

ОАО «Концерн ПВО «Алмаз – Антей»
ОАО «Конструкторское бюро специального машиностроения»



Научно-техническая
конференция

Старт в будущее

Труды второй научно-технической конференции
молодых специалистов,
посвященной 50-летию полета
Ю.А. Гагарина в космос

14 апреля 2011 года

Санкт-Петербург
2011

УДК 623.4: 629.78

C

Старт в будущее: Научн.-технич. конф. Труды второй научн.-технич. конф. молодых специалистов / ОАО «КБСМ». – СПб.; 2011. – 352 с.

ISBN

Публикуемые материалы представляют собой статьи и доклады, представленные на Второй научно-технической конференции молодых специалистов «Старт в будущее», прошедшей 14 апреля 2011 года в ОАО «КБСМ» с целью дальнейшего развития творческой инициативы и трудовой активности талантливой молодежи. Конференция посвящена 50-летию полета Ю.А. Гагарина в космос.

Отзывы направлять в ОАО «КБСМ» по адресу: Россия, 194100, Санкт-Петербург, Лесной пр., д. 64., ОАО «КБСМ», А.М. Воробьеву или Д.К. Щеглову.

УДК 623.4: 629.78

Под общей редакцией

д-ра техн. наук, проф. *А.М. Воробьева, Д.К. Щеглова*

Редакционный совет: канд. техн. наук *В.М. Зозуля, Н.Б. Ильинский, В.А. Никитин*, канд. физ.-мат. наук *С.В. Панфилов*, д-р техн. наук, проф. *В.И. Погорелов*, д-р техн. наук, проф. *Ю.Л. Рутман*, д-р техн. наук, проф. *А.Ф. Уткин*.

Технический редактор: *Д.А. Федоров*

Материалы опубликованы в авторской редакции.

Подписано к печати

ISBN

© ОАО «КБСМ», 2011.

© Авторы, 2011.

СОДЕРЖАНИЕ

В.Г. Долбенков ПРИВЕТСТВИЕ УЧАСТНИКОВ ВТОРОЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ МОЛОДЫХ СПЕЦИАЛИСТОВ.....	8
А.М. Воробьев ВЫСТУПЛЕНИЕ НА ВТОРОЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ МОЛОДЫХ СПЕЦИАЛИСТОВ.....	10
СЕКЦИЯ «ИННОВАЦИОННЫЕ ПРОЕКТНО- КОНСТРУКТОРСКИЕ РЕШЕНИЯ И РАЗРАБОТКИ»	
В.А. Куйбышев МОДЕРНИЗАЦИЯ РЕЗИНОКОРДНЫХ ОБОЛОЧЕК В ИЗДЕЛИЯХ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ.....	12
А.В. Агарков, Е.Л. Молдован, Д.С. Федоров ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЦИФРОВОГО МНОГОРЕЖИМНОГО НАВИГАЦИОННО-ПОСАДОЧНОГО ПРИЕМНИКА МЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА В РЕЖИМАХ ILS И VOR.....	16
Д.С. Агафонова ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЙ ДАТЧИК ИСКРЫ С ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫМ ПОКРЫТИЕМ.....	19
И.А. Ефремова ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОНСТРУКЦИЙ, РАЗРУШАЮЩИХСЯ ЗАДАНЫМ ОБРАЗОМ.....	22
А.В. Григорьев, И.Е. Тайдонов ДИАМЕТРАЛЬНО-ПОСТУПАТЕЛЬНЫЙ МЕХАНИЗМ "КОЛЕСО 21 ВЕКА".....	24
А.С. Маслов ЛАЗЕРЫ В НАУКЕ И ТЕХНИКЕ.....	27
В.В. Худошин АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ НАЗЕМНЫХ ИСПЫТАНИЙ БОРТОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ СИСТЕМЫ АЗН-В.....	29
А.В. Андреева, А.А. Бузников, А.А. Тимофеев ПРИМЕНЕНИЕ СПЕКТРАЛЬНОЙ АППАРАТУРЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ДИСТАНЦИОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ.....	33
А.И. Казаков, А.А. Карасев, И.И. Чупринский ИЗМЕРЕНИЯ ПОМЕХ НА ШИНАХ ПИТАНИЯ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА.....	35
А.П. Борина, В.А. Терешин ИССЛЕДОВАНИЕ УПРАВЛЕНИЯ ПЛОСКОЙ ХОДЬБОЙ СТАТИЧЕСКИ НЕУСТОЙЧИВОГО ШАГАЮЩЕГО АППАРАТА.....	38
М.С. Мокин РОБОТОТЕХНИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ДОСТАВКИ И УСТАНОВКИ УДЛИНЯЮЩИХ ХОМУТОВ.....	43
Ф.Е. Ковалев, А.А. Леонтьев, Ш.Ш. Исаков ПОВЫШЕНИЕ КОНТРОЛЕПРИГОДНОСТИ НЕСУЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ СТАРТОВЫХ СООРУЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА НАТУРНЫХ ДАННЫХ ПО СИСТЕМАМ ИСПЫТАНИЯ И ДОЛГОВРЕМЕННОГО КОНТРОЛЯ.....	46
Е.П. Вишняков, А.Н. Герасимов, В.В. Карагодин ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫХ ОПОРНЫХ РЕШЕНИЙ В ЗАДАЧАХ ОПТИМАЛЬНОГО ПО БЫСТРОДЕЙСТВИЮ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ.....	49
А.В. Волкова ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ АЛГОРИТМА ДЕМОДУЛЯЦИИ СИГНАЛЬНО-КОДОВОЙ КОНСТРУКЦИИ НА ОСНОВЕ ТРЁХМЕРНОЙ СИМПЛЕКС-РЕШЁТКИ ДЛЯ МОДЕМА КВ РАДИОСВЯЗИ.....	53
А.А. Тыртычный ПРИНЦИПЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ И АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИК АВТОКОЛЕБАТЕЛЬНОГО МИКРОМЕХАНИЧЕСКОГО ГИРОСКОПА.....	56

Н.А. Уляшева АНАЛИЗ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ПРОДЛЕНИЮ СРОКОВ ЭКСПЛУАТАЦИИ СИСТЕМЫ МОРТИЗАЦИИ СООРУЖЕНИЙ П718М.....	60
О.В. Даниленко ГИДРАВЛИКА. ПЕРСПЕКТИВЫ ЕЕ ПРИМЕНЕНИЯ В БУДУЩЕМ СУДОСТРОЕНИЯ.....	66
Е.А. Сидоров УЧАСТИЕ ОАО «КБСМ» В ПОДГОТОВКЕ И ПРОВЕДЕНИИ ПОЛЕТА Ю.А. ГАГАРИНА. РОЛЬ ОАО «КБСМ» В КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ.....	70
А.С. Гришканич, А.А. Бузников, А.П. Жевлаков ИЗМЕРЕНИЕ РАДИОАКТИВНОСТИ МЕТОДАМИ ЛИДАРНОГО ЗОНДИРОВАНИЯ.....	74
Н.А. Трубкина СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МОДЕЛЕЙ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ИННОВАЦИЙ.....	76
И.В. Кочетков, В.В. Макаров, И.А. Мокеев ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ В ПОСТРОЕНИИ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ.....	79
А.Н. Фоломеев, А.В. Дубинин ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ КОМПЛЕКСНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ КОРАБЕЛЬНЫМИ ТЕХНИЧЕСКИМИ СРЕДСТВАМИ.....	83
А.И. Орлов, А.Н. Лихачев РАЗРАБОТКА УПРУГИХ СОЕДИНИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ АВТОНОМНЫХ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОВРЕМЕННЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ.....	87
М.Н. Архипов РОЛЬ ЗИП В ОБЕСПЕЧЕНИИ НАДЕЖНОСТИ СОВРЕМЕННОЙ ТЕХНИКИ.....	89
СЕКЦИЯ «ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ»	
А.Б. Кузнецов ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ ВЫСОТЫ БРОСКА ИЗДЕЛИЯ ПРИ ХОЛОДНОМ СТАРТЕ.....	94
Д.А. Фёдоров ЯВЛЕНИЕ УДАРНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ РДТТ С ПРЕГРАДОЙ.....	97
А.В. Кузнецова, В.И. Прокопчук АНАЛИЗ МЕТОДОВ БАЛАНСИРОВКИ ВРАЩАЮЩИХСЯ КОНСТРУКЦИЙ.....	103
С.В. Ефимова, А.В. Королев, А.П. Маштаков АНАЛИЗ НАГРУЗОК НА НИЖНИЕ ПЛОЩАДКИ ОБСЛУЖИВАНИЯ СК ПЕРСПЕКТИВНЫХ РКН.....	107
А.В. Королев, А.П. Маштаков, А.В. Хусанов ОПЫТ ОТРАБОТКИ УСТАНОВКИ СТЕНДОВОЙ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ПОЛОЖЕНИЙ.....	111
Н.М. Данилов, В.А. Десятков ОПОРНОЕ УСТРОЙСТВО ОБОРУДОВАНИЯ ПРИ УСТАНОВКЕ НА ЛОНЖЕРОНЫ ШАССИ.....	115
К.И. Бурцева МОДЕЛЬ НАДЕЖНОСТИ СРЕДСТВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ АВТОМАТИКИ С НЕОДНОРОДНО-ЭРЛАНГОВСКИМ РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ ДЛИН ИНТЕРВАЛОВ ВРЕМЕНИ ДО ОТКАЗА И ВОССТАНОВЛЕНИЯ.....	118
М.А. Колпин, К.Л. Григорьев ПЛАНИРОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПОТОКОВ В СИСТЕМЕ С ИЗМЕНЯЮЩЕЙСЯ СТРУКТУРОЙ.....	121
Д.А. Кузьмин ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ЭЛЕМЕНТОВ СТАРТОВЫХ КОМПЛЕКСОВ.....	125
В.А. Бородавкин, С.Н. Ельцин, А.Н. Кононов, А.А. Русина ДИНАМИКА ДВУХСРЕДНЫХ АППАРАТОВ.....	130
М.Л. Оржаховский, Н.С. Резниченко МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ГРАНИЧНЫХ ИСПЫТАНИЙ ПО УСКОРЕННОМУ ОПРЕДЕЛЕНИЮ ВЛИЯНИЯ ВОЗДЕЙСТВИЯ ВНЕШНИХ ФАКТОРОВ НА СРОК СЛУЖБЫ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ.....	132

И.В. Незнамова МЕТРОЛОГИЧЕСКАЯ ЭКСПЕРТИЗА ИЗДЕЛИЙ ВВТ КАК СОСТАВНАЯ ЧАСТЬ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАЧЕСТВА ВЫПУСКАЕМОЙ ПРОДУКЦИИ.....	136
Д.А. Карпенков СТАНДАРТИЗАЦИЯ И УНИФИКАЦИЯ ИЗДЕЛИЙ, РАЗРАБАТЫВАЕМЫХ ОАО «КБСМ».....	142
Н.Ю. Ильин ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РАЗБРОСОВ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МАЯТНИКОВЫХ ТЯГ НА ДИНАМИКУ НЕЛИНЕЙНОЙ СИСТЕМЫ АМОРТИЗАЦИИ.....	146
В.В. Грунин ПРОЧНОСТЬ КОРПУСА ШАХТЫ РЕАКТОРНОЙ УСТАНОВКИ БРЕСТ-ОД-300.....	154
А.И. Цуркан НАГРУЗКИ В ВАНТОВЫХ РАСТЯЖКАХ ИЗДЕЛИЯ 78Я6-1.....	160
С.М. Галилеев, Е.А. Салихова ИССЛЕДОВАНИЕ КОЛЕБАНИЙ ОРТОТРОПНОЙ БАЛКИ.....	164
С.С. Рулев, С.М. Дудин ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ РАСЧЕТА НА ПРОЧНОСТЬ СОСТАВНЫХ АНИЗОТРОПНЫХ ОБОЛОЧЕК В COSMOS WORKS.....	167
Д.П. Мандрица, Р.Б. Шмаков, Д.С. Старчуков РАСЧЕТ НАДЕЖНОСТИ УСТРОЙСТВА И ЭКСПЛУАТАЦИИ ОСНОВАНИЙ И ФУНДАМЕНТОВ С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ ВРЕМЕННОГО ФАКТОРА.....	175
М.Ю. Пономарев, Д.Ю. Шикер ПРИМЕНЕНИЕ ПЛАНАРНОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОМЕХОЭМИССИИ ИМПУЛЬСНЫХ СИСТЕМ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ЭМС.....	178
С.В. Васендин, А.В. Кирпанев, М.Ю. Пономарев ОСОБЕННОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК РАССЕЙЯНИЯ НА ОСНОВЕ МНОГОПОЗИЦИОННОГО ПЛАНАРНОГО ЗОНДИРОВАНИЯ В БЛИЖНЕЙ ЗОНЕ.....	182
А.В. Зыкун, М.В. Кульбеда, Л.С. Успанова УНИФИЦИРОВАННЫЙ КОМПЛЕКТ СРЕДСТВ ДОСТАВКИ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ.....	185
Ю.Л. Рутман, Я.С. Солнцева ВЕКТОРНЫЙ АЛГОРИТМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УСИЛИЯ СРАБАТЫВАНИЯ В ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ПЛАСТИЧЕСКИХ ДЕМПФЕРАХ.....	188
Н.А. Зорнина, А.С. Федоров КОНЦЕНТРАЦИЯ НАПРЯЖЕНИЙ В ОСОБЫХ ТОЧКАХ.....	193
А.В. Сумин ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ ДВИЖЕНИЯ КОНТЕЙНЕРА НА МОМЕНТ ЕГО ВЫХОДА ИЗ ВЕРТИКАЛЬНОЙ ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ ПУСКОВОЙ УСТАНОВКИ ДВИЖУЩЕГОСЯ ПОДВОДНОГО НОСИТЕЛЯ МЕТОДАМИ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ГИДРОДИНАМИКИ.....	197
К.В. Мелихов ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ БЕССЕТОЧНЫХ МЕТОДОВ ДЛЯ РАСЧЕТА НАПРЯЖЕННО- ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ.....	199

**СЕКЦИЯ «СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В
ПРОЕКТИРОВАНИИ, ПРОИЗВОДСТВЕ И УПРАВЛЕНИИ»**

Д.К. Щеглов, В.А. Никитин, С.А. Горюнова ОБОБЩЕННЫЙ АЛГОРИТМ ВНЕДРЕНИЯ КОРПОРАТИВНОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ НА ПРОМЫШЛЕННОМ ПРЕДПРИЯТИИ.....	204
А. В. Киоц, Е. В. Курапова ВНЕДРЕНИЕ CALS-ТЕХНОЛОГИИ НА ЭТАПАХ РАЗРАБОТКИ И ВЫПУСКА ИЭТР ПО КСП ДЛЯ НК ПР. 22350	209
Э.Ш. Абусалимов СИСТЕМЫ СБОРКИ: ВЕРИФИКАЦИЯ КОДА И УПРАВЛЕНИЕ КОНФИГУРАЦИЯМИ.....	213
А.М. Батюков ПОСТРОЕНИЕ СИСТЕМЫ ТЕСТИРОВАНИЯ ВСТРАИВАЕМЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ОСРВ EMBOX.....	216

А. В. Бондарев, Н. В. Короткий, Б. Н. Кривошеин ПОСТРОЕНИЕ ОТКАЗОУСТОЙЧИВЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ ПО ПРИНЦИПУ ТРОИРОВАНИЯ.....	219
Т.А. Брыксин, Ю.В. Литвинов ТЕХНОЛОГИЯ ВИЗУАЛЬНОГО ПРЕДМЕТНО-ОРИЕНТИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ И РАЗРАБОТКИ ПО QREAL.....	222
Я.А. Кириленко, М.С. Осечкина СПОСОБЫ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ТРУДА В СРЕДАХ ВИЗУАЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ.....	225
А.С. Кузенкова, Ю.В. Литвинов, Т.А. Брыксин МЕТАМОДЕЛИРОВАНИЕ: СОВРЕМЕННЫЙ ПОДХОД К СОЗДАНИЮ СРЕДСТВ ВИЗУАЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ.....	228
О.В. Медведев ОБЗОР ВЫСОКОУРОВНЕВОГО ЯЗЫКА РАЗРАБОТКИ АППАРАТУРЫ NASCOL НА ПРИМЕРЕ КЛОНА ПРОЦЕССОРА XILINX MICROBLAZE.....	231
В.В. Мышко, Е.Б. Самойлов, А.Н. Кравцов, В.В.Ткаченко ОБУЧЕНИЕ РАСПОЗНАВАНИЮ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ.....	235
И.В. Дорожко, А.О. Иванов, Н.А. Осипов МЕТОДИКА ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ПОДГОТОВКОЙ И ПУСКОМ РАКЕТ-НОСИТЕЛЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АППАРАТА АЛГЕБРАИЧЕСКИХ БАЙЕСОВСКИХ СЕТЕЙ.....	238
И.В. Дорожко, Н.А. Осипов, Р.М.Тюрин ЭКСПЕРТНАЯ СИСТЕМА ДИАГНОСТИРОВАНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ПОДГОТОВКОЙ И ПУСКОМ РАКЕТ-НОСИТЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ БАЙЕСОВСКИХ СЕТЕЙ ДОВЕРИЯ.....	242
А.О. Иванов, Э.И. Тихонов, Р.М. Тюрин СТРУКТУРА ГОМОМОРФНОЙ НЕЧЕТКОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА ДИАГНОСТИРОВАНИЯ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ.....	246
А.А. Антонов ВСТРАИВАЕМОЕ ТЕСТИРОВАНИЕ В ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЫСОКОУРОВНЕВЫХ СПЕЦИФИКАЦИЙ.....	249
Р.С. Романовский РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА ТЕСТИРОВАНИЯ ЦИФРОВЫХ УСТРОЙСТВ.....	253
К.О. Ильмаст, Е.Н. Карташев РЕАЛИЗАЦИЯ СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ ДАННЫХ В КОРПОРАТИВНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СЕТЯХ.....	255
Д.Ю. Громов ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПРЕДОТКАЗНОГО СОСТОЯНИЯ СТАРТОВЫХ КОМПЛЕКСОВ.....	258
Я.С. Вологодина, Д.В. Егоров ПРОГРАММНАЯ ПОДДЕРЖКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ СХЕМ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ОБЩИХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКИМИ СРЕДСТВАМИ.....	262
Д.К. Щеглов, М.С. Гунько, Д.Ю. Лысенко МЕТОД ФОРМИРОВАНИЯ ТРЕБОВАНИЙ К СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОННЫМ АРХИВОМ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ ПРЕДПРИЯТИЯ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ.....	265
Е.А. Викторов ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОТОКОЛОВ СЛУЧАЙНОГО МНОЖЕСТВЕННОГО ДОСТУПА В СПУТНИКОВЫХ СИСТЕМАХ СВЯЗИ.....	272
А.С. Пономарев АЛГОРИТМ ОПТИМИЗАЦИИ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПОТОКОВ В КОНТУРЕ СИСТЕМЫ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ АСУ АКТИВНЫМИ ПОДВИЖНЫМИ ОБЪЕКТАМИ...	274
Р.В. Бородинов АТМ – ТЕХНОЛОГИЯ КАК УНИВЕРСАЛЬНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ СОВРЕМЕННЫХ МУЛЬТИСЕРВИСНЫХ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СЕТЕЙ.....	277

В.В. Рыбаков, Н.Е. Пешехонов ИССЛЕДОВАНИЕ ВОПРОСОВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ СПЕЦИАЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ АВТОНОМНЫМИ ИСТОЧНИКАМИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ.....	280
А.И. Золотухина, Д.С. Манаев, Ю.П. Самойлова, А.Е. Торегожин АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ЗАДАЧ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ, УПРАВЛЕНИЯ И ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА.....	282
Е.Н. Алешин СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К СОЗДАНИЮ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ ОБУЧЕНИЯ И КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ ОПЕРАТОРОВ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ	285
С. Д. Зуев УСТРОЙСТВО И ПРИНЦИП РАБОТЫ АВИАЦИОННОГО ТРЕНАЖЕРА.....	288
С.А. Частухина РАЗРАБОТКА МНОГОЦЕЛЕВЫХ ПРОВЕРОЧНО-ИСПЫТАТЕЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ЭКСПЛУАТАЦИИ СЛОЖНЫХ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ.....	291
Р.С. Гаврилов ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК АКТИВНОГО ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ.....	294
Е.В. Шишко ВЫСТАВОЧНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ – ВАЖНЕЙШИЙ ИНСТРУМЕНТ МАРКЕТИНГОВОЙ ПОЛИТИКИ ОБОРОННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ.....	301
Ю.С. Зорина ДЕЗАДАПТАЦИЯ – ЗАКОНОМЕРНАЯ РЕАКЦИЯ НА ОШИБКИ АДАПТАЦИИ МОЛОДОГО СПЕЦИАЛИСТА.....	306

СЕКЦИЯ «ГАЗОДИНАМИКА И ТЕПЛОМАССОБМЕН»

А.Н. Албутов, К.А. Арустамова БЛОК СИСТЕМЫ ЖИДКОСТНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ....	310
А.В. Шусев РАСЧЕТ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ВЫХОДЕ ИЗДЕЛИЯ ИЗ ПУСКОВОГО УСТРОЙСТВА.....	311
С.И. Миняев ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ТВЕРДОТОПЛИВНЫМИ ДВИГАТЕЛЬНЫМИ УСТАНОВКАМИ ГЛУБОКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ СИЛЫ ТЯГИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ И АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ УПРАВЛЯЕМЫХ ГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ОТРАБОТКИ.....	314
И.С. Новожилов РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕПЛОВЫХ РЕЖИМОВ СИСТЕМЫ ТЕРМОСТАТИРОВАНИЯ КОРАБЕЛЬНОГО ТРАНСПОРТНОГО КОНТЕЙНЕРА В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ.....	318
Е.В. Шишкин, Н.В. Коченков, С.Н.Буяков ОБОСНОВАНИЕ ТРЕБОВАНИЙ К АЛГОРИТМУ УПРАВЛЕНИЯ АДАПТИВНОЙ СИСТЕМОЙ ТЕРМОСТАТИРОВАНИЯ СПЕЦИАЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ.....	323
Д.Р. Абсалямов, В.В. Ковалев, Р.Н. Аитов, А.С. Давыдов СПОСОБЫ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ В ВОЗДУШНОЙ СИСТЕМЕ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТЕПЛООВОГО РЕЖИМА РАКЕТЫ КОСМИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ «ПРОТОН».....	327
О.К. Овчинникова, А.В. Суров МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУЙНЫХ ТЕЧЕНИЙ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ «GASDYNAMICSTOOL».....	331
О.К. Овчинникова ЭКСПРЕСС-МЕТОДИКА РАСЧЁТА СТРУЙНЫХ ТЕЧЕНИЙ.....	335
А.С. Гаврилов ИЗМЕРЕНИЕ КОРРЕЛИРОВАННЫХ ЦВЕТОВЫХ ТЕМПЕРАТУР.....	338
А.В. Меньков ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СТАРТА КОРАБЕЛЬНОЙ РАКЕТЫ.....	346
АВТОРЫ СБОРНИКА	351

ПРИВЕТСТВИЕ УЧАСТНИКОВ ВТОРОЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ МОЛОДЫХ СПЕЦИАЛИСТОВ

Владимир Григорьевич Долбенков

Генеральный директор, генеральный конструктор ОАО «КБСМ»,
Лауреат Премии Правительства РФ,
кандидат технических наук



Уважаемые участники конференции!
Уважаемые гости!

