целом, как у других типов машин, что также снижает долю технологических затрат. Итак, машина в ВИП позволяет преодолеть устойчивую тенденцию роста на 10...12% в год цены основных типов электрических машин: ее цена может быть в 1,5-2 раза ниже цены самого дешевого асинхронного двигателя.

Во-вторых, электронный коммутатор должен обеспечивать подачу на фазы однополярных импульсов, что позволяет выполнить его более надежным в сравнении с аналогичным преобразователем частоты для асинхронного электропривода, так как ликвидируется опасность сквозных коротких замыканий и упрощается защита.

В-третьих, по основным массогабаритным и энергетическим показателям ВИП превосходит частотно-регулируемый асинхронный электропривод.

В-четвертых, благоприятные функциональные особенности ВИП: большие моменты при низких скоростях и небольших токах, гибкое управление скоростью, широкий диапазон плавного регулирования скорости – делают этот привод очень привлекательным для широких применений.

В-пятых, большое разнообразие структур (различные отношения $n/m=6/4, 8/6, \dots$ различные способы коммутации фаз) делают этот привод хорошо применимым как в низкооборотных (сотни оборотов в минуту), так и высокооборотных (десять тысяч оборотов в минуту) версиях.

Итак, ВИП – серьезный конкурент современных регулируемых электроприводов без ограничения по мощности, скорости.

Нами проводятся исследования для внедрения его в агрегаты наземного технологического оборудования ракетных комплексов.

**ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ОБЪЕМОВ И МЕСТ
ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ АГРЕГАТОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО
ОБОРУДОВАНИЯ РАКЕТ КОСМИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ В ПЕРИОД
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ОТРАБОТКИ**

А.Н. Сова

(г. Москва МАДИ ГТУ)

Р.В. Чайка

(филиал ФГУП «ЦЭНКИ» - КБ «Мотор»)

SLSova@mail.ru, info@kbmotor.ru

Испытания проводятся с целью подтверждения требований технического задания к создаваемым агрегатам. Рациональное распределение проверок в ходе заводских, автономных и комплексных испытаний по объему и местам проведения (на заводе изготовителе и в эксплуатирующей организации) позволяет сократить расход финансовых и материальных ресурсов на их проведение.

Аргументированный выбор состава узлов, изделий и систем агрегатов технологического оборудования, подвергаемых дорогостоящим климатическим испытаниям, необходимость создания макетов изделий, обоснованное распространение результатов климатических испытаний составных частей агрегата технологического оборудования на агрегат в целом позволяет значительно уменьшить стоимость и повысить оперативность их проведения.

Дальнейшее совершенствование научно-методического аппарата проведения климатических и других видов испытаний целесообразно выполнять в направлении разработки методов форсированных испытаний с применением современных средств и аппаратуры разрушающего и неразрушающего контроля.

Для реализации этих направлений и целей необходимо решение научной задачи, обоснования и разработки научно-методического аппарата проведения форсированных климатических испытаний агрегатов технологического оборудования технических комплексов ракет космического назначения, с учётом условий и результатов их эксплуатации, прогнозирование и оценка уровней рисков невыполнения требований технического задания.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЯВЛЕНИЯ «РОЛЛОВЕР» В СИСТЕМАХ ХРАНЕНИЯ СЖИЖЕННОГО ПРИРОДНОГО ГАЗА

Н.С. Королев

(МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва)

hocleric@rambler.ru

Решение задачи явления ролловер следует искать в области необратимых процессов, используя уравнение тепломассопереноса с учетом взаимодействия двух стратифицированных слоев в хранилище сжиженного природного газа (СПГ). Данное уравнение позволяет рассматривать явление с любыми начальными условиями, такими как разная степень заполнения слоев сосуда, различные физико-химические свойства слоев, а так же различную геометрию хранилищ.

С учетом принятой теории в любом хранилище СПГ, имеющего горизонтально стратифицированные слои, будет наблюдаться явление ролловер. Следовательно, необходимо проанализировать влияние, которое окажут пары СПГ на хранилище. В момент перемешивания двух слоев из-за выравнивания их плотностей происходит вскипание части жидкости под действием накопленной в нижнем слое энергии, а как следствие резкое повышение давления в газовой подушке, которое может привести к повреждению сосуда.

