

## Секция 12

## Объекты наземной инфраструктуры ракетных комплексов

## КОНЦЕПЦИЯ ОТРАБОТКИ ГАЗОДИНАМИКИ СТАРТА

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

Необходимость обеспечения высокой надежности, исключительная сложность термогазодинамических, акустических, тепломассообменных, теплофизических и ударно-волновых процессов, предельно допустимые уровни газодинамических воздействий на изделия при старте РН потребовали создание в ракетно-космической отрасли комплексной методологии отработки газодинамики старта, включающей в себя разномасштабное физическое моделирование на специальной экспериментальной базе и расчетно-теоретический анализ процессов.

Физическое моделирование процессов газодинамики старта с обоснованным использованием маломасштабных и крупномасштабных моделей представляет собой самостоятельную фундаментальную научную проблему, обусловленную как сложностью воспроизведения процессов при старте, так и необходимостью полноты учета различных геометрических элементов, присущих газоотводящим устройствам, определяющим пространственную картину взаимодействия с ними градиентных высокоэнталийных многокомпонентных турбулентных струйных течений. Совместное влияние различных факторов и взаимовлияние процессов в условиях старта делает особенно сложным учет масштабного и энталийного факторов.

Основополагающая роль в идеологии отработки старта принадлежит рекомендациям Главных конструкторов академиков – Королева С.П. и Бармина В.П. Развитие и внедрение системы экспериментальной

отработки газодинамики старта проводились организациями ЦНИИ-маш, КБОМ, КБТМ, КБСМ в сотрудничестве с другими ведущими организациями, под руководством Хотулева В.А., Воробьева А.М., Шилова Л.А. и др.

Система отработки газодинамики старта с экспериментальной базой и математическим моделированием процессов, являющаяся важным научно-техническим потенциалом для тиражирования и дальнейшего развития стартов РН, условно состоит из четырех взаимосвязанных направлений:

I. На первом этапе (эскизный проект), исходя из накопленного опыта, определяются газодинамическая схема старта, обеспечивающая отвод газов ДУ от изделия и циклограмма запуска ДУ, обеспечивающая приемлемый уровень ударно-волновых давлений.

II. В соответствии с газодинамической схемой проводятся экспериментально-теоретические исследования на маломасштабных и крупномасштабных стендах теплосиловых, ударно-волновых акустических, теплоэрозионных и температурных воздействий на изделие и сооружение от струй ДУ.

III. Проводится проверка соответствия выбранной схемы старта исходным техническим требованиям, включающим в себя допустимость уровней воздействий, обеспечение безремонтности пусков и т.п., при штатных и нештатных ситуациях. В случае несоответствия требованиям возможна корректировка общей схемы старта и разработка мероприятий по снижению нагрузок – применение защитных экранов, систем водоподачи для охлаждения струй, теплоэрозионно стойких покрытий и др. После этого цикл расчётно-экспериментальных работ для обеспечения полноты отработки перед натурными испытаниями повторяется.

IV. В ходе этапов натурных испытаний ОСИ, ЛКИ и проводятся контрольные газодинамические, тепловые и акустические измерения на старте.

Такая система отработки, обеспечивает безопасность старта в части вопросов газодинамики и в значительной мере способствует разработке, модернизации и успешным пускам ракет-носителей.

Современный этап характеризуется разработкой оптимальной стратегии сочетания физического и математического моделирования. Возникает потребность повышения экономичности отработки газодинамики старта носителей за счет применения методов математического моделирования, которые бы могли, оптимизировать физическое моде-

лирование, путем определения степени влияния на исследуемые процессы различных параметров и критериев подобия, дополнить экспериментальную отработку в части интерпретации эксперимента и учета факторов, трудно воспроизводимых при физическом моделировании. Например, сравнение полей течения холодных модельных и горячих натуральных струй, моделирование воздействия при траекторных ситуациях, которые невозможно воспроизвести на стендах, расчет нестационарных температурных режимов конструкций и т.д. Применение адекватных теоретических моделей, учитывающих основные физические факторы и описывающих детальную структуру течений в струях продуктов сгорания и зонах взаимодействия их с элементами конструкций, позволяет моделировать задачи невозможные на стендах, сократить объем трудозатратных крупномасштабных испытаний, и также газодинамических модельных испытаний (особенно огневых, заменяя их менее дорогостоящими холодными воздушными), ограничить объем измерений и одновременно повысить надежность переноса данных на натурные условия.

Внедрение методов математического моделирования, а также обобщение имеющегося опыта позволили оптимизировать и снизить объемы дорогостоящих этапов полносистемных и фрагментарных крупномасштабных испытаний при отработке старта РКН нового поколения типа "Ангара". При модернизации РКН типа "Союз-СТ" с тиражированием стартового комплекса, на основании данных теоретических исследований акустических и ударно-волновых воздействий при старте приняты конструкторские решения о создании отводимой башни обслуживания и др.

В работе ставятся направления развития экспериментальной базы с повышением роли математического моделирования в решении проблем газодинамики старта. Рассматриваются вопросы численных методов и моделирования турбулентности.

Для обоснованного применения интенсивно развивающихся в отрасли расчетно-теоретических подходов ставится стратегическая задача разработки и осуществления на маломасштабных и крупномасштабных стендах специальной программы эталонных испытаний с полным описанием условий их проведения для тестирования, определения диапазона применимости и полноты учета физики, а в итоге сертификации математических моделей газодинамики старта.

#### **Литература**

1. //Научно–технический журнал РАКЦ. Фундаментальные и прикладные проблемы космонавтики.-2002.- №8. С.22–32
2. Лапыгин В.И., Сафронов А.В., Грибанов В.Ф., Рембеза А.И., Голиков А.И., Хотулев В.А. и др. Методы отработки научных и народнохозяйственных ракетно– космических комплексов / Под ред. В.Ф. Грибанова. – М.: Машиностроение.-1995.
3. Белошенко Б.Г., Кудрявцев О.Н., Паджев С.М. , Хотулев В.А. , Шилов Л.А. Результаты экспериментальной отработки газодинамики старта ракет, создание отраслевой базы и системы экспериментальной отработки., Хотулёв В.А. Методы математического моделирования в исследованиях проблем старта ракет– носителей// Космонавтика и ракетостроение.–1999.–Вып. 17.–С.74–86.
4. Белошенко Б.Г., Кудрявцев В.В., Сафронов А.В., Хотулёв В.А., Шилов Л.А. Использование в новых экономических условиях опыта экспериментальной отработки газодинамики старта и её дополнение элементами математического моделирования//Научно–технический журнал РАКЦ. Фундаментальные и прикладные проблемы космонавтики.–2002.–№8. –С.32–37.
5. Сафронов А.В., Кудрявцев О.Н. Методы экспериментального и теоретического исследований процессов тепломассообмена при старте ракет// Космонавтика и ракетостроение.–2006.–Вып. 4(45).–С. 23–29.

