

Секция 12

**Объекты наземной инфраструктуры
ракетных комплексов****РАЗРАБОТКА ПРЕДЛОЖЕНИЙ ПО ПАРАМЕТРАМ ГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ
СХЕМ СТАРТОВЫХ СООРУЖЕНИЙ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ
ГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ, УДАРНО-ВОЛНОВЫХ, АКУСТИЧЕСКИХ И
ТЕПЛОВЫХ НАГРУЗОК НА РКН И ПУ ДЛЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ
РАКЕТНО-СТАРТОВЫХ КОМПЛЕКСОВ**

*Б.Г. Белошенко, А.В. Сафронов, В.А. Хотулев, С.Н. Шипилов,
Т.В. Шувалова*

(ФГУП ЦНИИмаш, г. Королев),

М.В. Веселов

(НИИ стартовых комплексов – филиал ФГУП «ЦЭНКИ», г. Москва)

Разработка предложений по параметрам газодинамических схем старта потребовала на начальном этапе проведения всестороннего анализа газодинамических условий старта РКН и реализуемых газодинамических нагрузок при старте с рассмотренных стартовых сооружений. Это позволило провести выбор и определить уровни нагрузок газодинамических, ударно-волновых, тепловых и акустических на РКН для обеспечения безаварийного старта ракет.

Определение основных габаритных размеров стартового сооружения осуществляется исходя из условия полноты отвода газовых струй на основе эмпирических зависимостей, полученных обобщением обширного материала по газодинамическим схемам стартовых сооружений различного типа, включая газоотводные сооружения для тяжелых и сверхтяжелых носителей.

Обеспечение минимального уровня ударно-волновых нагрузок на РКН может быть достигнуто выбором оптимально геометрических размеров газоотводных каналов и зазоров у среза сопел, применения спе-

циальных мер снижения УВД и выбора циклограммы запуска и пусковых параметров ДУ.

Для определения тепловых нагрузок используются методики, прошедшие тестирование данными, полученными в экспериментах с горячими струями, включая крупномасштабные испытания, а также данными натурных измерений при пусках РН «Энергия – Буран», «Рокот», «Протон» и др.

Прогнозирование акустических нагрузок на РКН проводились по разработанной в ЦНИИмаш методике, учитывающей все основные геометрические характеристики стартового сооружения и газодинамические параметры газовых струй ДУ.

Комплекс методик, разработанный в ЦНИИмаш, для определения основных параметров газодинамики старта позволяет рекомендовать параметры газодинамических схем, обеспечивающих допустимые уровни нагрузок на РКН при старте.

**ОБОБЩЕНИЕ ОПЫТА НАЗЕМНОЙ ОТРАБОТКИ ГАЗОДИНАМИКИ СТАРТА
РКН «АНГАРА» ДЛЯ ВЫБОРА СТАРТОВЫХ СООРУЖЕНИЙ РКН
КОСМОДРОМА «ВОСТОЧНЫЙ»**

***Т.О. Абдурашидов, Б.Г. Белошенко, Л.Б. Бут, Р.Ю. Гусев,
А.В. Сафронов, В.С. Смирнова, Т.Т. Соколова, С.Н. Фатеев,
В.А. Хотулев, Т.В. Шувалова
(ФГУП ЦНИИмаш, г. Королев)***

Разработка семейства носителей РКН «Ангара» и обеспечение надежного и безопасного старта, в части газодинамики, с доработанного сооружения РН «Зенит» потребовала проведения всестороннего комплекса экспериментальных исследований ударно-волновых, газодинамических, тепловых и акустических исследований на лабораторных стендах ЦНИИмаш и проведение контрольных испытаний на крупномасштабных моделях (М 1:5) стенда УТТС с целью определения газодинамических нагрузок на РКН и отработки систем водоподдачи в струи ДУ патрубками для обеспечения допустимых ударно-волновых, силовых, тепловых и акустических нагрузок на РКН и ПУ.

Программа исследований газодинамики старта предусматривала:

- всесторонние исследования на моделях в масштабе М 1:30 на лабораторных стендах У-2ГД, ТТ ЦНИИмаш газодинамических процессов при всех характерных траекторных ситуациях, включая аварийные;
- всестороннее исследование ударно-волновых процессов на режимах ПСТ, ГСТ, АВД как для условий «сухого» пуска, так и с использованием ввода воды в струи системами различной конструкции на горячих (3400К) установках УВ-102, УВ-104 ЦНИИмаш;
- всестороннее исследование теплового воздействия на РКН и ПУ на моделях масштаба М 1:11 установки ПВК ЦНИИмаш с параметрами пограничного слоя струй, близкими к натурным;
- всестороннее исследование параметров акустического воздействия на РКН, включая КГЧ, при работе ДУ РКН.

Исследования газодинамики старта РКН «Ангара» потребовали большого объема экспериментов на маломасштабных стендах ЦНИИмаш (более 700 испытаний), 14 пусков на крупномасштабном стенде (КМИ) КБТМ с моделями РКН и ПУ масштаба М 1:5 и обеспечили исходными данными по всем видам нагрузок на РКН и ПУ этапы эскизного и рабочего проектирования.

Особенность этапа КМИ состояла в использовании упрощенной материальной части модельных двигателей блоков РДТТ для моделирования процессов УВД, что потребовало разработки методики пересчета данных по УВД, получаемых при КМИ, на натурные условия.

Для переноса данных по акустическим нагрузкам с КМИ на натуру разработана специальная методика пересчета с использованием результатов методических испытаний на установке ПВК с ЖРД. Это позволило исключить требование создания специального крупномасштабного стенда с модельной ДУ с ЖРД. При натуральных испытаниях двигателя РКН «Ангара» на огневом стенде были получены уровни акустических нагрузок на РКН.

Проведенный комплекс экспериментальных исследований на маломасштабных, крупномасштабных моделях и натуральных испытаниях двигателя ДУ-1 позволил сделать вывод о возможности проведения ЛКИ.

На основе полученного опыта по отработке газодинамики старта РКН «Ангара» можно рекомендовать использование методики и объема испытаний при экспериментальной отработке газодинамики старта перспективных космодрома «Восточный».

**ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУЙНЫХ ТЕЧЕНИЙ НАД СТАРТОВЫМ
СООРУЖЕНИЕМ ПРИ СТАРТЕ РКН**

***В.П. Зюзликов, Б.Е. Синильщиков, В.Б. Синильщиков,
М.В. Ракитская, О.В. Андреев
(БГТУ, Г. Санкт-Петербург)
uak@bstu.spb.su***

Для уменьшения воздействия на башню обслуживания и снижения ущерба при аварии современные РКН совершают маневры на ранних стадиях подъема. Это приводит к тому, что при повороте (наклоне) 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. Особенно опасен режим, когда угол наклона сопла изменяется таким образом, что с учетом подъема ракеты, ее угловых и линейных смещений пятно воздействия струи на поверхность нулевой отметки почти не перемещается. Такой случай может привести к оплавлению листов металлооблицовки нулевой отметки, разрушению элементов крепления листов, их отрыву и уносу растекающимся по поверхности струйным течением, появлению трещин вследствие малоциклового усталости.