В этом году мы проводим вторую научно-техническую конференцию молодых специалистов «Старт в будущее», которая посвящена 50-летию полета Юрия Алексеевича Гагарина в космос.

В сфере освоения космоса Россия всегда гордилась своими талантами. Сила научной мысли отечественных ученых и конструкторов позволила создать уникальные технологии, материалы и технические решения, обеспечившие превосходство страны в ряде ключевых направлений развития науки и техники.

Наша организация – участник выполнения многих отечественных и международных программ: «Восток», «Союз», «Союз-Аполлон», «Салют», «Гранат», «Астрон», «Мир» и ряда других. В рамках международной программы «Морской старт» КБ разработало конструкцию главной антенны управления и специальные контейнеры для транспортировки элементов космических аппаратов. Запуски космических объектов по международной программе «Днепр» обеспечивают разработанные предприятием шахтные пусковые установки. В настоящее время завершается разработка документации по РКН «Ангара», а на космодроме начат монтаж металлоконструкции комплекса.

Успешное решение проектно-конструкторских задач невозможно без привлечения талантливой и инициативной молодежи. Научно-технические конференции позволяют молодым ученым заявить о себе, показать свой интеллектуальный и творческий потенциал, создать задел для будущих открытий и свершений.

С большим удовлетворением хочу отметить, что и по количеству организаций, и по общему числу участников эта конференция значительно масштабнее предыдущей – в ней принимают участие не только молодые специалисты более чем из 20 организаций, но и видные представители науки, преподаватели высших учебных заведений, а также студенты и аспиранты (адъюнкты), учителя ряда школ, школьники старших классов. Перед Вами планируют выступить в секциях с докладами 90 человек, в том числе более 30 молодых специалистов ОАО «КБСМ».

Здесь собрались представители таких известных научно-исследовательских, проектных и конструкторских организаций как ОАО «ЦКБ Морской техники «Рубин», ОАО «Санкт-

Петербургское Морское бюро машиностроения «Малахит», ОАО «Всероссийский научно-исследовательский институт радиоаппаратуры», ОАО «Завод радиотехнического оборудования», Концернов: «НПО «Аврора», «ЦНИИ «Электроприбор», ФГУП «КБ «Арсенал» им. М.В.Фрунзе» и ряда других. Перед Вами выступают молодые ученые ведущих высших учебных заведений нашего города – Санкт-Петербургского государственного университета, Государственного политехнического университета, Балтийского государственного технического университета «Военмех», Государственного электротехнического университета «ЛЭТИ», Государственного университета аэрокосмического приборостроения. Активными участниками конференции являются представители известного высшего военно-технического учебного заведения нашей страны – Военно-космической академии имени А.Ф.Можайского. В нашей конференции участвуют представители крупных научных и проектных организаций из других субъектов Российской Федерации: ОАО «ГСКБ концерна ПВО «Алмаз-Антей» им. академика А.А.Расплетина, – ОАО «Корпорации «Московский институт теплотехники», ФГУП «Центральный научно-исследовательский радиотехнический институт им. академика А.И.Берга», ОАО «ОКБ «Новатор» (г. Екатеринбург) и других.

Уважаемые коллеги, друзья!

Наша организация была основана в 1945 году на базе Ленинградского филиала Центрального артиллерийского конструкторского бюро для проектирования и выполнения научно-исследовательских работ по морской и береговой артиллерии. Начиная с 1954 года в планы предприятия включаются работы по созданию сухопутных и морских стационарных и подвижных пусковых установок для различного класса ракет, а так же опорно-поворотных устройств для радио и оптической аппаратуры.

Сегодня ОАО «КБСМ» входит в состав ОАО «Концерн ПВО «Алмаз-Антей» и является многопрофильной конструкторской организацией, располагающей опытным производством и современной экспериментальной базой, что позволяет успешно решать наукоемкие задачи по созданию стартовых комплексов для ПВО и ПРО, РВСН, космических войск, вооружения ВМФ.

Многие наши ракетные комплексы являлись уникальными для своего времени и являются уникальными в настоящее время. Это, в частности, стартовые шахтные комплексы для различных модификаций жидкостных ракет тяжелого класса, а также комплексов для твердотопливных ракет, в том числе и мобильный боевой железнодорожный комплекс. В настоящее время на боевом дежурстве находится шахтный комплекс с МБР тяжелого класса SS-18M «Сатана».

Важное место в тематике ОАО «КБСМ» занимают направления, связанные с созданием металлобетонных контейнеров и транспортных упаковочных комплексов для длительного хранения и транспортирования отработанного ядерного топлива, с разработкой антенной, радиотелескопной, оптико-электронной техники и технологического оборудования, систем амортизации.

В КБСМ создана широко известная научная школа, которая более чем за полувековой период подготовила уникальных специалистов, известных далеко за пределами организации. Сотрудниками КБСМ защищено более 60 кандидатских диссертаций и 15 докторских. В настоящее время в организации работают около 40 специалистов, имеющих научную степень.

Проведенная в 2009 году научно-техническая конференция дала мощнейший импульс для творческой активности молодежи. Над кандидатскими диссертациями по перспективным научным направлениям трудятся 25 сотрудников, среди них 18 аспирантов. В прошлом году один из молодых ученых был удостоен Национальной премии «Золотая идея» в номинации «Молодые таланты».

Уверен, что вторая научно-техническая конференция, посвященная 50-летию полета Ю.А. Гагарина в космос, даст молодежи новый творческий импульс, позволит установить долгосрочные научные связи, повысит творческую активность и станет важным шагом на пути к решению актуальных научно-технических задач.

Благодарю гостей за участие и интерес, проявленный к нашей конференции.

Желаю докладчикам успешных выступлений!

ВЫСТУПЛЕНИЕ НА ВТОРОЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ МОЛОДЫХ СПЕЦИАЛИСТОВ

Алексей Минаевич Воробьев

заместитель генерального конструктора ОАО «КБСМ» по науке,
Лауреат Государственной премии СССР,
доктор технических наук, профессор



Уважаемые участники конференции!

Оборонная отрасль всегда являлась и продолжает оставаться мощным двигателем научного прогресса и в настоящее время должна стать настоящим ускорителем модернизации всей нашей промышленности.

В оборонной промышленности по-прежнему остаются два главных направления. Это, во-первых, модернизация и модификация существующих систем вооружения с оснащением их системами оптимального управления жизненным циклом; и, во-вторых, создание принципиально новых образцов вооружения, которые должны обладать более высоким интеллектом и свойством адаптации к изменяющимся внешним условиям. К изменяющимся внешним условиям в первую очередь относится постоянно расширяющийся спектр поражающих воздействий.

Для решения проблемных научных вопросов в стране создаются новые и развиваются старые научные центры (Сколково, Черноголовка и др.), которые практически приступили к разработке крупных научных проектов, к решению фундаментальных проблем. Ширятся исследования и внедрение нанотехнологий во все отрасли производства, а также в медицину и биотехнологию.

Для проектно-конструкторских организаций одним из важнейших результатов фундаментальных исследований должно стать промышленное освоение новых материалов с памятью формы и с высокими прочностными и упругопластическими характеристиками, что позволит создавать качественно новые по массогабаритным параметрам и широте функциональных возможностей интеллектуальные сложные технические системы, обладающие устойчивым управляемым жизненным циклом. За такого рода техническими системами – будущее.

Такие характеристики крайне важны при создании защиты объектов как наземного, так и морского базирования от внешних разнородных поражающих воздействий; к таким системам защиты относятся системы амортизации (на упругих и пластических элементах) и различного рода экраны, защищающих объекты от внешних динамических нагрузок (от ядерного взрыва

ББ МБР, обычных мощных взрывов от ВТО и др.); а также для создания высоконадежных и безопасных при функционировании технических систем новых поколений.

Создание сложных технических систем, которые способны функционировать во внешней неоднородной среде, оказывающей разнородные воздействия на них, влечет за собой необходимость создания принципиально новых схемно-конструктивных решений.

Создание таких систем должно включать не только проектирование системы, но и проектирование управляемого жизненного цикла системы с дополнительно разработанными и включенными в нее интеллектуальными подсистемами. Прежде всего такая система должна включать в себя подсистему мониторинга с интеллектуальной системой измерений, содержащей набор алгоритмов для обработки информации, получаемой от подсистемы мониторинга и вырабатывающей рекомендации по принятию мер, а в перспективе способной самостоятельно принимать меры, исключая отказы элементов системы, могущие повлечь за собой аварии. Своевременно принятые меры в значительном количестве ситуаций могут предотвратить аварии, которые могут сопровождаться человеческими жертвами. Таким образом, в перспективных технических системах должны быть реализованы новейшие достижения в области материаловедения, управления, газодинамики, тепломассообмена и информационных технологий.

Создание перспективных технических систем связано с большими материальными затратами, что естественно повлечет за собой необходимость разработки оптимизационных методов, реализация которых должна повысить эффективность систем, дать значительный экономический эффект, т.е. сокращение материальных затрат, повышение надежности системы и продления сроков эксплуатации, т.е. увеличения жизненного цикла системы.

Достижение сформулированных задач обеспечивается развитием и внедрением информационных технологий, созданием баз данных и баз знаний. В настоящее время уже достаточно наработок по различным научным направлениям, чтобы можно было совместными усилиями начать формирование базы знаний. Научные организации, представленные на данной конференции, вполне способны сделать первый реальный шаг в этом направлении. ОАО «КБСМ» готово выступить в качестве участника, организатора и координатора такого вида работ.

Проекты новых технических систем испытывают необходимость в разработке более новых математических моделей. В частности, это связано с необходимостью решения сложных задач по старту, например, идентификации газодинамических процессов, сопровождающихся фазовыми переходами и динамическими химическими процессами, многофазных газовых струй, струй с частицами примесей и др. К числу проблемных задач необходимо отнести целый ряд сопряженных задач в области динамики и тепломассообмена при воздействии струй на преграды сложной формы и при процессах горения (внутрибаллистические процессы и процессы догорания частиц в высокотемпературных газовых потоках); некоторые из названных проблем требуют срочного решения для использования при проектировании. В частности, при решении задач газодинамики старта РКН «Ангара» и «Русь-М», где реализуются схемы старта с охлаждением, а также для ряда задач, связанных с проектированием систем для ВМФ.

Особое место в ряду стоящих перед разработчиками сложных технических систем нового поколения – образцов техники XXI века занимают проблемы информатики. Как известно, согласно определениям К. Шеннона и Н. Винера информация характеризует степень определенности состояния системы (в противоположность энтропии, которая характеризует степень неопределенности системы). Образцы техники XXI века должны быть надежными и высокоэффективными, а следовательно обеспечены достоверным объемом информации, т.е. обеспечить достаточную определенность состояния системы.

Представленные на настоящей научно-технической конференции доклады в значительной мере посвящены решению задач, стоящих в далеко не полном мной названном перечне научных направлений, связанных с созданием образцов техники следующих поколений.

Но я уверен, что данная конференция послужит импульсом для расширения спектра задач, а обмен научной информацией конкретизирует постановки исследований и даст множество научных результатов, необходимых для создания образцов техники XXI века.

В заключение хочу всем участникам конференции пожелать больших творческих успехов.

**СЕКЦИЯ «ИННОВАЦИОННЫЕ ПРОЕКТНО-
КОНСТРУКТОРСКИЕ РЕШЕНИЯ И РАЗРАБОТКИ»**

УДК 621.81: 678 (623)

**МОДЕРНИЗАЦИЯ РЕЗИНОКОРДНЫХ ОБОЛОЧЕК В ИЗДЕЛИЯХ СПЕЦИАЛЬНОГО
НАЗНАЧЕНИЯ**

В.А. Куйбышев

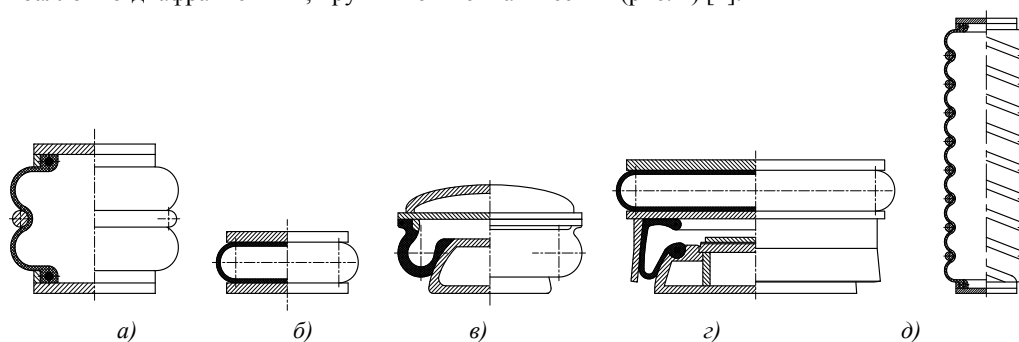
ОАО «Конструкторское бюро специального машиностроения»
(ОАО «КБСМ»)

Рассмотрены этапы модернизации резинокордных оболочек (РКО) диафрагменного типа для систем амортизации. Подведены итоги работы по замене металлического корда на синтетический. Обозначены направления дальнейшего совершенствования конструкции оболочек.

Общая характеристика резинокордных устройств

История использования в технике упругих пневматических элементов для уменьшения вибрации, демпфирования ударов и гашения колебаний насчитывает полторы сотни лет. Еще в 1847 г., в Великобритании был пущен в эксплуатацию вагон конной железной дороги, оборудованный пневматическими упругими элементами. Первая пневматическая подвеска для автомобиля была изобретена шотландской фирмой Данлоп в 1888 г [1].

В результате интенсивного развития отрасли, за период с момента изобретения первых пневматических подвесок по настоящее время в России и за рубежом были разработаны следующие основные типы упругих элементов с РКО: баллонный; подушечный; диафрагменный; комбинированный баллонно-диафрагменный; пружинно-пневматический (рис. 1) [2].



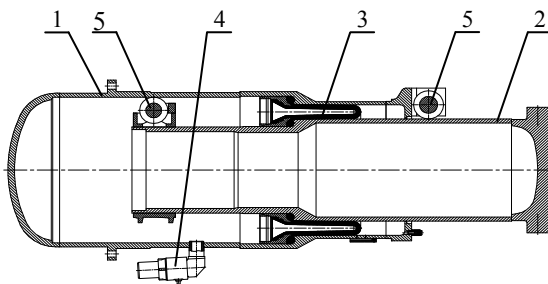
а) баллонный; б) подушечный; в) диафрагменный;
г) комбинированный баллонно-диафрагменный; д) пружинно-пневматический
Рис. 1. Типы упругих элементов с резинокордными оболочками.

В настоящее время резинокордные оболочки особенно эффективно применяются в следующих отраслях техники:

- автомобильный транспорт (РКО баллонного, диафрагменного типа);
- вагоны скоростных поездов и вагоны метрополитена (РКО диафрагменного и комбинированного баллонно-диафрагменного типа);
- суда на воздушной подушке (РКО комбинированного типа);
- нефтегазовая промышленность (РКО баллонного типа);
- системы амортизации объектов специального назначения (РКО диафрагменного типа);
- оборудование с повышенным уровнем вибрации (РКО подушечного типа);
- резинокордные карданные муфты (РКО диафрагменного типа);
- изделия горнодобывающей отрасли (РКО диафрагменного типа) и т.п.

Резинокордные оболочки в изделиях специального назначения

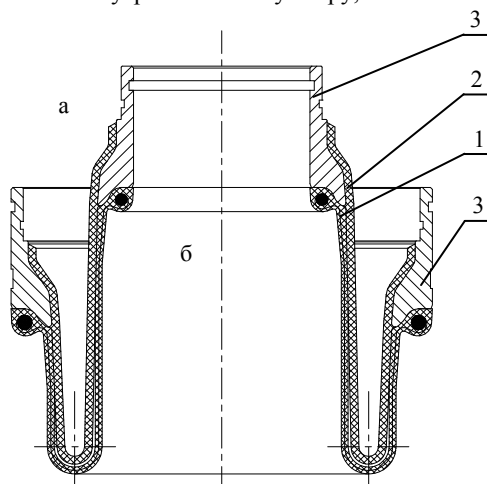
В системах амортизации объектов специального назначения широкое применение нашли РКО диафрагменного типа. На сегодняшний день ОАО «КБСМ» (г.С-Петербург) разработано несколько поколений систем амортизации, предназначенных для защиты от повреждений при воздействии всего спектра внешних динамических нагрузок и обеспечения работоспособности крупнотоннажных объектов. Рабочим элементом указанных систем является пневматический амортизатор (ПА), представляющий собой два коаксиальных цилиндра (рис. 2) – корпус (поз.1) и плунжер (поз.2), соединенные резинокордной оболочкой (поз.3). Очевидно, что в данной конструкции самым ответственным и, одновременно, самым уязвимым элементом является РКО.



1 - корпус; 2 - плунжер; 3 - резинокордная оболочка; 4 - заправочный штуцер; 5 - ролики.

Рис. 2. Пневматический амортизатор с РКО.

Резинокордная оболочка, разработанная по техническому заданию ОАО «КБСМ» и изготавливаемая ФГУП «НПП «Прогресс» (г. Омск), состоит из двух частей (рисунок 3): силового двухслойного резинокордного каркаса с покровным слоем резины (поз.1) и герметизирующей камеры (поз.2), которую получают из чистого бутилкаучука литьем под давлением. Герметизирующая камера (ГК) вставляется внутрь силового каркаса РКО. К бортам камеры привулканизированы стальные кольца (поз.3), которые привариваются к ПА: внутреннее – к плунжеру, внешнее – к корпусу.



1 - резинокордный каркас; 2 - камера герметизирующая;
3 - кольцо; а - полость высокого давления; б - полость давления окружающей среды

Рис. 3. Резинокордная оболочка с камерой герметизирующей модели Н-32

Из-за низких прочностных характеристик резинотехнических изделий уже первые образцы пневматических упругих элементов армировались различными видами корда: хлопчатобумажным, синтетическим, стальным и т.п. Описываемые системы амортизации имеют ряд принципиальных отличий от типовых конструкций пневматических подвесок с РКО, это:

- большая грузоподъемность (свыше 400 кН);
- высокое давление заправки (до 10 МПа);

- низкая частота колебаний (до 0,5 Гц);
- большие рабочие хода (± 500 мм) [3].

