

## Секция 12

**Объекты наземной инфраструктуры ракетных комплексов****ПРИМЕНЕНИЕ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ В СОВРЕМЕННЫХ  
СТАРТОВЫХ КОМПЛЕКСАХ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИХ  
РЕШЕНИЙ, ВНЕДРЕННЫХ ПРИ СТАРТЕ РАКЕТ ГЛАВНОГО  
КОНСТРУКТОРА С.П. КОРОЛЕВА**

*Б.Г. Белошенко, В.А. Хотулев  
(ЦНИИМАШ, г. Королев)  
sm8@sm8.bmstu.ru*

1. Тиражирование стартового комплекса ракеты-носителя (РН) «Союз», созданного на основе первого носителя Р-7, с последующей его многократной модернизацией, показала следующее:

- выбранные геометрические и газодинамические параметры стартового сооружения создают оптимальные условия старта по уровням ударно-волнового, газодинамического, акустического нагружения РН и теплового воздействия на агрегаты стартового комплекса;

- в настоящее время, на основе математического моделирования, выполненного в ЦНИИМАШ Сафроновым А.В., определяются значения комплекса газодинамических параметров при старте в качестве «паспортных» данных, обеспечиваемых стартовым сооружением для РН «Союз-2»;

- какие-либо изменения в составе стартового комплекса при модернизации требуют экспериментального обоснования, подтверждающего отсутствие отрицательного влияния на условия нагружения РН.

В частности, целесообразно рассмотреть модернизацию системы газовой защиты РН, созданную на основе ТЗ ОКБ-1, т.к. при новых двигателях на центральном блоке появляется возможность замены эжектирующего действия системы эжекции действием струй центральных двигателей.

2. Впервые внедренный при старте ракеты Королева С.П. Р-9 из ШПУ разрывной противоимпульсный экран в дальнейшем, по рекомендации ЦНИИМАШ, был использован при создании КБОМ стартового комплекса «Протон».

3. При выборе габаритного размера, заглубленного трехканального стартового сооружения для сверхтяжелого носителя Н-1 глубиной 21м С.П. Королевым была выдвинута идея возможности использования этого нового уникального старта для старта перспективных ракет.

4. Возможность безопасного запуска уникального по мощности двигателей носителя Н-1 была обеспечена реализацией оптимальной циклограммы раздельного запуска групп двигателей: вначале центральных, а затем периферийных. Эта рекомендация ЦНИИМАШ, внедренная Главным конструктором С.П. Королевым, была использована далее в стартах РН «Энергия-Буран», а затем при разработке стартового комплекса «Ангара».

5. Созданная в отрасли система экспериментальной отработки газодинамики стартовых комплексов РН с проведением крупномасштабных испытаний, с применением испытательных реактивных снарядов КБСМ, получила в период отработки старта Н-1 важную поддержку и рекомендацию непосредственно Главного конструктора С.П. Королева на ее дальнейшее использование в отработке газодинамического старта. Это было важно для развития крупногабаритных испытаний, особенно в части отработки ударно-волновых и акустических нагрузок на РН с моделями РН «Энергия-Буран», выполненными в масштабе 1:10.

Крупномасштабные испытания, в настоящее время, являются основным этапом отработки газодинамики старта РН «Ангара».

Эта идея была реализована при выборе параметров компоновки многоблочного носителя «Энергия-Буран» с доработкой газоходов стартового сооружения КБОМ и ЦНИИМАШ. В настоящее время на основе стартового сооружения «Зенит» создается стартовое сооружение РН «Ангара».

## АНАЛИЗ ВАРИАНТОВ ПРИМЕНИМОСТИ КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ МЕЖПЛАНЕТНЫХ ПРОГРАММ

*В.Н. Кобелев, А.А. Поляков*  
*(“МАТИ” – РГТУ им. К.Э. Циолковского, г. Москва)*  
*stk1996@mail.ru*

В данной работе проведен анализ различных вариантов ракет-носителей (РН), разгонных блоков (РБ), межорбитальных космических кораблей, с помощью которых можно осуществить лунный, марсианский и некоторые другие проекты по осуществлению Федеральной космической программы, задачами которых являются:

- реализация космических проектов в интересах расширения знаний о Земле, Солнечной системе и Вселенной, проведение фундаментальных научных исследований в области астрофизики, планетологии, физики Солнца и солнечно-земных связей;

- осуществление орбитальных пилотируемых полетов в интересах развития экономики, науки, решения прикладных задач;

- активизация работ по подготовке пилотируемых полетов к Луне, Марсу, а также по последующему освоению этих космических тел.

За основу анализа использования ракетно-космической техники в рамках лунной программы принята схема, предложенная РКК "Энергия".

В работе, используя описанную выше схему выведения, найдены наиболее оптимальные варианты с точки зрения массовых характеристик, рассмотрены варианты с использованием РБ "Бриз-М", "Фрегат", "Фрегат-СБ", "ДМ", с РН "Протон-М", "Ангара-3,5", "Союз", "Виктория-К", с космическими кораблями "Паром", "Союз-ТМА" и многоразовым ускорителем "Байкал".

В итоге из всех рассмотренных схем получаем, что наиболее эффективным может являться способ с применением тяжелого РН "Виктория-К", его применение снизит количество запусков с Земли. Однако потребуется более детальное изучение возможностей РН, РБ и кораблей-транспортёров, описанных выше, а также предложенных вариантов промышленного освоения Луны. Это связано, в первую очередь, с отсутствием статистики по испытаниям и эксплуатации новых образцов ракетно-космической техники.

---

**АНАЛИЗ МЕТОДИЧЕСКИХ ПОДХОДОВ К ИСПЫТАНИЯМ  
ОБОРУДОВАНИЯ ИЗДЕЛИЙ РАКЕТНО-  
КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ**

*Д.К.Драгун, А.И.Забегалев, Д.К.Монахов  
(ФГУП ОКБ Вымпел, г. Москва)  
sm8@sm8.bmstu.ru*

Рассматривается сравнение методических подходов к определению режимов испытаний для подтверждения механической стойкости оборудования, применяющегося для подготовки и обеспечения пуска изделий ракетной техники в составе наземных ракетных комплексов.

Известны два методических подхода для назначения режимов испытаний оборудования, которое при эксплуатации подвергается нестационарному ударно-вибрационному воздействию высокой интенсивности. Первый подход состоит в применении т.н. критерия сейсмоударостойкости – СУС, который предполагает замену натурального воздействия испытательным воздействием в виде заданной комбинации полусинусоидальных и знакопеременных синусоидальных импульсов с нормированной длительностью, формой и порядком следования импульсов. Варьируемым параметром является амплитуда ударного импульса. Критерием соответствия является достижение в элементах оборудования эквивалентных динамических реакций от натурального и испытательного воздействий во всем спектре частот, опасных для механической прочности оборудования. Как правило, этот диапазон лежит в пределах 5-10...250-400 Гц. Второй подход заключается в подборе сочетаний амплитуд, длительностей и формы испытательных импульсов или затухающего ударно-вибрационного процесса. Вариация длительности или временных характеристик затухающего ударно-вибрационного процесса и амплитуд позволяет обеспечить гибкое регулирование и вписывание достигаемого отклика от испытательного воздействия как по уровню, так и по спектру в ограничительную кривую отклика от натурального воздействия, что обеспечивает тем самым значительное снижение степени переиспытания оборудования. Если, например, в первом подходе степень переиспытания в полосе частот отклика 10...40 Гц достигает 100...300%, то при использовании второго подхода степень переиспытания во всем спектре частот может быть снижена до 10...30%. Ударно-вибрационное воздействие может быть создано при использовании специальной испытательной оснастки, которая при воздействии им-

пульсов простой формы, например, полусинусоидального, возбуждает ударно-вибрационное испытательное нагружение. Особый интерес вызывает возможность зачета высокочастотных компонентов, которые являются как правило «паразитными» составляющими в воспроизводимом ударном импульсе при коротких длительностях, например, 0,005...0,008 с. За счет этого существенно снижается степень переиспытания в высокочастотной области спектра и может быть сокращено число испытательных ударных импульсов в области спектра, не перекрытой первым – короткопериодическим ударным импульсом. Такой подход позволяет повысить точность и достоверность испытаний.

#### **ОЦЕНКА АВАРИЙНЫХ РИСКОВ И УРОВНЕЙ БЕЗОПАСНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ СТАРТОВОГО КОМПЛЕКСА**

*В.Л.Каджаев, М.В.Веселов, С.Б.Никифоров  
(ФГУП «КБОМ» им. В.П.Бармина, г. Москва)  
ming@kbom.ru*

Рассматриваются специальные вопросы промышленной безопасности по анализу аварийных рисков и оценке угроз, качественной и количественной, последующих опасных событий, с целью обеспечения безопасности функционирования ракетно-космического стартового комплекса.