В БГТУ проведены исследования, направленные на изучение физических процессов, определение параметров течений, силовых и тепловых нагрузок на металлооблицовку нулевой отметки и башню обслуживания. Исследование проводилось на базе численного решения нестационарных уравнений газовой динамики и уравнений пограничного слоя. Отдельно исследовалось ветровое воздействие на одиночную и блочную струи в процессе подъема РКН. Получены данные по искривлению осей струй в зависимости от скорости ветра. Показано, что при увеличении скорости ветра струя прекращает воздействовать на нулевую отметку на меньших высотах подъема.

Проведено исследование искривления осей струй, истекающих из сопла в процессе его поворота. Показано, что искривление оси струи в этом случае является достаточно сложным нестационарным процессом, определяемым рядом факторов. Получены профили искривленной оси струи при различных скоростях поворота сопла.

Проведено исследование теплового и силового нагружения металлооблицовки нулевой отметки. Определены параметры теплового воздействия в пятне контакта струй ракетного двигателя (РД) и растека-

ющейся струе. Для различных высот подъема РКН определены значения минимальных скоростей перемещения пятна контакта по поверхности нулевой отметки, при которых не происходит оплавление металлооблицовки. Проведенные исследования позволяют по заданной циклограмме РД определять положение точек пересечения осей струй с нулевой отметкой (с учетом искривления осей струй) и определять параметры теплового нагружения металлооблицовки.

ВОПРОСЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОМПЛЕКСА «МОРСКОЙ СТАРТ» ДЛЯ ЗАПУСКА ПИЛОТИРУЕМЫХ КОРАБЛЕЙ

А.А. Исаев

**(Государственное предприятие «Конструкторское бюро «Южное»
им. М.К. Янгеля», г. Днепропетровск, Украина)**

info@yuzhnoye.com, aisaiev@rambler.ru

Доклад посвящен вопросам использования ракетно-космического комплекса «Морской старт» для запусков пилотируемых космических кораблей (ПКК) ракетой космического назначения (РКН) «Зенит».

РКН «Зенит» изначально спроектирована с учетом использования для запуска ПКК и, в основном, удовлетворяет требованиям, предъявляемым к средствам выведения ПКК.

Данная тема приобрела повышенную актуальность в связи с возросшим интересом иностранных Заказчиков, как к проблемам пилотируемой космонавтики, так и к возможным путям развития космического туризма.

Исследование возможности запусков пилотируемых космических кораблей с использованием комплекса «Морской старт» является новым аспектом в развитии использования комплекса, что в свою очередь могло бы существенно повысить его привлекательность как надежного поставщика пусковых услуг.

В материалах доклада:

1. Приведена историческая справка о ранее проведенных работах по вопросам запусков РКН «Зенит» различных пилотируемых космических кораблей.

2. Проведен анализ возможности запусков ПКК с морской платформы с рассмотрением различных способов посадки экипажа в ПКК в условиях морского базирования;

3. Предложены дальнейшие пути исследования данной темы, с целью обобщения опыта такого рода работ и возможности практической реализации.

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТРАНСПОРТНО-УСТАНОВОЧНЫХ АГРЕГАТОВ
ДЛЯ ПЕРСПЕКТИВНОГО СТАРТОВОГО КОМПЛЕКСА**

С.И. Винцаревич, Ю.Ф. Кукушкин

(«МАТИ» – РГТУ им. К.Э.Циолковского, г. Москва)

stk1996@mail.ru

Авторами проведено исследование и анализ двух модификаций транспортно-установочного агрегата (ТУА) для ракет космического назначения (РКН) легкого и тяжелого классов, которые планируется применять на перспективном стартовом комплексе (СК). Рассматривалась конструкционная составляющая и аспекты надежности. Поскольку анализ надежности всех устройств ТУА довольно объемный, для первоначального расчета была выбрана система электрооборудования.

Анализ агрегатов и оценка надежности показали:

- Так как РКН проектируются на основе двух универсальных ракетных модулей, конструкции ТУА во многом схожи, как в механической части, так и в электрической – следовательно, можно использовать одни и те же допущения при расчете надежности, но есть и существенные различия;
- ТУА для ракет тяжелого класса оснащен специальными опорными устройствами, снижающими изгибающие нагрузки на РКН, возникающие из-за ее большой длины;
- задние части обоих ТУА практически идентичны по расположению контрольных выступов, опорных элементов и указателей вертикальности, что позволяет их применять на одном пусковом столе;
- расчет надежности каждого из рассматриваемых в работе ТУА показал, что, поскольку в каждом из агрегатов применены однотипные комплектующие изделия, у которых показатели долговечности и характеристики отказов равны, то значения вероятности безотказной работы за цикл будет отличаться только в зависимости от количества этих элементов и времени их работы;
- ТУА тяжелого класса более насыщен элементами, как металлоконструкцией, так и элементами гидравлики и электроники, поэтому

его надежность несколько ниже, чем у ТУА легкого класса, а время восстановления больше – однако это заключение не дает повода усомниться в его надежности, поскольку окончательное значение, которое получено при помощи приведенной в работе методики, удовлетворяет заданным требованиям;

- окончательное решение о надежности агрегатов может быть получено в результате изготовления и последующих испытаний.

МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ НАЗЕМНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ РАКЕТНО- КОСМИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ

В.И. Лазарев
(МАДИ, г. Москва)
tumadi@mail.ru

Методы оценки технического состояния и прогнозирования наземной инфраструктуры ракетно – космических комплексов рассмотрены на примере оборудования унифицированной заправочной позиции боевых ракетных комплексов типа «ОС», отличающегося наибольшей эксплуатационной сложностью, на основе анализа статистических данных за длительный период эксплуатации.

Изменения технического состояния оборудования во времени можно оценить в виде сложной функции случайных переменных $F(T_3)$: начальных значений характеристик и периметров элементов – a , скорости их изменения – β , нагрузок – γ , воздействия окружающей среды – ξ и времени эксплуатации

$(F(T_3) = f(a, \beta, \gamma, \dots, \xi))$. Ввод в эксплуатацию оборудования был проведен на 19 объектах в 1966 году.

В настоящее время часть его находится в эксплуатации и по решению правительства оно должно выполнять свои задачи до 2020 года. В связи с этим, проведена научно-исследовательская работа для подтверждения этого срока при непосредственном контроле и оценки технического состояния на местах эксплуатации. Разработан обоснованный прогноз с учетом рационального использования трудовых и финансовых ресурсов. Предложены математические модели с приме-

нением надежных методов и искусственных нейронных сетей, а также рекомендации по организации работ на местах эксплуатации с участием заинтересованных организаций.

**ОЧИСТКА ПРОМСТОКОВ ОТ ВРЕДНЫХ КОМПОНЕНТОВ
ЖИДКИХ РАКЕТНЫХ ТОПЛИВ**

В.В. Буренин, С.Ю. Беляева
(МАДИ, г.Москва)
tumadi@mail.ru

Наиболее опасным фактором негативного воздействия ракетно-космической техники на окружающую среду является загрязнение территорий и водных объектов компонентами жидких ракетных топлив (КЖРТ), которые являются экологически опасными веществами.

Основные КЖРТ: азотный тетраоксид, азотнокислотный окислитель, несимметричный диметилгидразин обладают токсичными свойствами, легко испаряются, неограниченно растворяются в воде, что способствует их миграции при попадании в природную среду.