В этих условиях работоспособность конструкции РКО обеспечивается применением только металлического армирования. Высокая надежность эксплуатации РКО на основе металлокорда 1,45-40Л15 и 29Л18/15 по ГОСТ 14311-85 подтверждена безаварийной работой сотен амортизаторов на протяжении десятков лет. Критерием, позволяющим оценить стабильность характеристик ПА, является падение рабочего давления. На рис. 4 приведены статистические данные замера давления в ПА с РКО на различных объектах за длительный период. В подавляющем большинстве случаев падение давления за 30 лет не превышает допустимые 5%.

Однако, в настоящее время изготовление металлокорда отечественными производителями прекращено, и восстановление его производства не представляется возможным. В связи с этим было принято решение о модернизации резинокордной оболочки и замене металлокорда синтетическим. ФГУП «НПП «Прогресс» в соответствии с техническим заданием ОАО «КБСМ» была проведена работа по определению материала, структуры и типа синтетического корда, способного заменить металлокорд силового каркаса РКО. Был проведен сравнительный анализ современных видов высокопрочных синтетических нитей марок СВМ, Русар[®], Армос, Artek[®] и Арус[®] производства ОАО «Каменскволокно» (г.Каменск-Шахтинский), относящихся к классу параарамидных волокон, включавший:

- определение привеса пропитанных образцов нитей;
- определение прочности связи нитей с резиной;
- длительное статическое нагружение нитей корда;
- статическое нагружение нитей корда при повышенной температуре;
- статическое нагружение нитей корда при пониженной температуре;
- циклическое нагружение нитей;
- циклическое нагружение нитей при изгибе;
- исследование нитей после динамических нагружений под микроскопом;
- исследование разрывной нагрузки образцов нитей.

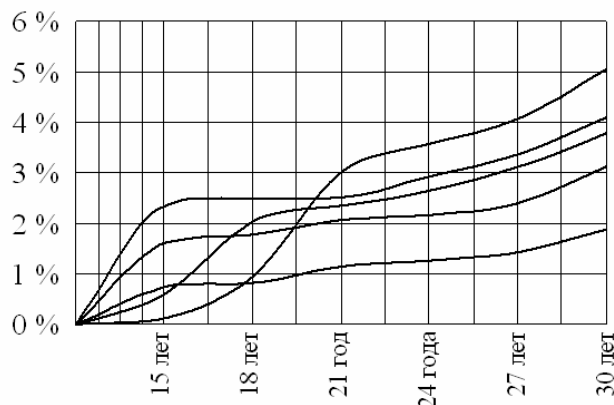


Рис. 4. Статистические данные замера давления в пневматических амортизаторах с РКО.

По результатам выполненной работы дано заключение о целесообразности изготовления синтетического корда из нити Русар[®] линейной плотности 58,8 текс [4]. На сегодняшний день это наиболее перспективный материал, не имеющий аналогов среди синтетических волокон специального назначения, обладающий уникальными свойствами: высокой прочностью к растяжению, высоким модулем упругости, высокой стойкостью к термической и термоокислительной деструкции, длительным хранением без изменения свойств. В табл. 1 сопоставлены характеристики металлокорда [5] и синтетического корда на основе нити Русар[®] [4, 6]. Приведенные значения показывают, что свойства синтетического корда не уступают, а в некоторых случаях и превосходят соответствующие свойства металлокорда.

В 2009-2010 гг. ФГУП «НПП «Прогресс» была изготовлена первая партия резинокордных оболочек с силовым каркасом из прорезиненной кордной ткани на основе корда Русар[®]-200, производства ООО «ТД «КАМиТ» (г. Тверь).

Для выяснения соответствия изготовленных оболочек требованиям технического задания шесть РКО из партии были подвергнуты следующим испытаниям:

- воздействию отрицательных температур на РКО с КГ;
- определению герметичности КГ;
- ускоренному термическому старению РКО с КГ;
- определению коэффициента запаса прочности РКО с КГ;
- определению физико-механических показателей и толщины стенки РКО и КГ;
- испытанию РКО на прочность в составе пневмоамортизатора;
- проверке общей герметичности пневмоамортизатора с РКО;
- ускоренному термическому старению пневмоамортизатора с РКО;
- испытанию пневмоамортизатора с РКО пятью циклами статического нагружения;
- испытанию пневмоамортизатора с РКО пятью циклами динамического нагружения.

Таблица 1. – Характеристики металлокорда и синтетического корда нити Русар®-200.

Характеристики	Металлокорд		Корд Русар®-200
	1,45-40Л15	1,49-29Л18/15	
Структура корда	$[(3+9)+(9 \times 3)] \times 0,15 + 1 \times 0,15$	$(7 \times 4) \times 0,175 + 1 \times 0,15$	58,8 текс x2x4x3
Диаметр корда, мм	1,45	1,49	1,3
Разрывное усилие, кН	1,65	1,7	1,962
Прочность связи с резиной, кН	0,35	0,35	0,1
Относительное удлинение при разрыве	не менее 1 %	не менее 1 %	не менее 2,7 %
Число циклов при перекачывании через технологический ролик	11000	20000	56200
Масса 1 м корда, г	5,70	5,62	0,0588

Все оболочки выдержали испытания успешно. Опираясь на значительный опыт отработки и испытаний конструкций такого типа можно сделать заключение о пригодности синтетического корда Русар®-200 для использования в РКО взамен металлокорда.

Пути дальнейшей модернизации резинокордных оболочек

При всех отмеченных достоинствах синтетического волокна, такие важнейшие механические характеристики корда, как усталостная прочность и ползучесть по истечении продолжительного периода эксплуатации под нагрузкой, не могут быть заранее определены экспериментальным путем. Есть основания предполагать, что с течением времени в силу ползучести нитей, находящихся под действием силы от давления в ПА, произойдет неравномерное вытягивание корда и недопустимая деформация РКО.

В 2010 г. ОАО «КБСМ» привлекло ООО «НТЦ Прикладных нанотехнологий» для проведения исследовательских испытаний по определению возможности снижения относительного удлинения параарамидной нити под нагрузкой методом модификации поверхности нити углеродными наночастицами фуллероидного типа (астраленами). Испытания проводились на 10 образцах нитей длиной 3,0 м в течение 18 суток под нагрузкой в 25-30 % от предельно допустимой. Проведенные эксперименты показали, что стабилизация образцов параарамидной нити Русар® позволяет снизить значение удлинения нити в 1,5 раза (табл. 2).

Таблица 2. – Результаты экспериментов по модификации параарамидных нитей Русар® астраленами.

№	Удлинение контрольных образцов, мм	Удлинение модифицированных образцов, мм
1	8,1	4,3
2	8,2	5,0
3	8,4	5,1
4	8,5	5,3
5	8,9	6,0

В дальнейшем предполагается проведение углубленных всесторонних исследований свойств нового наносинтетического корда и разработки технологических процессов, обеспечивающих серийное производство РКО на его основе, обладающих повышенными эксплуатационными и надежностными характеристиками.

Заключение

В современной технике особенно актуальны вопросы, связанные с освоением новых материалов, поэтому активное внедрение разработок в области синтетических полимеров и нанотехнологий для модернизации резинокордной оболочки затрагивает не только проблемы улучшения конкретного изделия, но и развития отрасли в целом. Работа по модернизации РКО будет продолжена, и поставленные задачи обещают сделать ее творческой и интересной.

Библиографический список

1. *Равкин Г.О.* Пневматическая подвеска автомобиля. – М.: Машгиз, 1962 г. – 288 с.
2. *Пиновский М.Л., Погорельый Б.Ф., Савушкин С.С.* “Роль и место резинокордных оболочек в народном хозяйстве” в сборнике научных трудов “Пневматические упругие элементы с резинокордными оболочками. Расчет, проектирование, изготовление и эксплуатация” – М.: ЦНИИТЭнефтехим, 1977 г. – 133 с.
3. *Цыс В.Г.* “Работоспособность амортизирующих конструкций систем амортизации стартовых комплексов” – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2009 г. – 420 с.
4. Отчет № Р-07-10/295-2009 “Определение материала, структуры, типа корда для силового каркаса РКО” – Омск: ФГУП «НПП «Прогресс», 2009 г.
5. ГОСТ 14311-85 “Металлокорд. Технические условия” – М.: Изд-во стандартов, 1999 г.
6. ТУ-6-006230-2009 “Ткань кордная из синтетической нити (марка Русар-200)” – Тверь: ООО «ТД «КАМиТ», 2009 г.

УДК 629.7.01: 629.3.051

ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЦИФРОВОГО МНОГОРЕЖИМНОГО НАВИГАЦИОННО-ПОСАДОЧНОГО ПРИЕМНИКА МЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА В РЕЖИМАХ ILS И VOR

А.В. Агарков, Е.Л. Молдован, Д.С. Федоров

Федеральный научно-производственный центр ОАО «Ордена Трудового Красного Знамени
Всероссийский научно-исследовательский институт радиоаппаратуры»
(ОАО «ВНИИРА»)

При решении задач навигации и посадки летательных аппаратов одним из важнейших параметров оценки работы бортового оборудования являются его точностные характеристики. Исследование, оценка и анализ полученных точностных характеристик необходимы как для поиска недостатков в аппаратных решениях, так и для разработки новых алгоритмов цифровой обработки сигналов.

Основой современного интегрированного бортового навигационно-посадочного оборудования являются многорежимные цифровые приемники [1]. Цифровой многорежимный навигационно-посадочный приемник метрового диапазона (далее приемник) входит в состав разработанной в ОАО «ВНИИРА» новой бортовой многофункциональной системы и предназначен, в частности, для определения навигационных параметров при работе с радионавигационной системой метрового диапазона VOR и радиомаячной системой посадки самолетов ILS [2]. Приемник построен по типовой схеме, содержащей радиоприемный модуль и процессор обработки сигналов. Радиоприемный модуль содержит аналоговую (АПРм) и цифровую (ЦПРм) части. Аналоговая часть радиоприемного модуля по соотношению сигнал/шум (С/Ш) на выходах практически идентична аналоговым приемникам предыдущих поколений. Цифровая часть построена на современной элементной базе, включающей цифровую подсистему преобразования сигналов с понижением частоты и программируе-

мые логические интегральные схемы. Процессор обработки сигналов управляет как АПрм, так и ЦПрм, задавая режимы их работы. Данные с выходов радиоприемного модуля поступают в процессор для их конечной обработки и получения результатов измерений.

Габариты многорежимного приемника – 120x160x25 мм, масса – около 200 г.

Исследование точностных характеристик приемника в режимах «ILS» и «VOR» производилось на стенде, включающем в себя:

- приемник;
- имитатор сигналов ILS/VOR «Aeroflex IFR 400 nav/com»
- осциллограф «Agilent infinium MSO 8104A»;
- персональный компьютер (ПК).

Высокочастотные выходы имитатора соединены с антенными входами приемника. В точке соединения АПрм и ЦПрм приемника берутся данные для вывода на осциллограф. Процессор обработки сигналов выдает результаты измерений по интерфейсу RS-232 в ПК. На ПК установлено программное обеспечение, позволяющее принять результаты измерений от процессора и вычислить их математическое ожидание (МО) и среднеквадратическое отклонение (СКО).

Измерения проводились в следующем порядке:

- на имитаторе задается стандартный курсовой сигнал центрирования ILS (высокочастотный сигнал курсового диапазона, несущая которого одновременно модулирована сигналами 90Гц и 150Гц с коэффициентами модуляции каждой составляющей 20% и разностью менее 0.06%);
- на ПК вычисляется МО и СКО навигационного параметра разности глубин пространственной модуляции (РГМ);
- на имитаторе задается высокочастотный сигнал курсового диапазона, несущая которого модулирована сигналом 30Гц с коэффициентом модуляции 30%;
- на осциллографе вычисляется среднеквадратичное напряжение (RMS) сигнала;
- на имитаторе задается высокочастотный сигнал курсового диапазона только с несущей и с тем же значением напряжения;
- на осциллографе вычисляется среднеквадратическое напряжение (RMS) шума.

Эти пункты повторялись для значений напряжения входного курсового ВЧ сигнала в диапазоне от 3 мкВ до 10 мВ. Полученные результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1.

Напряжение входного ВЧ сигнала	МО, доли РГМ	СКО, доли РГМ	RMS сигнала, мВ	RMS шума, мВ	С/Ш
10 мВ	0.0012116750	0.0013702885	221	27	8.19
1 мВ	0.0010474750	0.0005222469	221	27	8.19
500 мкВ	0.0013734500	0.0002700678	219	27	8.11
100 мкВ	0.0017446000	0.0001889410	216	27	8.00
50 мкВ	0.0016292250	0.0001895424	210	29	7.24
20 мкВ	0.0010673000	0.0005481184	199	37	5.38
10 мкВ	0.0011872250	0.0006178156	189	53	3.57
5 мкВ	-0.0003783000	0.0010711649	178	79	2.25
3 мкВ	0.0012066750	0.0037424916	174	108	1.61

Исследование точностных характеристик для глиссидного канала производилось аналогично, но на имитаторе задавался стандартный глиссидный сигнал центрирования ILS (высокочастотный сигнал глиссидного диапазона, несущая которого одновременно модулирована сигналами 90Гц и 150Гц с коэффициентами модуляции каждой составляющей 40% и разностью менее 0.06%) со значениями напряжения сигнала от 7.5 мкВ до 10мВ. Результаты представлены в таблице 2.

Полученные результаты исследования погрешностей центрирования в курсовом и глиссидном каналах в режиме «ILS» удовлетворяют требованиям III категории посадки во всем заданном диапазоне уровней входных сигналов [3].

Исследование точностных характеристик в режиме VOR производилось при задании на имитаторе стандартного сигнала со значением азимута 0 градусов. RMS сигнала измерялось при наличии только амплитудно-модулированной составляющей сигнала VOR, RMS шума – при наличии только

сигнала несущей частоты. Значения напряжений входного ВЧ сигнала устанавливались в диапазоне от 5 мкВ до 20мВ.

Таблица 2.

Напряжение входного ВЧ сигнала	МО, доли РГМ	СКО, доли РГМ	RMS сигнала, мВ	RMS шума, мВ	С/Ш
10 мВ	0.0003214716	0.0008009090	80.0	22.1	3.62
1 мВ	0.0001235167	0.0004201116	79.3	21.3	3.72
500 мкВ	0.0011654500	0.0004054307	78.7	21.0	3.74
100 мкВ	-0.0001508000	0.0005080722	78.6	19.9	3.95
50 мкВ	0.0000631000	0.0007912192	75.3	19.9	3.79
20 мкВ	0.0000144333	0.0013032860	71.1	21.1	3.37
10 мкВ	-0.0004549000	0.0023354825	68.5	25.7	2.66
7.5 мкВ	-0.0021285667	0.0041813322	65.6	32.1	2.04

Результаты вычисления МО и СКО измеренных значений азимута VOR представлены в таблице 3.

Таблица 3. – Результаты вычисления МО и СКО измеренных значений азимута VOR.

Напряжение входного ВЧ сигнала	МО, градусы	СКО, градусы	RMS сигнала, мВ	RMS шума, мВ	С/Ш
20 мВ	-0.0504666667	0.0799165120	221	27	8.19
1 мВ	-0.0727600000	0.0688484016	221	27	8.19
500 мкВ	-0.0089600000	0.0690379490	219	27	8.11
100 мкВ	0.0253600000	0.0659594097	216	27	8.00
50 мкВ	0.00365333333	0.0699123248	210	29	7.24
20 мкВ	0.15677336667	0.0848503111	199	37	5.38
10 мкВ	0.12171663333	0.1394033347	189	53	3.57
5 мкВ	0.42628000000	0.2730593616	178	79	2.25

Полученные результаты исследования погрешностей измерения азимута VOR удовлетворяют требованиям ИКАО во всем заданном диапазоне уровней входных сигналов [3].

Библиографический список

- 1 *Бабуров В.И., Пономаренко Б.В.* Принципы интегрированной бортовой авионики. – СПб., Издательство «Агентство «РДК - Принт»», 2005. – 448 с.
- 2 *Авиационная радионавигация: Справочник / А.А.Сосновский, И.А.Хаймович, Э.А.Лутин, И.Б.Максимов; Под ред. А.А.Сосновского.* – М.: Транспорт, 1990. – 264 с.
- 3 *Международные стандарты и рекомендуемая практика.* Авиационная электросвязь. Приложение 10 к Конвенции о международной гражданской авиации. – Т.1. Радионавигационные средства. – Изд.5-е. – ИКАО, 1996.

**ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЙ ДАТЧИК ИСКРЫ
С ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫМ ПОКРЫТИЕМ***Д.С. Агафонова*Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»
им. В.И. Ульянова (Ленина)
(СПбГЭТУ)

Представлены результаты исследования характеристик волоконно-оптического датчика искрения с люминесцентным покрытием. Показано, что при использовании в датчике волокна с полимерным покрытием, содержащим родамин 6G и цилиндрической линзы чувствительность датчика может быть увеличена более чем в 200 раз. Показано, что датчик обладает узкой диаграммой направленности, позволяющей определять пространственное положение электрической искры или дуги.

Введение. Своевременная регистрация электрического искрения и электрической дуги является необходимым условием пожаробезопасности летательных аппаратов, а также обеспечивает безопасную эксплуатацию энергетических и крупных механических установок, нефте- и газопроводов и предприятий химической промышленности. Достоинством волоконно-оптических датчиков, применяемых для этих целей, является их низкая чувствительность к электромагнитным помехам. В то же время, данный тип датчиков обладает относительно низкой чувствительностью к коротковолновой области свечения искры. Целью данной работы была разработка волоконно-оптического датчика искрения, обладающего высокой чувствительностью, пространственной избирательностью и малыми габаритами.

Существует ряд волоконно-оптических датчиков электрической дуги, в которых используется преобразование излучения, падающего на боковую поверхность полимерного волокна или оптоволоконного жгута в волноводные моды за счет рассеяния [1] на оптических неоднородностях волокна, поэтому оно крайне неэффективно.

Целью данной работы была разработка волоконно-оптического датчика искрения, обладающего высокой чувствительностью, пространственной избирательностью и малыми габаритами.

Постановка задачи

Спектральный состав и яркость излучения электрической искры и дуги в сильной степени зависят от энергии, вкладываемой в разряд, материала электродов и состава газовой среды. При возникновении искрения в контактах маломощных электрических установок, местах разрыва проводов, а также при ударе или трении металлических деталей яркость излучения мала, а спектр излучения определяется в основном возбужденными атомами и ионами материала контактирующих предметов и сосредоточен в основном в области 250-550 нм [2]. Однако для данной области спектра затухание оптического сигнала в кварцевом волокне, связанное со светорассеянием, составляет примерно 30-40 дБ/км [3]. Это накладывает серьезные ограничения на допустимую длину волокна от чувствительного элемента датчика до фотоприемного устройства. Максимум чувствительности кремниевого фотоприемника лежит в спектральном интервале 820-960 нм. Это также снижает эффективность детектирования коротковолнового излучения искры.

Проблемы повышения чувствительности волоконно-оптического датчика искрения могут быть решены путем спектрального преобразования коротковолнового излучения искры в длинноволновое излучение путем использования волокна с люминесцентной добавкой либо волокна, имеющего люминесцентное покрытие. В качестве люминесцентного вещества может быть использован органический краситель, например родамин 6G (R6G), преобразующий излучение искры из спектрального интервала 200-530 нм в спектральный интервал 580-650 нм [4], т.е. в спектральную область малых потерь волокна и высокой чувствительности фотоприемника. Молекулы люминесцентного вещества являются излучающими диполями. Излучение диполя, расположенного в непосредственной близости от оптического волновода или волокна эффективно преобразуется в волноводные моды [5].

Методика экспериментов

Обобщенный вид конструкции чувствительного элемента волоконного датчика искры показана на рис. 1. Чувствительный элемент датчика состоит из многомодового кварцевого оптического во-

локна без оболочки. Участок волокна имеет покрытие в виде слоя полимера (нитроцеллюлоза) с добавкой краситель R6G с концентрацией 0.5 %. Толщина покрытия – 20 мкм. Длина слоя с покрытием - 30 мм. Выбор в качестве материала полимерного покрытия нитроцеллюлозы обусловлен, что в ней может быть реализована высокая интенсивность люминесценции R6G. Параллельно участку волокна с покрытием и вплотную к нему расположена цилиндрическая линза, фокусирующая излучение искры на волокно. Для защиты датчика от загрязнений и повреждений волокно и линза помещены в стеклянную трубку с отражающим покрытием для увеличения эффективности сбора излучения искры на поверхность волокна.