**ИССЛЕДОВАНИЕ СНИЖЕНИЯ АКУСТИЧЕСКИХ НАГРУЗОК НА РКН В ПЕРИОД СТАРТА ПРИ СОЗДАНИИ ЗАВЕСЫ ВОКРУГ СТРУЙ ДУ**

**Т.О. Абдурашидов, А.Б. Бут, Л.А. Шилов  
(Филиал ФГУП "ЦЭНКИ" – КБТМ г. Москва)**

**[mail@kbtm.ru](mailto:mail@kbtm.ru)**

В настоящее время основным способом снижения акустических, газодинамических и тепловых нагрузок на стартовом сооружении РН является использование внутриструйной системы подачи воды, например на отечественном КРК «Зенит».

Однако, метод внутриструйного охлаждения не всегда приводит к эффективному снижению нагрузок. Метод внутриструйного охлаждения газовой струи, как показали исследования, эффективен в исходном положении РКН и при подъеме РКН на высоту до 1-1,5 калибров, то есть

тогда, когда на РКН и стартовое оборудование воздействуют максимальные ударно-волновые, газодинамические, акустические и тепловые нагрузки. При дальнейшем подъеме РКН эффективность метода внутрискрутного охлаждения уменьшается.

В результате экспериментально-теоретических исследований по увеличению эффективности снижения акустических нагрузок на РКН на начальном стартовом участке траектории разработана и запатентована система, получившая название внешней системы подачи воды. Принцип работы данной системы заключается в создании вокруг газовых струй РКН сплошной водяной завесы.

Для проверки эффективности данной системы были проведены экспериментальные исследования на модели одноблочной РКН в масштабе М 1:5 к натуре. В испытаниях менялись способ водоподдачи (завесы конической и цилиндрической формы), расход воды, а также положение модели РКН. Подъем модели РКН в испытаниях составлял от 3,5 до 16 калибров. Также проводились испытания без подачи воды, для проведения сравнительных оценок эффективности системы.

По результатам проведенных экспериментов получено снижение суммарных уровней на хвостовой и головной частях РКН до 10 дБ. При анализе спектров акустических процессов, наблюдается снижение уровней давления во всем диапазоне измеряемых частот (10-14000 Гц). Наибольшее снижение уровней составляющих спектра наблюдается в области средних частот 1000-2000 Гц.

**БЕСПРОВОДНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СИСТЕМАХ ИЗМЕРЕНИЯ ДЛЯ  
СТАРТОВЫХ КОМПЛЕКСОВ. ПРОБЛЕМЫ  
И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ**

***Ю.В. Малков, В.А. Лоховин, Н.А. Гаврилов***  
***(Филиал ФГУП "ЦЭНКИ" – КБТМ, г. Москва)***  
***[mail@kbtm.ru](mailto:mail@kbtm.ru)***

Контроль большого числа параметров, особенно на стадии обработки узлов и агрегатов стартового комплекса, вызывает необходимость использования различных датчиков, преобразующей аппаратуры, кабельных связей. Это непосредственно отражается на сложности системы, стоимости ее разработки, изготовления, монтажа и дальнейшей эксплуатации.

Наиболее эффективное решение данной проблемы в современных условиях возможно путем использования новейших разработок в

области датчиковой аппаратуры и информационных технологий, в частности при применении беспроводных технологий.

Отказ от использования дорогих кабельных связей позволяет за короткие сроки создавать мобильные многоканальные системы с поддающейся изменению архитектурой. Решается актуальная для аэрокосмической промышленности проблема гальванической развязки между датчиками и регистрирующей аппаратурой.

Наряду с выгодами от применения беспроводных технологий возникает ряд вопросов, связанных с помехозащищенностью, безопасностью и надежностью. Среди них вопросы аутентификации, защиты информации, электропитания, защиты от электромагнитных помех и многие другие.

В докладе:

- сформулированы требования к системе измерения, использующей беспроводные технологии;
- приведены варианты построения системы;
- проведен анализ возможных проблем при построении системы и методов их решения.

#### **ИССЛЕДОВАНИЕ КОНСТРУКЦИЙ ОБОРУДОВАНИЯ СТАРТОВЫХ КОМПЛЕКСОВ ПРИ ПОМОЩИ СОВРЕМЕННЫХ ПРОГРАММНЫХ КОМПЛЕКСОВ**

**А.В. Патай**

**(Филиал ФГУП «ЦЭНКИ» - КБТМ, г. Москва)**

**[mail@kbtm.ru](mailto:mail@kbtm.ru)**

В настоящее время в ракетной технике намечается тенденция использования блочных схем РКН на базе универсальных модулей первых и вторых ступеней. Организовать транзитные связи от пускового стола через первую ступень на вторую и к космическому аппарату часто представляется невозможным. Возникает необходимость подводить к верхним ступеням отдельные устройства, позволяющие стыковать коммуникации напрямую к ступени, а расстыковку производить во время пуска. Они имеют довольно крупные габариты, большие скорости отвода и короткое время срабатывания. Проектировать и исследовать такие устройства довольно сложно. Для рассмотрения вариантов кинематических схем конструкций, оценки параметров отвода и обеспечения безопасности работы устройств на СК при проектировании важную роль играет моделирование данных систем.

Исследование охватывает следующие основные аспекты связанные с проектированием данных систем:

- Особенности оборудования стартовых комплексов как сложных технических систем.
- Анализ особенностей современных РКН и причины использования быстро отводимых конструкций наземного оборудования.
- Причины необходимости использования математического моделирования при проектировании и расчетах данных конструкций.
- Схема процесса проектирования оборудования СК при учете математического моделирования.

Компьютерные расчетные модели и результаты расчетов, при анализе которых можно оценить предлагаемые схемы конструктивного решения оборудования СК, позволяют проводить исследования и выбирать оптимальную схему конструкции за меньшее время и с меньшими затратами. Использование компьютерных моделей целесообразно при проектировании данных конструкций.

#### **О МЕТОДИЧЕСКОМ ПОДХОДЕ К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ПОЛОЖЕНИЯ ЦЕНТРА МАСС СТАТИЧЕСКИ НЕОПРЕДЕЛИМЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

***А.И. Забегаев, А.А. Шехетов, М.В.Карепанов, Н.В.Люкевич  
(Филиал ФГУП «ЦЭНКИ» - «ОКБ Вымпел», г. Москва)***

Рассматриваемая задача имеет ряд особенностей, ограничивающих применение известных методов определения положения центра масс по высоте для некоторых типов амортизированных конструкций (АК).

К ним относятся:

- ограниченные углы наклона конструкции, практически реализуемые углы не более 1,5...2 градуса;
- нелинейные характеристики амортизаторов;
- невозможность введения в опоры конструкции силоизмерительных устройств;
- невозможность выведения оборудования, размещенного в амортизируемой конструкции, из эксплуатации;
- пониженная величина ступеньки упругой характеристики при реализации конструктивных мер по повышению динамической эффективности СА.