Проведя серию расчетов для выбранного типа хранилищ, задав одинаковые параметры газа, удалось установить зависимости, определяющие время до наступления явления ролловер, а так же определить величину повышения давления в полости сосуда. Так же возможно и обратное исследование – определение тех же параметров, при разной концентрации компонентов при постоянном объеме.

Данная математическая модель имеет погрешность, из-за ряда принятых допущений, которую можно определить, сопоставив теоретический расчет с реальными данными, взятыми с аварии в городе Специя (Италия, 1971г).

Математическое моделирование явления ролловер поможет однозначно ответить на вопрос о необходимости соблюдения дополнительных мер безопасности по предотвращению явления ролловер в той или иной системе хранения СПГ, что существенно снизит как риск возникновения нештатных ситуаций при использовании СПГ в качестве ракетного топлива.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОСУШКИ ШАХТНОЙ ПУСКОВОЙ УСТАНОВКИ ПОДВИЖНЫМ АГРЕГАТОМ ТЕРМОСТАТИРОВАНИЯ

А.А. Сошников (Филиал ФГУП «ЦЭНКИ»- КБТХМ)

В.В. Чугунков

(г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана)

sm8@sm8.bmstu.ru

Необходимость осушки шахтной пусковой установки (ШПУ) перед постановкой комплекса на дежурство связана с тем, что стационарная система обеспечения температурно-влажностного режима, имеющаяся в шахте, проектируется из расчёта компенсации влагопритоков в ШПУ во время дежурства (ориентировочно 30кг в год) и не может быстро удалить значительное количество влаги (десятки килограмм) до установки изделия.

Приводится математическая модель для расчёта процесса осушки ШПУ с использованием подвижного агрегата. Принято, что нисхо-дующий поток воздуха движется в центральной области ШПУ, а восхо-дующей по периферии. При встречном движении потоков происходит их частичное смешение. Влага выносится восходящим потоком.

Результаты математического моделирования сравниваются с натурными результатами, полученными с использованием волосяных самопишущих гигрометров, установленных на высотах минус 2м и минус 25м, при осушке реальной ШПУ при помощи подвижного агрегата термостатирования.

Показана удовлетворительная сходимость результатов математического моделирования с натурными данными. Теоретически рассчитанный и экспериментально подтверждённый ход процесса осушки представляет собой следующее. В начале процесса относительная влажность воздуха в ШПУ быстро увеличивается, причём до больших

значений в глубине ШПУ и до меньших сверху. Далее относительная влажность так же быстро опускается до величины незначительно ниже начальной и плавно (по линейному закону) уменьшается до конечного значения. Конечное значение относительной влажности зависит от влагосодержания воздуха, подаваемого подвижным агрегатом, и величины влагопоступлений. При достижении этого значения количество вносимой в ШПУ и выносимой из ШПУ влаги уравнивается и дальнейшего снижения относительной влажности не происходит.

**МЕТОДИКА ПОВЕРОЧНОГО РАСЧЕТА ПРОЦЕССА ОСУШКИ
УГЛЕВОДОРОДНОГО ГОРЮЧЕГО МЕТОДОМ БАРБОТАЖА
ГАЗООБРАЗНЫМ АЗОТОМ**

С.В. Кобызев

(МГТУ им. Н.Э. Баумана)

sm8@sm8.bmstu.ru

В настоящее время, в связи с поставкой углеводородных горючих на космодромы в состоянии насыщения по растворенной воде, операция осушки горючего становится частью технологического процесса его подготовки. Подготовка по влагосодержанию может производиться как в модернизированных под данную операцию существующих емкостях, так и в специально изготовленных барботажных аппаратах методом барботажного аппарата сухим газообразным азотом. Для расчета процесса осушки в качестве исходных данных принимаются геометрические параметры барботажного аппарата – площадь сечения, занятого отверстиями барботера, число и диаметр отверстий, высота рабочей области аппарата. Известными считаются температура осушаемого продукта, объем осушаемой порции, давление наддува аппарата. Конечная концентрация продукта определяется требованиями к горючему и может составлять от 0,0002 до 0,0004% по массе, а в качестве исходной принимается концентрация насыщения продукта при температуре поставки (0,01...0,015% по массе). Для выбранной температуры подготовки по таблицам и эмпирическим формулам определяются плотность, динамическая вязкость, коэффициент поверхностного натяжения, давление насыщенных паров горючего, коэффициент молекулярной диффузии паров воды в горючем.