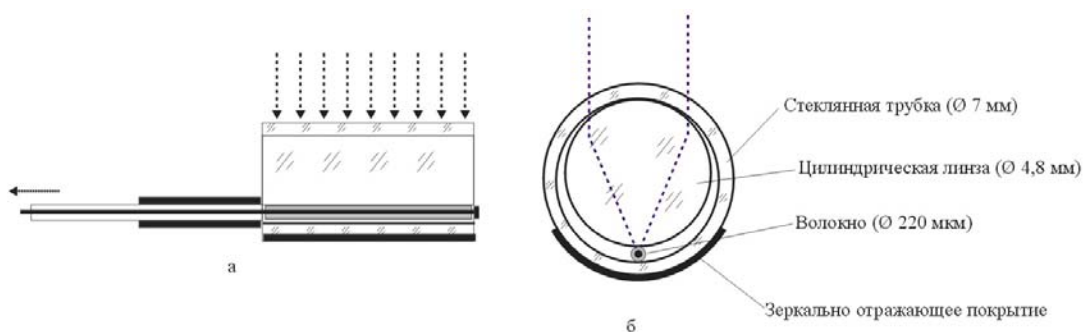


Рис. 1. Конструкция чувствительного элемента волоконного датчика искры:
а – вид сбоку, б – вид с торца.

Для проведения сравнительных экспериментов и оценки эффективности отдельных элементов конструкции был изготовлен ряд чувствительных элементов (см. табл. 1)

При проведении измерений в качестве источников излучения использовались галогенная лампа ($P = 20$ Вт), полупроводниковые лазеры KLM-530-5 ($\lambda = 530$ нм, $P = 20$ мВт) и KLM-405-6 ($\lambda = 405$ нм, $P = 3$ мВт), а также ртутная лампа низкого давления ($\lambda = 365$ нм). В качестве фотоприемного устройства использовался кремниевый pin-фотодиод BPW20RF включенный в фотодиодном режиме без усилителя.

Таблица 1. – Исследуемые чувствительные элементы.

№ образца	Описание	Линза	Отражатель
1	кварцевое волокно без полимерного покрытия	+	+
2	волокно из поливинилового спирта Ø 200 мкм с R6G	-	-
3	кварцевое волокно с полимерным покрытием и R6G	-	-
4	кварцевое волокно с полимерным покрытием и R6G	+	-
5	кварцевое волокно с полимерным покрытием и R6G	+	+

Обсуждение результатов

В таблице 2 приведены данные, характеризующие эффективность захвата внешнего излучения боковой поверхностью волокна с преобразованием этого излучения в волноводные моды для разных конструкций датчиков. Из таблицы видно, что эффективность преобразования бокового излучения в волноводные моды кварцевым волокном без покрытия (№ 1) крайне мала. При использовании в датчике полимерного волокна с люминесцентной добавкой (№ 2) эффективность преобразования значительно повышается, однако она в 4 раза ниже, чем для кварцевого волокна с полимерным люминесцентным покрытием (№ 3). Это связано с тем, что полимерное волокно обладает высоким светорассеянием, которое приводит к существенным потерям захваченного излучения. В случае кварцевого волокна с люминесцентным покрытием потери на светорассеяние значительно ниже, а эффективность захвата излучения обеспечивается эффективным преобразованием излучения диполей (молекул красителя) в волноводные моды. Использование цилиндрической линзы (№ 4) и отражающего покрытия (№ 5) позволяют значительно повысить чувствительность датчика за счет уве-

личения площади захвата излучения. Чувствительность такого датчика более чем в 200 раз превышает чувствительность датчика аналогичной конструкции, но без люминесцентного покрытия.

Таблица 2.– Сигнал фотоприемника для разных конструкций датчиков при возбуждении галогенной лампой.

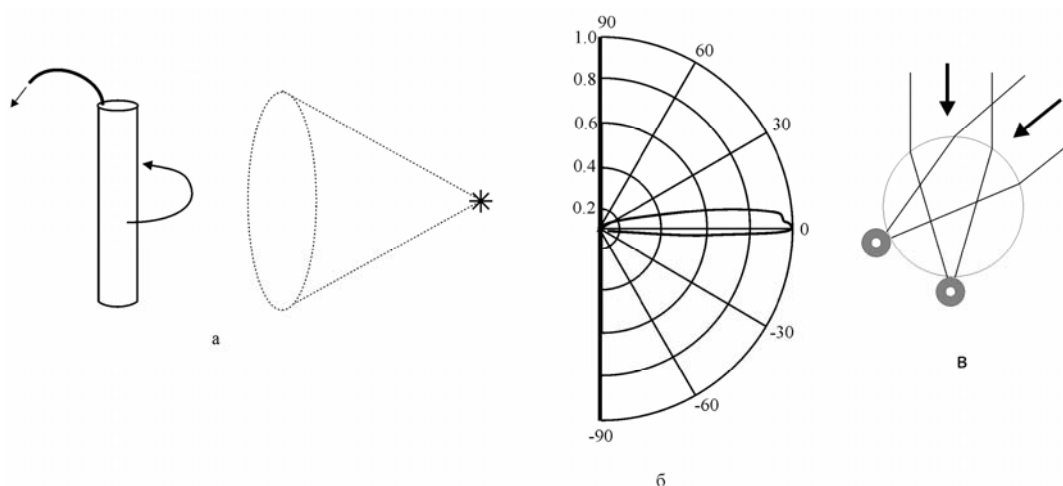
Чувствительный элемент	Сигнал фотоприемника, мВ
№ 1	< 0.1
№ 2	0.7
№ 3	2.8
№ 4	17.6
№ 5	20.8

В таблице 3 приведены результаты измерения сигнала фотоприемника при освещении чувствительного элемента № 5 излучением с плотностью мощности $P = 0.5 \text{ мВт/см}^2$ и $\lambda = 530, 405$ и 365 нм. Из таблицы видно, что максимальная чувствительность датчика обеспечивается на длине волны 530 нм. Это вызвано тем, что на данной длине волны R6G имеет максимальное поглощение.

Таблица 3. – Сигнал фотоприемника для чувствительного элемента № 5.

Длина волны, нм	Сигнал фотоприемника, мВ
530	20.1
405	12
365	12.5

При измерении диаграммы направленности датчика № 5 в качестве источника излучения использовался полупроводниковый лазер с $\lambda = 530$ нм. Дефокусированный линзой ($F = 5$ см) расходящийся лазерный пучок направлялся на рабочую поверхность датчика, который поворачивался в горизонтальной плоскости (рис. 2, а). Измерения показали, что в горизонтальной плоскости датчик обладает узкой диаграммой направленности, не превышающей 15° (рис. 4, б). Это обеспечивает высокое пространственное разрешение, позволяющее определять в пространстве расположение источников искрения при размещении на одной цилиндрической линзе два или более волокна с люминесцентным покрытием (рис. 4, в).



а – оптическая схема измерений, б – диаграмма направленности в горизонтальной плоскости; в - схематичное изображение датчика с двумя чувствительными элементами

Рис.2. Диаграммы направленности чувствительного элемента волоконного датчика искры.

Также для датчика № 5 была измерена зависимость сигнала фотоприемника от мощности падающего на датчик излучения. Характеристика датчика является линейной. Это позволяет использовать его не только для регистрации искрения, но и для измерения интенсивности коротковолново-

го излучения при соответствующей калибровке. При данной конструкции датчика возможна регистрация излучения с интенсивностью от 100-200 мкВт/см² (на длине волны 530 нм и при длине датчика 3 см) при использовании обычного кремниевого фотодиода в режиме без усиления.

Заключение

Представленные результаты показывают, что предложенная конструкция датчика искрения позволяет повысить чувствительность регистрации, уменьшить габариты и реализовать узкую диаграмму направленности. Это достигается за счет спектрального преобразования коротковолнового излучения искры люминесцентным красителем, эффективного преобразования излучения красителя в волноводные моды и применения цилиндрической линзы. Полученные результаты могут быть использованы при разработке аварийных волоконных сенсорных систем для энергетических и высоковольтных установок, летательных аппаратов, электрических станций и для устройств предотвращения техногенных катастроф.

Работа выполнена при поддержке гранта для аспирантов, докторантов и молодых ученых «КЭОП 43».

Библиографический список

1. *Казачков Ю.П.* Волоконно-оптический распределенный позиционно чувствительный датчик электрической дуги // Приборы и техника эксперимента. 2009. № 2. С. 145-147.
2. *Зайдель А.Н., Прокофьев В.К., Райский С.М., Шрейдер Е.Я.* Таблицы спектральных линий. М.: ГИ Физматлит, 1962. С. 607.
3. *Фриман Р.* Волоконно-оптические системы связи. М.: Техносфера, 2004. С. 496.
4. *Копылов С.М., Лысой Б.Г., Серегин С.Л., Чередниченко О.Б.* Перестраиваемые лазеры на красителях и их применение. М.: Радио и связь, 1991. С. 240.
5. *Soler B.J., Hall D.G.* Scattering enhancement from an array of interacting dipoles near a planar waveguide // JOSA B. 2002. V. 19. № 10. P. 2437-2448.

УДК 621: 620.192.7

ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОНСТРУКЦИЙ, РАЗРУШАЮЩИХСЯ ЗАДАНЫМ ОБРАЗОМ

И.А. Ефремова

ОАО «Опытное конструкторское бюро «Новатор»
(ОАО «ОКБ «Новатор»)

(Тезисы доклада)

Долгое время традиционным требованием при проектировании конструкции было обеспечение прочности, причем под словом «прочность» понималась способность выдерживать заданные нагрузки без изменения формы и характерных размеров, включая как изменения, связанные с пластическим деформированием, так и разделение деталей на части вследствие распространения трещин. Для обеспечения этого требования достаточно было расчетов на прочность по допускаемым напряжениям, в большинстве случаев – в линейно-упругой постановке. По мере развития возможностей проектирования ситуация усложнилась. Так, переход к определению «прочность есть способность конструкции выполнять заданные функции в заданных условиях в течение заданного времени» потребовал учета возможного пластического деформирования материала и образования трещин – с проверкой того, являются ли возникающие перемещения опасными с точки зрения функционирования конструкции, приводит ли рост трещин за заданный срок к разгерметизации, это привело к многократному усложнению расчетов и повышению требований к исходным данным, в частности – к объему информации о поведении материалов в различных условиях.

Теоретико-экспериментальная основа для этого была заложена работами ряда крупных ученых. Так, в области экспериментального исследования свойств материалов, необходимых для описания разрушения, невозможно необходимо работы по условиям зарождения трещин (Серенсен

С.В., Катаев В.П., Гусенков А.П., Колмогоров В.Л. и др.) и работы по определению условий продвижения уже существующих трещин (систематические исследования, выполненные под руководством Махутова Н.А., работы Эрдогана Ф.Н. и др.) Расчетные методики, описывающие разрушение, созданы специалистами в области механики разрушения Морозовым Е.М., Партоном В.З., Черепановым Г.С., Броеком В.Д., Дагдейлом Д.С., Леоновым М.Я., Панасюком В.В., и др.), а также в области численных методов и реализующих их программных комплексов (Зенкевичем О.К., Белычко Т., Атлури С.Н.).

Автором рассматривается одна из частных задач данного класса – задача создания конструкций, разрушение которых происходит в заданных условиях заданным образом. Под «разрушением» здесь понимается разделение конструкции на части вследствие образования и развития трещин. При этом, в отличие от традиционно рассматриваемых задач обеспечения прочности, ограничения на разрушающую нагрузку являются двусторонними (предельная нагрузка ограничена как снизу, так и сверху), и различными для разных случаев нагружения. Кроме того, лимитируется механизм разрушения конструкции предписывается создание определенной системы трещин, разделяющей конструкцию на фрагменты заданного размера.

Проектируемая конструкция представляет собой крышку пускового контейнера изделия. При старте изделия крышка должна разрушаться за счет создания небольшого избыточного давления внутри контейнера, гарантированно освобождая отверстие заданного диаметра (на 50 мм меньше диаметра крышки при диаметре около одного метра). Масса каждого из фрагментов разрушенной крышки не должна превышать 0,5 кг. Кроме того, крышка должна удовлетворять условиям прочности и герметичности при воздействии внутреннего давления, составляющего 0,5 от разрушающего, и внешнего давления, в два раза превышающего разрушающее внутреннее давление. Конструкция должна быть работоспособна в климатическом диапазоне изменения температур – от -50 до $+50^{\circ}\text{C}$.

Новая постановка проблемы – проектирование с учетом последующего разрушения – потребовала отработки методик решения и решения следующих задач рассмотренных автором в докладе:

- изучения свойств материала в рассматриваемых условиях. В отличие от многих исследований такое изучение не может быть ограничено начальной стадией деформирования (используемой в случае, когда появление пластических деформаций недопустимо с точки зрения работы конструкции), и требует описания разрушения материала в различных условиях. Для рассматриваемой конкретной задачи, проектирования крышки, особенностями задачи являются недостаток стандартизованных методик испытаний и данных о механических характеристиках материала. Это связано с тем, что рассматриваемый материал – пенопласт – применяется в основном как теплоизоляционный или демпфирующий удары, что определяет специфику проводимых в настоящее время испытаний. Еще одной особенностью является высокая податливость материала, что требует коррекции методик испытаний, ориентированных обычно на достаточно жесткие металлические (керамические) образцы;

- разработки методики расчета конструкции, учитывающей как особенности материала, так и особенности поведения конструкции: большие перемещения (геометрическая нелинейность задачи, когда в пластине, кроме изгиба, может возникать, связанное с этим, растяжение – мембранные эффекты); разрушение материала и перераспределение напряжений. Отметим, что в настоящее время существует разрыв между многочисленными критериями разрушения, предлагаемыми исследователями свойств материала, и их реализацией в расчетных пакетах программ. Так, задачи анализа возможности стагивания трещины заданной длины с использованием методов механики разрушения рядом пакетов программ решаются, а анализ развития трещины, в том числе – динамического, реализован пока в отдельных исследовательских пакетах, зачастую не обладающими другими необходимыми свойствами;

- экспериментальной проверки разрабатываемых методик расчета, поскольку решение поставленных расчетных задач не может быть получено без использования ряда достаточно грубых допущений;

- организации процесса последовательных приближений к решению и получения удовлетворительного решения поставленной технической задачи.

Полученные автором методические результаты могут быть использованы для расчета и проектирования других барьерных элементов конструкций в виде пластин и пологих оболочек различного значения.

А.В. Григорьев, И.Е. Тайдонов

НТГ «Эпикол»

Для превращения вращательного движения привода в поступательное движение рабочей среды (жидкости или газа) или наоборот сегодня применяют два принципа: динамический или объемный. Динамический принцип хоть и прост и на нем работает больше половины энергоустановок, имеет серьезные недостатки, и всё более вытесняется объемными механизмами.

К объемным механизмам относятся, для начала, поршневые – самые древние. Современные поршневые двигатели окружают нас, но после кривошипно-шатунных механизмов, появились роторные: радиально-поршневые, плунжерные, пластинчатые. У них нет клапанов, но еще есть перемещение масс рабочих элементов от центра по радиусу. Решая эту проблему, появились шестеренные и, наконец, винтовые. Все идеально, но сложные поверхности не позволяют им быть лучшими.

От изобретения кривошипно-шатунного механизма до первой паровой машины прошло 100 лет.

Представляя сегодня вашему вниманию новый механизм, выражаем надежду на Вашу поддержку и на то, что его внедрение пройдет более стремительно.

Новые механизмы – диаметрально- поступательные - не просто новые, они решают все существующие проблемы объемных механизмов: нет клапанов, нет возвратно-поступательных масс и нет сложных поверхностей: эвольвенты и т.п. Всё круглое и плоское.

Механизмы основаны на теории, описанной ниже.

Теория:

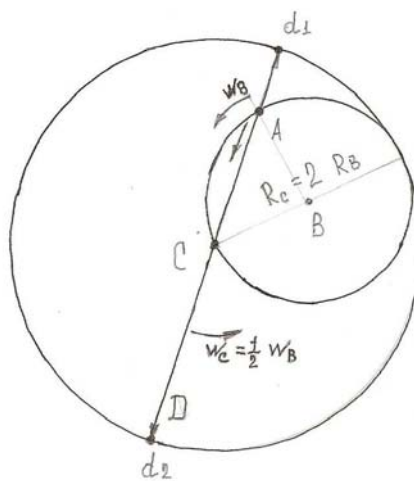
Точка А, движущаяся по окружности В с радиусом R_B , с угловой скоростью W_B , одновременно совершает возвратно-поступательное движение вдоль диаметра D окружности С с радиусом $R_C = 2 R_B$ и центром лежащим на окружности В. При условии вращения диаметра D вокруг центра окружности С с угловой скоростью $W_C = 1/2 W_B$ в направлении движения точки А.

Следствия:

а) Точка А, движущаяся по окружности В, с угловой скоростью W и совершающая возвратно поступательные движения, скользя вдоль диаметра D окружности С задает вращение этому диаметру с угловой скоростью $W/2$, кроме момента «0», когда точка А совпадает с центром окружности С.

б) Несколько точек А, А1, А2... на окружности В, движущиеся с одинаковой угловой скоростью W , совершают возвратно поступательные движения, скользя вдоль своих диаметров D, D 1, D 2... окружности С и задают этим диаметрам постоянное вращение вокруг центра окружности С с угловой скоростью $W/2$, при условии жесткой связи их между собой.

в) Прямой отрезок, лежащий на диаметре D, с возможностью скольжения по нему, а также имеющий возможность вращения вокруг точки А, совершает возвратно поступательное движение вдоль диаметра D и вращается вокруг точки А с угловой скоростью $W/2$ при движении точки А с угловой скоростью W по окружности, а диаметра D окружности вращается с угловой скоростью $W/2$.



d) Прямые отрезки L, L_1, L_2, \dots , лежащие на диаметрах D, D_1, D_2, \dots с возможностью скольжения по ним, а так же имеющие возможность вращаться вокруг точек A, A_1, A_2, \dots совершают возвратно поступательные движения вдоль диаметра D, D_1, D_2, \dots и вращаются вокруг точек A, A_1, A_2, \dots с угловой скоростью $W/2$ максимальной длины прямых отрезков L, L_1, L_2, \dots не дает им возможность при движении пересекаться в центре окружности C .

На следствии с был создан механизм для компрессора. Патент US 2373656A от 17.04.45г.

Но по нашему мнению, механизмы созданные на следствиях а и с не эффективны.

Наши механизмы созданы на следствии b и d, что обеспечивает новизну и новый уровень техники. Данные механизмы защищены патентами.

Отличия от существующих механизмов:

1. Диаметральные механизмы применимы в динамических и объемных машинах;
2. Динамика входа в рабочую среду обеспечивает преимущества по гидравлическому КПД.
3. Перемещение пластин в роторе происходит без нагрузки, что уменьшает трение в пазах. Трение можно еще уменьшить применением роликов в пазах, что увеличит механическое КПД.

4. Механизм прост по конструкции:

- отсутствуют сложные поверхности;
- нагрузки прикладываются к осям рабочих органов, что обеспечивает возможность применять более простые технологии изготовления и ремонта.
- отсутствуют клапаны и возвратные механизмы (пружины и т.п.)

Принципиально новый механизм может использоваться в следующих агрегатах:

- насосы, для любых сред - жидких, газообразных,
- сыпучие продукты и т.д.;
- компрессоры;
- воздуходувки;
- гидropневмомоторы;
- ветрогенераторы;
- снегоходы и вездеходы;
- бесплотинные ГЭС;
- разнообразные движители для жидких и сыпучих сред;
- и т.д. и т.п.

Сфера применения данного изобретения - просто огромна, что предполагает повсеместное использование данного механизма, от игрушек до ГЭС, соответственно, на выходе не только агрегаты и механизмы с хорошими техническими характеристиками, высоким КПД и простотой изготовления, но и массовость, что подразумевает хорошую прибыль производителям, инвесторам и торговым организациям.

Основные преимущества - это минимальные механические и гидравлические потери, при высоком КПД, а простота изготовления с последующей простотой эксплуатации и ремонта.

Рассмотрим маленькую часть возможного применения нашего механизма – насосы, в которых новое рабочее колесо основано на изобретении диаметрального механизма (то есть рабочий орган перемещается через ротор по диаметру).

Примеры исполнения проточной части новых насосов с диаметрально-поступательным движением.

I. Диаметральнo-роликoвый. Рабочие органы – ролики (рис. 1). Рабочие полости находятся в пазах ротора. Отсутствуют нагруженные элементы, имеющие линейное скольжение.