Для решения поставленной задачи разработан расчетно-экспериментальный метод, который состоит в следующем:

- в опорные узлы АК вводятся внешние технологические опоры с минимальным конструктивным зазором;
- в СА путем корректировки зарядного давления создается дефицит грузоподъемности в пределах 10...15% от веса АК, что соответствует 50% величины ступеньки упругой характеристики, и создается режим пригруженности АК к технологическим опорам;
- производится накренение АК относительно линии, проходящей через технологические опоры с одной стороны конструкции до величины  $1,0...1,5^0$ ;
- накренение производится с помощью домкратов, каждый из которых имеет независимое питание с реализацией крутопадающей характеристики нагружающей силы по ходу подъема;
- производится регистрация давлений по ходу подъема в каждом домкрате;
- на основании данных замера давлений в домкратах и амортизаторах производится расчет суммарной «подъемной» силы;
- из уравнений равновесия АК в накрененном состоянии на основе зависимости «подъемной» силы от хода производится расчет опрокидывающего момента и находится высота положения центра масс.

Получаемый таким образом график «подъемной» силы, имеет ряд выраженных особенностей: вначале происходит быстрый рост силы на малых перемещениях в фазе компенсации дефицита грузоподъемности, затем темп роста силы, развиваемой домкратами, резко снижается, т.к. сила расходуется на компенсацию падения реакции амортизаторов на ходах слежения за счет изменения реакции в пределах заходного участка ступеньки упругой характеристики, а затем по мере выхода на рабочие участки характеристик амортизаторов график «подъемной силы» приобретает плавный характер. Наличие плавного участка позволяет весьма точно выделить влияние опрокидывающего момента. Обработка полученных данных производится статистическими методами, в результате чего определяется положение центра масс и разброс положения с заданной доверительной вероятностью.

Реализация данного методического подхода на практике обеспечивает определение положения ЦМ многоопорной статически неопределимой АК с точностью до  $\pm 5\%$  при доверительной вероятности 0,997 в диапазоне углов наклона до  $1,0...1,5^0$ .



**РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ НАСТРОЙКИ СИСТЕМЫ АМОРТИЗАЦИИ  
ДЛЯ МНОГООПОРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

*А.И. Забегаетов, А.А. Лохов, Д.К. Драгун*

*(Филиал ФГУП «ЦЭНКИ» - «ОКБ Вымпел», г. Москва)*

На практике большинство многоопорных амортизированных конструкций (АК) имеют смещенное положение ЦМ. Это обусловлено технологией изготовления АК, размещением оборудования. В ряде случаев смещение достигает 10% характерного размера, что может повлиять на динамические параметры конструкции при работе системы амортизации. Эффективным средством борьбы с негативными последствиями смещения ЦМ является операция настройки СА путем индивидуальной зарядки амортизаторов давлением, соответствующим весовой нагрузке на данный узел.

Для проведения операции настройки СА при ее модернизации с целью повышения эффективности разработан расчетно-экспериментальный метод, по которому производится поочередная замена амортизаторов на новые с благоприятными динамическими характеристиками по следующей технологии:

- в процессе поочередной замены производится зарядка амортизаторов на промежуточные давления – 85...90% от предполагаемых. Конкретные значения давлений определяются расчетом по известным с той или иной степенью приближения весовым нагрузкам на узел;
- за счет создаваемого, таким образом, дефицита грузоподъемности производится пригружение АК к технологическим опорам;
- производится отрыв АК от страховочных опор с вывешиванием на СА с регистрацией величины дефицита грузо-подъемности в данном узле и контролем пространственного положения АК. По зарядным давлениям в амортизаторах, фактически замеренным дефициту грузоподъемности производится расчет давлений дозарядки для грубой настройки СА и производится корректировка зарядных давлений;
- по полученным данным давлений, весовых нагрузок и пространственного положения АК расчетным путем с использованием расчетной модели АК, учитывающей ее упруго-массовые свойства, определяются исходные данные для точной настройки СА;
- на этапе точной настройки СА производится точная дозарядка амортизаторов и вывод АК в исходное пространственное положение с заданным допуском. Оптимизируется распределение весовых нагрузок между узлами СА с учетом положения ЦМ в горизонтальной плоскости

и по высоте, с целью выравнивания напряженно-деформированного состояния АК, при этом корректировка давлений может включать операции как увеличения, так и снижения давления.

Применение данной технологии позволяет произвести замену амортизаторов в процессе эксплуатации АК. Для нормирования динамических нагрузок в процессе переоснащения СА в качестве технологических опор используются разрушаемые опоры, рассчитанные на усиление разрушения на 20...30% превосходящее весовую нагрузку на узел.

Данная технология отработана на практике с положительным результатом.

#### **СОЗДАНИЕ ЦИФРОВОЙ СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ ВЕСОВЫХ НАГРУЗОК В ОПОРНЫХ УЗЛАХ СТАТИЧЕСКИ НЕОПРЕДЕЛИМЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

***А.И. Забегаев, А.А. Лохов, А.А. Шехетов, В.И. Нефедов  
(Филиал ФГУП «ЦЭНКИ» - «ОКБ Вымпел», г. Москва)***

Для определения весовых нагрузок в опорных узлах статически неопределимых конструкций разработана технологии единовременного взвешивания амортизируемых конструкций (АК), основанной на измерении упругих деформаций силовых элементов амортизационных узлов, через которые происходит передача нагрузок от амортизатора на опорный контур, в исходном – невозмущенном начальное деформированном состоянии АК. Это обеспечивает повышение точности и оперативность весового контроля.

Вначале производится тарировка системы контроля весовых нагрузок, а затем, используя тарировочные кривые, по измеренному сигналу определяются текущие весовые нагрузки.

Для технической реализации этого метода взвешивания построена цифровая система измерения, сочетающая методы измерений, основанные на различных физических принципах.

В основу построения системы контроля весовых нагрузок положен принцип измерения микроперемещений в измерительных узлах, которые преобразуют упругие деформации и перемещения узлов конструкции под весовой нагрузкой. С целью снижения влияния помех на измеряемую величину микроперемещения применяется принцип регистрации деформаций растяжения тяг СА и изгиба силовых элементов подвески.

Применяются методы контактных и бесконтактных измерений.

Контактные методы измерений основаны на измерении микроперемещений измерительного штока при деформациях под весовой нагрузкой опорных элементов относительно отметок на базовой прецизионно выполненной поверхности. Измерительная база на опорном элементе в целях уменьшения погрешностей выбрана 1000 мм. Измерение производится с помощью фотоэлектрических растровых микрометров типа Riftek с дискретностью отсчета 0,1 мкм и цифровым выходом при использовании сети RS-485 с преобразователем интерфейса ПИ-485/232 и персонального компьютера типа «Ноутбук». В сеть может устанавливаться до 127 микрометров, система имеет автономное питание. Последовательное подключение датчиков минимизирует длину линии.