Отмечено, что статистические методы определения вероятности (частоты) аварийного инцидента, успешно применяемые в серийном производстве, не всегда результативны при анализе функционирования единичного объекта (системы), и поэтому в таких случаях используются методы, учитывающие функциональные технологические процедуры обеспечения их надежности и безопасности.

Представлены современные методы распределения нормативных показателей безопасности по различным уровням угроз с учетом коэффициентов сложности систем и их физико-технологических особенностей.

Показана приоритетная роль рационального выбора основного технического решения, заложенного в конструкцию, в обеспечении ее надежности и ремонтпригодности. Дополнительными факторами, повышающими уровень безопасности, являются предпусковая функциональная проверка системы, а также контроль параметров технологического процесса, позволяющий контролировать рабочие характеристики.

Эффективным средством по повышению безопасности являются предусмотренные в конструкции «барьеры безопасности».

Уровень безопасности определяется показателями надежности технологической системы, результатами предпусковой проверки и предусмотренными в конструкции «барьерами...», повышающими ее функциональную устойчивость.

**МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА НЕСУЩИХ  
КОНСТРУКЦИЙ ПУСКОВОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ РАКЕТ-  
НОСИТЕЛЕЙ СЕМЕЙСТВА «СОЮЗ» НА КОСМОДРОМЕ КУРУ**

*В.С. Абакумов, М.В. Веселов, В.А. Зверев, В.В. Ломакин,*

*А.П. Усачев, Г.П. Фофанов*

*(МГТУ им. Н.Э. Баумана, КБОМ им. В.П. Бармина, г. Москва)*

*sm8@sm8.bmstu.ru*

Данная работа является продолжением совместных исследований кафедры «Стартовые и ракетные комплексы» МГТУ им. Н.Э. Баумана и КБОМ им. В.П. Бармина в области статики и динамики пусковых установок для ракет-носителей (РН) семейства «Союз». Основной упор в представленной работе сделан на результаты расчета несущих конструкций модернизированной пусковой установки (ПУ) для РН типа «Союз» стартового комплекса на космодроме Куру, который является совместным проектом Европы и России.

При расчете напряжений в элементах ПУ рассматривались все основные случаи нагружения ПУ при ее эксплуатации. А именно: действие предельного ветра и веса РН на ПУ в период подготовки к пуску; нагрузки при пуске РН, включающие нагрузки, возникающие в случае аварийного выключения двигательной установки (АВДУ); инерционные силы, действующие на подвижные элементы ПУ при их отводе. Кроме того, в рамках данной работы были оценены жесткостные характеристики ПУ, а также температурные напряжения в опорном кольце, вызванные воздействием струй ДУ РН.

Для расчета напряженного деформированного состояния ПУ при вышеуказанных случаях ее нагружения была создана конечноэлементная модель ПУ. Геометрические, массовые и кинематические параметры модели соответствуют конструкторской документации рассматриваемого агрегата.

При проведении расчётов использованы методы конечных элементов и суперэлементов, реализованные в программном комплексе

«SADAS», который был разработан на кафедре «Стартовые ракетные комплексы» МГТУ им. Н.Э. Баумана.

На основе полученных результатов были определены наихудшие случаи нагружения ПУ, сделаны выводы о несущей способности основных ее элементов и возможности обеспечения безопасного пуска модернизированных вариантов РН «Союз» на космодроме Куру.

**АНАЛИЗ И ПУТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ МЕТОДОВ  
ДОЗИРОВАНИЯ КОМПОНЕНТОВ ТОПЛИВА ПРИ ЗАПРАВКЕ  
РАКЕТ-НОСИТЕЛЕЙ И КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ**

*Д.А. Тылык, Г.М. Иваницкий*

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

*info@yuzhnoye.com*

При заправке ракет-носителей и космических аппаратов одной из наиболее сложных и актуальных проблем является обеспечение заданной точности дозирования заправляемых компонентов топлива при помощи стационарных средств. С целью систематизации и обобщения количественных показателей, а также определения степени влияния различных внешних факторов и процессов на заправку, проведены исследования по выявлению основных составляющих погрешности выдачи дозы. Определение суммарной погрешности проводилось с применением математической модели, описывающей действительный закон распределения суммарной погрешности с помощью композиций распределения.

Представлены расчетно-теоретические и проектно-конструкторские проработки по анализу альтернативных способов дозирования компонентов топлива.

Получены новые схемные решения по проектированию автоматизированных систем весового дозирования, которые обеспечивают: возможность самокоррекции установленной дозы по совокупности информации о физических процессах, происходящих в системе дозирования и полостях топливных отсеков; автоматизированное установление пригодности средств измерения, осуществляющих дозирование, к применению на основании контроля их метрологических характеристик в процессе выполнения основных технологических операций.

Применение полученных результатов позволит:

- выбрать оптимальный способ дозирования компонентов топлива с соответствующим его обоснованием расчетно-теоретическими методами и проектно-конструкторскими проработками;
- правильно сопоставить уровень точности системы дозирования с измерителями физических величин;
- провести оценку эффективности, необходимости использования и объема средств измерения для стационарных дозирующих систем в зависимости от предъявляемых к ним требований;
- рационально создать автоматизированную дозирующую систему с требуемой точностью заправки.

#### **РАСЧЕТ И ВЫБОР ПРОЕКТНЫХ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ ПОЖАРОТУШЕНИЯ НА СТАРТОВОМ КОМПЛЕКСЕ КОСМИЧЕСКОЙ РАКЕТЫ-НОСИТЕЛЯ**

*В.И.Перлик, А.П. Кремена*

*(Государственное конструкторское бюро «Южное» им. М.К. Янгеля,  
г. Днепропетровск)  
info@yuzhnoye.com*

Динамичное развитие рынка космических услуг и их значимости для жизнедеятельности общества обуславливает необходимость интенсивного наращивания количества запусков ракет-носителей (РН), что требует особого внимания к проблеме обеспечения безопасности подготовки и проведения пусков, в том числе и пожарной безопасности при проведении работ на СК.

Среди различных причин недостаточной эффективности существующих систем пожарной безопасности (СПБ) на СК главной является использование устаревших технологий подготовки и подачи пожаротушающей жидкости (ПТЖ) в зону горения, что при ограниченном их запасе обуславливает недостаточность пожаротушающего ресурса СПБ.

Указанные обстоятельства обуславливают необходимость внедрения новых, более эффективных технологий подготовки и подачи ПТЖ, обеспечивающих значительное повышение экологической безопасности и эффективности использования располагаемых запасов ПТЖ и существующего пожаротушающего оборудования.

В докладе сделаны предложения по обоснованию выбора рациональной технологии подготовки и подачи ПТЖ и модернизации существующих ствольных систем ее подачи в зону горения. Кроме



того, предложена методика выбора и расчета основных проектно-конструктивных параметров СПБ СК, при разработке которой использовались:

- анализ основных сценариев пожаров на СК;
- модель тушения пожаров диспергированными потоками ПТЖ
- с управляемой дисперсностью капель;
- модель гидроимпульсной струи ПТЖ;
- методология проектирования гидроимпульсных систем;
- результаты экспериментальных исследований дальнобойных гидроимпульсных струй и их пожаротушащей эффективности.

#### **ИССЛЕДОВАНИЕ ПОРОГА СРАБАТЫВАНИЯ СИСТЕМЫ АМОТИЗАЦИИ ИЗДЕЛИЯ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ КАЧКИ**

*И.Ю. Димитриева, А.И. Забегаев, В.В. Захаров, Д.Н. Клюквин,  
В.И. Нефедов  
(ФГУП ОКБ Вымпел, ФГУП МИТ, г. Москва)  
sm8@sm8.bmstu.ru*

Рассматриваются задачи определения влияния изменения характеристик системы амортизации изделия, размещенного в носителе, на число циклов срабатывания системы амортизации и определения износа взаимодействующих поверхностей трения.

Известны две концепции построения системы амортизации – система, реагирующая (совершающая рабочий ход) при любом уровне качки носителя и система, обладающая определенным порогом срабатывания, позволяющая сохранить неизменное положение изделия относительно носителя при уровне волнения в несколько баллов. Применение второй концепции позволяет существенным образом сократить путь износа поверхностей трения, исключить явления, связанные с эрозией и повысить стабильность и точность положения изделия на носителе.

Исследования показали, что применение характеристик системы амортизации с уровнем предварительной упругой затяжки в исходном положении около 0,3...0,5 веса изделия, позволяет в сотни раз сократить число циклов перемещений изделия от действия качки носителя, а для уровней волнения менее 6 баллов и вовсе исключить перемещения. Порог срабатывания системы амортизации достигает 18...20<sup>0</sup> по накло-

ну носителя. Это позволило существенно снизить износ взаимодействующих поверхностей.

Однако в реальных конструкциях учет конструктивных особенностей и допусков приводит к появлению зазоров в элементах системы, обеспечивающих позиционирование изделия в носителе.