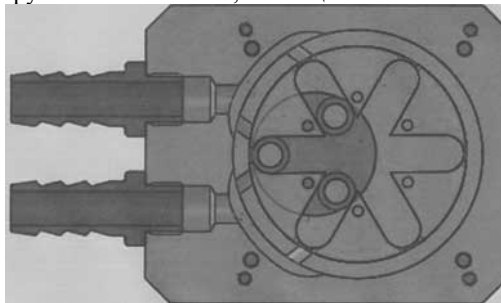


Рис.1.

II. Диаметрально плунжерный. Рабочие органы – плунжеры (рис. 2). Рабочая полость находится в каналах ротора.

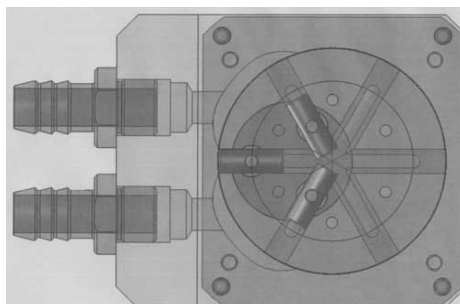


Рис. 2.

III. Диаметрально пластинчатый. Рабочие органы пластины с осями (рис. 3). Рабочая полость выходит за пределы ротора.

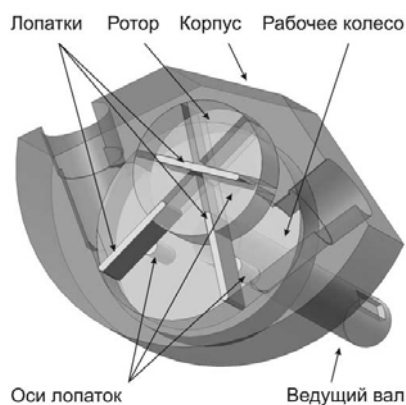


Рис. 3

Новые насосы:

- просты в изготовлении как по конструкции, так и по технологии;
- имеют преимущества перед существующими насосами (даже импортными) при перемещении сред повышенной вязкости и сред с механическими включениями.

На основе нового ДП принципа движения предлагается серия российских разработок, предназначенных для конечного запуска в производство и изготовления нескольких видов продукции. Большая часть идей доведена до внедрения в производство, есть образцы, конструкторская документация.

Награды по изобретению:

- 2 место в «Конкурсе инновационных идей (Novum GmbH)». 2008
- 3 место в Конкурсе «Бизнес Инновационных Технологий (БИТ-СПб)». 2007
- 1 место в IV Инвестиционном Форуме «Бизнес высоких технологий».

Автор диаметрально-поступательных механизмов: Борис Григорьев, изобретатель, разработчик, автор этого проекта, а также других идей и изобретений. Образование - военный инженер по эксплуатации энергетических установок.

1.ООО «Газпромнефть НТЦ» обратились за разработкой высоконапорного насоса.

2.МГТУ им. Баумана, каф. вакуумной и компрессорной техники для фирмы Atlas Copco просят содействия в разработке роторно-пластинчатый компрессор большой производительности на базе нашего механизма.

3.Пластинчатые насосы успешно прошли испытания на ТЭКс и на Сахарном заводе.

4.Ведется дальнейший маркетинг.

5.Отсутствие собственной производственной базы затрудняет выпуск агрегатов. Производство идет на субконтрактной основе.

*А.С. Маслов*ОАО «Конструкторское бюро специального машиностроения»
(ОАО «КБСМ»)

Эпоха лазеров началась с середины XX века, когда в 1953 году Н.Г. Басов и А.М. Прохоров создали лазер, достаточно мощный и с максимально коллимированным световым пучком.

Наиболее значимым первоначальным периодом можно назвать 1960 – 1962 гг.: в 1960 г. был создан рубиновый лазер и рассмотрен принцип работы полупроводникового лазера, в 1961 г. был создан первый газовый лазер, в 1962 г. получено вынужденное излучение из GaAs в Ленинграде в Физико-Техническом институте им. А.Ф. Иоффе. С этого момента началось внедрение лазерных технологий в научно-технические и социальные сферы жизни человека. На сегодняшний день лазеры находят довольно обширное применение в разных областях науки и техники.

Так одним из основных применений лазера в промышленности служит резка материалов сфокусированным лазерным пучком, если смотреть по доле проданных лазеров на рынке – 40 %. При лазерной резке стекла или керамики поверхностная мощность достигает $10^2 - 10^5$ Вт/см². Также очень распространена пробивка отверстий величиной до 10 мкм лазерным лучом, при этом поверхностная мощность составляет $10^8 - 10^9$ Вт/см². В данном случае точность гораздо больше, края отверстий чище, к тому же уже достигнута скорость пробивки отверстий, равная скорости ЧПУ. На практике лазерную сварку ведут при энергиях $E = 10^6 \dots 10^7$ Вт/см². Она более чем вдвое, уменьшает величину сварочного шва, при этом срок службы приборов увеличивается примерно втрое.

Одним из первых применений лазеров было применение их для создания голографических изображений, для которых требовалась высокая степень когерентности излучения. Внутри фотоэмульсионной пленки создавалась сеть интерференционных полос с помощью опорного луча лазера и того же луча, отраженного от предмета. После этого изображение предмета восстанавливалось с помощью опорного пучка.

Лазерная техника широко используется в научных исследованиях для определения оптических свойств материалов (фотолюминесценция при лазерной накачке, определение спектров поглощения жидкостей в спектрофотометрии, определения размера частиц во взвешях в жидкостях), для определения качества поверхностей (интерферометрия, составляющие элементы атомно-силовой микроскопии) и др.

Появляются также всё новые применения лазеров в новых отраслях жизни человека – новым словом в развлечениях стало лазерное шоу, использующее лазерное освещение и синхронизированный с ним звук. Отображаясь на экране (например, просветная проекционная сетка, невидимая в полной темноте), изображение как бы висит в воздухе, что создаёт фантастическое впечатление. Проецировать шоу возможно практически на любую плоскую поверхность: сетку-экран, стену дома, откос, водную поверхность. Если заполнить место проведения мероприятия лёгким дымом, то лучи лазера, перемещаясь в пространстве и меняясь в цвете и форме, создадут объёмное лазерное шоу, синхронизированное с музыкой. На открытом воздухе используется мощное лазерное оборудование, роль дыма могут сыграть дождь, снег или туман.

В 2005 немецкой компанией Clean Laser System впервые был создан лазерный пылесос. Как сообщает журнал Optics, работа «пылесоса» заключается в «чистом», лишённом дыма и запаха, испарении под действием лазерного излучения любой грязи (краски, масел или ржавчины). Революционная технология подбора мощности лазера позволяет избежать эрозии или истирания поверхности, неизбежных при использовании альтернативных методик. Устройство смонтировано в виде рюкзака и при весе 9 кг обеспечивает импульсное лазерное излучение на частоте 1064 нм мощностью 20 Вт. Охлаждение системы — воздушное.

Очень широко лазеры используются в медицине, одно из новейших применений – фотоэпиляция. Для фотоэпиляции используются различные лазеры: рубиновый, alexандритовый, неодимовый, диодные лазеры, а также не лазерные источники света. Они различаются между собой по длине волны излучаемого света, а также по энергии излучения и длительности импульсов. Принцип действия всех этих аппаратов основан на явлении селективного фототермолиза, который заключается в

избирательном поглощении лазерного излучения волосяными луковицами, их нагреве и тепловом разрушении. Надо отметить, что мощность их такая же, как мощность лазеров для резки стекол и керамики – порядка 10^5 Вт/см²

Нельзя не упомянуть о некоторых применениях лазера в военной технике, где его использование очень широко – от лазерных прицелов в стрелковом оружии и дальномеров до разработок, касающихся лазерного оружия.

Одной из бурно развивающихся в последнее время областей применения лазеров является «оптический пинцет». Каждому знаком пинцет – довольно нехитрый инструмент, которым удерживают мелкие детали. Но что делать, если приходится иметь дело с частицами микронных размеров или, скажем, хромосомами в живой клетке, к которым нельзя прикасаться, ведь иначе они попросту разрушаются. Использовать обычный, даже сверхминиатюрный пинцет не представляется возможным. А возможность захватить и переместить микрообъект является насущной задачей современной микро- и нанотехнологии. Эта задача была решена с помощью «оптического пинцета» – научный прибор, который позволяет манипулировать микроскопическими объектами с помощью лазерного света. Он позволяет прикладывать силы к диэлектрическим объектам от фемтоньютон до наноньютонов и измерять расстояния от нескольких нанометров до микронов.

Принцип действия «оптического пинцета» основан на том, что при освещении лазером прозрачной частицы световой пучок испытывает на ней преломление – направление вектора скорости света и, следовательно, направление импульса фотонов изменится. Пользуясь механической аналогией, можно сказать, что при этом возникает изменение силы, которое подействует на частицу так, что она двинется в сторону наибольшей интенсивности лазерного пучка.

С помощью «оптических пинцетов» измеряли механические свойства молекул ДНК, прицепляя к их концам полистирольные бусинки и растягивая их. Исследователи из Гарвардского университета укладывали эритроциты (клетки крови) на белковое основание в кольца, цепочки и тетраэдры, создавая модели «клеточных датчиков», настроенных на обнаружение определенных химических веществ. «Оптический пинцет» уже сейчас используется для пересадки генов в клетки, а также при искусственном оплодотворении в пробирке. Перемещением фокуса можно передвигать частицы, выстраивая из них самые разнообразные конструкции.

Объединяя метод «оптического пинцета» с использованием других лазерных пучков, исследователи могут, например, захватить отдельную хромосому и разрезать её на кусочки с целью дальнейшего анализа. Для захвата можно применить инфракрасное излучение с длиной волны $\lambda = 1.064$ мкм, а вторую её гармонику – зелёный свет (длина волны $\lambda = 0.532$ мкм) – для разрезания в качестве «оптических ножниц». Длины волн выбраны не случайно, поскольку биологические объекты почти прозрачны в инфракрасной области, но сильно поглощают зелёный свет.

«Оптический пинцет» применяется и для захвата коллоидной частицы. При этом используют сильно сфокусированный лазерный пучок. Градиент интенсивности излучения затягивает частицу в область перетяжки пучка, тогда как давление света выталкивает её по направлению оптической оси. Когда градиентная сила доминирует, частица оказывается «пойманной» в области точки фокуса; в противном случае частица движется вдоль оптической оси. Из коллоидных частиц с помощью «оптического пинцета» собирают электронно-микроскопические изображения упорядоченных структур.

Весьма интересные эксперименты выполнены в венгерском Биологическом исследовательском центре. Там разработана методика получения микроскопических объектов произвольной формы в результате полимеризации клейкой массы под действием света. «Оптический пинцет» на основе инфракрасного (длина волны $\lambda = 0.994$ мкм) полупроводникового лазера захватывал и удерживал в фокусе микрочастицы. Далее необходимая для полимеризации интенсивность достигалась фокусировкой в нужной точке излучения аргонового лазера (длина волны $\lambda = 0.514$ мкм). В результате воздействия света образовывался твёрдый полимер. Высокочастотный трехкоординатный пьезоэлектрический манипулятор, управляемый компьютером, перемещал материал относительно фокуса, создавая микроскопические детали – роторы, шестерёнки, пропеллеры. А дальше начинается самое интересное. Было обнаружено, что при сдвиге точки фокуса свет, отклоняясь от частицы, приводит её во вращение. Величина и направление вращения зависят от ориентации ротора или шестерёнки в фокусе. Если ротор оснащён центральной осью, устойчивость его захвата в пинцете повышалась, а при увеличении числа зубцов шестерёнки вращение становилось более равномерным. При мощности излучения 20 мВт конструкция равномерно вращалась с частотой до нескольких оборотов в секунду. Отсюда – один шаг до создания действующих микромашин, управляемых светом. Авторы

сконструировали две сцепленные шестерёнки, сидящие на фиксированных осях, и свободно плавающий ротор. Ротор захватывали «оптическим пинцетом», приводили во вращение и затем подвдрили к паре шестерёнок, заставляя их крутиться.

Считается, что уже в ближайшем будущем «оптические пинцеты» будут использованы не только для изучения клеток, но и для внутриклеточной хирургии, что позволит, в частности, модифицировать их хромосомный набор, а также проводить искусственное оплодотворение. Кроме того, с помощью «оптического пинцета» можно анализировать колонии микробов различных видов, «ловить» отдельные микробы и изучать их поведение.

«Оптический пинцет» позволяет прилагать к частицам силы до 100 пН, что делает его идеальным инструментом для механического воздействия на различные биологические объекты и измерения их отклика. Например, с помощью «оптического пинцета» были измерены вязкоупругие свойства единичных молекул ДНК, клеточных мембран, а также агрегированных волокон белков (например, актина). Кроме того, «оптический пинцет» использовался для изучения сил, развиваемых молекулярными моторами, такими как миозин, кинезин, а также различные ферменты и рибосомы. Эти измерения показали, что клетки используют механические силы не только для движения и сортировки хромосом во время воспроизведения, но также для считывания генетической информации, дыхания, и чтобы отправлять различные сигналы другим клеткам.

УДК 629.7: 004.2

АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ НАЗЕМНЫХ ИСПЫТАНИЙ БОРТОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ СИСТЕМЫ АЗН-В

В.В. Худошин

Федеральный научно-производственный центр ОАО «Ордена Трудового Красного Знамени
Всероссийский научно-исследовательский институт радиоаппаратуры»
(ОАО «ВНИИРА»)

Для решения задачи расширенных наземных испытаний бортового комплекса системы АЗН-В разработан аппаратно-программный комплекс, обеспечивающий проверку функционирования работоспособности аппаратуры путем выполнения следующих задач:

- *симуляции воздушной обстановки, участниками которой являются собственное воздушное судно и другие объекты различных типов;*
- *формирование и выдачу по каналам связи в бортовое оборудование системы АЗН-В информации от бортовых систем собственного воздушного судна, включая бортовую систему предупреждения столкновений;*
- *формирование и выдачу радиовещательных сообщений в формате АЗН-В от объектов-участников воздушного движения;*
- *выдачу радиовещательных сообщений формата TIS-B от наземной службы информации о воздушном движении;*

Особенностью разработанного комплекса является использование в качестве линии передач данных радиосигнала в формате расширенного сквиттера вторичного обзорного радиолокатора.

Сокращения и аббревиатуры

- АПК – аппаратно-программный комплекс;
АЗН-В – автоматическое зависимое наблюдение вещательного типа;
Сквиттер – информационное слово (112 бит) используемое системой АЗН-В;
ИКАО – международная организация гражданской авиации;
TIS-B – наземная радиовещательная служба предоставления информации о воздушном движении;
TCAS – бортовая система предупреждения столкновений;
ГНСС – глобальная навигационная спутниковая система;
СВС – система воздушных сигналов;

ИНС – инерциальная навигационная система;
 МРЗН – модуль решения задач наблюдения;
 СДПИ – подсистема индикации воздушной обстановки и ввода управляющей информации;
 ВС – воздушное судно;
 UTC – универсальное координированное время;
 ASSAP – подсистема решения задач наблюдения;
 RTCA – радиотехническая комиссия по авионавигации;
 ASAS – система поддержки гарантированного разделения ВС.

Введение. Ежегодное увеличение интенсивности воздушного движения повышает актуальность обеспечения безопасности полетов. В последнее время наряду с движением ВС по утвержденным маршрутам и стандартизованным траекториям полета в зоне аэропортов, под руководством ICAO готовится к внедрению перспективная концепция «Free Flight», согласно которой предполагается движение ВС по свободно выбираемым (с учетом безопасности) траекториям. С учетом перехода на сниженные интервалы эшелонирования, регламентируемым ICAO в ближайшем будущем, вопросы безопасности воздушного движения приобретают еще большую актуальность. Одним из перспективных направлений развития авионики, улучшающих информированность экипажа об окружающей обстановке, является использование технологии радиовещательного автоматического зависимого наблюдения. Такая технология предполагает радиовещательную передачу информации о местоположении и параметрах движения собственного ВС и прием такой информации от других ВС и наземных служб. На рис.1 представлена схема, поясняющая смысловую нагрузку названия системы АЗН-В.

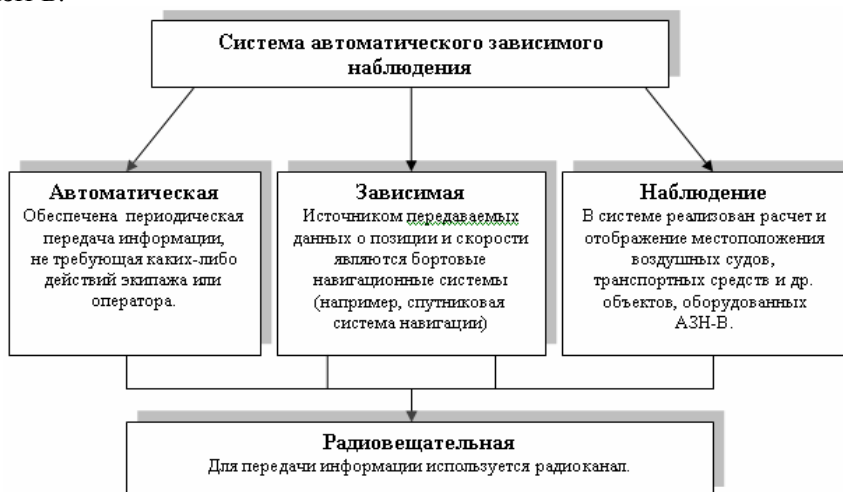


Рис. 1.

В настоящее время в ОАО «ВНИИРА» ведутся работы по созданию бортовой аппаратуры системы АЗН-В. Для проведения наземных испытаний вышеуказанной аппаратуры был разработан аппаратно-программный комплекс, который описан ниже.

Назначение и задачи, решаемые аппаратно-программным комплексом (АПК)

На стендах с реальной аппаратурой традиционно основным видом испытаний являются так называемые комплексные испытания, цель которых по возможности более полно и приближенно к штатным условиям проверить правильность работы реальных систем. В отсутствии информации, приходящей от реальных датчиков, как правило, используется имитирующая информация. Для проведения наземных испытаний системы АЗН-В необходимо решить задачи имитации информационного поля радиэфира, соответствующего воздушной обстановке с проверкой корректного функционирования бортовой аппаратуры системы АЗН-В.

Назначение ПК с программным обеспечением «ИВО»

Программное обеспечение «ИВО» предназначено для выполнения следующих функций:

- создание имитации воздушной обстановки путем моделирования траекторий ВС;

- ввода дополнительных данных характеризующих движение ВС и необходимых для формирования пакетов данных сквиттеров целей;
- формирование и выдача пакетов данных сквиттеров целей для радиовещательного канала связи;
- формирование и выдача рапортов о целях для имитации выхода приемника системы АЗН-В при проведении испытаний бортового оборудования без использования радиовещательного канала связи;
- предоставление пользователю подготовленной и полученной информации в удобном для анализа и редактирования виде.

Назначение аппаратного модуля

Аппаратный модуль осуществляет формирование модуляционного кода на основании информации пакетов данных, принятых от программного обеспечения «ИВО», и поддерживает следующие аппаратно-программные функции:

- Прием информационного пакета сквиттера;
- Выдачу цифровых модулирующих последовательностей на два генератора ВЧ для формирования сквиттеров с помощью импульсной модуляции. Наличие двух генераторов определяет возможность имитации наложения двух сквиттеров друг на друга.
- Выдачу в СНВО имитационного сигнала односекундной аппаратной метки UTC (PPS) в формате ARINC-743.

Режимы работы АПК при проведении испытаний бортового оборудования системы АЗН-В

Режим «Имитация выхода приемника АЗН-В и бортовых навигационных датчиков собственного ВС».

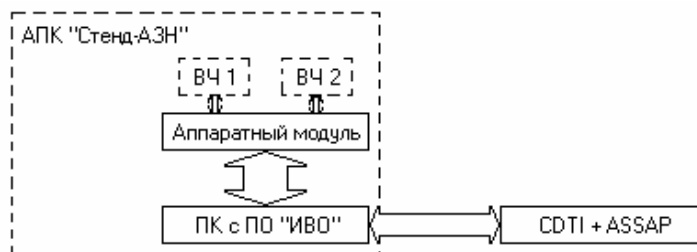


Рис. 2.

Режим предназначен для контроля работоспособности аппаратуры системы АЗН-В в части решения задач наблюдения воздушной обстановки и выдачи их результатов на CDTI.

В данном режиме АПК, имитируя результаты работы приемника АЗН-В, формирует рапорты, соответствующие заданной воздушной обстановке, имитирует информацию бортовых датчиков своего воздушного судна, обрабатывает информацию возвращенную CDTI+ASSAP.

Режим «Имитация радиоэфира, соответствующего заданной воздушной обстановке, и бортовых навигационных датчиков собственного ВС».