Далее определяют диаметр пузырей и относительную скорость их всплытия для определенных на предыдущем этапе расчета параметров жидкости. Учитывается существенная несферичность пузырей при наиболее эффективных режимах работы массообменного аппарата. При

определении объема газового пузыря учитывается насыщение пузыря азота на начальном этапе всплытия парами керосина. Для определения значений константы Генри системы азот – керосин – вода для различных температур используются данные о давлении насыщенных паров воды над жидкой фазой о растворимости воды в керосине. В процессе расчета по выведенным аналитическим зависимостям определяют расход азота в индивидуальный газовый пузырь и на этой основе – время процесса осушки, массовый расход азота на проведение операции осушки для данного барботера и относительный и абсолютный унос керосина с азотом.

**РАСЧЁТНЫЙ АНАЛИЗ ТЕПЛОМАССОБМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ
ПРИ БАРБОТАЖЕ УГЛЕВОДОРОДНОГО ГОРЮЧЕГО КИПЯЩИМ АЗОТОМ**

А.В. Золин, В.В. Чугунков

(МГТУ им. Н.Э. Баумана)

sm8@sm8.bmstu.ru

Технология барботажа азотом широко применяется для уменьшения влагосодержания углеводородного горючего. Также имеется опыт применения данного процесса для понижения температуры горючего на комплексе «Sea Launch».

Применение жидкого азота в качестве источника холода для наземных технологических комплексов является достаточно перспективным из-за его доступности и дешевизны. В то же время, современные требования к системам подготовки по влагосодержанию предусматривают значительную нагрузку на них.

В процессе барботажа углеводородного горючего кипящим азотом при выполнении операции температурной подготовки реализуются не только тепло-, но и массообменные процессы. Холодный газовый пузырь в процессе своего подъёма к поверхности зеркала насыщается растворённой в горючем водой. Для того, чтобы оценить эффективность применения кипящего азота для совмещения процессов охлаждения и обезвоживания горючего, необходимо построить математическую модель, в которой дифференциальные уравнения тепло- и массообмена, находятся в одной системе.

Результаты решения подобной системы дифференциальных уравнений дадут возможность сделать вывод об эффективности включения технологии барботажа жидким азотом в технологическую цепочку подготовки углеводородного горючего по влагосодержанию. Также такое моделирование позволяет эффективным образом организовать и подо-

брать параметры крупных наземных объектов технологического комплекса, реализующих полный цикл подготовки горючего по температуре и влагосодержанию. Примером такого объекта является космодромное хранилище углеводородных горючих.

На кафедре «Стартовые ракетные комплексы» МГТУ им. Н.Э. Баумана разработана методика проведения данных расчётов и создана модель тепломассообмена при барботаже кипящим азотом горючего «нафтил»

УПРАВЛЯЕМАЯ ПНЕВМОГИДРАВЛИЧЕСКАЯ ВИБРОЗАЩИТНАЯ ОПОРА

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

(ОмГТУ, г. Омск)

apple_27@mail.ru

Создание упругих и демпфирующих элементов систем амортизации, способных передвигать 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 магнитожидкостных амортизаторов (МЖА), которые относятся к классу управляемых амортизаторов, в системах подпрессоривания транспортных средств может наиболее полно удовлетворять требованиям виброзащиты, т. к. обеспечивают регулирование упругодемпфирующих характеристик, хорошую виброизоляцию. Магнитная жидкость в магнитожидкостных амортизаторах левитирующего типа может выполнять роль как упругого, так и демпфирующего элемента. Эта жидкость работает под воздействием электромагнитного поля, генерируемого специальными катушками, она способна менять свою вязкость с частотой 1 кГц и выше. Надежность работы МЖА обеспечивается устойчивой к расслоению магнитореологической жидкостью с широким температурным диапазоном работы. При использовании МЖА упрощаются сам амортизатор и подвеска, исключается необходимость в стабилизаторах поперечной устойчивости транспортного средства.