При рассмотрении вопроса утилизации и уничтожения КЖРТ аспект экологической безопасности доминирует над всеми остальными. Целью уничтожения (утилизации) КЖРТ является разрушение и перевод их в нетоксичные соединения. Рассматриваются достоинства и недостатки термического огневого метода, термического метода жидкостного окисления (метода «мокрого окисления»), адсорбционно-каталитического метода и радиационно-химического метода для очистки и нейтрализации дренажных газов и промстоков, содержащих КЖРТ.

**АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКОГО СОВЕРШЕНСТВА СИСТЕМ
ХОЛОДОСНАБЖЕНИЯ СТАЦИОНАРНЫХ ПУНКТОВ БОЕВОГО
УПРАВЛЕНИЯ И СВЯЗИ РАКЕТНЫХ КОМПЛЕКСОВ**

А.Н. Сова, Р.Б. Борисов, М.А. Дорохин
(ВА РВСН им. Петра Великого),
С.Ю. Беляева, В.В. Стародворцев, Н.А. Горохова (МАДИ)
tumadi@mail.ru

Совершенствование технических систем командных пунктов (КП) может позволить улучшить боевые и эксплуатационные свойства системы пунктов боевого управления и связи (ПБУИС) в целом. Повыше-

ние холодопроизводительности систем холодоснабжения (СХС) КП позволит обеспечить эффективное решение многих боевых задач. Для правильного выбора наиболее направлений совершенствования СХС необходим анализ технического совершенства известных СХС стационарных ПБУиС.

СХС имеют также отличия по своему количественному и качественному составу. Важнейшее место в системах занимают холодильные машины (ХМ), количество которых разное: от трех до пяти. Различие наблюдается не только в количестве ХМ, но также и в их конструкции.

В СХС используются агрегатированные ХМ, винтовые бессальниковые ХМ с регулируемой холодопроизводительностью, винтовые турбохолодильные машины. Различия существуют не только по количеству ХМ, но и по холодопроизводительности.

Сравнительный анализ альтернативных и используемых хладагентов показывает, что они по своим характеристикам (альтернативные хладагенты) не хуже, а даже по некоторым показателям даже лучше. Главное их преимущество состоит в том, что у них потенциал озоноразрушения и потенциал глобального потепления намного ниже, чем у используемых в настоящее время хладагентов.

При решении задачи заказа, контроля разработки и изготовления СХС необходимо учитывать, что в перспективных СХС для обеспечения повышения технического совершенства должны применяться естественные источники холода, новые принципиальные схемы СХС с переменной структурой, новые ХМ с применением кавитационных и магнитожидкостных контуров жидкостного охлаждения конденсаторов ХМ, оснащенных термосваями, тепловыми трубами, что позволит им выполнять задачи по назначению с меньшими затратами электроэнергии и расходом ресурса.

**ОСНОВНЫЕ ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ НАПРАВЛЕНИЯ,
СПОСОБЫ И СРЕДСТВА ОТВОДА ТЕПЛА ОТ КОМПЛЕКСОВ АППАРАТУРЫ
И ОБОРУДОВАНИЯ В ПЕРИОДЫ ПОВЫШЕННЫХ ТЕПЛОВЫХ НАГРУЗОК**

**А.Н. Сова, Р.Б. Борисов, М.А. Дорохин
(ВА РВСН им. Петра Великого),**

**С.Ю. Беляева, В.В. Стародворцев, Н.А. Горохова (МАДИ)
tumadi@mail.ru**

В настоящее время системы холодоснабжения (СХС) являются неотъемлемой частью высокозащищенных пунктов боевого управления и связи (ПБУИС). Они обеспечивают отвод тепловой энергии, выделяемой в процессе функционирования аппаратуры и оборудования ПБУИС. В настоящее время существует множество различных перспективных научно-технических направлений решения задачи отвода тепла от комплекса аппаратуры и оборудования ПБУИС.

К основными научно-техническими направлениями решения задачи отвода тепла от комплексов аппаратуры и оборудования ПБУИС в периоды повышенных тепловых нагрузок можно также отнести:

- 1) использование дополнительных аккумуляторов холода, принцип действия которых основан на протекании физических процессов или химических реакций с поглощением тепла;
- 2) создание дизель-генераторов замкнутого цикла, обладающих повышенными экологическими характеристиками и автономностью;
- 3) создание комбинированных силовых установок, на основе дизелей и паросиловых установок позволяющих более экономно расходовать автономный запас в период максимального энергопотребления и обеспечивать необходимую продолжительность автономности в условиях повышенного расхода электроэнергии;
- 4) применение кавитационных и магнитожидкостных контуров отвода тепла от конденсаторов ХМ СХС.

Одним из наиболее перспективных надо отметить применение кавитационных контуров отвода тепла от конденсаторов ХМ СХС, т.к. при этом можно снизить потребляемую мощность и повысить экологическую безопасность. Для обеспечения максимальной эффективности СХС при разработке и создании важно учитывать все разнообразие и возможность реализации нескольких научно-технических направлений на одном объекте.

**РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ВЫБОРА СТРУКТУРЫ И ПАРАМЕТРОВ
МАГНИТОЖИДКОСТНОЙ СИСТЕМЫ ОТВОДА И ПРЕОБРАЗОВАНИЯ
ТЕПЛА ОТ ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРОВ ПУНКТОВ БОЕВОГО
УПРАВЛЕНИЯ И СВЯЗИ**

*А.Н. Сова, Р.Б. Борисов, М.А. Дорохин
(ВА РВСН им. Петра Великого),*

*С.Ю. Беляева, В.В. Стародворцев, Н.А. Горохова (МАДИ)
tumadi@mail.ru*

В процессе научно-исследовательской работы была поставлена и решена научная задача, состоящая в обосновании выбора рациональных параметров, характеристик и структуры перспективной системы отвода и преобразования тепла (СОПТ) от дизель-генераторов пунктов боевого управления и связи (ПБУиС) с применением в их структуре магнитожидкостных технических средств и дополнительных аккумуляторов холода (ДАХ).

При решении научной задачи была разработана методика, предназначенная для обоснования выбора структуры, параметров и эксплуатационных характеристик магнитожидкостных СОПТ дизель-генераторов защищенных ПБУиС.

В соответствии с предназначением методика позволяет решать следующие основные задачи:

- 1) расчет тепловой нагрузки на СОПТ с целью определения исходных данных для расчета холодопроизводительности;
- 2) тепловой расчет парогенератора комбинированной силовой установки (КСУ) на магнитной жидкости;
- 3) тепловой расчет магнитожидкостной тепловой трубы;
- 3) тепловой расчет ДАХ;
- 4) расчет холодопроизводительности и установленной мощности системы отвода и преобразования тепла от дизель-генераторов защищенных ПБУиС в зависимости от конструктивно-компоновочной схемы и параметров КСУ, магнитожидкостных тепловых труб и ДАХ, параметров магнитных и других рабочих жидкостей.

Структурно методика включает подготовку исходных данных, расчет СОПТ, расчет холодопроизводительности и установленной мощности СОПТ, расчет потребляемой мощности, сравнительный анализ рассматриваемых вариантов СОПТ, формирование и обоснование требований (общих, частных, специальных, эксплуатационных и др.) к СОПТ.

**РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ВЫБОРА СОСТАВА И ПАРАМЕТРОВ
КАВИТАЦИОННОГО КОНТУРА ОХЛАЖДЕНИЯ КОНДЕНСАТОРОВ
ХОЛОДИЛЬНЫХ МАШИН СИСТЕМ ХОЛОДОСНАБЖЕНИЯ ПУНКТОВ
БОЕВОГО УПРАВЛЕНИЯ И СВЯЗИ**

***А.Н. Сова, Р.Б. Борисов, М.А. Дорохин
(ВА РВСН им. Петра Великого),***

***С.Ю. Беляева, В.В. Стародворцев, Н.А. Горохова (МАДИ)
tumadi@mail.ru***

Достижимый уровень работоспособности и безошибочности действий операторов пунктов управления войсками и оружием, степень реализации эксплуатационных свойств технологического оборудования и аппаратуры зависят от эффективности систем холодоснабжения (СХС). Отсутствие простых, адекватных и применимых при разработке СХС методик выбора структуры и параметров, учитывающих преимущества кавитационного контура охлаждения конденсаторов холодильных машин (ХМ) не позволяет принять обоснованное решение в пользу того или иного варианта СХС. Разработка новой методики обоснования выбора рациональных параметров и состава кавитационного контура охлаждения конденсаторов ХМ СХС перспективных пунктов боевого управления и связи (ПБУиС) позволит повысить объективность выбора наиболее эффективной СХС.

В рамках научно-исследовательской работы была поставлена, декомпозирована и решена научная задача, состоящая в обосновании выбора рациональных параметров и состава кавитационного контура охлаждения конденсаторов ХМ СХС перспективных ПБУиС. Для решения научной задачи была разработана методика обоснования выбора структуры, параметров и эксплуатационных характеристик систем холодоснабжения с холодильными машинами, в которых в качестве хладон используются экологически чистые вещества и кавитационный контур охлаждения конденсаторов холодильных машин.

Методика расчета СХС на базе ХМ с кавитационным контуром охлаждения их конденсаторов включает три основных типа расчетов, такие как:

- 1) тепловой расчет СХС в целом и отдельных её элементов;
- 2) гидравлический расчет СХС в целом и отдельных её элементов;

3) аэродинамический расчет СХС (расчет воздушной системы охлаждения хладоносителя – антифриза или ОЖ “Лена-40” – в “Зимнем” и “Летнем” режимах работы СХС).

**РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ КОЭФФИЦИЕНТА
ТЕПЛОТДАЧИ ОТ НАГРЕТОЙ ПОВЕРХНОСТИ К МАГНИТНОЙ
ЖИДКОСТИ В ПАРОГЕНЕРАТОРЕ КОМБИНИРОВАННОЙ
СИЛОВОЙ УСТАНОВКИ**

А.Н. Сова, Р.Б. Борисов, М.А. Дорохин
(ВА РВСН им. Петра Великого)
brb777@rambler.ru

Перспективные направления совершенствования ракетного вооружения, как правило, требуют разработки нового научно-методического аппарата для проектирования составных элементов образцов вооружения. Экспериментальные исследования показали целесообразность применения магнитожидкостных механизмов и барботирования для повышения теплоотдачи. Для разработки устройств, реализующих эти механизмы необходима математическая модель коэффициента теплоотдачи от нагретой поверхности к магнитной жидкости. Она должна отличаться учетом параметров магнитного поля и барботирования.

Зависимость коэффициента теплоотдачи, а, соответственно, числа Нуссельта от таких критериев подобия как число Рейнольдса, число Прандтля и напряженности магнитного поля носят нелинейный близкий к степенному характер. Линеаризовав формальную нелинейную модель числа Нуссельта, получим возможность использовать линейные модели множественной регрессии. Принимая во внимание то, что при независимости случайных остатков и постоянстве величины рассеивания случайных остатков наиболее адекватной и достоверной моделью является линейная модель множественной регрессии с гомоскедастичными остатками.

Для оценки параметров математической модели коэффициента теплоотдачи от нагретой поверхности к магнитной жидкости необходимо экспериментальное определение k серий опытных данных. Результаты оценки параметров математической модели коэффициента теплоотдачи при фазовых превращениях магнитной жидкости позволили

сформировать математические модели для частных условий кипения.

Оценка максимального значения относительного отклонения коэффициента теплоотдачи, рассчитанного по полученным математическим моделям коэффициента теплоотдачи при фазовых превращениях магнитной жидкости, от значений коэффициента, зафиксированных при проведении экспериментальных исследований, показывает, что ошибка не превысила 24,8 %.

**БЕСПЕРЕБОЙНОЕ ВОЗДУХОСНАБЖЕНИЕ АВТОНОМНЫХ
ДИЗЕЛЬ-ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
ВЫХЛОПНЫХ ГАЗОВ**

А.Н. Сова, Р.Б. Борисов, М.А. Дорохин

(ВА РВСН им. Петра Великого),

А.И. Лавренов (МАДИ)

tumadi@mail.ru

Одним из направлений повышения живучести стационарных командных пунктов (СКП) боевых ракетных комплексов (БРК) является усовершенствование газовоздушных трактов и системы воздухо-снабжения автономной дизель-электрической станции (ДЭС). По комплексу показателей ДЭС в настоящее время является наиболее оптимальным автономным источником энергоснабжения для СКП БРК. Однако применение ДЭС создает ряд проблем, главной из которых является обеспечение живучести при появлении воздействующих факторов. Решение данной проблемы ведется в двух направлениях: создание ДЭС, работающей по замкнутому циклу и создание специальных газовоздушных трактов для работы по открытому циклу.

Обеспечение живучести за счет развития газовыхлопных трактов стало более предпочтительным, чем разработка замкнутого цикла, однако оконечные участки являются трудновыполнимыми конструкциями и желательно в течение первых 20-30 минут после появления воздействующих факторов из-за высокой температуры и запыленности воздуха уменьшить количество забираемого воздуха. Поэтому возникли стремления создать запасы воздуха для работы ДЭС в начальный период.

Но создание запасов воздуха для работы ДЭС в течение 20-30 минут без их регенерации приведет к колоссальным затратам и сложностям. Предлагается для восполнения запасов воздуха использовать выхлопные газы, прошедшие через газоразделительную мембрану.

Мембранная технология газоразделения основывается на разнице в скорости проникновения компонентов газа через вещество мембраны. Движущей силой разделения газов является разница парциальных давлений на различных сторонах мембраны. Полуволоконная мембрана состоит из пористого полимерного волокна с нанесенным на его внешнюю поверхность газоразделительным слоем. Конструктивно полуволоконная мембрана компонуется в виде цилиндрического картриджа, который представляет собой катушку с намотанным на нее особым образом полимерным волокном.

**РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕПЛОВЫХ РЕЖИМОВ СИСТЕМЫ
ТЕРМОСТАТИРОВАНИЯ КОРАБЕЛЬНОГО ТРАНСПОРТНОГО КОНТЕЙНЕРА
В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ**

С.М. Дудин, И.С. Новожилов
(БГТУ «ВОЕНМЕХ», Санкт-Петербург)
nowozhilow_ilja@mail.ru

Выработка конструкторских решений при создании корабельных транспортных контейнеров (ТК) с эффективными средствами обеспечения теплового режима (СТР) базируется на расчетно-экспериментальном анализе теплового состояния ТК и данных измерений при проведении модельных испытаний. В связи с этим обеспечение надлежащих параметров тепловых режимов ТК при эксплуатации в экстремальных климатических условиях (при температуре наружного воздуха от минус 40 °С до плюс 50 °С при наличии солнечной радиации и других факторов) правомерно рассматривать как задачу теплового проектирования.

Допустимый уровень температур во внутренней полости ТК поддерживается с использованием термоэлектрического устройства термостатирования (УТ), входящего в состав СТР и обеспечивающего компенсацию теплопотерь в зимнее и теплопритоков в летнее время из внутренней и во внутреннюю полость контейнера соответственно при определенном расходе воздуха в воздуховодах ТК.

Представлены некоторые результаты модельных испытаний в части экспериментальной оценки холодо- и теплопроизводительности УТ на основании измерений температур воздуха во внутренней полости ТК по длине гидравлического тракта и расхода воздуха в нём с имитацией теплопритоков (тепловыделений) вовнутрь (наружу) ТК.

В статье приведена тепловая модель объекта термостатирования, использованная для анализа эффективности УТ. Согласно этой модели, мощность, поглощаемая (выделяемая) потоком воздуха во внутренней полости ТК оценивалась с использованием ряда корреляционных зависимостей включающих в себя значения тепловых проводимостей от наружного воздуха к воздуху во внутренней полости ТК и наружных ограждений в ТК, а также коэффициенты теплообмена охлаждающего воздуха с внутренними полостями ТК.

Приводятся основные методические положения, использованные при выборе средств непрерывной регистрации измеряемых параметров с учетом требований корректной интерпретации результатов измерений на различных этапах экспериментальной отработки тепловых режимов ТК и использованные для разработки стендового оборудования имитация теплопритоков (теплопотерь) в режиме обогрева (охлаждения) внутренней полости ТК, то есть с приближением условий модельных испытаний к экстремальным летними (зимним) условиям в части интенсивности теплообмена наружных поверхностей ТК с окружающей средой при наличии ветра и солнечной радиации. Изложены методики экспериментального определения расхода воздуха во внутреннем контуре устройства термостатирования. Обоснован выбор типа и характеристик блока энергоснабжения термоэлектрического УТ, использованного при проведении модельных испытаний ТК.

В статье также сделан ряд выводов. Так при функционировании внутри ТК электрических имитаторов теплопритоков с различной мощностью тепловыделений, имеет место хорошее согласие результатов оценок мощностей, поглощаемых потоком воздуха из УТ, со значениями суммарных теплопритоков во внутреннюю полость ТК через ограждения ТК за счет разностей температур воздуха внутри ТК и от электрического имитатора. Данное обстоятельство свидетельствует, с одной стороны, о реализации на различных уровнях мощности тепловыделения имитаторов тепловых режимов, близких к стационарным, с другой - о приемлемой для практических целей точности измерений определяющих параметров и правомерности использования корреляционных зависимостей, используемых для обработки экспериментальных данных. Также сделан вывод о том, что для обеспечения эксплуатационного запаса необходимо повысить холодо- и теплопроизводительность УТ за счет доработки его конструкции (с учетом ограничений по мощности источника питания) при проведении мероприятий по увеличению рас-

хода воздуха во внутреннем контуре, по увеличению характеристик теплоизоляции УТ в целом и повышению герметичности внутреннего контура, по исключению потерь давления, связанных с движением потока в воздуховоде и внутренней полости контейнера, и по снижению тепловой проводимости наружных ограждений самого отсека УТ и ТК. Кроме того в процессе проведения модельных испытаний установлено существенное влияние на распределения температур в наружных ограждениях ТК тепловых мостов.

**АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИК УПРАВЛЕНИЯ АГРЕГАТОМ ОСУШКИ,
ПОДОГРЕВА И ОХЛАЖДЕНИЯ ВОЗДУХА ПРИ ОБСЛУЖИВАНИИ
ШАХТНОЙ ПУСКОВОЙ УСТАНОВКИ**

А.А. Сошников

(МГТУ им. Н.Э. Баумана, г.Москва)

arkadij@soshnikov.su

При проведении работ по обслуживанию шахтной пусковой установки (ШПУ) требуется более мощная система обеспечения температурно-влажностного режима (ТВР), чем при дежурстве. В связи с этим используются стационарная система обеспечения ТВР малой мощности и более мощный подвижной агрегат.

Осушка воздуха в подвижном агрегате может осуществляться в холодильной машине или в адсорбере.

Рассматриваются процессы управления подвижным агрегатом осушки, подогрева и охлаждения воздуха, имеющим в своём составе две поочерёдно работающие холодильные машины. Каждая холодильная машина имеет в своём составе три холодильных агрегата разной холодопроизводительности. Управление должно обеспечивать осушку воздуха до точки росы вплоть до -3°C таким образом, чтобы все холодильные агрегаты работали при допустимых величинах температуры в испарителе.

С использованием зависимости холодопроизводительности компрессоров от температуры кипения и конденсации, диаграммы энтальпия–влажностное содержание для воздуха, а так же математической модели системы управления на RS-триггерах была разработана математическая модель работы системы управления.

Представлены результаты математического моделирования: показано, что при заданных температурах включения и выключения холодильных агрегатов при малом ($250 \text{ м}^3/\text{ч}$) расходе охлаждаемого воздуха

система управления работает в режиме автоколебаний в широком диапазоне температур подаваемого воздуха. Так же выявлены температуры подаваемого воздуха, при которых автоколебательный режим имеет место и при режимах работы с большим расходом.

Показано, что при увеличении разности между температурами включения и температурами отключения холодильных агрегатов, автоколебания возникают при меньшем диапазоне параметров подаваемого воздуха, а при высокой температуре окружающего агрегат воздуха (около 45 °С) не возникают вообще. Однако полностью уйти от автоколебаний, используя имеющийся алгоритм управления, возможно только задав недопустимо низкую температуру отключения холодильных агрегатов.

УСТРОЙСТВО ДЕМПФИРОВАНИЯ КОЛЕБАНИЙ АМОРТИЗИРУЕМОГО ОБЪЕКТА НА БАЗЕ АСИНХРОННОЙ МАШИНЫ

Р.Н. Хамитов, Г.С. Аверьянов

(ОмГТУ, г. Омск) apple_27@mail.ru

Виброзащитные устройства (ВЗУ) крупногабаритных амортизируемых объектов (АО) содержат амортизаторы различных видов и демпферы (как правило, гидравлические). Амортизатор обычно является пневмоамортизатором (ПА) с воздушным демпфированием. Для устранения виброударопроводимости в динамических режимах работы ВЗУ предлагается вместо гидродемпфера применить электромагнитный динамический гаситель колебаний на базе асинхронной машины - электродвигателя (АД). В этом случае ВЗУ является комбинированным и содержит ПА, обеспечивающий статическую нагрузку (несущую способность) ВЗУ и динамический гаситель колебаний на базе асинхронной машины, работающий только в динамических режимах. В такой конструкции динамический гаситель колебаний представляет собой электротехнический комплекс (ЭТК), предназначенный для преобразования механической энергии колебаний АО в тепловую энергию, рассеиваемую в окружающую среду, или утилизирующий энергию механических колебаний АО в электрическую энергию, отдаваемую с помощью обратимых преобразователей в сеть асинхронной машины. Таким образом, в нашем случае данный ЭТК - подсистема системы амортизации АО, состоящая из преобразователя электрической энергии, АД, устройства

преобразования движения и устройства управления и регулирования, которая предназначена для гашения колебаний АО.