Бесконтактные методы основаны на применении оптико-цифровых средств регистрации микроперемещений. Изображение в поле зрения металлографического микроскопа с увеличением 50...400<sup>x</sup> через цифровой фотоаппарат с 10...13 МПикс матрицей передается на персональный компьютер типа «Ноутбук» для обработки в специализированной программе.

Результаты измерений и обработки показали практически полное совпадение тарифовочных графиков, полученных различными методами.

После проведения тарировки при измерениях весовой нагрузки дополнительных операций, связанных с силовым воздействием на амортизируемый объект, не производится. Контролируется текущее состояние нагружения узлов подвески при сохранении действующего поля весовых нагрузок и напряженно-деформированного состояния амортизированного блока. Применение созданной системы повышает точность определения весовых нагрузок в узлах пространственных многоопорных конструкций амортизируемых объектов.

**СОЗДАНИЕ КОМПЬЮТЕРНОЙ ПРОГРАММЫ ДЛЯ КОМПОНОВКИ  
СИСТЕМ ГАЗОВОГО КОНТРОЛЯ НА СТАРТОВЫХ  
И ТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСАХ**

***Г.А. Блатиков, В.И. Смирнов, А.В. Торпачев***  
***("МАТИ" – РГТУ им. К.Э.Циолковского, г. Москва)***  
***[stk1996@mail.ru](mailto:stk1996@mail.ru)***

Стартовые и технические комплексы для ракет космического назначения (РКН) являются сложнейшими системами, при функциони-

ровании которых реализуются технологические процессы и явления, характеризующиеся опасностью нанесения существенного вреда персоналу, РКН, смежным техническим системам и окружающей среде. Поэтому безопасная эксплуатация объектов такого рода должна основываться на использовании методик, систем и технических средств, позволяющих снизить до минимального уровня возможный риск проявления опасных событий.

Одним из основных средств обеспечения безопасности при выполнении технологии предпусковой подготовки и пуска РКН являются системы контроля газовоздушной среды помещений и сооружений технического и стартового комплексов. В результате исследований, проведенных на кафедре "Стартовые комплексы" "МАТИ" – РГТУ им. К.Э. Циолковского, разработана компьютерная программа, позволяющая в интерактивном режиме по задаваемым проектировщиком значениям выполнять расчет по компоновке систем газового контроля для стартовых и технических комплексов, а также проводить анализ эффективности их работы. Разработанная программа позволяет производить расчет следующих параметров:

- производительности технологической вентиляции;
- инерционности системы газового контроля при формировании сигнала на включение аварийной вентиляции;
- минимальной и максимальной интенсивностей утечки газа для достижения концентрации воспламенения в 5% свободного объема помещения;
- допустимого времени поступления пробы к ближайшему датчику;
- концентрации горючих веществ (паров) в переходном режиме проветривания объекта контроля;
- площади помещения, контролируемой одним датчиком в зоне вероятного источника утечки газов и паров;
- количества датчиков для всего объема помещения;
- расстояния между датчиками;
- высоты расположения датчиков системы газового контроля;
- молярной массы и температуры для бинарных смесей газов;
- допустимых отклонений по высоте расположения датчиков.

**АНАЛИЗ ДИНАМИКИ И ПРОЧНОСТИ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ  
ОТВОДИМЫХ УСТРОЙСТВ АГРЕГАТОВ СТАРТОВЫХ РАКЕТНЫХ  
КОМПЛЕКСОВ**

***В.А. Зверев, А.В. Золин, В.В. Ломакин, А.В. Ульяновков***

***(МГТУ им. Н.Э. Баумана)***

***sm8@sm8.bmstu.ru***

Среди элементов наземного оборудования стартовых ракетных комплексов особое место занимают подвижные устройства, отводимые в момент старта ракеты, либо за небольшое время до старта. Данные устройства должны удовлетворять функциональным требованиям, обеспечивать минимальное силовое воздействие на борт ракеты, быстрый отвод с последующим торможением по траекториям, исключая соударения со стартовой ракетой, противостоять воздействию газовых струй без повреждений. Такие особенности диктуют необходимость проведения расчетного анализа кинематики, динамики и прочности несущих конструкций таких устройств, как при их проектировании, так и при их модернизации.

В представленной работе рассматриваются этапы расчетного анализа несущих конструкций отводимых устройств агрегатов стартовых ракетных комплексов: формирование физической модели отводимой конструкции и устройств, обеспечивающих ее отвод и торможение; моделирование нагрузок, действующих на конструкцию во время подвода, отвода, торможения; определение параметров движения на всем временном отрезке отвода, расчет напряженного деформированного состояния отводимой конструкции.

Моделирование и расчетный анализ несущей конструкции отводимого устройства производятся на основании метода конечных элементов при помощи программного комплекса «SADAS», созданного на кафедре «Стартовые ракетные комплексы» МГТУ им. Н.Э. Баумана.

По итогам расчетного анализа были получены следующие результаты: перемещения, скорости, ускорения отводимой конструкции, внутренние силовые факторы и коэффициенты запаса по прочности в ее элементах, определены характеристики устройств торможения и т.д. Полученные результаты позволяют сделать вывод о работоспособности проектируемого отводимого устройства или определить необходимую степень его модернизации.

**РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКИХ И  
ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК БУФЕРНЫХ УСТРОЙСТВ  
СТАРТОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

*А.Ю. Украинский*

*(филиал ФГУП "ЦЭНКИ" – КБОМ, г. Москва)*

Находящуюся на пусковой установке (ПУ) в период подготовки к пуску ракета-носитель (РН) соединяют с наземными системами множеством коммуникаций, среди которых имеются гидравлические и дренажные, электрические и пневматические, а также коммуникации термомостатирования. Электрические коммуникации обеспечивают управление процессами на борту РН. Пневматические коммуникации обеспечивают заправку РН сжатыми газами, продувку отсеков и т.д., гидравлические – заправку РН топливными компонентами.

В целях высокой надежности и безопасности пуска желательно, чтобы коммуникации отстыковывались в момент начала движения РН, при подъеме РН относительно ПУ на некоторую величину.

После отстыковки коммуникаций нужно быстро отвести их от РН с целью избежания повреждений как самих коммуникаций, так и РН. При этом необходимо обеспечить плавное торможение отводимых конструкций, так как в противном случае эти конструкции, размещенное на них оборудование могут получить повреждения. Для обеспечения требуемых параметров торможения используются буферные устройства различных конструкций.

Разработка общей методики для оценки технических и эксплуатационных характеристик буферных устройств оборудования стартовых комплексов для выбора проектных решений на этапе предварительного проектирования позволяет сократить время и средства при разработке нового буферного устройства, или при модернизации существующего.

В работе будут рассмотрены методики расчетного анализа динамики отвода подвижных конструкций агрегатов стартовых комплексов для космических РН при различных случаях отвода подвижных конструкций. Кроме того, при модернизации РН для анализа условий ее старта требуется проведение расчетов по обоснованию возможности использования подвижных конструкций существующей стартовой системы. На основе такого анализа будет разработана методика оценки технических и эксплуатационных характеристик буферных устройств стартового оборудования с учетом уже существующих конструкций.