Предложены запатентованные технические решения МЖА с системой управления (Патент ИЗ № 2449188, патент ПМ № 96197). Для анализа динамики амортизируемых объектов с системой амортизации на МЖА построена математическая модель, ее исследование при свободных колебаниях показало возможность увеличения коэффициента поглощения энергии колебаний системы амортизации до значения 0,7...0,9.

**РАСЧЕТНЫЙ АНАЛИЗ ОБЩЕЙ И МЕСТНОЙ ПРОЧНОСТИ НЕСУЩИХ
ЭЛЕМЕНТОВ КАБЕЛЬ-ЗАПРАВОЧНОЙ МАЧТЫ ДЛЯ
РАКЕТ-НОСИТЕЛЕЙ СЕМЕЙСТВА «СОЮЗ»**

Бошняк В.А., Зверев В.А., Ломакин В.В.
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)
sm8@sm8.bmstu.ru

В работе представлены результаты расчётного анализа общей и местной прочности кабель-заправочной мачты (КЗМ), предназначенной для предстартовой подготовки РКН «Союз-2» этапа 1в, которая имеет отличные от эксплуатируемых РКН семейства «Союз» характеристики по тяге двигательной установки.

Расчет проводится на основе метода конечных элементов. На этапе оценки общей прочности рассматривается КЗМ в целом. Модель КЗМ создается на основе стержневых и пластинчатых конечных элементов и имеет относительно небольшую размерность. По результатам этой оценки определяются элементы с наименьшими коэффициентами запаса по прочности. Затем осуществляется расчет местной прочности подробных конечноэлементных моделей выбранных элементов. Граничные условия для этих моделей задаются также на основе расчета общей прочности модели КЗМ в целом.

В качестве нагружения при расчете общей прочности конструкции КЗМ и местной прочности ее элементов рассматривались собственный вес и воздействие газодинамической струи ДУ РКН «Союз-2» этапа 1в. Параметры этого воздействия определены на основании полей потока импульса и температур торможения, вычисленных для различных положений РКН, соответствующих заданной траектории ее подъема и сноса.

Расчет общей и местной прочности КЗМ выполнялся при помощи ПК «CAD/CAE Система автоматизированного расчета и проектирования механического оборудования и конструкций APM WinMachine 2010» и ПК «SADAS», разработанного на кафедре СМ8 МГТУ им. Н.Э. Баумана.

По результатам проведенных расчетов были предложены технические решения, направленные на обеспечение прочности КЗМ, которые были приняты разработчиками с внесением соответствующих изменений в конструкторскую документацию.

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ОХЛАЖДЕНИЯ АППАРАТУРЫ
СТАРТОВОГО КОМПЛЕКСА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
ТЕПЛООВОГО АККУМУЛЯТОРА**

Ю.Б. Драница, В.В. Чугунков
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)
sm8@sm8.bmstu.ru

Поддержание температурно-влажностного режима (ТВР) шахтных стартовых комплексов необходимо, прежде всего, для обеспечения функционирования приборов и систем бортовой аппаратуры, а также приборов системы управления стартового комплекса. В режиме автономного функционирования стартового комплекса охлаждение приборов и аппаратуры осуществляется, как правило, с использованием тепловых аккумуляторов с фазовым переходом рабочего вещества.

Приводятся математические модели теплообмена по охлаждению теплоносителя в тепловом аккумуляторе при различных схемах его циркуляции.

Результаты математического моделирования сравниваются с экспериментальными результатами, полученными в лабораторных условиях. Показана удовлетворительная сходимость результатов математического моделирования с экспериментальными данными. Теоретически рассчитанный и экспериментально подтвержденный ход процесса термостатирования представляет собой следующее. В начале процесса тепловая энергия передается от теплоносителя к теплоаккумулирующему материалу (ТАМ), который начинает плавиться. При этом тепловая энергия отводится при почти постоянной температуре. При плавлении материала появляется жидкая фаза между стенкой капсулы и твердой фазой, в результате чего появляется градиент температур, приводящий к ухудшению охлаждения теплоносителя. Устранение данного недостатка достигается благодаря конструкции емкости с ТАМ.

**ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ДЕМПФЕРОВ ИЗ МАТЕРИАЛОВ
С ЭФФЕКТОМ ПАМЯТИ ФОРМЫ В НАЗЕМНОМ
ОБОРУДОВАНИИ РАКЕТНЫХ КОМПЛЕКСОВ**

***Е.А. Ермошина, В.А. Игрицкий
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)***

lena_erm@inbox.ru, igritsky_v_a@mail.ru

Одним из актуальных направлений развития отечественной космонавтики является модернизация существующих и создание новых стартовых комплексов ракет космического назначения, в том числе на космодроме «Восточный». Для повышения эффективности стартовых комплексов необходимо повышать надежность и уменьшать стоимость используемых в их составе агрегатов и устройств.

В настоящее время для плавной остановки отводимых конструкций пусковые установки оснащаются пневмогидравлическими демпферами, которые являются достаточно дорогими и технически сложными устройствами. При этом использование пусковых установок ракет космического назначения только несколько раз в год дает возможность применения для этих целей значительно более простых и дешевых упругопластических демпферов. Однако, поскольку упругопластические демпферы из традиционных материалов являются одноразовыми, требуется их замена после каждого пуска, что до настоящего момента препятствует их широкому применению в этой области.

Одним из путей преодоления указанного недостатка упругопластических демпферов является применение для их изготовления материалов с памятью формы. Такое решение позволит использовать эти демпферы многократно, восстанавливая их работоспособность после каждого пуска.

Проведенный анализ показал, что существующие материалы с эффектом памяти формы позволяют создавать упругопластические демпферы с достаточно высокими эксплуатационными характеристиками. В частности, может обеспечиваться около 100 циклов срабатывания демпфера. Температурные диапазоны пластического деформирования и восстановления формы являются допустимыми для наземного оборудования, размещаемого вне термостатируемых помещений, а процедура восстановления рабочей формы демпфера может быть проведена без его демонтажа, что позволяет сделать вывод о перспективности применения упругопластических демпферов из материалов с памятью формы на вновь создаваемых и модернизируемых стартовых комплексах ракет космического назначения.

О МАТЕМАТИЧЕСКОМ МОДЕЛИРОВАНИИ СЛОЖНЫХ МЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

А.М. Мурзин, М.С. Логинов, А.В. Панфилов
(ЮУрГУ, г. Челябинск)
acf_au@acf.susu.ac.ru

В настоящее время большое количество различных транспортных средств (ТС) имеет в своей основе балочную пространственную структуру. Представляют интерес расчетные схемы, где система взаимосвязанных между собой пространственных тел ТС движется по многоопорному изгибно-податливому основанию. Эти тела можно рассматривать как абсолютно твердые, так и изгибно-податливые, перемещающиеся по основанию на абсолютно жестких или упругих опорах. Подвижные тела между собой могут иметь упругую связь в разных направлениях. Число степеней свободы у каждого тела зависит от перечисленных выше особенностей конструкции ТС. Кроме этого, при въезде тел на основание число степеней свободы системы «ТС–изгибно-податливое основание» увеличивается, а при съезде – уменьшается. При большом количестве тел в ТС получается сложная математическая модель системы, имеющая переменное количество степеней свободы. На размерность рассматриваемой динамической системы оказывает влияние количество учитываемых форм колебаний основания и упругих тел ТС, если учитывается их изгибная податливость. Секции основания могут соединяться между собой с технологическими углами и линейными смещениями в различных направлениях.

В конечном итоге можно рассматривать несколько математических моделей движения ТС по упругому основанию. Наличие этих моделей позволяет оценить влияние разных параметров на динамику движения системы и сопоставить полученные данные после проведения вычислительного эксперимента на достоверность результатов. Высокая сложность математических моделей требует для реализации многопроцессорные ЭВМ, в особенности, если решается проблема получения оптимальной конструкции, к которой предъявляется ряд жестких требований по весу, плавности хода, уровню перегрузок, напряженному состоянию, технологическим характеристикам.