Для развития данного направления в системах амортизации крупногабаритных объектов необходимо рассмотреть следующие задачи: 1) выбор асинхронной машины по мощности (с учетом работы только в тормозном режиме и одновременной работы ПА со своим демпфирующим устройством; 2) синтез конструктивных решений ВЗУ и выбор режима работы устройства управления, преобразователя частоты асинхронной машины, обеспечивающего максимальное преобразование энергии механических колебаний АО в тепловую энергию; 3) разработка и исследование совмещенной модели ВЗУ с АД при различных видах нестационарных воздействий на АО.

К ВОПРОСУ ПОВЫШЕНИЯ УРОВНЯ БЕЗОПАСНОСТИ ОБЪЕКТОВ ИНФРАСТРУКТУРЫ РАКЕТНЫХ КОМПЛЕКСОВ

И.И. Кладовой

*(РВИРВ им. Главного маршала артиллерии М.И. Неделина,
г. Ростов-на-Дону)*

Учитывая динамику распространения террористических угроз на территории РФ потенциально опасными регионами, кроме Северокавказских республик, постепенно становятся города и области центральной части России, на территориях которых дислоцированы стратегически - важные объекты ракетных комплексов (РК).

При проектировании РК предыдущего поколения предусматривался достаточно высокий уровень защищенности преимущественно от воздействия наземного и воздушного противника. Однако следует понимать, что комплексный характер современного терроризма не позволяет в должной мере обеспечить требуемый уровень безопасности объектов инфраструктуры РК преимущественным осмотром местности лицами суточного наряда, а также неусовершенствованной системой учёта и обмена оперативной информацией между органами военного управления и правоохранительными структурами. Нельзя отрицать того факта, что существующие подходы к оценке обстановки на территории важных объектов являются принципиально неадекватными.

Предлагаются две принципиально новые методики оценки уровня террористической угрозы на объектах позиционного района ракетного

соединения, при этом рамки функционирования ограничиваются вероятностными методами оценки.

Первая методика построена на основе метода оценки интегральных апостериорных вероятностей гипотез образующих в общем случае полную группу как зависимых, так и независимых событий-гипотез, отличающийся от известных методов обработки данных суммированием условных вероятностей гипотез и накоплением свидетельств. Вторая - использует метод оценки данных об обстановке с использованием нейронных сетей.

Обе программные методики позволяют существенно повысить адекватность оценки обстановки на объектах инфраструктуры ракетного соединения в условиях возрастания угрозы совершения террористических актов, а также с достаточно высоким уровнем достоверности прогнозировать её вероятное развитие.

**О РАЗРАБОТКЕ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАСЧЕТА
БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩИХ СИЛОВЫХ ПРИВодОВ
РАЗЛИЧНОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

А.М. Мурзин, М.С. Логинов

(ЮУр ГУ, г. Челябинск)

acf_au@acf.susu.ac

Современные подходы проектирования рациональных конструкций в основном базируются на переборных методах, основанных на параметрической оптимизации. Они позволяют получить рациональные проектные решения систем стартовых комплексов, удовлетворяющих большому количеству в общем случае взаимоисключающих требований, и обеспечивают получение приемлемых результатов при жестких временных ограничениях.

При проектировании стартовых комплексов значительная часть работы уделяется разработке силовых приводов, в которых используются гидравлические цилиндры с попутным и встречным расположением по отношению к направляющей, телескопические гидроцилиндры с одновременным и последовательным выдвиганием секций, в виде комбинации двух гидроцилиндров, а также цилиндры, содержащие гидравлическую и газовую рабочие ступени.

Ранее был разработан ряд методик расчета и соответствующее им программное обеспечение для силовых приводов с различными компоновочными схемами с учетом изгибных податливостей основных

несущих элементов конструкции, упругости и вязкости жидкости в гидросистемах. Также разработаны методика и программа параметрической оптимизации привода с двумя гидроцилиндрами, штоки которых соединены шарнирно в узле, перемещающемся по направляющей одним из гидроцилиндров.

Следует отметить, что разработанное программное обеспечение для различных схем имеет много общего в структуре и подпрограммах и общую базу входных и выходных параметров.

Поэтому ставится и решается задача разработки пакета программ с единой базой данных, обеспечивающего расчет и последующее проектирование силовых приводов с различными компоновочными и кинематическими схемами. Такой подход обеспечивает выбор рациональной конструкции с точки зрения минимальной материалоемкости, энергоемкости и эксплуатационной пригодности. Пакет программ предполагается использовать при проектировании новых конструкций и в учебном процессе.

О МАТЕМАТИЧЕСКОМ МОДЕЛИРОВАНИИ СЛОЖНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

А.В. Панфилов
(ЮУрГУ, г. Челябинск)
awpsoft@acf.susu.ac.ru

Контроль выполнения технических требований, предъявляемым к проектируемым транспортным системам, осуществляется в ходе испытаний, проводимых на различных стадиях разработки систем. Наиболее продолжительными и дорогостоящими являются полигонные испытания. С целью снижения этих показателей при проектировании проводится комплекс математического и компьютерного моделирования.

Математическое моделирование многостепенных динамических систем, состоящих из комбинации твердых и упруго-деформируемых тел с распределенными параметрами, представляет собой сложную задачу. Их движение описывается дифференциальными уравнениями в частных производных с учетом определенного числа первых форм колебаний, поиск которых, в свою очередь, также является достаточно сложной задачей. При этом остается открытым вопрос о необходимом числе учитываемых форм колебаний и о допустимом уровне упрощения математической модели, позволяющем добиться снижения времени реализации, связанного с отладкой и проведением вычислений.

Рассматриваются математические модели движения транспортной системы различной степени упрощения. В ходе реализаций определяются параметры колебательного процесса, как для центра масс всей системы, так и для отдельных ее элементов. Оценка результатов математического моделирования производится на динамическом беговом стенде, представляющем собой масштабную модель гусеничной транспортной машины, установленную на бесконечной ленте, имитирующей дорожное полотно.

Сравнение результатов математического моделирования и стендовых испытаний позволяет сделать выводы о допустимом уровне упрощения математических моделей, а так же том, что динамический беговой стенд является достаточно простым и недорогим инструментом для оценки расчетных методик и методов компьютерного моделирования сложных динамических систем.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОПЕРЕЧНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ МНОГООСНОЙ ТРАНСПОРТНОЙ МАШИНЫ

Н.Ф. Кривошапов
(ЮУрГУ, г. Челябинск)
acf_au@acf.susu.ac

В настоящее время актуальным остается вопрос поперечной устойчивости тяжелых транспортных машин в связи с ростом массы и габаритов перевозимых грузов, увеличения расстояния от центра масс до опорной поверхности при ограничении ширины колеи, а также увеличении скоростей движения в различных дорожных условиях.