В результате исследований установлено, например, что при появлении гарантированного зазора в 1,0 ... 2,0 мм, необходимого для осуществления операций стыковки в одном из поясов амортизации, порог срабатывания системы амортизации снижается с 18...20° до 12...14°. Это приводит к тому, что число циклов перемещений в пределах зазора возрастает, возрастает путь износа.

Численный анализ влияния характеристик системы амортизации на путь износа и число циклов колебаний изделия в этом процессе производился с использованием программного комплекса SADAS. Результаты исследования позволили определить суммарный путь износа и связать число циклов нагружения трущихся пар с диапазоном перемещений в зонах контакта.

#### **МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ДЕМПФЕРА ПРИ ОТБРОСЕ КАБЕЛЬ-ЗАПРАВОЧНОЙ МАЧТЫ**

*Ю.В. Бескин, С.Н. Дмитриев, О.Н. Тушев, Г.А. Щеглов  
(ФГУП ЦКБТМ, МГТУ им.Н.Э.Баумана, г.Москва)*

*m2@sm.bmstu.ru*

Предложена методика и программа численного моделирования процесса отброса кабель-заправочной мачты. При отбросе мачта совершает вращательное движение под действием моментов сил тяжести мачты и противовеса, ветрового момента и момента сил, создаваемых двумя симметрично расположенными гидроцилиндрами. Усилие гидроцилиндров определяется из системы нелинейных дифференциальных уравнений, нелинейными из-за больших перемещений являются и динамические уравнения движения твердого тела. В связи с этим, расчет может быть выполнен только путем численного моделирования. Система уравнений интегрируется по явной разностной схеме, шаг выбирается из условия устойчивости вычислительной процедуры. Целью разработки является определение нагрузок на мачту и гидродемпфер, а так же оптимизация профиля сечения дросселя. Ограничениями при оптимизации являются время отвода мачты и максимальное давление в гид-

роцилиндре. Проведены расчеты для различных сочетаний исходных данных: инерционно-массовых характеристик мачты, противовеса, дополнительных грузов, ветровой нагрузки, параметров рабочей жидкости. Проведено исследование влияния упругости мачты на работу гидравлических устройств. Создана специальная программная оболочка для проведения оптимизации. Подобран оптимальный профиль сечения дросселя для заданных конструктивных параметров мачты.

#### **МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ В КЛАПАННЫХ ПАРАХ ИЗДЕЛИЙ ПНЕВМОАВТОМАТИКИ**

*Ю.М. Тимофеев, А.Е. Филин, В.П. Артемов, Е.М. Халатов*  
(КБ «Арматура» – филиал ГКНПЦ им. М.В. Хруничева, г. Ковров)  
*kba@kc.ru*

Изделия пневмоавтоматики отличаются большим разнообразием, высоким уровнем надежности и находят применение в составе ответственных технологических систем, например, систем газоснабжения ракетно-космических комплексов. Важнейшим элементом таких устройств является клапанная пара.

При работе клапана со стороны рабочей среды на поверхность его запорного элемента действует газодинамическая сила, которая является результатом разностей давлений, возникающих на его лобовой и тыльной сторонах при обтекании.

Комплексной величиной характеризующей газодинамическую силу является коэффициент силы, учитывающий действительное распределение давления на поверхности обтекаемого тела. Необходимость определения данного коэффициента связана с учетом реакции потока на запорный элемент клапана при проведении расчетов динамики устройства.

Для нахождения коэффициента силы используются, как правило, результаты экспериментальных исследований. Однако в ряде случаев невозможно провести натурные испытания с соблюдением всех условий работы клапана. В качестве альтернативного варианта решения задачи применено математическое моделирование протекающих в устройстве процессов с использованием программного комплекса вычислительной гидрогазодинамики Flow-3D.

В результате выполненной работы была разработана методика исследования силового воздействия потока рабочей среды на запорные элементы клапанов пневмоарматуры различных видов, с использовани-

ем которой были получены картины распределения давлений и скоростей по сечениям клапана, а также определена зависимость коэффициента силы от положения запорного элемента относительно седла.

**ПРИМЕНЕНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ  
ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ  
В СИЛОВОЙ ПНЕВМОАВТОМАТИКЕ**

*М.В. Колобанова, М.В. Опарин*

*(КБ "Арматура" - филиал ГКНПЦ им. М.В. Хруничева, г. Ковров)*

*kba@kc.ru*

При отработке изделий силовой пневмоавтоматики решается ряд вопросов, связанных с проверкой их работоспособности, где определяются функциональные характеристики изделий, и выявляется их соответствие расчетным данным. От правильности выбора схем испытаний и систем измерения во многом зависит не только достоверность получаемых результатов, но и объем затрат на проведение работ.

Испытания на функционирование включает в себя настройку,работку, измерение параметров изделия в процессе функционирования, регистрацию и анализ переходных процессов, обработку экспериментальных данных и сравнение их с расчетными данными. Необходимым условием проведения таких испытаний является наличие информационно-измерительных систем (ИИС), которые должны обеспечивать сбор информации в контрольных точках исследуемого объекта. С помощью ИИС можно контролировать все временные характеристики изделия – время открытия и закрытия клапана, время срабатывания конечных микропереключателей, движение подвижных частей и другие.

На сегодняшний день существуют ИИС, которые построены на базе разнообразных аппаратных и программных средств. При выборе ИИС должны учитываться их следующие характеристики: быстродействие и объем регистрации, типы обработки и протоколирования, способы хранения и передачи информации системам управления. Соотношение стоимости ИИС и их возможностей, необходимых для конкретного применения, является актуальным требованием, предъявляемым к испытаниям.

В докладе представлены описания типовых схем испытаний агрегатов пневмогидравлических систем силовой пневмоавтоматики на функционирование, рассмотрены методы проведения испытаний по определению переходных процессов в системах испытаний и рассмотрены вопросы о применении типовых ИИС.

Построение процессов исследования изделий пневмоавтоматики по рассмотренным схемам испытаний позволяет в кратчайшие сроки и с минимальными затратами решить задачу отработки изделий.

**РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ПРОЕКТИРОВАНИЯ  
СИСТЕМ ПНЕВМОИСПЫТАНИЙ  
РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ**

*В.Н. Мельничук, В.С. Шарпов, А.В. Торпачев, Г.П. Бирюков  
("МАТИ" – РГТУ им. К.Э.Циолковского, ФГУП КБТМ, г. Москва)  
stk1996@mail.ru*

Система пневмоиспытаний играет важную роль в общей иерархии структуры ракетно-космического комплекса. С целью повышения эффективности уровня автоматизации процесса проектирования оборудования возникает необходимость разработки универсального алгоритма проектирования для последующей оптимизации всех стадий разработки системы пневмоиспытаний. Для этого были проведены исследования принципов функционирования оборудования и специфики систем пневмоиспытаний, на основе которых выполнена разработка алгоритма процесса проектирования.

Целью разработки алгоритма является нахождение эффективных путей автоматизации процессов проектирования данного вида оборудования и дальнейшая оптимизация выбранных вариантов.

В результате анализа конструктивных и функциональных особенностей оборудования систем пневмоиспытаний предложено проводить проектирование в следующей этапности:

- разработка различных вариантов элементной структуры, результатом чего является выбор оптимальных вариантов компоновки оборудования;
- подбор конкретных комплектов оборудования и разработка процессов функционирования – итогом этого этапа является формирование общей схемы управления работой системы, а также состава необходимых технологических операций;
- создание пооперационной технологии и обоснование оптимальной структуры оборудования по базовым критериям;
- структурная и параметрическая оптимизация, в результате которой, при необходимости, проводится корректировка элементной структуры.

Разработанный алгоритм должен обеспечивать выполнение всех требований и норм, выдвигаемых на стадии проектирования, вписываться в общую систему автоматизации и учитывать различные варианты структуры систем пневмоиспытаний. В конечном итоге применение предлагаемого авторами алгоритма направлено на повышение эффективности процессов проектирования оборудования рассматриваемых систем.

**РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ РАСЧЕТА ВЕТРОВЫХ  
НАГРУЗОК НА КОНСТРУКЦИИ  
РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ**

*В.А. Абашии, Д.А. Паришин*  
*("МАТИ" – РГТУ им. К.Э. Циолковского, г. Москва)*  
*stk1996@mail.ru*

При разработке сложных технических систем одной из основных задач является обеспечение высокой точности проводимых конструкторских расчетов. Решение данной проблемы невозможно без использования в инженерной деятельности различных автоматизированных расчетных систем.

Использование подобного прикладного компьютерного обеспечения позволяет повысить производительность инженерной работы и избежать появления ошибок в процессе проектирования.

Расчет ветрового воздействия является обязательным элементом при проектировании объектов ракетно-космических комплексов и оценки параметров их функционирования.

Авторами разработана автоматизированная система расчета значений параметров различных конструкций функционирующих в условиях ветрового воздействия.

Система автоматизирует расчет следующих параметров ветрового воздействия на конструкции ракетно-космических комплексов:

- скоростного напора по стандартной методике.
- статической ветровой нагрузки по стандартной методике.
- полной ветровой нагрузки по упрощенной методике.