**МНОГОЦЕЛЕВЫЕ СРЕДСТВА ЗАПРАВКИ КОМПОНЕНТОВ ТОПЛИВА В  
ДВИГАТЕЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ РАЗГОННЫХ БЛОКОВ  
И КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ**

***О.Е. Денисов (филиал ФГУП "ЦЭНКИ"- КБ ТХМ, г. Москва),  
М.Ф. Иванов, С.В. Кобызев, Р.Н. Кузнецов (МГТУ им. Н.Э. Баумана)  
[sm8@sm8.bmstu.ru](mailto:sm8@sm8.bmstu.ru)***

Расширение географии космодромов и скоординированной совместной деятельности различных стран и организаций в космических и научных проектах по освоению космического пространства становится нормой дальнейшего развития ракетно-космической техники в мире. Это заставляет конструкторов по новому подходить к решению вопросов, связанных с разработкой систем и оборудования стартовых ракетных комплексов для запуска ракет-носителей, подготовке к пуску разгонных блоков и космических аппаратов. Двигатели последних в подавляющем большинстве случаев работают на высококипящих токсичных компонентах топлива. Вот почему новые подходы необходимы и при разработке средств и технологических процессов заправки, подготовки, дозирования компонентов топлива, обезвреживания и утилизации токсичных продуктов.

Сегодня требования к безопасности подготовки и проведения пусков ракет-носителей настолько высоки, что пребывание заправочного оборудования на стартовой площадке или вблизи заправляемого объекта должно быть, насколько это возможно, предельно кратковременным, все токсичные продукты по окончании работ, направленных на подготовку пуска, должны быть вывезены. Минимальное время должны занимать погрузочно-разгрузочные работы, сборка оборудования в технологическую линию у заправляемого объекта, также как и демонтаж после выполнения работ.

В докладе предложено одно из решений по минимизации времени развертывания из походного положения, подготовки и эксплуатации заправочного оборудования в пределах одного цикла подготовки старта ракеты-носителя.

Всё оборудование рассматриваемой системы заправки размещается в собранном виде внутри транспортного контейнера морского исполнения высокой грузоподъемности. Смонтированная в нём система заправки состоит из блоков хранения компонентов топлива, подготовки его по чистоте, температуре, газовому содержанию, блока дозирования, энергетического блока, блоков согласования системы с заправляемыми объектами, а также блока, обеспечивающего решение экологиче-

ских проблем эксплуатации оборудования и проблем безопасности. Подготовка и выдача дозы компонента осуществляется в едином технологическом цикле заправки с замкнутым автоматическим регулированием процессов. По окончании работ контейнер эвакуируется в необходимом направлении вместе с оборудованием для подготовки к следующей заправке

Обосновано предлагаемое решение анализом ближайших ситуаций в работе над космическими проектами.

**МЕТОД РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ РАСТВОРЕННЫХ  
ГАЗОВ В ВЫСОКОКИПЯЩИХ КОМПОНЕНТОВ ТОПЛИВА ПРИ  
СТЕНДОВЫХ ИСПЫТАНИЯХ ДИСКРЕТНО-НЕПРЕРЫВНОГО  
ВЕСОВОГО ДОЗАТОРА (ДНВД)**

*С.В. Кобызев, Р.Н. Кузнецов*  
*(МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва)*  
*[sm8@sm8.bmstu.ru](mailto:sm8@sm8.bmstu.ru)*

Дискретно-непрерывный весовой дозатор может быть использован на модернизируемых многоцелевых заправочно-нейтрализационных станциях (МЗНС) для высокоточных измерений массы заправляемых в двигательные установки (ДУ) разгонных блоков (РБ) и космических аппаратов (КА) высококипящих компонентов жидкого ракетного топлива (КЖРТ) в широком диапазоне выдаваемых доз (от килограммов до десятка тонн). Однако, целесообразным его применение становится только тогда, когда подача компонентов топлива из дозатора в ДУ осуществляется выдавливанием сжатым газом ( $N_2$ , He) без разделительных устройств в попеременно заполняемых компонентах ёмкостей дозатора и предварительном наддуве газовых подушек ёмкостей до дозатора до расчётного давления. Ёмкости дозатора наддуваются перед началом работы до давления необходимого для подачи компонента в ДУ РБ или КА.

Как правило, в двигательные установки КА и РБ заправляются КЖРТ подготовленные по содержанию растворенного в них газа (насыщенные газом или дегазированные). В процессе выдачи дозы КЖРТ ёмкости ДНВД работают как газогидравлические аккумуляторы давления с практически постоянной массой газа наддува, что необходимо для обеспечения высокой точности измерения массы КЖРТ, поступающего в ДУ РБ или КА.



Кратковременный контакт газа наддува с КЖРТ при отсутствии дополнительных устройств разделяющих газовую и жидкую фазу газожидкостной системы за время её пребывания в каждой из двух ёмкостей ДНВД, стоящих на тензометрических весоизмерителях, при определённых условиях может привести к изменению концентрации растворенного в КЖРТ газа.

В докладе рассмотрен и предложен метод регистрации момента изменения концентрации растворенного газа в дозируемом КЖРТ по изменению измеряемых в процессе испытаний ДНВД параметров термодинамического состояния системы «газ-жидкость» (температура, давление, масса) в каждой ёмкости дозатора, в расходной и контрольной ёмкостях на образцовых весах стенда для поверки ДНВД с рычажными весами класса точности 0,05.

#### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ЗАПРАВОЧНЫХ МАГИСТРАЛЕЙ ТОПЛИВНЫХ СИСТЕМ РН**

***А.И. Логвиненко, Ж.В. Кабакова, М.П. Сало***

***Государственное предприятие «Конструкторское бюро «Южное»  
(Днепропетровск, Украина)***

***E-mail: info@yuzhnoye.com***

В связи с имеющейся в настоящее время тенденцией к коммерческому использованию РН (для выведения КА на заданную орбиту), находившихся длительное время в заправленном состоянии агрессивными компонентами топлива, одной из важных задач является организация заправочно-сливных работ их баков.

Вследствии длительного хранения топливных систем, контактировавших с агрессивными жидкостями, а также их парами, могут возникать нарушения пропускной способности магистралей, обусловленные образованием солей и других химических соединений.

При решении задач перед пуском с целью определения пропускной способности заправочных магистралей топливных систем РН, необходимо применение высокоэффективных технологий, позволяющих дать объективную оценку их состояния с минимальными потерями времени и рабочих средств (топлива, сжатых газов).

Одним из рациональных методов оценки проходной способности заправочно-сливных систем РН (с их клапанами, магистралями и фильтрами) является, так называемый, «газовый способ». Суть его сводится к

тому, что вместо жидкостей используется нейтральный газ (воздух или азот), подаваемый под небольшим давлением в бак ракеты из наземной емкости.