В известных исследованиях по устойчивости были использованы критерии: критический угол; состояние дороги; максимальная скорость движения; допустимый радиус поворота; боковая сила и боковое ускорение; величина нормальной реакции на движителях транспортного агрегата; степень приближения проекции центра масс в плоскости опорного контура к оси опрокидывания; соотношения между опрокидывающим и восстанавливающим моментами. Так как отрыв колес всего борта не является условием полной потери устойчивости. Необходим переход проекции центра масс через ось опрокидывания нагруженного борта.

В работах по динамике транспортных машин основное внимание уделяется исследованию курсовой устойчивости без учета отрыва колес и пробоя подвески.

При исследовании боковой устойчивости один критерий не может полностью учесть поведение машины в дорожных условиях. Поэтому необходим одновременный учет различных критериев.

Для исследования поперечной устойчивости многоосной машины составлена пространственная расчетная схема с учетом неподрессоренных масс и нескольких критериев, характеризующих поперечную устойчивость, выведены уравнения движения, описывающие колебания, пробой подвески и отрыв колес от колеи при больших углах наклона с переходом к потере устойчивости машины.

В процессе решения были определены параметры поперечных колебаний и зоны неустойчивого движения тяжелых колесных машин. Результаты исследования можно использовать при проектировании транспортных машин и в учебном процессе.

ПНЕВМАТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ПОДРЕССОРИВАНИЯ МНОГОЦЕЛЕВЫХ ГУСЕНИЧНЫХ МАШИН С МАГНИТОЖИДКОСТНЫМ ДЕМПФИРОВАНИЕМ

Г.С. Аверьянов, В.Н. Бельков, А.Б. Корчагин, Р.Н. Хамитов

(ОмГТУ, г. Омск)

apple_27@mail.ru

В настоящее время на базовых отечественных многоцелевых гусеничных машинах (МГМ) применяются, как правило, пассивные системы подрессоривания, состоящие из упругих элементов и амортизаторов (гидравлических демпферов), характеристики которых не регулируются. Анализ таких подвесок показывает, что их потенциальные виброзащитные свойства не достаточны для уменьшения динамического воздействия на персонал, приборы и агрегаты.

Традиционная торсионная подвеска катков с гидравлическими демпферами в базовой схеме МГМ не решает проблему по регулированию упругодемпфирующих характеристик во всем диапазоне частот и амплитуд внешнего воздействия.

В настоящее время для гашения колебаний в системах подрессоривания транспортных и гусеничных машин используются, как правило, гидравлические демпферы. Они обладают, как известно, хорошей демпфирующей способностью, но не обеспечивают управление упругодемпфирующими характеристиками во всем спектре внешнего воздействия.

Таким образом, повышение виброзащитных свойств пассивных систем поддрессирования МГМ с целью снижения вибраций и ударов и увеличения скоростей движения является актуальной задачей.

Попытки решения данной проблемы путем оптимизации параметров пассивных систем поддрессирования известной структуры не обеспечивают достижения указанной цели. Поэтому для решения исследуемой проблемы необходима разработка новых теоретических предпосылок повышения виброзащитных свойств подвесок, позволяющих создавать системы поддрессирования с новыми структурами и характеристиками для данного класса машин.

Одним из путей повышения эффективности демпфирования колебаний колесных и гусеничных машин на ПА является введение магнитоэластического управления упругодемпфирующими характеристиками, что является одной из основных задач исследования.

**ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ДВУХЦИЛИНДРОВОМ
ПНЕВМОДВИГАТЕЛЕ С АКТИВНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ
ГАЗОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ**

Г.С. Аверьянов, В.Н. Бельков, Д.Ф. Зелов, А.В. Щербинкин
(ОмГТУ, г. Омск)
apple_27@mail.ru

В настоящее время существует различные подходы к построению и использованию поршневых пневмодвигателей.

Введение в систему газораспределения пневмодвигателей самодействующих клапанов расширяет область их применения. Самодействующие клапаны, обладая малой инерционностью, позволяют повышать частоту вращения коленчатого вала до уровня частот современных высокооборотных поршневых компрессоров, но при этом затруднен первоначальный запуск двигателя, что значительно снижает эффективность его работы. Поэтому целью данного исследования является разработка эффективного двухцилиндрового пневмодвигателя с кривошипно-шатунным механизмом преобразования поступательного движения поршней во вращательное движение выходного вала. Управление газораспределением осуществляется пневматическим распределительным устройством в виде струйной трубки, которая перемещается электромеханическим преобразователем (ЭМП), преобразующее суммирующее устройства, выход которого согласуется со входом ЭМП с по-

мощью усилителя мощности. Задачи исследования заключались в разработке математических моделей, позволяющих прогнозировать процессы в пневмодвигателях, как на установившемся, так и на переходных режимах.

Наиболее простым и удобным методом составления уравнений движения механизма является метод лагранжевых уравнений. При составлении уравнений Лагранжа второго рода предполагается, что движение механизма исследуется в системе обобщённых координат, в качестве которых принимаются независимые параметры, определяющие положение поршней пневмодвигателя. Количество уравнений Лагранжа равно числу степеней свободы механизма.

ОПТИМИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ЗАПРАВКИ ЖИДКИМ КИСЛОРОДОМ НА СТАРТОВОМ КОМПЛЕКСЕ НАЗЕМНОГО БАЗИРОВАНИЯ

Ю.Р. Татарникова, В.С. Шарапов
(«МАТИ» – РГТУ им. К.Э.Циолковского, г. Москва)
stk1996@mail.ru

Система заправки жидким кислородом представляет собой совокупность технически сложных агрегатов и элементов и предназначена для приема, хранения жидкого кислорода (ЖК) до 20 суток и заправки им бака окислителя ракеты-носителя (РН) и, при необходимости, слива ЖК из бака и повторной заправки РН. Также система обеспечивает охлаждение потока гелия высокого давления. Система обеспечивает проведение до четырех пусков РН в год.

На основе изучения состава, устройства и работы системы заправки ЖК была проведена оптимизация некоторых ее составных частей, которая привела к уменьшению материальных затрат, металлоемкости, трудоемкости при сохраненном числе технологических операций в системе.

1. Клапаны. Использование пневмоклапанов с дистанционной регулировкой положения штока позволяет сократить количество установленных пневмоклапанов: по первой ступени РН с 7 до 2; по второй ступени РН с 5 до 1, что позволяет уменьшить металлоемкость и количество управляемых и управляющих элементов. В процессе испытаний это позволяет сократить количество их циклов и время на перенастройку расходов и уменьшить тем самым количество жидкого кислорода на проведении испытаний. При использовании таких пневмоклапанов по-

является возможность их дублирования в концевом блоке клапанов при проведении ответственных операций, тем самым повысить надежность системы в целом, а также уменьшить количество стоек пневмоуправления.