Автоматизированная система позволяет оценить правильность и оптимальность выбранной конструкции при данных условиях ветрового воздействия.

Адекватность введенных инженером параметров отслеживается программой автоматически, что позволяет исключить возможные ошибки первого и второго рода.

В автоматизированной системе реализована возможность сохранения данных в файл, совместимый с различными приложениями MS Windows, что позволяет использовать полученные расчетные значения для последующих вычислительных и проектных операций с ними.

**УЧЕТ ТЕПЛООВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ГАЗОВОЙ СТРУИ ПРИ  
РАСЧЕТЕ ПРОЧНОСТИ ФЕРМЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ  
СТАРТОВЫХ КОМПЛЕКСОВ**

*В.С. Абакумов, В.А. Игрицкий,  
В.В. Ломакин, В.В. Чугунков, А.В. Языков  
(МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва)  
sm8@sm8.bmstu.ru*

В агрегатах стартовых комплектов современных и перспективных ракет-носителей широко применяются ферменные конструкции, состоящие из полых труб. Такие конструкции позволяют обеспечить необходимую жёсткость сооружения при минимальной массе.

При пуске ракеты-носителя на эти конструкции может воздействовать поток горячих газов, приводящий к возникновению как газодинамических, так и термомеханических нагрузок. При этом основные термомеханические нагрузки на конструкцию возникают из-за различной скорости прогрева стержней фермы, имеющих разные сечения и ориентацию относительно набегающего потока. Кроме того, в местах соединения стержней фермы часть поверхности продольных труб экранируется от набегающего потока присоединенными к ней поперечными и наклонными трубами и за характерное время воздействия струи (около 10 секунд) успевает прогреться только по внешнему краю. При этом перепад температур по конструкции в месте соединения труб может достигать 200К и более, в зависимости от продолжительности и интенсивности воздействия струи, что приводит к возникновению существенных местных напряжений.

Проведенный анализ нагрузок показал, что из-за сложной геометрии конструкций в местах соединения труб, рациональным является совместный расчет общей прочности конструкции от газодинамических и термомеханических нагрузок, с последующим отдельным расчетом местной прочности узлов соединения труб. Такой подход позволяет при применении моделей на основе метода конечных элементов обеспечить как возможность расчетов сложных ферменных конструкций с приемлемым числом узлов, так и высокую точность расчета напря-

женно-деформированного состояния мест соединения труб фермы на отдельных подробных моделях.

С помощью этой методики был проведен расчет напряженно-деформированного состояния сложной пространственной фермы и отдельных узлов ее конструкции.

**ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ СРЕДСТВ  
НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ ДЛЯ  
ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ**

*Захаров В.А., Решенкин А.С.*

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

Определение эффективности применения средств неразрушающего контроля и диагностики является одной из важнейших задач на этапе их внедрения. Особенно остро этот вопрос стоит при необходимости модернизации или постановки новых технологических процессов производства тех или иных деталей и оборудования ракетно-космической техники.

Известные способы определения эффективности дают обобщенную оценку в денежном выражении достоинств и недостатков применения конкретных средств неразрушающего контроля и диагностики. Однако существуют задачи для решения, которых стоимостные показатели не играют большой роли. В первую очередь это задачи связанные с безусловным обеспечением безопасности жизни человека, задачи обеспечения обороноспособности и связанные с мировым престижем страны.

В связи с этим предлагается подход для определения эффективности применения конкретных средств неразрушающего контроля и диагностики на основе положений теории информации.

На основе известных данных сформирована таблица вероятностной оценки выявляемости каждого типа дефекта.

Для сравнения различных систем контроля в случае определения одного и того же типа дефекта определяется суммарная величина получаемой информации как разность неопределенности состояния системы до и после контроля.



При необходимости обоснования выбора метода неразрушающего контроля для обнаружения ряда дефектов можно определять суммарные величины количества информации и далее сравнивать именно их.

В случаях, когда расчетные показатели величин количества информации близки по значениям друг к другу возможно дополнительное использование критериев эффективности учитывающих экономическую составляющую.

**ИНЖЕНЕРНАЯ ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ  
ТЕПЛОАККУМУЛИРУЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ МАССИВА,  
ОКРУЖАЮЩЕГО СПЕЦИАЛЬНОЕ ШАХТНОЕ  
СПЕЦСООРУЖЕНИЕ, НА ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ В  
СООРУЖЕНИИ**

*В.В. Дерюшев, О.А. Губеладзе, Д.М. Матяшов  
(РВИ РВ им. Главного маршала артиллерии Неделина М.И.,  
г. Ростов-на-Дону)  
raurostov@aaanet.ru*

Для получения достоверных данных о характере изменения температуры воздушной среды в полости ствола шахтного сооружения необходимо провести оценку теплоаккумулирующей способности окружающего массива. Были приняты следующие допущения:

- а) в верхней части сооружение полностью теплоизолировано, а потерями через дно пренебрегаем ввиду их малости (менее 4%);
- б) так как массив, окружающий сооружение, по сравнению с полостью самого сооружения неизмеримо велик, считаем, что все тепловыделения в итоге будут поглощены только грунтом;
- в) одним из факторов, определяющих теплотери сооружения, является температура грунта. Экспериментальные данные показали, что колебания температуры, вызываемые нагреванием земной поверхности днем и охлаждением ночью, не влияют на температуру грунта уже на глубине около одного метра, а колебания температуры зимой и летом влияют на температуру грунта на глубине до 10 метров;
- г) начальные температуры воздушной среды в сооружении и окружающего массива равны;
- д) увеличение числа слоев ведет к значительному усложнению решения задачи нестационарной теплопроводности. Для получения инженерных аналитических зависимостей заменим многослойную конструкцию строительной части сооружения на однослойную с эквивалентны-

ми теплофизическими характеристиками, а стальной слой гидроизоляции принимаем термически прозрачным.

Полученные результаты расчета позволяют провести распределение шахтных сооружений по трем группам работы систем обеспечения температурно-влажностного режима (СОТВР). К первой группе относятся сооружения, для эксплуатации которых необходимо проектирование специальных постоянно функционирующих СОТВР. Во вторую группу входят сооружения, для которых необходимо создание СОТВР, работающих периодически. К третьей группе относятся сооружения, в которых температурный режим будет в основном обеспечиваться за счет теплоаккумулирующей способности окружающего массива.

#### **ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗАЩИТЫ ФОРТИФИКАЦИОННЫХ СООРУЖЕНИЙ ОТ СЕЙСМОВОЗДЕЙСТВИЙ**

*Г.С. Аверьянов, А.В. Зубарев, Р.Н. Хамитов*

*(Омский государственный технический университет, г. Омск)*

*ipro@omgtu.ru*

Использование пневматических амортизаторов (ПА) с резино-кордными оболочками (РКО), как в системах подрессоривания транспортных средств так и в системах амортизации (СА) заглубленных в грунт фортификационных сооружений стимулировало создание нового способа демпфирования колебаний амортизируемых объектов (АО), основанного на управлении характеристикой восстанавливающей силы пневмоэлемента. Для этой цели между объемами ПА устанавливаются клапанные устройства.

Их роль состоит в создании перепада давления между объемами ПА, а процессы, происходящие при перетекании и смешивании газов в полостях, обеспечивают диссипацию энергии колебаний АО.

Одним из путей повышения эффективности демпфирующих свойств ПА является введение активного управления процессами перетекания газа между объемами, что является одной из основных задач настоящего исследования.

Управляемые пневматические виброзащитные устройства, как показали предварительные исследования, могут наиболее полно удовлетворять требованиям СА, так как они обеспечивают регулирование упругодемпфирующих характеристик, и нет необходимости выполнения отдельных демпфирующих устройств.

В данной работе разработано виброзащитное устройство, включающее пакет пневматических упругих элементов с активным управлением упругодемпфирующими характеристиками, которое может быть использовано так же в СА АЭС, зданий и сооружений.

Платформа АО устанавливается на четырех виброзащитных устройствах, точки опоры которых выбираются таким образом, что-бы обеспечить наибольшую разгрузку металлоконструкции объекта и наименьший угол перекоса сооружения. Следует отметить, что установленные виброзащитные устройства обеспечивают не только вертикальную, но и горизонтальную амортизацию сооружений. При-чем ПА установленные под углом  $45^\circ$  к центральным еще и решают задачи по повышению грузоподъемности виброзащитного устройства, стабильности положения АО от горизонтальных возмущающих сил и гарантированного возврата АО в исходное положение.