Режим предназначен для контроля работоспособности аппаратуры системы АЗН-В в части: приема и обработки данных о целях имитируемой воздушной обстановки по радиовещательному каналу (приемник АЗН-В), решения задач наблюдения воздушной обстановки и выдачи их результатов (CDTI+ASSAP).

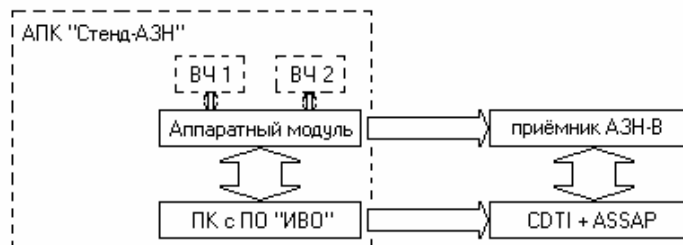


Рис. 3.

В данном режиме АПК формирует и выдает по радиовещательному каналу сквиттеры с заданной временной циклограммой и мощностью, соответствующие заданной воздушной обстановке, имитирует информацию бортовых датчиков своего воздушного судна.

Режим «Имитация воздушной обстановки с использованием ответчика»

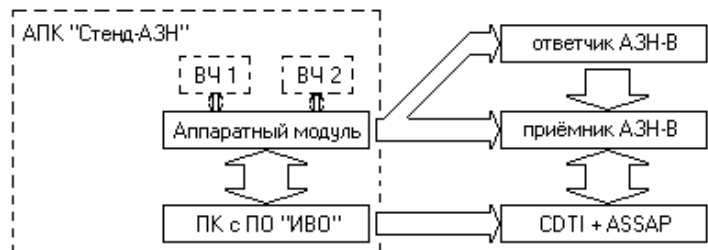


Рис. 4.

Режим предназначен для контроля работоспособности аппаратуры в части: приема и обработки данных о целях, имитируемой воздушной обстановки по радиовещательному каналу (приемник АЗН-В), решения задач наблюдения воздушной обстановки и выдачи их результатов (CDTI+ASSAP), формирования и выдачи сквиттеров (ответчик АЗН-В).

В данном режиме АПК генерирует сквиттеры, соответствующие заданной воздушной обстановке, формирует информацию бортовых датчиков своего воздушного судна, кроме того в ответчик по информационному каналу связи выдаются данные от бортовых датчиков одной воздушной цели.

Режим «Контроль работы приемника АЗН-В».

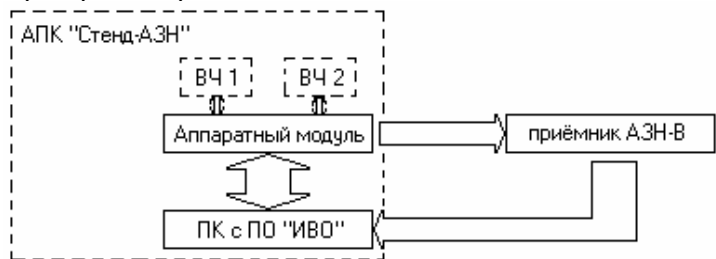


Рис. 5.

Режим предназначен для контроля работоспособности аппаратуры в части соответствия требованиям стандарта DO-260 (260-A) по формированию рапортов о целях. При этом подлежат проверке: прием и обработка данных о целях, имитируемой воздушной обстановки по радиовещательному каналу (приемник АЗН-В), выдача рапортов о целях имитируемой воздушной обстановки (приемник АЗН-В).

В данном режиме АПК генерирует сквиттеры от целей, соответствующие заданной воздушной обстановке, принимает рапорты, сформированные приемником системы АЗН-В.

Результаты применения

АПК позволяет провести полный комплекс проверок изделия согласно требованиям ИКАО, включая верификацию алгоритмов поведения изделия по стандартным методикам RTCA (DO-260, DO-260A, DO-289). Кроме того, АПК может использоваться для разработки требований ASAS.

**ПРИМЕНЕНИЕ СПЕКТРАЛЬНОЙ АППАРАТУРЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ
ДИСТАНЦИОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ***А.В. Андреева, А.А. Бузников, А.А. Тимофеев*Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»
им. В.И. Ульянова (Ленина)
(СПбГЭТУ)

В настоящее время рынок России активно развивается, что влечет расширение жилищного и производственного комплекса, развитие инфраструктуры и резкое ухудшение экологической обстановки. Чтобы контролировать эти изменения, необходимы недорогие и простые в использовании экспресс-методы оценки состояния окружающей среды для своевременного реагирования и устранения загрязнений, превышающих допустимые уровни.

Наибольший объем информации из космоса о состоянии атмосферы и поверхности Земли в настоящее время получают с помощью фотографической и многоспектральной сканирующей аппаратуры. Преимуществом фотографических и многоспектральных изображений является пространственная и факторная интеграция и связанная с этим возможность комплексного анализа закономерностей пространственно-временной изменчивости разнообразных характеристик природных образований. Однако одних только данных о пространственном распределении поля яркости в какой-либо области спектра, характеризуемом изображением, недостаточно для вполне однозначной индикации наблюдаемых объектов и определения их свойств. Нужны количественные методы измерений. Среди них, наиболее информативными являются методы спектрофотометрических измерений оптических характеристик природной среды и контроля за ее состоянием. Они существенно расширяют возможности решения обратных задач по результатам аэрокосмической съемки. Кроме того, они необходимы для оптимизации параметров многоспектральных космических систем и многозональной аппаратуры и, прежде всего, для выбора наиболее информативных спектральных интервалов [1].

Проведение полевых измерений – сложная задача. Аппаратура должна быть не только точной, но и малогабаритной, удобной в использовании длительное время, легко транспортируемой и пр. Поэтому, в зависимости от поставленных задач, аппаратный комплекс модернизировался.

Первым спектральным прибором для получения спектров природных образований являлся спектрометр РСС [1]. Данные фиксировались на фотопленке, а потом обрабатывались на микрофотометре МФ-4. На базе спектрометра РСС-3 был разработан полевой фотоэлектрический спектрометр (ПФС) [2]. Оптическая схема ПФС построена по автоколлимационной схеме. Диспергирующим элементом является дифракционная решетка имеющая 600 штрихов на миллиметр. Угол блеска решетки дает преимущественную концентрацию света в области 300...1100 нм первого порядка спектра. Конструктивно узел фотоэлектрической регистрации был выполнен в виде двух блоков: блока фотоприемного устройства (ФПУ) и блока обработки и индикации сигнала (БОИС). Характеристика прибора: спектральный диапазон - 400-700нм, объективы - $f_1=300\text{мм}$, $f_2=135\text{мм}$, углы поля зрения (спектрального канала, визира) - $50\times 3\text{угл.мин.}$, пространственное разрешение спектрального канала - $f_1=300\text{мм} - 1\text{ угл.мин.}$, $f_2=135\text{мм} - 2\text{ угл.мин.}$ Используемая фотодиодная линейка имеет 48 элементов размером $0,5\times 3\text{мм}$ и расстоянием между элементами 50 мкм. Обнаружительная способность составляет $10^{14} \dots 10^{15} \text{ смГц}^{1/2} \text{ Вт}^{-1}$.

Выходы фотоэлементов через коммутационное устройство соединялись с инвертирующими входами операционных усилителей шестнадцатиканального предусилителя. С выхода каждого канала предусилителя сигнал поступал на один из входов шестнадцатиканального коммутатора. Коммутатор в соответствии с адресным кодом подавал сигнал с соответствующего канала на усилитель с регулируемым коэффициентом усиления. Усиленный сигнал поступал на АЦП, на выходе которого формировался код, соответствующий значению аналогового сигнала. Далее цифровой сигнал записывался в ОЗУ по адресу, заданному формирователем адреса. Из ОЗУ данные могли быть выведены через дешифратор на цифровое табло. Номер спектральной полосы также индицировался на табло. Коэффициент усиления нормирующего усилителя мог быть изменен с передней панели БОИС в 2, 4, 8, 16 раз, что обеспечивало проведение измерений в широком диапазоне освещенно-

сти. Полевой фотоэлектрический спектрометр позволял одновременно измерять и запоминать (до следующего измерения) поток излучения от объекта в любых 16 из 20 спектральных полос в диапазоне 400-750 нм, и просматривать результаты измерений на всех 16 каналах. В ПФС использовался автономный источник питания. Градуировка полевого спектрометра по длинам волн осуществлялась с помощью интерференционных фильтров [2].

Однако, спектрометр был сложен для использования в полевых условиях. Недостаточное спектральное разрешение не позволяло исследовать особенности некоторых спектров. Для повышения точности и скорости измерений спектрометр ПФС был усовершенствован. Прибор ПФС-М снабжен новым электронным блоком, позволяющим в автономном режиме, а также в режиме синхронной работы с ЭВМ проводить съемку спектрального распределения излучения в диапазоне 400-750 нм с разрешением 8 нм. Сигналы фотоприемников коммутируются на 4 канала усиления, оцифровываются и сохраняются в виде кадров в энергонезависимой памяти микроконтроллера. Отснятые данные можно выводить на жидкокристаллический индикатор, передавать на ЭВМ, сохранять в файлы и наблюдать в виде графиков спектрального распределения интенсивности излучения или коэффициентов спектральной яркости исследуемого объекта с помощью специально написанной на языке Delphi программы «Пофос» [3].

Электронная схема прибора ПФС-М состоит из следующих основных функциональных узлов: приемника излучения, блока коммутации, блока усиления и фильтрации, блока управления и цифровой обработки сигнала, блока индикации, блока питания. Ядром блока управления и цифровой обработки является микроконтроллер производства компании MicroCHIP. Он выполняет основные функции управления системой, обрабатывает сигналы, поступающие на четыре аналоговых входа, принимает внешние управляющие сигналы, производит вывод информации на блок индикации, а также осуществляет обмен данными с внешней ЭВМ. Микроконтроллер имеет встроенную энергонезависимую память EEPROM и FLASH, позволяющую в автономном режиме сохранять до 32 кадров по 48 спектральным каналам. Для осуществления качественного 10-битного аналого-цифрового преобразования в схеме использован прецизионный источник опорного напряжения. В качестве устройства индикации применен знаковинтезирующий жидкокристаллический индикатор со встроенным контроллером, обеспечивающий вывод текстовой информации в 2 строки по 8 символов. Питание схемы осуществляется Switch-преобразователем, имеющем на выходе напряжение 5 вольт. Входное напряжение может варьироваться от 24 до 6.5 вольт. Стандартно предусмотрено подключение батареи напряжением 9 вольт.

Для расчета коэффициента спектральной яркости предусмотрена съемка «светового кадра» через молочный фильтр. Связь прибора с персональным компьютером осуществляется по протоколу RS-232. Пересылка информации происходит под управлением ЭВМ. Программа «Пофос» имеет возможность строить графические зависимости отснятых спектров, вычислять коэффициенты спектральной яркости и тоже выводить их в виде графиков. Все эти данные можно сохранять в виде файлов и далее обрабатывать другими средствами Windows. Недостатком спектрометра ПФС-М был недостаточно широкий спектральный диапазон (400-750 нм) для исследований растительности, так как различные эффекты могут проявляться и в ближней ИК области. Наиболее информативным для исследования растительности является диапазон 400-1100 нм, поэтому был разработан новый спектрометр «Радуга», удовлетворяющий необходимым требованиям.

Спектрометр «Радуга» сконструирован с использованием оптической схемы спектрометра с плоским полем. Спектральное разрешение не хуже 1 нм, угол поля зрения 5°. Диспергирующим элементом является вогнутая ($R=250$ мм) дифракционная решетка с числом штрихов $N=120$ штр/мм. Решетка изготовлена на слое полиэфирной смолы, покрытом алюминием. Размер заштрихованной площади 55×55 мм², общее число штрихов 6600. Решетка концентрирует в первом порядке максимум отраженного света при $\lambda=500$ нм. Приемником излучения в спектрометре служит ПЗС-линейка Toshiba TCD1304AP, имеющая 3648 пикселей размером 8×200 мкм. Спектральный диапазон чувствительности приемника 200-1100 нм. Отношение сигнал/шум составляет 300:1. Объективом спектрометра служит светосильный шестилинзовый анастигмат Гелиос-44 с просветленной оптикой. Фокусное расстояние объектива - 58 мм, относительное отверстие 1:2. Входная щель 0,2 мм. Небольшие габариты спектрометра позволяют легко проводить полевые измерения. Сигнал с приемника обрабатывается микросхемой eZdsp F2802 с цифровым сигнальным процессором TMS320F2808. Связь прибора с персональным компьютером (ноутбуком) осуществляется по протоколу RS-232 или через USB. Прибор управляется с персонального компьютера через специальную

программу «Радуга» [4], написанную на языке С++. Программа позволяет установить время интегрирования сигнала и количество последовательно регистрируемых спектров. Измеренные спектры выводятся на экран в виде графиков и в числовом виде. Данные можно сохранить в текстовом файле или в файле формата MS Excel, изображение спектра - в графическом файле. Таким образом, спектрометр «Радуга» обладает всеми необходимыми требованиями для полевых измерений: малогабаритный (350x170x100 мм), легкий (2 кг), с большим объемом памяти (данные сохраняются на компьютере), прост в использовании, позволяет оперативно получать информацию (измеренные спектры сразу отображаются в виде графиков и в числовом виде). Это делает его полезным и необходимым при экспресс-оценке экологического состояния исследуемых территорий и при проведении подспутниковых экологических экспериментов [5, 6].

Библиографический список

1. *Кондратьев К.Я., Бузников А.А., Покровский О.М.* Итоги науки и техники. Атмосфера, океан, космос. Программа «Разрезы». Глобальная экология: дистанционное зондирование. М.: ВИНТИ. 1992. Т.14. С.128-132.
2. *Бузников А.А., Леус В.И., Леус Н.Б.* Полевой фотоэлектрический спектрометр //Известия ГЭТУ. 1995. Вып.481. С.3-7.
3. *Свидетельство о государственной регистрации* программы для ЭВМ №2009611158 от 20.02.09.
4. *Свидетельство о государственной регистрации* программы для ЭВМ №2009611157 от 20.02.09.
5. *А.В. Андреева, А.А. Бузников, А.А. Тимофеев.* «Спектральные исследования техногенной нагрузки на растительность мегаполисов» // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ», Выпуск 1, 2006г. С. – 31-38.
6. *А.В. Андреева, А.А. Бузников, А.А. Тимофеев.* «Исследование влияния тяжелых металлов на оптические характеристики растительности» // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ», Выпуск 1, 2007г. С. – 39-46.

УДК 629.7.01: 621.3

ИЗМЕРЕНИЯ ПОМЕХ НА ШИНАХ ПИТАНИЯ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

А.И. Казаков, А.А. Карасев, И.И. Чупринский

ФГУП «Конструкторское бюро «Арсенал» имени В.М. Фрунзе»
(ФГУП «КБ «Арсенал» им. В.М. Фрунзе)

Космический аппарат – это сложная техническая система, представляющая из себя совокупность подсистем, агрегатов, узлов и приборов взаимодействующих между собой.

Процесс отработки космического аппарата на этапе электрорадиотехнических испытаний организуется для подтверждения эффективности конструктивных и технических решений, принятых во время разработки космического аппарата.

Во время проведения наземных электрорадиотехнических испытаний космического аппарата, его бортовая аппаратура включается во всех штатных режимах и сочетаниях, которые возможно обеспечить наземными испытательными средствами и с моделированием мероприятий, предусмотренных для парирования ее отказов на этапе целевой эксплуатации.

Основными целями электрорадиотехнических испытаний в процессе отработки космического аппарата являются:

- отработка электрической стыковки бортовой аппаратуры;
- оценка взаимовлияния бортовой аппаратуры;
- отработка интерфейсных связей бортовой аппаратуры с контрольно-проверочным наземным оборудованием;
- проверка эффективности мероприятий, предусмотренных для парирования аппаратных отказов и отказов программного обеспечения в бортовой аппаратуре;
- контролепригодность космического аппарата на всех этапах жизненного цикла.

Во время проведения работ, которые реализуют обозначенные выше цели возникает необходимость в оценке помеховой обстановки на шинах электропитания космического аппарата, так называемых кондуктивных помех. Эта необходимость обусловлена тем, что во время работы космического аппарата часто возникают переходные процессы, которые происходят во время выдачи управляющих сигналов, как внешних, так и внутренних, которые происходят при включении аппаратуры, а так же при переходе аппаратуры из одного режима работы в другой. Они возникают из-за изменения внешних условий функционирования или из-за отказов в бортовой аппаратуре.

Кроме того, наличие кондуктивных помех вызвано работой преобразователей питания, которые всегда имеются как в системе энергопитания космического аппарата, так и в испытываемой аппаратуре космического аппарата, подключенной к шинам питания.

Все эти процессы находят отражение на борту космического аппарата в виде кондуктивных помех на шинах питания. Наличие таких помех влияет на работоспособность комплектационной аппаратуры и может быть причиной её взаимовлияния, а в отдельных случаях и отказов.

При проектировании космического аппарата всегда задаются предельные значения (амплитуда, частота, длительность) помех, при которых бортовая аппаратура должна сохранять свою работоспособность, а также значения помех, которые аппаратура может создавать. Это оформляется в виде нормативного документа, который принимается к руководству всеми разработчиками бортовой аппаратуры. Такие нормы обычно представлены в ОТТ (общие технические требования) для комплектующей аппаратуры космического аппарата.

Поэтому, во время отработки бортовой аппаратуры, а так же при электрорадиотехнических испытаниях космического аппарата, разработчики уделяют большое внимание фиксации значения кондуктивных помех на шинах питания, на входе (выходе) комплектующейся аппаратуры, и изучению реальной помеховой обстановки в упомянутых участках электрических цепей космического аппарата.

Задачей исследования помеховой обстановки является подтверждение отсутствия фактов превышения нормированных значений этих помех в исследуемых цепях электрической схемы космического аппарата или подтверждение работоспособности комплектующей аппаратуры в условиях реальной помеховой обстановки.

Ранее для решения такой задачи применялся электронный цифровой запоминающий осциллограф *Tektronix TDS 1000* (США).

Недостаток этого измерительного прибора связан с тем, что любой из его входов одним полюсом связан через кабель питания с шиной заземления промышленной сети.

Учитывая, что у отечественных космических аппаратов шины питания не имеют гальванической связи с заземленным при испытаниях корпусом космического аппарата, применение такого осциллографа связано с непреодолимыми трудностями. В частности, при измерениях, о которых сообщалось выше, осциллограф подключался к промышленной электросети через источник бесперебойного питания. Источник бесперебойного питания устанавливался на изолирующее от земли основание, и отключался на время измерения от промышленной сети. Таким образом, и осциллограф и блок бесперебойного питания на время измерения изолировались от земли, что является недопустимым по требованиям техники безопасности.

Чтобы не нарушать требования техники безопасности, возможно использование указанного осциллографа при подключении его к исследуемой точке электрической схемы космического аппарата с использованием дифференциального входа. Что позволит выделить переменную составляющую коммутационной помехи на шинах питания и измерить производную.

С появлением осциллографа *Tektronix TPS 2024*, входы которого изолированы от его «корпуса», появилась возможность усовершенствования методики измерения помеховой обстановки на шинах питания.

Данный осциллограф имеет большую полосу пропускания (200 МГц), количество выборок 2 000 000 точек в секунду. При выполнении измерений настройка осциллографа может осуществляться следующим образом:

- для определения начала переходного процесса желательно использование синхровхода, на который подается управляющий сигнал.

- в случае, где невозможно выделить управляющий сигнал, можно проводить синхронизацию по уровню сигнала на входе осциллографа (осциллограф будет начинать запись, когда уровень превысит заданный).

Отчет по данным измерениям будет представлен в виде набора осциллограмм. При анализе этих осциллограмм делается вывод о том, что появившиеся помехи превышают (или не превышают) уровень, заданный техническими требованиями и, соответственно, может ли аппаратура работать в таких условиях.

Но и этот метод не позволяет дать 100% гарантию того, что не было помех в другие моменты времени. При его использовании трудно выделить помехи, например, расположенные в недопустимом частотном диапазоне.

Так сформировалась следующая задача: проконтролировать уровень реальной помеховой обстановки на протяжении всего процесса испытаний, тем самым подтвердить отсутствие участков исследуемого процесса, выходящих за рамки ОТТ.

Для этого было предложено записать (например, на внешний жесткий диск) процесс испытаний целиком с последующей обработкой. Так как испытания имеют довольно продолжительный период, то аппаратурой, включающей осциллограф Tektronix TPS 2024 и ПЭВМ, невозможно обойтись ввиду ее ограниченных возможностей.

Измерительное оборудование может быть выполнено на базе разработчика измерительной аппаратуры *National Instruments* и представляет из себя следующую систему, представленную на рис. 1.