Приведенная методика и разрабатываемое программное обеспечение могут быть использованы при проектировании мостов, стартовых комплексов и т.д.

**ПРИМЕНЕНИЕ ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ
ЛОКАЛЬНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ РЕАКЦИИ СООРУЖЕНИЙ СК РКН
ПРИ СТОХАСТИЧЕСКИХ ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗКАХ**

В.Б.Черниченко

(ВолгГТУ, г. Волгоград)

au@vstu.ru

При старте ракет космического назначения (РКН) сооружения стартовых комплексов (СК) испытывают динамические нагрузки вследствие воздействия газовой струи. Кроме того, стохастический характер динамических нагрузок имеет место при сейсмическом воздействии, взрыве, работающем механизме (вибрационные нагрузки) и пр.

В результате вейвлет-обработки модельной информации получены следующие выводы. Типовой метод подавления шумов – удаление высокочастотных составляющих из спектра сигнала. Применительно к вейвлетным разложениям это может быть реализовано непосредственно удалением детализирующих коэффициентов высокочастотных уровней. Но вейвлеты имеют в этом отношении более широкие возможности. Шумовые компоненты, и особенно большие случайные выбросы значений сигналов, можно также рассматривать в виде множеств локальных особенностей сигналов. Задавая некоторый порог для их уровня (например, с использованием значения энтропии сигнала) и срезая по нему детализирующие коэффициенты, можно не только уменьшать уровень шумов, но и устанавливать пороговые ограничения на нескольких уровнях разложения с учётом конкретных характеристик шумов и сигналов для различных типов вейвлетов. Это позволяет создавать адаптивные системы очистки сигналов от шумов в зависимости от их особенностей.

После удаления шумов в восстановленном сигнале хорошо видны его локальные особенности - «выбросы», изменения уровня сигнала и т.д., которые при обработке классическими методами (полиномиальным сглаживанием, робастным оцениванием) были бы неизбежно удалены. Задача исследователя состоит в точной интерпретации полученных локальных особенностей, т.е. выяснения причин их появления: обусловлена та или иная локальная особенность реальным физическим процессом, стохастическим динамическим воздействием или сбоем измерительной аппаратуры.

РАЗРАБОТКА И РАСЧЕТНЫЙ АНАЛИЗ СХЕМНЫХ ВАРИАНТОВ

**ВЫПОЛНЕНИЯ КОТЛА ЦИСТЕРНЫ ДЛЯ ПЕРЕВОЗКИ ПЕРСПЕКТИВНОГО
РАКЕТНОГО ГОРЮЧЕГО**

А.В. Ульяновков, В.В. Чугунков., В.А. Языков
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)

sm8@sm8.bmstu.ru

Работа посвящена разработке технических предложений и требований к перспективной конструкции емкости вагона-цистерны для перевозки сжиженных углеводородных газов (СУГ), которые рассматриваются как перспективное ракетное горючее. В рамках данной работы были проведены разработка и анализ схемных вариантов выполнения корпуса цистерны; выполнены расчеты для обоснования технических характеристик котла вагона-цистерны, разработаны рекомендации и варианты схемно-конструктивного исполнения емкости вагона-цистерны для перевозки СУГ.

Авторами были предложены несколько вариантов конструктивного исполнения котла вагона-цистерны, а также материалы, из которых он может быть выполнен.

Обосновывающие предложения расчеты были проведены как на основе нормативной базы в виде специализированных ГОСТов, так и при помощи программных комплексов, созданных на основе метода конечных элементов. В качестве расчетных случаев рассматривались: 1) испытание котла вагона-цистерны пробным давлением $P_{пр}$, равным 3 МПа; 2) движение цистерны при рабочем давлении величиной 2 МПа с ускорением $a_{эКВ}$, значение которого составляло $21,4 \text{ м/с}^2$ (продольное (горизонтальное) ускорение - $14,7 \text{ м/с}^2$, вертикальное ускорение - $14,7 \text{ м/с}^2$, боковое ускорение - $4,9 \text{ м/с}^2$).