При этом, используя экспериментальные данные (проходной способности элементов автоматики и магистралей), по известным методикам и формулам термогазодинамики определяется ожидаемое время наполнения бака (до заданного давления) и сравнивается с опытным значением. Близкое их совпадение служит основанием для выдачи заключения, что гидросопротивление заправочно-сливных магистралей РН находится в норме и отвечает требованиям действующей документации.

Применение «газового способа» позволяет существенно упростить и сократить объемы работ по определению фактической проходимости магистрали перед повторной заправкой баков РН.

Апробация данного способа в условиях полигона показала удовлетворительную сходимость расчетных и опытных значений.

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА СИСТЕМ КОНТРОЛЯ И  
УПРАВЛЕНИЯ ПОЛЁТАМИ И НАЗЕМНОЙ ТРЕНАЖЁРНОЙ  
БАЗЫ КОСМОНАВТОВ**

***В.А. Алтунин***

***(Казанский государственный технический университет***

***им. А.Н. Туполева)***

***[altspacevi@yahoo.com](mailto:altspacevi@yahoo.com)***

Экспериментальные исследования с жидкими углеводородными горючими и охладителями показали, что в топливо – охлаждающих и др. системах энергоустановок и техносистем многоразового использования наземного, аэрокосмического и космического базирования происходят аномальные эффекты, связанные с особенностями тепловых процессов при до - и сверхкритических давлениях, которые могут привести (и приводят) к несанкционированным перегревам и прогарам греющей стенки, к закоксовыванию топливных каналов, фильтров и форсунок потерей тяги, с образованием течи горючего, с возникновением пожара, взрыва и др. негативных непредсказуемых последствий. Существующие датчики и системы контроля и управления не учитывают эти аномальные процессы, которые могут происходить как в земных, так и в космических условиях. В докладе раскрывается новая методика

учёта особенностей теплоотдачи к жидким углеводородным горючим и охладителям при создании датчиков и систем контроля и управления с выводом данных на табло наземного оператора, лётчика, космонавта. Разработаны и запатентованы новые датчики и системы контроля за процессами осадкообразования, термоакустических автоколебаний давления, а также за оперативными способами и результатами борьбы с этими опасными явлениями. Также разработаны и запатентованы новые датчики и системы контроля за работой системы защиты ЛА. КЛА, ВКС, КС, ОКС: от лазерного оружия; от средств нападения с инфракрасными головками самонаведения (путём разработанных и запатентованных новых ложных тепловых целей многоразового использования) с выводом данных на специальное табло наземного оператора, лётчика, космонавта. Разработаны новые конструктивные схемы табло систем контроля и управления, которые необходимо создавать в реальных и перспективных ЛА, КЛА, ВКС, КС, ОКС, а также – в наземной тренажёрной базе для подготовки космонавтов (в том числе и к длительным полётам на др. планеты).

**РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ И ПРОГРАММНОГО  
ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ РАСЧЕТА ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ  
МОСТОВЫХ КРАНОВ ТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ**

*Со Мин У, А.В. Торпачев*

*("МАТИ" – РГТУ им. К.Э. Циолковского, г. Москва)*

*[stk1996@mail.ru](mailto:stk1996@mail.ru)*

Авторами разработан программный модуль «Проектирование мостовых электрических кранов для технических комплексов», с использованием которого инженер-конструктор в интерактивном режиме может решать задачи расчета и оптимизации массово-габаритных, прочностных, эксплуатационных и других характеристик мостовых кранов на стадии проектирования подъемно-транспортного и монтажно-стыковочного оборудования МИК с учетом предъявляемых требований и накладываемых ограничений конструкторского и технологического характера.

В качестве примера рассмотрим последовательность действий при автоматизированном диалоговом проектировании металло-конструкции опорного двух балочного мостового крана с коробчатыми балками и

рельсом посередине пояса с использованием разработанной авторами программы.

Сечение составных коробчатых балок характеризуется следующими основными параметрами: высотой балки  $h$ , шириной балки  $b$ , толщиной стенки балки  $t_w$ , толщиной пояса балки  $t_f$  и др. Параметры сечения балки должны быть назначены так, чтобы выполнялись условия работоспособности, долговечности и жесткости, установленные для проектируемой металлоконструкции. При проектировочном расчете предварительно назначается высота  $h$  пролетной балки, оптимальная по условию минимума веса при обеспечении заданной прочности. Для обеспечения достаточной динамической жесткости балки принимается  $h/L = 1/20 \div 1/14$ , где  $L$  – пролет крана. Ширина балок  $b$  выбирается из соотношения  $b/h = 0,30 \div 0,35$ , и для обеспечения возможности приварки диафрагм должно выполняться условие  $b \geq 300$  мм. Гибкость стенок (отношение высоты стенки к ее толщине) балки назначается в пределах  $100 \div 300$ , при этом из технологических соображений должно обеспечиваться неравенство  $t_w \geq 0,004$  м, а для мостовых кранов, контактирующих с агрессивными средами,  $t_w \geq 0,008$  м. Толщина пояса  $t_f$  должна быть не более 50 мм для углеродистых сталей и не более 40 мм для низколегированных сталей.

При расчетах полученные значения размеров сечений коробчатых балок металлоконструкции мостового крана МИК зависят от выбранной толщины стенки пролета: чем тоньше стенка балки, тем сечение балки рациональнее; однако слишком маленькая или большая величина толщины стенки пролета крана не обеспечивают жесткость моста, местную устойчивость стенки и пояса балки, а также не удовлетворяют конструктивные требования. Вследствие этих причин, характеристики металлоконструкции мостового крана при автоматизированном проектировании с помощью предлагаемой программы непрерывно оптимизируются с учетом компромиссного характера предъявляемых условий и ограничений по различным критериям.

**РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ  
СТАРТОВЫХ И ТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ**

**А.В. Торпачев**

**(“МАТИ” – РГТУ им. К.Э. Циолковского, г. Москва)**

[stk1996@mail.ru](mailto:stk1996@mail.ru)

Предметом исследования автора является математическое моделирование процессов механической обработки при производстве технологического оборудования стартовых и технических комплексов. Была поставлена и решена задача создания компьютеризированной системы и комплекса математических моделей механообработки с минимальным составом задаваемых характеристик, в качестве которых взяты размеры обрабатываемых поверхностей, требуемые качество и шероховатость, материал заготовки и условия обработки.

Комплекс разработанных компьютерных математических моделей механической обработки включает:

- модели механообработки по каждому виду поверхностей,
- модели расчетов припусков, модели применяемых режущих инструментов,
- модели материалов обрабатываемых деталей;
- имитационные модели для формирования технологических операционных эскизов и наладочных схем.