**МЕТОДИКА РАСЧЕТА ФЕРМЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ  
АГРЕГАТОВ СТАРТОВОГО КОМПЛЕКСА НА ДЕЙСТВИЕ  
ГАЗОДИНАМИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ**

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

В составе стартовых комплексов часто встречаются агрегаты, подвергающиеся значительному ветровому воздействию или воздействию газодинамических струй ДУ РКН. Во многих случаях конструкция этих агрегатов представляет собой достаточно сложные пространственные фермы. К таким агрегатам относятся, в частности, опорные фермы, башни обслуживания, заправочные мачты и т.п. Для расчета таких агрегатов на газо- и аэродинамическое воздействие рекомендован отраслевой стандарт ОСТ 92. Однако для сложных конструкций применение стандарта затруднено вследствие наличия большого количества элементов конструкции, имеющих, во-первых, различную ориентацию относительно набегающего потока газа и, во-вторых, различные поперечные сечения. В связи с этим представляется необходимым создание программных средств, позволяющих автоматизировать задание указанных нагрузок в модели конструкции.

Расчет несущей способности конструкций агрегатов стартового комплекса удобно проводить с помощью метода конечных элементов. На кафедре «Стартовые ракетные комплексы» МГТУ им. Н.Э. Баумана для проведения подобных расчетов создан программный комплекс

«SADAS», который и был дополнен средствами распределения нагрузки согласно отраслевому стандарту.

В соответствии с положениями стандарта, в программе распределения газодинамических нагрузок на каждый элемент конструкции задается сила, приложенная к центру элемента. При этом величина давления берется также в центре элемента. Это, вообще говоря, приводит к некоторому снижению точности распределения нагрузок. В связи с этим, дополнительно, реализована возможность распределения нагрузки в соответствии с методом конечных элементов, что позволяет считать поле давлений потока распределенным по линейному закону на элементе, а также учитывать конические элементы.

Применение данной программы позволило в значительной мере снизить время подготовки модели к расчету, а также уменьшить погрешность оценки напряженно – деформированного состояния конструкций агрегатов стартовых комплексов.

**РАЗРАБОТКА ВИБРОЗАЩИТНЫХ СИСТЕМ НАСОСНЫХ  
АГРЕГАТОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПНЕВМАТИЧЕСКИХ  
УПРУГИХ ЭЛЕМЕНТОВ**

*Г.С. Аверьянов, А.В. Зубарев, М.А. Радченко*

*(Омский государственный технический университет, г. Омск)*

*ipo@omgtu.ru*

С целью снижения вибрационных нагрузок на машины и агрегаты применяют различные упругие, упруго-демпферные и демпферные опоры, резиновые прокладки и амортизаторы, виброизолирующие покрытия и т. д.

В последние годы в качестве упругих опор и амортизаторов стали использоваться упругие пневматические элементы с резинокордными оболочками (РКО). Пневматические упругие элементы обычно имеют низкие собственные частоты колебаний, поэтому они обеспечивают хорошую виброизоляцию практически во всем диапазоне колебаний, генерируемых машинами и агрегатами.

Поэтому установка рамы с насосным агрегатом на пневматические упругие элементы, может привести к значительному уменьшению вибраций как на агрегате, так и на элементах конструкции здания насосной станции.

В данной работе проведен всесторонний анализ источников вибрации в насосных агрегатах и разработана принципиальная схема кон-

фигурации системы виброзащиты для насосного агрегата с использованием резинокордных оболочек.

При анализе виброзащитных свойств РКО в системе «Насосный агрегат-упругие элементы» были определены частоты собственных колебаний этой системы.

В первом приближении насосный агрегат вместе с рамами рассматривался как абсолютно твёрдое тело. Зная геометрическую форму, размеры и веса тел входящих в систему были вычислены приведенные моменты инерции, жесткости подвески, положение центра инерции и центра жёсткости, после чего, используя известные уравнения механики, были приближённо определены собственные частоты колебаний.

Приближённо найденные собственные частоты колебательной системы «насосный агрегат - упругая подвеска» лежат в области низких частот и можно ожидать в режиме стационарной работы, достаточно большой эффективности виброзащиты, т.к., судя по литературным источникам и по измерениям, проведённым в процессе данной работы, основной частотный спектр виброактивных узлов, лежит намного выше частот собственных колебаний системы.

Кроме того, при разработке математической модели учитывался гироскопический эффект, возникающий вследствие наличия быстро-вращающегося ротора электродвигателя с ротором насоса и угловых колебаний всей системы.

#### **СПОСОБ И УСТРОЙСТВО ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ АКТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ УПРУГОДЕМПФИРУЮЩИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ КОЛЕБАТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ**

*Г. С. Аверьянов, А.В.Зубарев, Р.Н. Хамитов*

*(Омский Государственный технический университет, г. Омск)*

*ipro@omgtu.ru*

Одним из путей повышения эффективности демпфирующих свойств пневматического виброзащитного устройства является введение активного управления процессами перетекания газа между объемами.

В настоящей работе предложена и исследована виброзащитная система, где демпфирование колебаний объекта осуществляется периодическим уменьшением восстанавливающей силы основного упругого элемента за счет подвода и отвода дополнительной массы газа, в виде давления, из постороннего источника энергии в штоковую полость цилиндра в противофазе движению объекта. Это приводит к резкому

уменьшению потенциальной энергии системы в начале хода отбоя, значит и хода отбоя. При этом масса газа в основном упругом элементе остается постоянной.

Исследование основных динамических свойств пневматических виброзащитных систем основывается на совместном решении системы нелинейных дифференциальных уравнений, описывающих как изменение параметров движения объекта, так и ход газо-термодинамических процессов протекающих в объемах пневмоэлемента.

В результате исследований было установлено, что демпфирующие свойства пневматического виброзащитного устройства улучшаются с увеличением относительных перемещений АО и с увеличением подводимого давления в штоковую полость данного устройства.

Таким образом, с целью дальнейших улучшений демпфирующих свойств СА, в качестве нового направления, может быть рекомендовано применение активного способа управления упругодемпфирующими характеристиками ПА, где переход с одной характеристики на другую осуществляется автоматически с обеспечением требуемых как упругих, так и демпфирующих свойств системы.

**ТЕОРЕТИКО-ВЕРОЯТНОСТНЫЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ  
ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРОЧНОСТИ КОНСТРУКЦИЙ ПУТЁМ  
АНАЛИЗА РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ВРЕМЕНИ МЕЖДУ АКТАМИ  
АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ И ИХ ЧИСЛА**

*А.В. Попов, И.В. Косенков*

*(РВИРВ им. Главного маршала артиллерии М.И. Неделина,*

*г. Ростов-на-Дону)*

*avpnil@rambler.ru*

Известно, что изменение прочности при нагружении конструкций носит стохастический характер. Этот факт обуславливает случайность изменения регистрируемых характеристик. Установлено, что наиболее информативными являются временные интервалы между актами акустической эмиссии и их число на характерных этапах испытаний. На стадии образования микродефектов эти характеристики подчиняются распределению Пуассона. Необходимыми условиями этого распределения является экспоненциальность распределения времени между соседними актами акустической эмиссии и ординарность потока этих актов. На основе этих условий строится теоретико-вероятностная модель чис-

ла актов акустической эмиссии и изменения распределений времени между актами акустической эмиссии при деформировании конструкций.

Обосновываются два утверждения – прямое и обратное, которые свидетельствуют, что при любом Пуассоновском распределении время актов акустической эмиссии имеет достаточно близкое к экспоненциальному распределение. Но не каждое экспоненциальное распределение времени появления актов акустической эмиссии является пуассоновским, а лишь то, которое обладает свойством ординарности. Проверяется выполнение условия ординарности случайного процесса.

Предложен новый метод оценки процессов разрушения конструкций при акустико-эмиссионном контроле основанный на оценке изменения характеристик сигналов акустической эмиссии при деформировании конструкций, отличающийся тем, что оценку процессов разрушения при деформировании конструкций производят путём анализа изменения параметров распределений акустической эмиссии, характеризующих инвариантами.

Эффективность применения разработанного подхода определения прочностных характеристик обусловлена возможностью прогнозирования и предотвращения аварийных ситуаций в процессе эксплуатации силовых элементов конструкции.

### **ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ШУМОВ НА РЕЗУЛЬТАТЫ АКУСТИКО – ЭМИССИОННОГО КОНТРОЛЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА ИНВАРИАНТОВ**

*А.В. Попов, И.В. Косенков*

*(РВИРВ им. Главного маршала артиллерии М.И. Неделина,*

*г. Ростов-на-Дону)*

*avpnil@rambler.ru*

Реально процесс измерения временных интервалов между актами акустической эмиссии сопровождается неизбежными шумами как аппаратными, так и внешними. Это вызывает отклонения плотности распределения результата измерения интервалов от экспоненциальной, и следовательно, инвариантов от их теоретических значений, уже на начальном этапе нагружения.

Отсюда вытекает задача оценки влияния шумов на результаты измерения временных интервалов между актами акустической эмиссии и выработки на этой основе рекомендаций по уменьшению его до допустимых пределов.

Из-за воздействия помехи регистрирующее устройство срабатывает раньше или позже соответствующих моментов срабатывания, чем при отсутствии помехи. Будем полагать, что помеха  $n(t)$  представляет собой центрированный стационарный гауссовский случайный процесс, а сигнал акустической эмиссии нестационарный случайный пуассоновский процесс.