В рамках 1-ого расчетного случая котел вагона-цистерны испытывает действие сил собственного веса, давления жидкости и внутреннего давления $P_{пр}$. Во 2-ом расчетном случае на котел вагона-цистерны действуют внутреннее рабочее давление, давление СУГ и инерционные силы, вызванные движением вагона-цистерны с ускорением $a_{эКВ}$. Указанные нагрузки моделировались с учетом конечноэлементного представления модели котла вагона-цистерны, т.е. в виде узловых нагрузок.

Моделирование котла вагона-цистерны, действующих нагрузок, а также проведение прочностного расчета осуществлялось при помощи ПК «CAD/CAE Система автоматизированного расчета и проектирования механического оборудования и конструкций APM WinMachine 2010» и ПК «SADAS», разработанного на кафедре СМ8 МГТУ им. Н.Э. Баумана.

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУЙНЫХ ТЕЧЕНИЙ НАД НУЛЕВОЙ ОТМЕТКОЙ ПОЛУЗАГЛУБЛЕННЫХ СК

***В.П. Зюзликов, Б.Е. Синильщиков, В.Б. Синильщиков
(БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф.Устинова, г. Санкт-Петербург)
А.Б. Бут, А.Ю.Яковлев (ФГУП «ЦЭНКИ» – НИИСК, г. Москва)
vbsin@rambler.ru***

На начальной стадии подъема РКН течение над нулевой отметкой аналогично установившемуся течению при начальном положении. К РКН в том числе и вдоль нулевой отметки, подтекает воздух, который ниже донного среза эжектируется в блочную струю. По мере подъема РКН слои смешения на границах струй увеличивают ширину и начинают взаимодействовать с кромкой проема. Современные РКН для уменьшения воздействия на башню обслуживания и снижения ущерба при аварии совершают маневры на ранних стадиях подъема. При повороте сопел, истекающие из них струи начинают взаимодействовать с поверхностью нулевой отметкой значительно раньше, чем при обычном старте, когда РКН поднимается вертикально. Отклоняются сопла и при старте в условиях сильного ветра. При дальнейшем подъеме РКН, даже если она поднимается вертикально, с кромками проема начинают взаимодействовать увеличившиеся в размерах слои смешения. При смещении же одной, или нескольких струй за счет ветра, поворота сопел или смещения (углового или линейного) самой РКН с поверхностью нулевой отметки начинают взаимодействовать сверхзвуковые зоны струи. При этом резко усиливается силовое, тепловое и пульсационное нагружение обшивки нулевой отметки, а также пульсационное нагружение РКН. Это делает актуальной задачу снижения уровней воздействия при взаимодействии сверхзвуковой струи с нулевой отметкой. Одним из способов снижения является создание и поддержание над поверхностью нулевой отметки водяных завес, или водокапельных струй. После подъема РКН на высоту, исключая попадание капель на ее поверхность, необходимо оперативно разворачивать водокапельные завесы (водокапельные струи) с большим суммарным расходом. При этом следует учитывать, что такие завесы (струи), попадая в область воздействия газовых струй (в том числе растекающихся по поверхности), быстро сносятся, не успев существенно уменьшить уровни воздействия. Задача по выбору параметров завес, или водокапельных струй решается путем численного моделирования данных процессов на основе решения системы нестационарных уравнений динамики двухфазной среды с дополнительными частными моделями и допущениями с учетом имеющихся экспериментальных данных.

**НЕЭМПИРИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ПОЛИУРЕТАНОВОГО
АМОРТИЗАТОРА УДАРА**

А.В. Талагаев, В.А. Грибков
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)

anton.talagaev@gmail.com, zenit-ab@mail.ru

Задача повышения эффективности амортизаторов удара актуальна для ракетно-космической отрасли в связи с проектированием новых и продлением сроков эксплуатации ракетных комплексов.

Перспективными представляются амортизаторы с упругими элементами из полиуретана. Полиуретан существенно превосходит существующие аналоги, в частности, резину в резинометаллических амортизаторах, комплексом свойств: высокой энергоёмкостью, долговечностью, стабильностью характеристик во времени, малым разбросом упругих и прочностных характеристик в пределах одной партии.