С помощью разработанного программного и математического обеспечения при автоматизированной подготовке производства технологического оборудования стартовых и технических комплексов реализуются следующие инженерно-технические функции:

- определение состава необходимых операций и переходов (технологического маршрута);
- расчет припусков на все переходы механообработки;
- выбор конкретного инструмента в зависимости от материала обрабатываемой детали и условий обработки;
- расчет режимов резания;
- подбор требуемого оборудования и средств технологического оснащения;
- натурное компьютерное моделирование операций и переходов механической обработки для визуального контроля хода протекания операций;
- подготовка маршрутной и операционной рабочей технологической документации.

**О ПРОЕКТИРОВАНИИ СИЛОВЫХ ПРИВОДОВ АВТОМАТИЧЕСКИХ  
УСТАНОВОК С УЧЕТОМ ПОДАТЛИВОСТЕЙ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИИ*****А.М. Мурзин, С.П. Масленников, М.С. Логинов******(ЮУрГУ, г. Челябинск)******[awpsoft@acf.susu.ac.ru](mailto:awpsoft@acf.susu.ac.ru)***

В настоящее время для уменьшения веса проектируемых конструкций автоматических установок часто используются силовые приводы с источниками энергии, такими, как гидро-пневмоаккумуляторы, газовые генераторы. Управление процессом подъема качающейся части может осуществляться с помощью регулируемого дросселя в цепи «гидропневмоаккумулятор-силовой гидроцилиндр» при использовании пневмоаккумуляторов или секундным расходом газов, вырабатываемых газовым генератором с последующим торможением качающейся части с помощью регулируемого дросселя в гидросистеме подъема.

Математические модели при автоматизированном проектировании силовых приводов с учетом приведенной податливости жидкости и трубопроводов и без учета податливостей элементов металлоконструкций системы «привод-качающаяся часть» обладают высокой устойчивостью при численном решении с учетом процесса управления приводом.

В реальных конструкциях существуют дополнительные степени свободы у металлоконструкции «привод-качающаяся часть», обусловленные изгибными колебаниями качающейся части, а также колебаниями полезной нагрузки, находящейся в качающейся части. Математические модели силовых приводов существенно усложняются при учете этих дополнительных степеней свободы. Кроме этого, необходимо определить поведение более сложной математической модели при ее управлении в процессе подъема качающейся части с использованием различных источников энергии, т.е. необходимо дать ответ об устойчивости системы.

Были получены математические модели силовых приводов с учетом различных комбинаций дополнительных степеней свободы, поставлены задачи параметрической оптимизации приводов и реализованы в виде программ оптимизации. Анализ полученных результатов позволил сделать выводы о влиянии дополнительных степеней свободы, конструктивных параметров и законов управления процессом подъема качающейся части на получение рациональных решений.

**О МОДЕЛИРОВАНИИ СЛОЖНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ****А.В. Панфилов****(ЮУрГУ, г. Челябинск)****[awpsoft@acf.susu.ac.ru](mailto:awpsoft@acf.susu.ac.ru)**

Математическое моделирование многостепенных динамических систем, состоящих из комбинации твердых и упруго-деформируемых тел, представляет собой сложную задачу, требующую неоправданно больших затрат времени. Упругие элементы конструкций являются телами с распределенными параметрами, движение которых описывается дифференциальными уравнениями в частных производных, что приводит к необходимости учета нескольких первых форм колебаний. При этом остается открытым вопрос о числе учитываемых форм колебаний, необходимых для получения требуемой точности вычисления и, в конечном итоге, о размерности системы дифференциальных уравнений, описывающей динамику движения системы.

Одним из путей решения этой задачи является использование методов компьютерного моделирования с применением систем сквозного проектирования конструкций.

Динамический анализ проводится на трехмерных виртуальных моделях, отражающих реальную конструкцию с достаточно большим приближением. В таких моделях возможно воспроизвести особенности динамического взаимодействия всех элементов конструкции в целом, в том числе учесть изгибные и крутильные колебания элементов с распределенными параметрами, к которым можно отнести модели транспортных систем с учетом вторичного подрессоривания и пространственного нагружения опорных устройств, взаимодействующих с дорожной поверхностью.

Была создана виртуальная модель реального многоосного транспортного средства, передвигающаяся по неровностям случайного профиля. В ходе компьютерного исследования динамики ее движения определены спектральные характеристики линейных и угловых перемещений, скоростей и ускорений, как центра масс всей системы, так и отдельных ее элементов. Полученные результаты сопоставлены с данными испытаний, проведенными на беговом динамическом стенде, на основе чего был сделан вывод о возможности применения компьютерного моделирования для определения параметров движения сложных систем.

**РЕЗУЛЬТАТЫ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ И ТЕПЛОВЫХ ИСПЫТАНИЙ  
ЖИДКОСТНЫХ ТЕПЛООБМЕННИКОВ ДЛЯ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ  
ОХЛАЖДАЮЩИХ УСТРОЙСТВ СИСТЕМ ТЕРМОСТАТИРОВАНИЯ  
СТАРТОВЫХ КОМПЛЕКСОВ**

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

Рассмотрена методика экспериментального определения характеристик гидравлического сопротивления и теплоотдачи в жидкостных теплообменниках термоэлектрических охлаждающих устройств (ТОУ), которые могут применяться в жидкостных системах термостатирования приборов систем управления стартовых ракетных комплексов.

Конструктивно охлаждающие устройства состоят из термоэлектрических сборок (ТСБ), представляющих собой пару изготовленных из прямоугольного профиля теплообменников, между которыми размещены термоэлектрические модули (ТМ).

Рассматривается методика экспериментального исследования характеристик ТОУ, представлены данные испытаний, в ходе которых определены параметры гидравлического сопротивления и теплоотдачи в теплообменниках ТОУ. Управление регистрацией параметров при проведении экспериментов и их обработка осуществлялись на основе введения в измерительную систему экспериментального стенда ЭВМ.

Посредством обработки результатов экспериментов по теплоотдаче на внутренней поверхности теплообменников установлено, что для использованных при проведении экспериментов плоских теплообменников прямоугольного сечения с соотношением сторон  $H_{вн}/W_{вн} = 0,2$ , эквивалентным диаметром  $d_э = 2H_{вн}W_{вн}/(H_{вн}+W_{вн})$ , длиной  $l$  и диаметрами подводящего и отводящего каналов  $d$  справедлива зависимость:

$$\overline{Nu} = 3,333 \left( \text{Re} \frac{d}{l} \right)^{0,4} \text{Pr}_{ж}^{0,33} \left( \frac{\text{Pr}_{ж}}{\text{Pr}_c} \right)^{0,25},$$

описывающая результаты экспериментов с относительной погрешностью, не превышающей 2,6% в диапазоне чисел Рейнольдса  $200 < \text{Re} = u d_э / \nu < 1200$  и чисел Прандтля  $5 < \text{Pr} < 10$ .

По результатам обработки экспериментальных данных эквивалентный коэффициент местного гидравлического сопротивления одного теплообменника с относительной погрешностью, не превышающей 8,7%, может быть определен по зависимости:



$$\zeta_{ЭКВ} = \frac{1630}{\left( \operatorname{Re} \frac{d u_{\text{вх}}}{d_o u} \right)^{0,643}},$$

где  $u_{\text{вх}}$ ,  $u$  – скорости теплоносителя в подводящем канале и теплообменнике.