Из композиции двух законов распределения – нормального и пуассоновского, получается соотношение, которое для инварианта:

$$I = \frac{M[(\tau')^2]}{[M(\tau')]^2};$$

имеет вид:

$$I = \frac{\int_0^{\infty} (\tau')^2 e^{-\lambda \tau'} \operatorname{erfc} \left[ \frac{1}{\sqrt{2}} \left( \lambda \sigma_* - \frac{\tau'}{\sigma_*} \right) \right] d\tau'}{\frac{\lambda}{2} e^{-\frac{\lambda^2}{2} \sigma_*^2} \left[ \int_0^{\infty} \tau' e^{-\lambda \tau'} \operatorname{erfc} \left[ \frac{1}{\sqrt{2}} \left( \lambda \sigma_* - \frac{\tau'}{\sigma_*} \right) \right] d\tau' \right]^2}.$$

Семейство кривых  $I(\sigma_*, \lambda)$  построенное по полученной формуле в среде Mathcad11 позволяет производить анализ влияния помехи на оценку инварианта  $I$  и сделать некоторые предложения по её уменьшению. Например, для уменьшения влияния шума следует уменьшать значение  $\sigma_*$  в том числе и за счет увеличения крутизны  $V$  фронта импульса регистрирующего устройства.

### ПРИМЕНЕНИЕ ОБОБЩАЮЩИХ АНАЛИТИЧЕСКИХ СООТНОШЕНИЙ ДЛЯ АКУСТИКО-ЭМИССИОННОГО КОНТРОЛЯ МЕТОДОМ ИНВАРИАНТОВ

*А.В. Попов, И.В. Косенков*

*(Ростовский военный институт ракетных войск  
им. Главного маршала артиллерии М.И. Неделина)  
avpnil@rambler.r*

При контроле прочностных характеристик конструкций широко используется акустическая эмиссия (АЭ). В работе [1] предложен метод инвариантов, основанный на свойствах, экспоненциального распределе-



ния временных интервалов  $T$  между точками пуассоновского процесса, которым описываются акты эмиссии на стадии образования микродефектов. Так, например, для инварианта экспоненциального распределения справедливо отношение:

$$I = \frac{M[T^2]}{M^2[T]} = 2. \quad (1)$$

Предположим, что случайные величины  $T$  подвергаются нелинейному монотонному преобразованию  $f(T)$ . Известно, что для плотности распределения  $P(T^*)$  величины  $T^* = f(T)$  справедливо соотношение:

$$p(\tau^*)d\tau^* = p(\tau)d\tau,$$

где  $p(\tau)$  - плотность распределения случайных временных интервалов  $T$ .

Таким образом, для того чтобы распределение выходной случайной величины нелинейного преобразования  $T^*$  было экспоненциальным, входную случайную величину  $T$  необходимо подвергнуть преобразованию:

$$\tau^* = -\frac{1}{\lambda^*} \cdot \ln[F(\tau)]. \quad (2)$$

Отклонение плотности распределения случайной величины  $T$  от исходного распределения  $p(\tau)$  вследствие изменения процесса разрушения (начало текучести материала, фазовые превращения, трение и др.) приведёт к отклонению плотности распределения величины  $T^*$  от экспоненциального и, следовательно, к нарушению соотношений для инвариантов. Это будет сигнализировать об изменении процессов разрушения, являться предвестником возникновения аварийной ситуации. Соотношение (2) справедливо для любых исходных плотностей распределения  $p(\tau)$ .

### ОБ ОДНОМ СПОСОБЕ АМОРТИЗАЦИИ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ, ОСУЩЕСТВЛЯЕМОМ ПУТЁМ ДИСКРЕТНОЙ КОММУТАЦИЕЙ ЧАСТЕЙ СВЯЗЕЙ

*Б. А. Калашиников*

*(Омский государственный технический университет, г. Омск)*

*bkalashnikov1@yahoo.com*

Уменьшение динамических воздействий, возникающих при транспортировке объектов космической техники, может быть осуществлено путём управления неконсервативными позиционными силами.

Объектом исследования являются системы амортизации космических аппаратов, в которых в качестве связей используются элементы переменной структуры, состоящие из деформируемой и аккумулирующей частей.

Дискретная коммутация частей связей, осуществляемая дважды на периоде в окрестности амплитудных положений объекта, обеспечивая наибольший перенос массы и энергии между ними, вносит фазовый сдвиг между относительными перемещениями и позиционной силой. Такое управление этой силой обеспечивает наибольшее производство энтропии в системе, а, следовательно, и наивысшие при прочих равных условиях неконсервативные свойства её.

Дискретный перенос массы между частями описывается с использованием функции Хевисайда и безразмерных параметров решения – смещения центра колебаний и амплитуды. Позиционная сила формируется с использованием уравнений состояния и изменяющихся по закону прямоугольного косинуса массы частей и смещения динамического положения равновесия. Производство энтропии связывается с диссипативными свойствами.

Выражения для основных параметров получены по методу гармонической линеаризации и с использованием принципа энергетического баланса. Найдены уравнения трёхмерных поверхностей связи для параметров решения и отношения масс частей.

Получены предельные значения эквивалентных коэффициентов и установлено, что постоянство отношения амплитудных значений диссипативной и восстанавливающей сил, равенство предельных значений коэффициентов передачи, малая зависимость характеристик от амплитуды возмущения и др. обусловлены гиперболическим типом частотной зависимости коэффициента апериодичности.

Решение системы нелинейных уравнений для амплитудно-частотной характеристики и поверхности связи позволило получить частотную зависимость коэффициента апериодичности, что дало возможность разработки методики выбора параметров.

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ В РЕЗИНОМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТАХ СТАРТОВЫХ КОМПЛЕКСОВ***А.А. Кожушко**(Омский государственный технический университет, г. Омск)**ipro@omgtu.ru*

Эластомерные композитные конструкции находят широкое применение в современной технике в качестве упругих шарниров и опор, амортизаторов и виброзащитных устройств, компенсаторов различного вида деформаций и т.д.

Эластомерные элементы обычно работают в условиях больших нагрузок и деформаций. В общем случае расчет изделий из эластомеров сводится к решению задач физически и геометрически нелинейной связанной теории термовязкоупругости. Вместе с тем в длительно работающем изделии из эластомеров успевают отрелаксировать все неупругие эффекты. Вклад упругой деформации всегда составляет не менее 80% от общей величины. Таким образом, неупругость для эластомеров является эффектом второго порядка, и для упрощения математической модели в представленной работе не учитывается.

При больших деформациях используют нелинейный закон связи напряжений с деформациями. Обычно задают удельную потенциальную энергию – упругий потенциал как функцию трех инвариантов тензора деформаций. В данной работе для описания упругих свойств эластомеров используется потенциал Муни - Ривлина, а для описания упругих свойств армирующих материалов – потенциал Мурнагана. Полученная математическая модель численно реализуется на ЭВМ при помощи метода конечных элементов.

Данные о расчетах и экспериментальных исследованиях напряжений в армирующих слоях, которые представляют наибольший интерес в вопросах прочности и надежности конструкций, в публикациях практически отсутствуют. Анализ резинометаллических элементов обычно ограничивается построением жесткостных характеристик типа «сила – осадка».

Сопоставление имеющихся экспериментальных данных и результатов численных расчетов свидетельствует о возможности использования разработанной математической модели для определения напряженно-деформированного состояния резинометаллических элементов.

---

**МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ С ЦЕЛЬЮ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИХ ЭФФЕКТИВНОСТИ И ОСОБЕННОСТЕЙ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ**

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

Рассматриваются вопросы моделирования паротурбинных (ПТП) и термоэлектрических (ТЭП) преобразователей тепла для получения электрической энергии и холода из бросовой тепловой энергии.

В качестве моделируемого источника бросового тепла была выбрана выхлопная система дизель-электрогенератора. Дизель-генераторная установка (ДГУ) имеется в составе большинства наземных систем и имеет низкий КПД ( $\approx 30\%$ ). Сопряжение ДГУ с преобразователями тепла (ПТ) позволяет повысить КПД ДГУ поскольку все энергопотребители ПТ работают только за счет ими же вырабатываемой энергии.

Экспериментальная установка состоит из вентилятора, калорифера, автоматики поддержания температуры, экспериментальных преобразователей тепла двух типов, а также воздухопроводов и запорной арматуры. Контур установки является замкнутым и теплоизолированным, что позволяет в короткие сроки выводить установку на режим без значительного расхода электроэнергии. Преобразователи тепла включены в цикл установки параллельно, что позволяет обеспечить как совместную, так и независимую их работу.

Результатом работы нагревательной части установки является нагретый воздух, поступающий на ПТ. Воздух моделирует выхлоп ДГУ, обладает заданным расходом и незначительным (по сравнению с выхлопом) давлением.