Использование приближенных подходов анализа поведения полиуретанового амортизатора удара, опирающихся на чистую эмпирику не позволяет в полной мере проявить свойства перспективного материала и создать амортизаторы с высокими характеристиками. Для реализации преимуществ полиуретановых упругих элементов необходимо разработать математические модели, описывающие процессы, происходящие в полиуретановых элементах с высокой степенью адекватности, в частности, учитывающих значительную деформацию сжатия (достигающую 35%), нелинейный характер трения при взаимодействии полиуретановых элементов с металлическими элементами конструкции, предложить методику расчета, обеспечивающую детальный анализ поведения конструкции амортизатора.

Для создания математической модели амортизатора проведена поэтапная идентификация свойств материала по результатам статических и динамических испытаний. В качестве средств испытаний использовались универсальные испытательные машины и стенды. Определены необходимые константы материала для нескольких моделей материала (Ogden, Mooney-Rivlin, Arruda-Boyce).

Выполнено конечноэлементное моделирование отдельных упругих элементов амортизатора и всего агрегата в сборе. Конечно-элементные модели прошли верификацию в ходе сопоставления с результатами экспериментов. Они обеспечивают прогнозирование поведения амортизатора и расчет характеристик амортизатора с высокой точностью. Задача деформирования упругих элементов амортизатора решена в трехмерной постановке, с использованием нелинейной моде-

ли материала, с учетом контактного взаимодействия по границам элементов и сухого трения (модель Амонтона-Кулона).

С целью повышения эффективности амортизатора проанализировано поведение амортизатора под действием статического и динамического нагружения. Результат анализа оформлены в виде рекомендаций по конструкции амортизатора, реализующего, в значительной степени, преимущества полиуретана как материала упругого элемента амортизатора, в частности, предложены рациональные формы упругих элементов и способы их фиксации с учётом деформирования элементов в составе амортизаторов.

СИСТЕМА ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ СТАРТОВОГО КОМПЛЕКСА НА ПОСТОЯННОМ ТОКЕ

***А.А. Гуров, Р.Н. Буланов, П.П. Лукашов
(ВА РВСН им.Петра Великого, г.Москва)***

В настоящее время наземные стартовые комплексы имеют, как правило, системы электроснабжения на переменном токе. Сложившийся подход к построению систем электроснабжения основан на неоспоримых на момент становления электроиндустрии преимуществах переменного тока. Однако на сегодняшний день в системах передачи и распределения переменный ток не имеет столь явного преимущества перед постоянным, а по целому ряду факторов заметно ему уступает.

Электроприемниками стартового комплекса являются потребители технологического оборудования и технических систем, большинство которых требует преобразования электроэнергии. Основная часть нагрузки приходится на электроприводы. Уровень развития силовой электроники позволяет использовать преобразователи постоянного тока в переменный для регулирования скорости вращения роторов асинхронных электродвигателей, что упрощает кинематические схемы оборудования, уменьшает материалоемкость и повышает энергоэффективность оборудования при сохранении и даже расширении функциональных возможностей.

Питание потребителей постоянного тока может осуществляться при помощи преобразователей - трансформаторов постоянного тока, которые превосходят обычные трансформаторы переменного тока по массогабаритным и экономическим характеристикам.

В качестве резервных источников электроэнергии для таких систем целесообразно использование вентильных генераторов постоянного тока, которые обладают преимуществами бесконтактных машин. По-

стоянный ток на выходе генератора получается в результате применения двух трехфазных мостовых выпрямителей, встроенных в корпус генератора. Для уменьшения пульсаций выпрямленного напряжения генератор имеет две системы пространственно смещенных обмоток.

Таким образом, система электроснабжения стартового комплекса на постоянном токе приобретает ряд преимуществ: более высокую надежность, отсутствие необходимости поддержания большого количества показателей качества электрической энергии, отпадает задача синхронизации, организация бесперебойного питания и подключения резервных источников, компенсация пикового потребления и рекуперации энергии и т.д.