2. Расходомеры. Установка новых расходомеров, основанных на принципе кориолисовых ускорений, позволяет уменьшить габариты концевого блока клапанов и уменьшить погрешность измерения расходов по сравнению с установленными в системе, основанными на измерении с помощью расходных шайб, с 4% до 0,2%. Вместо 6 расходомеров ставим 2, соответственно уменьшается количество стоек преобразователей и количество контролируемых параметров.

3. Трубопроводы. Замена цеолита в адсорбционных секциях трубопроводов, используемого для поддержания заданного остаточного давления в теплоизоляционных полостях трубопроводов на активированный уголь позволяет восстанавливать работоспособность адсорбционных секций без принудительного отогрева цеолита. Предложено применение в системе оборудования с вакуумной изоляцией, не требующего в процессе своей эксплуатации постоянного поддержания в нем остаточного давления в течение всего срока службы системы. Это позволяет исключить из состава системы оборудование для поддержания вакуума и снизить тем самым трудоемкость эксплуатации системы примерно на 80%.

4. Насосы. Замена существующих насосов на современные позволяет исключить обдув воздухом уплотнителей насосов и уменьшить тем самым количество применяемого воздуха. Современные насосы не требуют вакуумной изоляции.

**СОЗДАНИЕ БАЗЫ ЗНАНИЙ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ, ОБЕСПЕЧЕНИЯ
КАЧЕСТВА РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ И РАЗРАБОТКИ
РАЦИОНАЛЬНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ИХ ЭКСПЛУАТАЦИИ**

А.В. Торпачев

(«МАТИ» – РГТУ им. К.Э.Циолковского, г. Москва)

stk1996@mail.ru

В составе разрабатываемой базы знаний выделено пять основных конструкторско-технологических модулей:

1. Система автоматизированного проектирования ракет космического назначения (РКН) предназначена для охвата широкого спектра вопросов и задач, возникающих перед конструктором в ходе создания

новых или модернизации существующих изделий.

2. Система автоматизированного проектирования технических комплексов создается для решения следующих задач: проектирование оборудования технических комплексов в зависимости от определяющих характеристик РКН и требований технического задания; разработка оптимальной (рациональной) технологии «отработки» РКН на технической позиции и т.п.

3. Система автоматизированного проектирования стартовых комплексов обеспечивает решение задач конструирования агрегатов, устройств и систем стартового оборудования; синтеза и оптимизации технологических процессов подготовки РКН на стартовой позиции; исследования наиболее напряженных и проблемных явлений с позиции обеспечения надежности оборудования, а также безопасности функционирования и др.

4. Автоматизированная система обеспечения качества составных частей и в целом ракетно-космических комплексов, задачами которой являются создание программно-методического базиса для оценки изделий по основным параметрам качества; разработка мероприятий по повышению до допустимых значений параметров качества изделий в ситуациях, когда по результатам оценки они оказались ниже нормы; обеспечение перехода от нормативного метода к эксплуатации по фактическому состоянию; адаптация изделий под международные системы стандартизации и сертификации и т.п.

5. Система информационного сопровождения технологии эксплуатации ракетно-космических комплексов – компьютерный инструментарий в деятельности специалистов, работающих над проблемами функционирования отдельных элементов и в целом ракетно-космических комплексов.

На более поздних этапах разработки базы знаний состав ее инструментальных средств может быть расширен.

АНАЛИЗ СПОСОБОВ ПУСКА АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Е.С. Иванина (МАДИ, г. Москва)

pilzzz@inbox.ru

Проблема пуска асинхронных двигателей (АД), соизмеримых по мощности с источником электроэнергии, имеет большую важность.

Наиболее простой, надежный и дешевый способ пуска – прямой. Однако, при прямом пуске возникают пусковые токи, в 5-7 раз превы-

шающие номинальный. Прямой пуск возможен, если мощность АД составляет не более 0,25 от мощности генератора.

Пуск через реактор позволяет ограничивать провалы напряжения генератора и пусковой ток АД. Однако, ограничение пускового тока реактором вызывает резкое (в квадрате) уменьшение тока АД, поэтому данный способ пуска рекомендован для электроприводов механизмов, у которых пуск осуществляется на холостом ходу.

Пуск переключением со звезды на треугольник позволяет уменьшить пусковой и критический моменты АД в 3 раза. Также в 3 раза уменьшается пусковая и критическая мощность АД. Но при переключении обмоток АД со звезды на треугольник возникают кратковременные броски токов, которые могут в несколько раз превышать номинальные значения.

Пуск с помощью тиристорных преобразователей позволяет получать необходимые пусковые характеристики АД. Однако, тиристорные преобразователи имеют большую массу, габариты и стоимость. Кроме того, они вносят искажения в форму кривой питающего напряжения.

Конденсаторный способ пуска также позволяет существенно ограничить пусковой ток. Кроме того, в рабочих режимах АД может использоваться часть конденсаторов из числа пусковых. Однако, наличие конденсаторов может привести к нарушению работоспособности системы в результате возникновения параметрического резонанса.

Наиболее перспективным способом пуска АД является пуск АД с управлением током ротора. При этом система пуска интегрирована в структуру АД и практически не изменяет его массогабаритных характеристик. За счет уменьшения интенсивности разгона происходит существенное уменьшение величины пускового тока.

**НАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЙ И РЕЖИМОВ ОХЛАЖДЕНИЯ УГЛЕВОДОРОДНОГО
ГОРЮЧЕГО ПЕРЕД ЗАПРАВКОЙ В ТОПЛИВНЫЕ БАКИ РАКЕТ
КОСМИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

А.Г. Зеленова, В.В. Чугунков
(МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва)
sm8@sm8.bmstu.ru

Во многих случаях технологические процессы подготовки ракет космического назначения (РКН) на стартовых комплексах включают в себя операции предварительной подготовки по температуре ракетного

топлива перед заправкой его в топливные баки РКН. Процессы охлаждения (нагрева) и термостатирования компонентов ракетного топлива являются одними из наиболее энергоемких и длительных процессов, требующих определения рациональных технологий и режимов подготовки ракетного топлива по температуре.

Охлаждение углеводородного горючего в емкостях-хранилищах на стартовом комплексе может осуществляться за счет применения встроенных и внешних теплообменников, в которых в качестве охлаждающих сред могут использоваться охлажденный воздух, жидкий хладоноситель или кипящий жидкий азот.

Рассматриваются процессы охлаждения углеводородного горючего, температурный диапазон которого перед заправкой в топливные баки РКН должен находиться в пределах $-20...-30$ °С, с использованием теплообменников, использующих в качестве охлаждающей среды кипящий жидкий азот.

Разработаны математические модели охлаждения горючего в емкости-хранилище, которые основаны на уравнениях квазистационарной теплопередачи, записанных для корпуса и опор емкости-хранилища и контура охлаждения горючего с учетом теплового взаимодействия с окружающей средой и теплового потока, подводимого к горючему насосной станцией, обеспечивающей его циркуляцию через теплообменники системы охлаждения.

Представлены результаты расчетного анализа влияния характеристик контура охлаждения и конструктивных параметров емкости-хранилища на темп охлаждения горючего, а также на потребные общие и относительные затраты жидкого азота на выполнение операции охлаждения углеводородного горючего, позволяющие выбрать рациональные режимы подготовки ракетного топлива по температуре перед заправкой его в топливные баки РКН.