Представлены варианты схемных решений по сопряжению преобразователей с реальными системами энергоснабжения и тепловой стабилизации объектов наземной инфраструктуры. Проведены эксперименты, представлены результаты экспериментов, а также ожидаемые характеристики преобразователей.

**АНАЛИЗ СОВМЕСТНОЙ РАБОТЫ МЕТАЛЛОГИДРИДНОГО  
ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ И ИСТОЧНИКОВ  
ТЕПЛОВОЙ МОЩНОСТИ НАЗЕМНЫХ АВТОНОМНЫХ  
ОБЪЕКТОВ**

*О.П. Матвеева*

*(МГТУ им. Н.Э.Баумана, г. Москва)*

*sm8@sm8.bmstu.ru*

В процессе функционирования системы автономных объектов, например командных пунктов (КП), требуют использования мощных источников электроэнергии. Такими источниками электроэнергии могут быть дизель-генераторы (ДГ) с невысоким коэффициентом полезного действия. Часть тепловой энергии от ДГ отводится с помощью циркулирующей жидкости (воды) в рубашке его охлаждения через внешний контур кожухотрубного теплообменника. Температурный уровень выделяемой тепловой энергии (от +60 до +90<sup>0</sup>С) позволяет инициировать сорбционные процессы в металлгидридных преобразователях тепловой энергии (МГПТЭ) для дальнейшего получения тепловой мощности (холода) на температурном уровне +8...+9<sup>0</sup>С, переносимой с помощью жидкого теплоносителя в обдуваемые воздушным потоком теплообменники секций сооружения.

Мощность МГПТЭ по холоду обусловлена электрической мощностью ДГ, способом отвода от него тепловой мощности с водой (испарительная или прямой вывод воды за пределы КП), а также располагаемыми свободными объемами в секциях и законтейнерном пространстве.

Разработанные схемы совместного применения МГПТЭ с ДГ, а также с водой отработанных водоледяных аккумуляторов холода направлены на снижение тепловой нагрузки на аккумуляторы холода и снижение тепловых потерь, на продление режима автономии КП.

**МЕТОДИКА ПОСТРОЕНИЯ УЧЕБНО-ТРЕНИРОВОЧНЫХ  
СРЕДСТВ С АВТОМАТИЧЕСКОЙ АДАПТАЦИЕЙ  
ПАРАМЕТРОВ ПОДГОТОВКИ**

*А.Н. Михалин, С.П. Коробков (ОКБ «ВЕКТОР»),*

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

*reshenkin@list.ru*

Традиционно для подготовки операторов СТК применяют учебно-тренировочные средства (УТС). Однако анализ существующих ТК показал, что требования руководящих документов по их созданию выпол-

няются не полностью, что обуславливает определённые запасы в повышении эффективности подготовки. В частности, существующие УТС не позволяют решать задачи информационного сопровождения оператора на протяжении всего цикла его службы, а также задачи автоматической адаптации содержания подготовки.

В связи с чем весьма актуальной становится задача разработки научно-методического аппарата построения УТС с автоматической адаптацией параметров подготовки к текущему уровню подготовленности оператора.

В ходе решения данной задачи выделены и решены ряд частных задач:

1. Разработана методика автоматической оценки действий операторов в масштабе реального времени при выполнении типовых задач подготовки, основанная на поочерёдном сравнении текущих действий оператора с моделью допустимых действий;

2. Разработан показатель потерь подготовленности оператора, позволяющий оценить эффективность управления как на этапе формирования содержания тренировки, так и в ходе её проведения;

3. Разработана модель для оценки эффективности формирования содержания тренировки, позволяющая дать предварительную оценку сформированному набору задач для подготовки;

4. Разработана методика построения УТС с автоматической адаптацией содержания тренировки к текущему уровню подготовленности оператора.

Экспериментальная проверка предлагаемой методики проводилась на специально разработанном фрагменте виртуального тренажёрного комплекса. Реализация предложенной методики в УТС позволило поддерживать уровень подготовленности операторов в среднем на 14% выше по сравнению с применением существующих УСТ.

#### **ПРИНЦИПЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПРОГРАММНЫХ МОДУЛЕЙ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАЧЕСТВА СТАРТОВЫХ КОМПЛЕКСОВ**

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

Автоматизированная система обеспечения качества является многомодульным программным продуктом, предназначенным для решения конкретных задач контроля качества стартовых комплексов. Под тер-

мином многомодульность понимается то, что создаваемая система состоит из набора модулей, каждый из которых выполняет фиксированные функции. Данные поступают на вход одного модуля, обрабатываются и, при необходимости, передаются последующим модулям. Под необходимостью передачи данных в следующий модуль понимается то, что результаты обработки информации, выходящей из "первого" модуля, при условии достаточности являются конечными.

Всю совокупность модулей в автоматизированной системе обеспечения качества можно разделить на три группы:

1. Системные модули, которые отвечают за корректность работы программного обеспечения. Как правило, к этому типу модулей пользователь не получает прямого доступа, используя их по умолчанию и, зачастую, не осознанно. Такие модули можно назвать низкоуровневыми.

Примером одного из системных модулей может служить транслятор – обслуживающая программа, преобразующая исходный код на входном языке программирования в рабочий модуль, представленный на объектном языке.

Основной операцией, выполняемой над языками программирования, является их трансляция – сопоставление каждой цепочке языка некоторого выхода. Этот выход может быть эквивалентной программой на языке ассемблер (в этом случае транслятор называется компилятором), или же выход программы представляет непосредственно тот результат, который предполагается получить при выполнении исходной программы (тогда транслятор называется интерпретатором);

2. Базовые модули, представляющие пользователю необходимый инструментарий для решения поставленных задач:

- модуль анализа надежности;
- модуль анализа безопасности функционирования;
- модуль интегральной оценки качества и т.п.

3. Пользовательские модули, которые создаются самим инженером при работе в системе с помощью встроенного языка программирования. С помощью такого подхода система расширяет спектр решаемых задач.

**ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ  
СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ  
ОБОРУДОВАНИЯ СТАРТОВЫХ КОМПЛЕКСОВ**

*Г.П. Бирюков, Э.Б. Таирова, В.А. Зиновьев*  
*("МАТИ" – РГТУ им. К.Э.Циолковского, ФГУП КБТМ, г. Москва)*  
*stk1996@mail.ru*

Оборудование на стадии его эксплуатации пребывает в различных состояниях: применяется по назначению, хранится в ожидании применения, подвергается контролю, ремонту, ожидает начала ремонта. Характеристики или параметры этих состояний взаимосвязаны и влияют на стоимость эксплуатации оборудования, что определяет эффективность его применения.

Условие высокой готовности к применению по назначению в любой момент времени позволяет в качестве технического показателя эффективности выбрать коэффициент готовности; в то же время желательно, чтобы стоимость эксплуатации была минимально возможной. Противоречивость требований к высокой готовности и низкой стоимости обуславливают необходимость постановки и решения задачи оптимизации.

Задача оптимизации состоит в минимизации величины критерия оптимальности и имеет большую размерность. Для понижения размерности разделяем все параметры на две группы: варьируемые и фиксированные.

Метод математического моделирования эксплуатации стартовых комплексов является итерационным. Итерационная процедура комплексного метода осуществляет поиск минимума перемещением по направлению к минимуму внутри области ограничений. При проведении каждой итерации для расчетов вероятности применяется операция обращения матрицы.

При некоторых сочетаниях параметров матрица может стать плохо обусловленной и даже вырожденной. Для предотвращения этой трудности была использована операция обращения матрицы. Применен прямой метод обращения, основанный на использовании вспомогательной матрицы, для которой известны определяющие параметры.

Метод заключается в последовательном вытеснении вспомогательной матрицы за конечное число шагов. Применение рекуррентных формул к полученной таким образом матрице позволяет легко вычислить ее определяющие параметры.



**ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЗОНАНСНОГО РЕЖИМА ВЕРТИКАЛЬНЫХ  
ЖЕСТКИХ РОТОРОВ ЭЛЕКТРОНАСОСНЫХ  
АГРЕГАТОВ С УЧЕТОМ РАДИАЛЬНОЙ АНИЗОТРОПИИ  
ШАРИКОПОДШИПНИКОВЫХ ОПОР**

*Султанов А.Э.*

*(ВКА им. А.Ф. Можайского, г. Санкт-Петербург)*

*ASultanov@mail.ru*

Анализ причин отказов электронасосных агрегатов систем заправки РКН кислородом показывает, что после регламентного обслуживания с заменой смазки подшипников сборка агрегатов может в ряде случаев повлечь деформацию и несоосность колец верхнего подшипника. В этих условиях существенно изменяются свойства верхней опоры вертикального жесткого ротора: возникает эллиптичность колец подшипника, анизотропия податливости в радиальном направлении, линия контактов шариков при вращении ротора приобретает сложную пространственную седлообразную форму. Указанные обстоятельства существенно изменяют динамику движения ротора и создают предпосылки для реализации критического режима работы.