Рис. 1. RAID-массив.

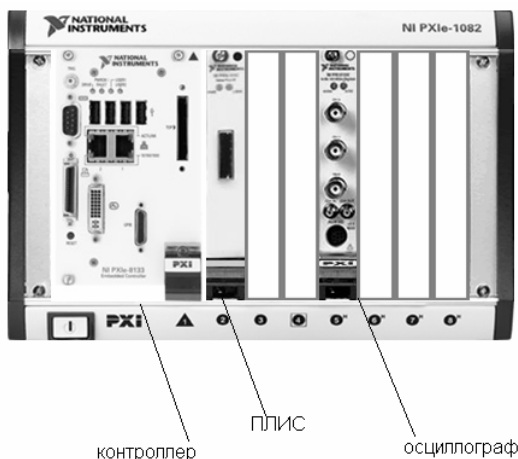


Рис. 2. Фотография крейта с подключенным контроллером и осциллографом.

Крейт (на шине *PCI-express*), в который устанавливаются плата цифрового осциллографа (в данном случае двухканального), плата контроллера и ПЛИС (программируемая логическая интегральная схема).

Принцип действия системы измерения следующий:

Осциллограф регистрирует исследуемый процесс и передает информацию на ПЛИС по высокоскоростной шине *PCI-Express*. ПЛИС, в режиме поступления информации, обрабатывает полу-

ченные данные и сохраняет результаты обработки. Параллельно промышленный контроллер записывает на *RAID*-массив исследуемый процесс целиком.

Таким образом, мы можем записать весь исследуемый процесс и в масштабе реального времени обработать его. Так как процесс записан целиком на *RAID*-массив (допустимым объемом 12 Тбайт), это дает возможность детально изучить необходимый временной интервал процесса испытаний. Параметры осциллографа позволяют оценить высокочастотные помехи, малой длительности, которые предыдущие типы осциллографов не могли зафиксировать.

Обработка исследуемого процесса заключается в формировании меток в тех местах, где измеряемый процесс выходит за заданные пределы. Большим преимуществом является то, что мы можем видеть не только момент появления помехи, но и то что происходило до её появления и после. Программное обеспечение, выполненное в среде *Lab View* позволяет гибко настраивать условия формирования меток.

Предполагаемые параметры измерительной системы:

NI PXIe-1082 – шасси 8 слотов. 4 слота PXI/PXIe, 3 PXI Express слота. Мощность 507 Вт;

NI PXIe-8133 – промышленный контроллер на базе процессора Core i7-820QM 1.3ГГц с жестким диском 250Гбайт, оперативной памятью 8 Гбайт, предустановленной *Windows XP*;

NI PXIe-5122/256Мб – цифровой осциллограф. 2 входных канала, частота оцифровки 100МГц, полоса частот 100МГц, разрешение 14 бит, входное напряжение $\pm 100\text{мВ} \dots \pm 10\text{В}$, встроенная память 256Мбайт;

NI PXI 8265 – хранилище данных. 12 Тбайт, скорость записи до 800Мб/с;

ПЛИС, параметры уточняются, они во многом будут зависеть от требований ОТТ.

Представленная система в настоящее время находится в стадии разработки и отладки. Её использование планируется при электрорадиотехнических испытаниях одного из изделий, разработки ФГУП КБ «Арсенал».

Библиографический список

1. TPS2000 Series, Digital Storage Oscilloscope, ZZZ, User Manual
2. DS1000B and TDS2000B Series, Digital Storage Oscilloscopes, ZZZ, User Manual
3. www.ni.com

УДК 621.01

ИССЛЕДОВАНИЕ УПРАВЛЕНИЯ ПЛОСКОЙ ХОДЬБОЙ СТАТИЧЕСКИ НЕУСТОЙЧИВОГО ШАГАЮЩЕГО АППАРАТА

*А.П. Борина, В.А.Терешин**

ОАО «Конструкторское бюро специального машиностроения»
(ОАО «КБСМ»),

*Санкт-Петербургский Государственный Политехнический Университет
(СПБГПУ)

Рассматривается возможность управления горизонтальным перемещением шагающего аппарата посредством выбора момента окончания шага и места постановки ноги в начале следующего шага.

Разработка шагающих машин представляет большой интерес для робототехники. Колесные и гусеничные транспортные машины оставляют за собой непрерывную колею, тратя на это большую энергию, чем в случае передвижения шагами, когда взаимодействие с грунтом происходит только в местах упора стопы. Кроме того, шагающие машины обладают большей проходимостью на пересеченной местности, т.к. имеют возможность передвигаться прыжками и перешагивать препятствия. При шагающем способе движения меньше разрушается грунт, что, например, важно в тундре.

Около 1495 года Леонардо да Винчи сделал первый чертёж человекоподобного робота. В его записях были изображены детальные чертежи механического рыцаря, который был способен раздвигать руки, двигать головой, открывать забрало. В Чечне был успешно применён робот-разведчик «Вася» для обнаружения и обезвреживания радиоактивных веществ. Для транспортировки крупнотоннажного негабаритного оборудования в малоосвоенных районах в условиях бездорожья в 2005 г. разработан BigDog — четырёхногий робот с адаптивным управлением (рис. 1).



Рис. 1. Робот Big Dog фирмы Boston Dynamics.

Для развлечения широко используется по всему миру японский робот SDR 4X (рис.2), который танцует и поет. Синтетическое существо предназначено для удовлетворения потребности человека в общении. Sony уже торгует роботом-собакой по имени AIBO (рис. 3). Проводя с хозяином день за днём, она развивается: начинает узнавать хозяина в лицо, отличает его голос, понимать новые слова, запоминает трюки, которым её обучили. В отсутствие хозяина, она может, заметив что-то необычное, выслать фотографию или звук на мобильный телефон или электронную почту.



Рис. 2. Робот SDR 4X фирмы Sony.



Рис. 3. Робот-собака AIBO фирмы Sony.

Экзоскелет – это устройство, которое одевается на человека и предназначено для расширения его возможностей, в частности, для увеличения усилий, которые может развивать человек (рис.4). Применение этого устройства может быть полезно при выполнении тяжелых работ, погрузочно-разгрузочных работ в местах, где нет возможности применения колёсных погрузчиков, при ремонтных работах на крупных объектах, при аварийно-спасательных операциях. Кроме того, экзоскелет может служить для реабилитации людей, получивших травмы конечностей и/или позвоночника.



Рис. 4. Walking assist device фирмы Honda.

Шагающее кресло WL-16 Серия Waseda-Leg (рис. 5) было создано как машина для прогулки или как альтернатива к инвалидным креслам, которые не могут справиться с лестницами. Для ног японцы решили использовать не последовательные, а параллельные кинематические механизмы 6DOF. Они, по идее, должны придать машине высокую точность действия и механическую жёсткость, которые позволяют роботу носить тяжести и передвигаться с достаточно большой скоростью [3]



Рис. 5. Шагающее кресло WL-16 Серия Waseda-Leg, разработанное университетом Waseda University и фирмой Tmsuk.

Большинство разработок в этой области представляют собой статически устойчивые системы, главные недостатки которых – большой вес и низкая скорость [2]. Для повышения маневренности таких устройств необходимо снижать степень их статической устойчивости. Работоспособность таких машин должна обеспечиваться динамической устойчивостью [1]. Статически неустойчивый аппарат по сравнению со статически устойчивым должен развивать большие скорости, обладать большей маневренностью. Однако для него становится невозможным стоять неподвижно, он должен постоянно переступать с ноги на ногу для достижения динамической устойчивости. Ходьба такого аппарата будет складываться из фрагментов асимптотически неустойчивых движений. Фактически точка опоры предполагается точечной, что приводит к невозможности устойчивого состояния при любом сколь угодно малом отклонении от положения равновесия. Система управления таким аппаратом должна обеспечивать устойчивость в целом ходьбы и ее эффективность.

В силу громоздкости задачи о динамике пространственного многозвенного механизма не удастся синтезировать систему управления, способную обеспечить аппарату динамическую устойчивость и одновременно движение около требуемой траектории. В работе сделана попытка приступить к решению этой задачи, понять принципиальные математические и технологические трудности. Для этого была исследована возможность стабилизации ходьбы наиболее простой модели плоского двуногого шагающего аппарата с точечной массой, невесомыми ногами и нулевыми размерами стоп, показанного на рис.5.

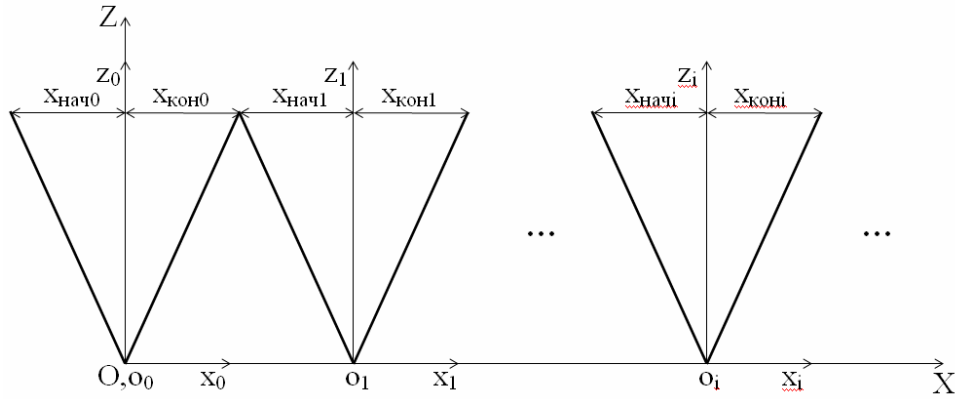


Рис.5. План положений шагающего аппарата

На каждом шаге в данной постановке задачи аппарат представляет собой перевернутый математический маятник, закон движения которого описывается уравнением

$$x = \frac{1}{2} \cdot (x_0 - \frac{\dot{x}_0}{k}) \cdot e^{k \cdot t} + \frac{1}{2} \cdot (x_0 + \frac{\dot{x}_0}{k}) \cdot e^{-k \cdot t},$$

где $x(0) = x_0$, $\dot{x}(0) = \dot{x}_0$ - начальные условия, $k = \sqrt{\frac{g}{L}}$ - частота свободных колебаний

математического маятника, L – высота центра тяжести; g – ускорение свободного падения. Вышесказанное справедливо для малых отклонений ноги от вертикального положения и медленного изменения ее длины. В дальнейшем будем предполагать, что изменяемая длина ноги обеспечивает горизонтальное перемещение аппарата. В работе ставится задача исследования возможностей управления горизонтальным перемещением посредством выбора момента окончания шага ($x_{конi}$) и места постановки ноги в начале следующего шага ($x_{начi+1}$). Очевидно, что если увеличивать $x_{конi}$ (затянутый шаг) и уменьшать $x_{начi+1}$, то скорость ходьбы будет увеличиваться, а если раньше заканчивать шаг, и следующую опорную ногу выставлять подальше, то скорость будет уменьшаться. Сформируем управление ходьбой следующим образом:

$$x_{конi} = \frac{x_m}{2} \cdot \left(\frac{1}{2} - \frac{\arctg(\psi_i \cdot k_p + \dot{\psi}_i \cdot k_d)}{\pi} \right);$$

$$x_{начi+1} = -\frac{\dot{x}_{конi}}{k} \cdot \left(\frac{1}{2} + \frac{\arctg(\psi_i \cdot k_p + \dot{\psi}_i \cdot k_d)}{\pi} \right),$$

где x_m – максимальная ширина шага, k_p и k_d – коэффициенты обратных связей по ошибке и ее скорости, $\dot{\psi}_i$ - разность между положением аппарата на шаге i при вертикальном положении ноги X_{O_i} и расстоянием до точки, куда следует прийти X_p , индекс “.” – соответствует производной по времени. Анализ этой рекуррентности наглядно представлен на фазовой плоскости рис. 7.

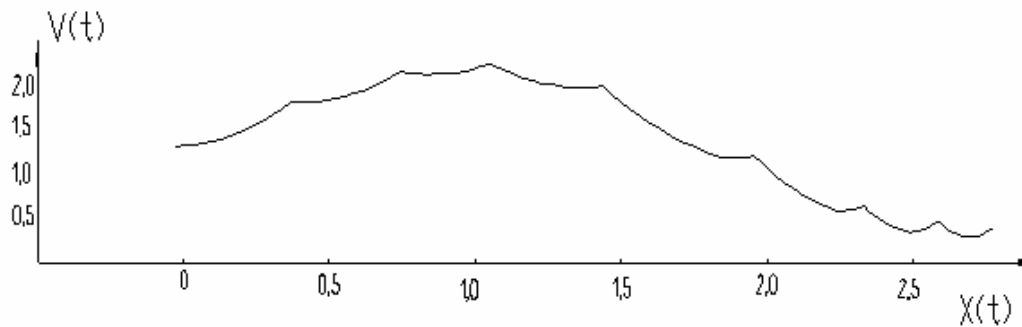


Рис. 7. Фазовый портрет ускоренной ходьбы.

После определения области устойчивости в пространстве коэффициентов обратных связей и оценки качества отработки различных режимов и ситуаций при ходьбе необходимо выполнить анализ движения аппарата на модели, учитывающей его инерционные свойства и управление длиной ноги. Однако эта задача выходит за рамки данной публикации.

Заключение

1. В работе решена плоская задача о движении статически неустойчивого двуногого шагающего аппарата по горизонтальной прямой. В качестве модели выбрана материальная точка с невесомыми ногами;

2. Управление ходьбой предложено реализовать с помощью обратных связей, определяющих момент окончания очередного шага и выбора места постановки ноги в начале следующего шага. В цепи обратной связи предложена нелинейная асимптотика при приближении к ограничениям. В основу управления длиной ноги положен принцип подчиненного регулирования для отслеживания горизонтальности траектории.

3. Исследован предложенный принцип управления на переходных режимах в характерных ситуациях при ограничении на ширину шага.

Библиографический список

1. Белецкий В.В. Двуногая ходьба: модельные задачи динамики и управления. – М.: Наука, 1984. – 464с.
2. Чернышев В.В. Поворот шагающих машин с движителями на базе цикловых механизмов. // Теория механизмов и машин: Периодический научно-методический журнал. – 2007. №2(10). – С. 72-84.
3. «Шагающее кресло WL-16 идет к японским инвалидам», www.membrana.ru.

РОБОТОТЕХНИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ДОСТАВКИ И УСТАНОВКИ УДЛИНЯЮЩИХ ХОМУТОВ

М.С. Мокин

ОАО «Конструкторское бюро специального машиностроения»
(ОАО «КБСМ»)

Представлена разработка модуля кассетной подачи хомутов и механизма доставки модуля для монтажа хомутов в местах телескопических стыков технологических каналов реактора РБМК-1000.

Введение. Реактор большой мощности канальный (РБМК) является одним из широко распространенных реакторов для АЭС в нашей стране. Ими оснащены Ленинградская, Курская, Смоленская, Игналинская АЭС. Такой тип реактора использовался на Чернобыльской АЭС.

Активная зона реактора собрана из графитовых шестигранных колонн, собранных из блоков. По центру каждого блока сквозь всю колонну проходят сквозные отверстия для размещения технологических каналов (ТК) и стержней системы управления защитой. Внутри большинства технологических каналов находятся тепловыделяющие кассеты, через которые и проходит теплоноситель-вода.

Выше активной зоны технологические каналы проходят внутри металлических труб без графитовой кладки.

Эти металлические трубы составные и имеют между собой технологический стык телескопический (ТСТ). Проблема заключается в том, что под воздействием различных внешних факторов происходит усадка нижней части трубы. Это приводит к раскрытию стыка и может повлечь за собой поломку самого технологического канала.

В настоящий момент для устранения раскрытия стыка производят остановку реактора, чтобы обслуживающий персонал мог произвести ремонтные работы. Это все приводит к существенным затратам денег и времени.

Альтернативным способом является установка удлиняющих хомутов цангового типа специальным робототехническим комплексом. Обжимающее усилие хомутов должно обеспечивать трехкратный запас прочности от осевой нагрузки при вертикальном перемещении труб.

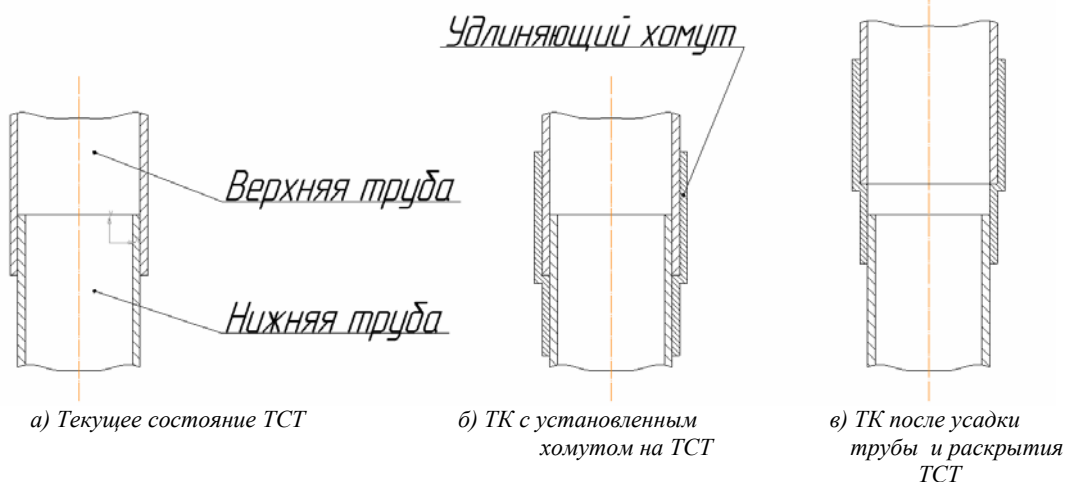


Рис. 1. Принцип восстановления ТСТ с помощью удлиняющих хомутов.

Этой проблемой занимается ЗАО «Диаконт». В конструкции этого предприятия проблемным местом является механизм подъема и съема роботизированного модуля установки хомутов. Автором представлены альтернативные конструкции модуля кассетной подачи хомутов и механизма

доставки модуля для монтажа хомутов в местах расстыковки труб с перекомпоновкой конструкции робототехнического комплекса.

1. Конструкция робототехнического комплекса

На рис.2 показана конструкция робототехнического комплекса (робота), который имеет в своем составе:

а) Самодвижущуюся платформу на гусеничном ходу (БАТ) поз.1. БАТ разработан ЗАО «Диаконт». БАТ несет на себе все оборудование. Оператор дистанционно перемещает самодвижущуюся платформу по кольцевой площадке и останавливает ее напротив каждого ряда труб;

б) Роботизированный модуль установки хомутов (РМУ) поз.2 предназначен для доставки и установки хомута на ТСТ труб. Модуль имеет в своем составе:

- механизм перемещения поз.3;

- магнитную подвеску поз.4 для удержания на потолочной поверхности;

- механизм выдвижения поз.5, предназначенный для спуска с потолочной поверхности к месту раскрытия ТСТ;

- механизм обжатия хомута поз.6;

- обзорные ТВ камеры поз.7, которые позволяют оператору обнаружить раскрытие ТСТ;

в) Механизм подъема и съема РМУ поз.8, который предназначен для подачи РМУ к потолочной горизонтальной поверхности до срабатывания постоянных магнитов механизма перемещения. Также механизм подъема и съема предназначен для снятия РМУ с потолочной поверхности и вращения его на БАТ;

г) Кассетный накопитель поз.9 содержит удлиняющие хомуты и служит для их подачи на РМУ.

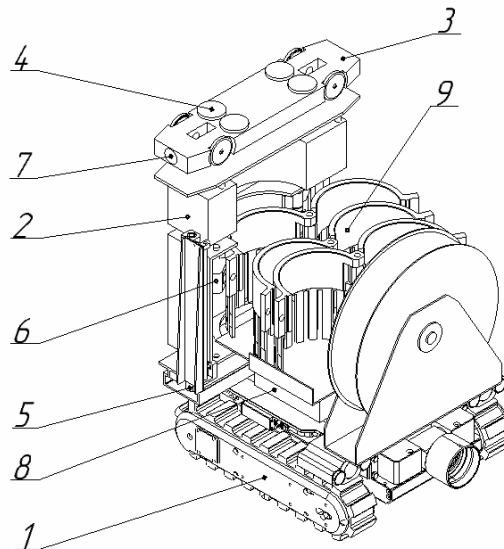


Рис.2. Конструкция робототехнического комплекса.

2. Технология доставки и установки хомутов

На рис.3 показана технология доставки и установки удлиняющих хомутов.