В зависимости от требуемых расходов, составляющие ТОУ сборки могут быть включены в каналы течения теплоносителей последовательно либо параллельно, благодаря чему может быть найден компромисс между гидравлическим сопротивлением и параметрами теплоотдачи внутри теплообменников.

**ВОПРОСЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ РАДИАТОРОВ С ЗЕРКАЛЬНЫМИ  
ЭКРАНАМИ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В СОСТАВЕ ПЕРСПЕКТИВНЫХ  
ЛУННЫХ БАЗ В ПРИЭКВАТОРИАЛЬНЫХ РАЙОНАХ ЛУНЫ**

*В.А. Изрицкий*

*(МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва)*

*sm8@sm8.bmstu.ru*

Одной из основных проблем, возникающих при создании систем обеспечения температурно-влажностного режима перспективных лунных баз, является организация отвода излишнего тепла от помещений и оборудования базы, которое осуществляется различными радиаторами. При этом особенно неблагоприятные для отвода тепла условия имеют место в околополуденное время у лунного экватора, расположение перспективных баз в районе которого имеет ряд серьезных преимуществ. Помимо Солнца, находящегося высоко над горизонтом, к этим трудностям относится высокая температура поверхности лунного грунта, достигающая в течение дня значений порядка  $+90^{\circ}\text{C}$ , что значительно снижает эффективность применения как горизонтальных, так и вертикальных радиаторов.

Перечисленные факторы делают актуальной задачу разработки радиаторов специализированной конструкции, позволяющей им сохранять высокую эффективность на протяжении всех лунных суток.

Одним из возможных путей достижения поставленной задачи является применение систем зеркальных экранов, защищающих радиаторы от солнечного излучения и излучения нагретого грунта. Существенной особенностью их проектирования является то, что отклонение

Солнца от плоскости экватора на Луне составляет не более  $3^\circ$ , что может быть использовано при их проектировании. Кроме того, разработанные конструкции радиаторов должны обеспечивать, по возможности беспрепятственный теплообмен излучением между радиатором и космическим пространством, а также иметь легкую, надежную, легко монтируемую и компактно складывающуюся при перевозке конструкцию.

На основании проведенных исследований предложена конструкция раскладывающихся вертикальных радиаторов с пленочными зеркальными экранами, обеспечивающая практически полное экранирование радиатора от солнечных лучей и снижение влияния теплового излучения окружающих радиатор грунта и конструкций более чем на порядок.

#### **ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТАЛЛО-ВОЗДУШНЫХ ИСТОЧНИКОВ ТОКА В СОСТАВЕ НАЗЕМНОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

*О.П. Матвеева, А.А. Сошников*  
(МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва)

[sm8@sm8.bmstu.ru](mailto:sm8@sm8.bmstu.ru)

В настоящее время разработчиками серийных химических источников тока, например, литиевых, совершенствуются и предлагаются сравнительно новые металл-воздушные источники тока (МВИТ). Эти устройства основаны на прямом преобразовании химической энергии в электрическую и являются электрохимическими генераторами (ЭХГ). Основное отличие МВИТ состоит в отсутствии необходимости такого процесса как зарядка. Работу МВИТ обеспечивают расходуемые металлические аноды (например, из алюминия, магния, цинка), расходуемые компоненты электролита (например, вода, соль NaCl, некоторые добавки для расширения рабочего температурного диапазона, [1]) и подаваемый к аноду воздух.

Среди МВИТ средней и большой мощности наибольшее развитие в настоящее время получили воздушно-алюминиевые источники тока (ВАИТ) с анодом из алюминия, который в солевых электролитах растворяется лишь при генерации тока. Саморазряд ВАИТ незначителен, [2]. Таким образом, ВАИТ может находиться в постоянной готовности к применению по назначению.

Перспективы применения ВАИТ для автономного энергоснабжения объектов ракетно-космических комплексов в составе наземного технологического оборудования обусловлены следующим:

- большим ресурсом конструктивных элементов и возможностью их многократного использования, доступностью, экологической безопасностью и низкой стоимостью запасаемых расходуемых материалов (воды, соли, алюминия, воздуха);
- высокими удельными характеристиками вырабатываемой электроэнергии до 5...7,7 кВт·ч/1кг Al, небольшими тепловыделениями в окружающую среду (по оценкам 0,4...0,16 кВт тепловой мощности на 1 кВт электрической мощности) и небольшой подачей воздуха – до 0,5 м<sup>3</sup>/(кВт·ч электрической энергии);
- возможностью использования продукта побочной реакции в ВАИТ (выделяющегося водорода) в водородо-воздушном ЭХГ для комбинированного получения электроэнергии в соотношении соответственно 88%:12%, обоснованной проведенными оценками;
- возможностью использования ВАИТ в рабочих, аварийных и буферных режимах генерации электроэнергии.

#### Литература

1. Патент РФ RU 2093930, действие с 1994.03.10.
2. Химические источники тока. Справочник//Под ред. Н.В. Коровина и А.М. Скундина.- М: Изд-во МЭИ.- 2003г.-740с.

#### **АНАЛИЗ СПОСОБОВ ХРАНЕНИЯ ВОДОРОДА ДЛЯ СИСТЕМ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ НАЗЕМНЫХ КОМПЛЕКСОВ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ В ИХ СОСТАВЕ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ ГЕНЕРАТОРОВ**

**М.В. Пучков**

**(МГТУ им. Н.Э. Баумана г. Москва)**

[sm8@sm8.bmstu.ru](mailto:sm8@sm8.bmstu.ru)

Резервные источники питания оборудования наземных комплексов выполняются, как правило, на базе дизель генераторов, которые являются источниками большого выброса в окружающую среду тепловой энергии и токсичных веществ, поэтому поиск альтернативных им, эффективных и экологически чистых источников электрической энергии для систем энергоснабжения наземных комплексов является актуальной задачей.

Одним из возможных эффективных способов получения электрической энергии являются электрохимические генераторы, принцип действия которых основан на соединении водорода с кислородом на одном из электродов, вредные выбросы при этом практически отсутствуют. Коэффициент полезного действия топливного элемента может

достигать значений до 70% и относительно мало зависит от установленной мощности и нагрузки, в то время как к.п.д. дизеля не превышает 30%.

В работе приведен анализ методов получения, хранения и транспортировки водорода для систем энергоснабжения наземных комплексов при использовании в их составе электрохимических генераторов. Анализ требований и данные по характеристикам различных систем хранения водорода показали, что наиболее перспективным способом хранения водорода является хранение его в связанном виде в гидридах металлов. На основании анализа информационных потоков по проблеме гидридного хранения водорода по публикациям различных стран мира делается заключение о предпочтениях, которые отдают исследователи различных стран мира в разработке тех или иных сплавов накопителей водорода и перспективах их развития.

---