В ряде фундаментальных исследований было рассмотрено влияние анизотропии опор на характер резонансного режима ротора. Однако, особенности рассматриваемого случая закрепления вертикального жесткого ротора в верхнем радиально-упорном и нижнем радиальном подшипниках качения определяют отличия факторов, вызывающих резонанс.

Для вибродиагностики и аварийной защиты электронасосных агрегатов предложена математическая модель движения изотропного жесткого ротора на податливых опорах, учитывающая существенную анизотропию верхней опоры, сложную пространственную форму линии контактов шариков в верхнем радиально-упорном подшипнике при значительном радиальном зазоре в нижнем радиальном подшипнике.

Рассмотрено влияние смещения точки контакта шариков с контактной поверхностью колец, деформации поверхности внешнего кольца на податливость подшипников и на характер движения вала в осевом (вертикальном) направлении. Уточнены требования к величине предельного перекоса и параметрам несоосности колец подшипников рассматриваемых роторов для контроля после регламентного обслуживания.

**РАЗРАБОТКА ПРАКТИЧЕСКИХ РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО  
ПРОВЕДЕНИЮ ТЕХНИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ  
КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА ПОСЛЕ  
НЕРЕГЛАМЕНТИРОВАННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ**

*О.А.Губеладзе, Р.А.Гончаров*

*(РВИРВ им. Главного маршала артиллерии М.И.Неделина,*

*г. Ростов-на-Дону)*

*groma81@mail.ru*

При воздействии (ударном, ударно-волновом) по головной части (ГЧ) ракеты, возникшем в условиях наземной эксплуатации, космический аппарат (КА) может получить некоторые повреждения. Возникает необходимость проведения оценки технического состояния, а в частности – оценки состояния теплозащитного покрытия (ТЗП). Такая оценка должна представлять собой комплекс мероприятий, направленных на выработку рекомендации о дальнейшем использовании КА. В настоящее время основной целью категорирования КА, подвергнувшегося поражающему воздействию, является определение возможности его дальнейшего применения. Однако, необходимо выработать критерии, по численным значениям которых будет удобно проводить оценку технического состояния.

Минимальную массу теплозащиты получают при вариации перехода температуры, числа слоев покрытия и выборе материалов. В случае уменьшения толщины ТЗП или его повреждения до входа в атмосферу возможно достижение критических значений температуры и разрушения конструкции. При проектировании частично уносимых покрытий кроме толщин уноса выбирают толщину прогреваемого слоя, обеспечивающего номинальный режим работы силовой конструкции. Решение задачи теплопроводности можно получить путём замены слоистой среды ТЗП однослойной изотропной. Для композитных слоёв, покрывающих силовую оболочку, можно подобрать эквивалентные теплофизические параметры. Из-за малой толщины силовой оболочки и высоких значений коэффициента теплопроводности на всем диапазоне расчётных температур задачу следует свести к определению минимально возможной толщины ТЗП, способной обеспечить расчётные значения температуры силовой оболочки на участке снижения КА к месту посадки. Результатом исследований стала разработка практических рекомендаций по проведению технической оценки поврежденного КА.

**РАСЧЁТНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ  
КОЛЬЦЕВОГО РЕЗИНОМЕТАЛЛИЧЕСКОГО АМОРТИЗАТОРА  
ПУСКОВОГО СТОЛА СТАРТОВЫХ, УСТАНОВОК**

*О.Ю.Маленьких, А.Д.Жаботинский*

*(Южно-уральский государственный университет, г. Челябинск)*

*awpsoft@act.susu.as.ru*

Прогрессивным направлением в разработке систем амортизации стартовых установок БРПЛ является применение в качестве вертикальной амортизации резинометаллического кольца (РМК). Выполненное в виде кольцевого пускового стола, соизмеримого по наружному диаметру с диаметром ракеты, это устройство состоит из кольцевого резинового элемента и скреплённых с ним металлических пластин, верхняя из которых контактирует с опорной плоскостью ракеты и служит её опорой, а нижняя закреплена на фундаменте пусковой шахты. Такой пусковой стол, обеспечивая амортизацию ракеты в вертикальном направлении, одновременно выполняет функции и пояса поперечной (горизонтальной) амортизации, поскольку РМК обладает одновременно как продольной (вертикальной), так и сдвиговой (поперечной) жёсткостью.

Силовая (жёсткостная) характеристика резинометаллического кольца определяется аналитическими зависимостями, разработанными Дымниковым, Лавенделом, Ситковым, Шальневым. Однако практика проектирования таких систем сложна и трудоёмка, т.к. необходимо одновременно учитывать ограничения, накладываемые на конструкцию со стороны ракеты, шахты, задонного объёма, поперечной амортизации, величинами допустимых перемещений и нагрузок. При этом основное требование, предъявляемое к конструкции пускового стола - минимальные габариты при обеспечении необходимых (заданных) амортизационных (силовых) характеристик с точностью  $\pm 10\%$ .

Решается обратная задача определения геометрических параметров и модуля упругости материала РМК по известным (заданным) силовым характеристикам в продольном и поперечном направлениях. За основу взят прямой метод параметрической оптимизации, в частности, симплексный метод Нелдера-Мида. Для реализации этого метода авторами разработана специальная программа для ПЭВМ на языке СИ. Задача решается для 5-ти независимых управляемых параметров: наружный диаметр кольца, ширина, высота и угол наклона грани, модуль упругости материала. На управляемые параметры накладываются вышечисленные ограничения и требования. Получаемые результаты позволяют осуществлять оптимизацию конструкции пускового стола.

**К ВОПРОСУ ПОЛУЧЕНИЯ РАЦИОНАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ  
КАТАПУЛЬТНЫХ УСТРОЙСТВ**

*М.С. Логинов, С.П. Масленников, А.М. Мурзин*  
(Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск)  
*awpsoft@act.susu.as.ru*

Рациональные конструкции узлов стартовых комплексов возможны при органичном единстве теоретических и экспериментальных исследований этих систем. Экспериментальная проверка результатов проектирования, полученных с помощью подходов параметрической оптимизации динамических систем, позволяет повысить достоверность результатов проектирования и сократить сроки доводки нового образца техники. На кафедре «Автоматические установки» ЮУрГУ, наряду с теоретическими получаются исследованиями, разрабатывается проект стенда для испытаний на надежность функционирования и долговечность катапульта и отдельных элементов стартового оборудования с одновременной записью динамических параметров системы.

В качестве источника энергии используется блок пневмо-гидравлических аккумуляторов (ПГА), подающих жидкость в рабочую полость катапульта. Катапульта перемещает весовой макет снаряда на бугелях по основной направляющей. Кроме основной используется дополнительная направляющая в виде длинной трубы, жестко закрепленной на основании и опоре в верхней части. Макет снаряда оборудован по торцам двумя бронзовыми втулками, скользящими по трубе, и по торцам соединен с канатом, перемещающимся по замкнутой траектории с помощью системы блоков, расположенных на основании стенда и верхней опоре. На оси одного из блоков смонтировано тормозное устройство гашения кинетической энергии и ограничения высоты подъема макета.

В конструкцию стенда включен храповой механизм, удерживающий макет в верхнем положении, системы подзарядки ПГА жидкостью и газом.

С помощью пакетов прикладных программ проектирования и расчета получена пространственная модель стенда для изучения характеристик жесткости системы, проведен ее прочностной расчет при действии импульсных нагрузок. Разработаны математическая модель динамики движения весового макета снаряда с учетом преодоления сил инерции присоединенных частей, трения в местах сопряжения и программа реализации этой модели. Результаты работы могут использоваться как в процессе проектирования образцов техники, так и в учебном процессе.

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ  
КОРРЕКЦИИ В ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМАХ ОБРАБОТКИ  
ДАННЫХ**

*А.И.Долгов, Е.В. Ванюлин*

*(РВИРВ им. Главного маршала артиллерии М.И.Неделина,*

*г. Ростов-на-Дону)*

*yulin-ev@mail.ru*

В большинстве случаев нарушение функционирования того или иного объекта при одних входных данных не исключает правильного. В большинстве случаев нарушение функционирования того или функционирования при других данных. В этом обстоятельстве проявляются некоторые резервные возможности, представляющие собой своеобразный внутренний функциональный резерв, который можно назвать также динамическим резервом, так как он возникает и изменяется в процессе непосредственного функционирования объекта.

Рассматривается метод функциональной коррекции, основанный на использовании динамического резерва, возникающего в процессе непосредственного функционирования того или иного объекта, и проявляющегося в том, что нарушение функционирования объекта при одних входных данных не исключает правильного функционирования при других данных. Функциональная коррекция заключается в повторном воспроизведении функции объекта в случае нарушения её выполнения с целью получения адекватного результата за счёт преднамеренного преобразования входных, а при необходимости и выходных данных. Формальное описание метода функциональной коррекции приводится применительно к электронным системам обработки данных.

Эта идея не ограничивается кругом электронных систем обработки данных. Она основана на получении адекватных результатов при обработке данных в разных формах их представления, может быть реализована в объектах и их элементах самой различной природы.

---