1. Через технологическое отверстие поз.1 робот поз.2 опускают до кольцевой площадки поз.3;

2. Робот, управляемый оператором, перемещается по площадке и останавливается напротив ряда труб, погрешность установки ± 1 мм;

3. Запускается механизм подъема и съема РМУ:

- Платформа с РМУ поз.4, который содержит хомут, выдвигается в пространство между трубами;

- Двойная шарико-винтовая передача поднимает РМУ к потолочной горизонтальной поверхности до срабатывания постоянных магнитов на механизме перемещения;

4. РМУ, перемещаясь по потолочной поверхности, с помощью видеодатчиков обнаруживает раскрытие ТСТ:

- РМУ подводится к паре труб с раскрытым ТСТ, погрешность установки ± 1 мм;
- РМУ опускается по встроенной шарико-винтовой передаче к участку раскрытия ТСТ, позиционируясь на заданной высоте с погрешностью $\pm 0,5$ мм.
- При приближении к стыку, робот заводит хомут поз.5 автоматически;
- 5. После установки хомута РМУ перемещается обратно к механизму подъема и съема, который возвращает его на БАТ;
- 6. Из кассетного накопителя поступает очередной хомут, и робот готов к дальнейшей работе.

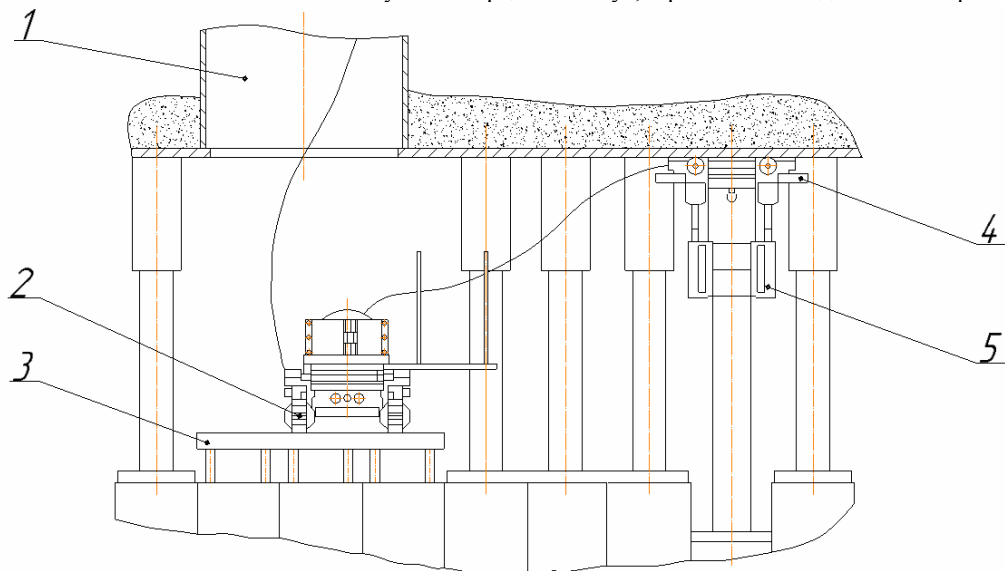


Рис.3. Технология доставки и установки удлиняющих хомутов

Заключение

1. В ходе работы были спроектированы механизм подъема и съема РМУ и кассетный накопитель, содержащий удлиняющие хомуты;
2. Было предложено конструктивное решение установить дополнительные выдвижные фиксаторы, опирающиеся на соседние трубы и тем самым снимающие момент с РМУ, т. к. существует проблема влияния крутящего момента на устойчивость РМУ от обжимающего усилия хомута, превышающего силу прижима к потолку от установленных постоянных магнитов.

Библиографический список

1. *Материалы НИР* ЗАО «Диаконт» ИТЦЯ.301532.026;
2. *Воробьев Е.И., Бабич А.В., Жуков К.П.* Механика промышленных роботов: В 3 кн./ Под ред. Фролова К.В. - М.: Высш. шк., 1989.-383 с.

ПОВЫШЕНИЕ КОНТРОЛЕПРИГОДНОСТИ НЕСУЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ СТАРТОВЫХ СООРУЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА НАТУРНЫХ ДАННЫХ ПО СИСТЕМАМ ИСПЫТАНИЯ И ДОЛГОВРЕМЕННОГО КОНТРОЛЯ

Ф. Е. Ковалев, А. А. Леонтьев, Ш. Ш. Исхаков

Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского
(ВКА им. А.Ф. Можайского)

Крупные аварии зданий и сооружений, участвовавшие в последнее время как в нашей стране, так и в мире, требуют повышения их надёжности, которая обеспечивается стадиями их проектирования, строительства и эксплуатации. Для наиболее «ответственных и уникальных» строительных объектов современная нормативная база регламентирует применение стационарных автоматизированных систем мониторинга (СМ) технического состояния несущих элементов (грунтового основания и строительных конструкций) зданий и сооружений. Вместе с тем сравнительно небольшой опыт применения этой нормативной базы в нашей стране (ГОСТ Р 22.1.12-2005 [1], ГОСТ Р 53778-2010 [2]) выявил ряд проблем, к числу основных из которых могут быть отнесены следующие:

- низкая контролепригодность строительных объектов существенно ограничивает возможности диагностирования состояния грунтовых оснований и несущих конструкций с помощью СМ, если вопросы сопряжения контролепригодности строительного объекта и технических возможностей СМ не решаются на начальной стадии проектирования вновь создаваемых сооружений, или реконструкции, капитального ремонта и технического перевооружения уже существующих объектов;
- недостаточный практический опыт применения СМ обуславливает низкий уровень научного обоснования программно-методического обеспечения функционирования СМ в режиме экспертных диагностических систем;
- указанные проблемы не позволяют достигать требуемого уровня достоверности диагностирования состояния несущих элементов строительных объектов и своевременно прогнозировать опасные ситуации, связанные со снижением их несущей способности в процессе длительной эксплуатации.

Одними из «ответственных и уникальных» строительных объектов в составе наземных космических комплексов являются стартовые сооружения (СС) для запуска ракет космического назначения (РКН). В отличие от объектов других отраслей (гидротехнических сооружений, атомных станций, сооружений промышленности и т.п.), для которых реально существуют вышеуказанные проблемы применения СМ, СС выгодно отличаются многолетним опытом (с начала 70-х годов XX века) применения СМ в виде систем испытания и долговременного контроля (ИДК) (рис. 1).



Рис. 1. Структурная схема системы ИДК на СС для запуска РКН [1].

Научная школа проектирования и применения систем ИДК, созданная в ВКА имени А.Ф. Можайского [3], свидетельствует о том, что контролепригодность строительных объектов зависит прежде всего от номенклатуры и объёма применяемых в составе СМ технических средств, обуславливающих физические параметры, контроль которых обеспечивает диагностирование состояния несущих элементов строительного объекта при заданных функциональных воздействиях на него (рис. 2). При этом приходится учитывать, что успешность диагностирования состояния любого строительного объекта [в том числе и СС (рис. 2)] определяется тем, установлены ли те или иные средства СМ ещё на стадии строительства СС, каковы долговечность и ремонтпригодность («живучесть») этих средств и их информативность.

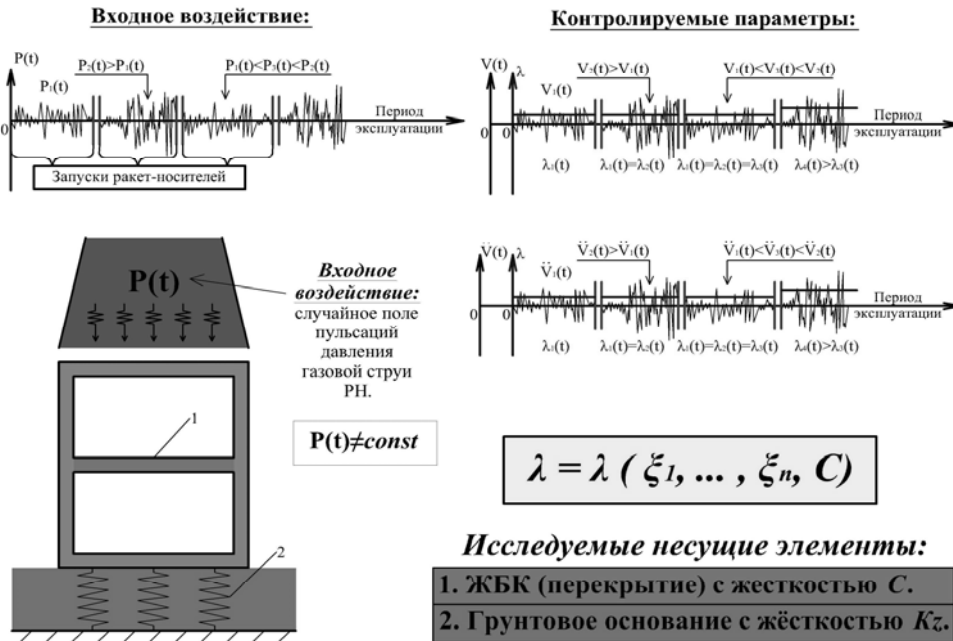


Рис. 2. Модель СС при воздействии динамических нагрузок от газовой струи РКН.

Наиболее информативными средствами из состава систем ИДК для контроля параметров (напряжений) в несущих элементах СС (рис. 2) являются комплекты тензометрического контроля (ТК) (рис. 1), датчики которых должны устанавливаться в грунтовое основание и в несущие железобетонные конструкции (ЖБК) на стадии строительства СС. Однако именно тензометры обладают наиболее низкой «живучестью» (5 – 10 лет) и не подлежат восстановлению в случае выхода их из строя. При этом следует иметь ввиду, что современные средства неразрушающих методов контроля (НМК) (рис. 1) позволяют определять прочность бетона при толщах ЖБК не более 60 см, что неприемлемо для СС с метровыми толщами ЖБК. Кроме того, если комплект ТК первоначально не устанавливался на объекте, то в случае реконструкции СС (например, под новый тип РКН типа «Ангара») информация о фактических напряжениях, возникающих в грунтовом основании и в несущих ЖБК, будет отсутствовать при последующей эксплуатации данного СС (рис. 2). Отсутствие этой информации в определённой мере может компенсироваться данными геодезического контроля (ГК) (по параметрам деформаций грунтового основания и несущих ЖБК и пространственного положения СС) и вибрационного контроля (ВК) (рис. 1).

Участие ВКА имени А.Ф. Можайского в работе I Национального Конгресса по безопасности в строительстве (Москва, ВВЦ, май 2010 года) и публикация доклада на этом Конгрессе [4] показали, что развитые в академии методы вибрационного диагностирования состояния строительных объектов на базе систем ИДК на основе спектрального анализа реализаций акселерограмм, генерируемых воздействием случайного поля пульсаций давления газовой струи РКН (рис. 2), позволяют с высокой степенью информативности и достоверности диагностировать снижение несущей способности

грунтовых оснований и несущих ЖБК сооружений по снижению жёсткости C их несущих элементов (рис. 3).

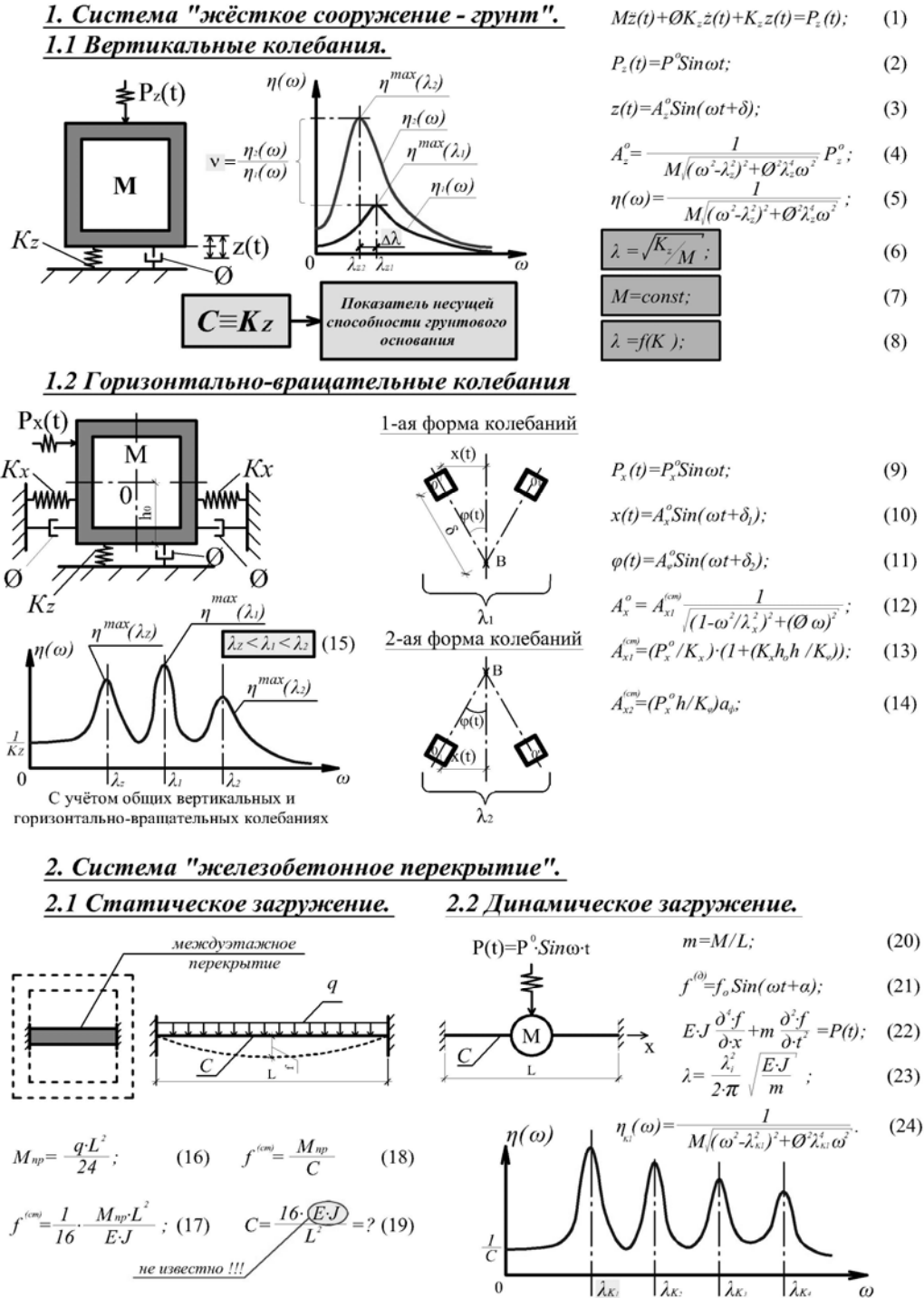


Рис. 3. Теоретическая идентификация условно дискретных j-х динамических систем, входящих в состав сооружения.

С учётом известной проблемности грунтового основания СС, реконструируемого под РКН «Ангара», связанной с наличием карстовых пустот под подошвой СС и риском возникновения в этой связи неблагоприятных ситуаций при эксплуатации данного СС, использование вибрационной диагностической системы (ВДС) на данном СС с программно-методическим обеспечением, разработанным в ВКА [4], позволит своевременно получить информацию о недопустимом снижении несущей способности грунтового основания и несущих ЖБК данного СС. Однако для этого необходимо переработать проект комплекта ВК, предусмотренный на данном СС в составе системы ИДК (рис. 1), поскольку реализация указанного проекта комплекта ВК предусматривает лишь контроль уровня ускорений (перегрузок) на данном СС при пусках РКН для установления условий функционирования технологического оборудования на СС, но никак не обеспечивает диагностирование напряжённо-деформированного состояния (НДС) грунтового основания и несущих ЖБК, что всегда являлось традиционной задачей систем ИДК [3, 4]. В этой связи авторы данной статьи выражают надежду, что предложения ВКА имени А.Ф. Можайского, разрабатываемые в настоящее время в целевой НИР по данной теме, найдут своё воплощение по усовершенствованию комплекта ВК на данном СС для РКН «Ангара» в целях получения крайне важной информации об НДС несущих элементов и повышения надёжности эксплуатации данного СС.

Библиографический список

1. *ГОСТ Р 22.1.12-2005*. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Структурированная система мониторинга и управления инженерными системами зданий и сооружений. Общие требования. – М.: МЧС РФ, 2005. – 90 с.
2. *ГОСТ Р 53778-2010*. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния. – М.: Стандартинформ, 2010. – 22 с.
3. *Ковалев Ф.Е., Исхаков Ш.Ш., Васкевич В.М.* Возможности использования систем испытания. ... – М., 2009. – 49 с. – деп. в ЦИФТИ МО 18.11.09, № А30389.
4. *Козин П.А., Исхаков Ш.Ш., Васкевич В.М., Ковалев Ф.Е.* Методы вибрационного и тензометрического диагностирования состояния несущих конструкций и грунтовых оснований специальных сооружений при воздействии динамических нагрузок // Предотвращение аварий зданий и сооружений. – Москва, 2010. – выпуск 9. – С. 404 – 414.

УДК 519.81: 621.31

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫХ ОПОРНЫХ РЕШЕНИЙ В ЗАДАЧАХ ОПТИМАЛЬНОГО ПО БЫСТРОДЕЙСТВИЮ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ

Е.П. Вишняков, А.Н. Герасимов, В.В. Карагодин

Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского
(ВКА им. А.Ф. Можайского)

Современный уровень развития вычислительной и микропроцессорной техники позволяет реализовать практически любые законы управления техническими объектами, включая и объекты систем электроснабжения военного и общепромышленного назначения. При этом основная задача при проектировании автоматических систем сводится фактически к синтезу алгоритмов управления. В связи с этим значительный интерес представляют оптимальные законы управления, позволяющие обеспечить наибольшую эффективность процессов регулирования.

Особое место в теории оптимального управления занимает проблема предельного быстродействия. Время перевода объекта из одного режима в другой зачастую является одним из основных показателей качества системы управления. Наряду с этим системы оптимального быстродействия, кроме обеспечения минимума времени переходного процесса, в ряде случаев обеспечивают высокую динамическую точность. Такие системы могут оказаться близкими к оптимальным и по другим

критериям, но обеспечивают по сравнению с ними дополнительный выигрыш, минимизируя время переходного процесса.

Из всех методов нахождения оптимальных управлений для решения задач предельного быстрого действия для широкого класса объектов наибольшее применение получил принцип максимума Л.С.Понтрягина [1].

Задача оптимального по быстрдействию управления в общем случае может быть сформулирована следующим образом.

Пусть объект управления описывается системой дифференциальных уравнений

$$\frac{dx_i}{dt} = f(x_1, \dots, x_n, u_1, \dots, u_r), i = \overline{1, n}, \quad (1)$$

или в векторной форме

$$\frac{dx}{dt} = f(x, u),$$

где $x = \{x_i, i = \overline{1, n}\}$ – n -мерный вектор фазового состояния объекта;

$u = \{u_j, j = \overline{1, r}\}$ – r -мерный вектор управления.

При этом предполагается, что управления $u_j(t)$ являются кусочно-непрерывными функциями времени и принимают значения из некоторой замкнутой области (области ограничений) U_r – r -мерного пространства управлений, определяемой как

$$U = \{u(t): |u_j(t)| \leq u_{mj}, j = \overline{1, r}\}.$$

Функции $f_i(x, u)$ непрерывны по всем аргументам и имеют непрерывные частные производные по зависимым переменным x_i .

Среди допустимых управлений требуется определить управление $u(t)$, переводящее объект (1) из начального положения x^0 в область достижимых состояний R за минимально возможное время, т.е. минимизирующее функционал

$$J(x, u) = \int_{t_0}^{t_k} dt = t_k - t_0 = T_k \rightarrow \min$$

В таком общем виде задача нахождения алгоритма управления не всегда имеет приемлемые решения. Поэтому при решении сформулированной задачи оптимального быстрого действия ограничимся рассмотрением важных не только для теории, но и для практики стационарных линейных объектов и нелинейных объектов, содержащих безынерционные звенья с монотонными характеристиками. При этом будем полагать, что на входе объекта управления имеется одна переменная $u(t)$ (т.е. одно управляющее воздействие). В качестве области R будем рассматривать начало координат фазового пространства (задача о регуляторе, оптимальном по быстрдействию).

Считаем, что для рассматриваемых объектов оптимальное по быстрдействию управление существует, единственно и является кусочно-постоянным [1].

Оптимальное управление может определяться как функция времени (задача расчета оптимальной программы) $u = u(t)$ или как функция координат состояния системы (задача регулярного синтеза оптимального управления) $u = u(x)$. В дальнейшем будем рассматривать первую из этих задач – задачу расчета оптимальной программы, которая представляет интерес и как самостоятельная задача и как первый и неизбежный этап задачи синтеза системы управления.

Принцип максимума позволяет трансформировать исходную задачу к решению двухточечной краевой задачи, получение которого представляет значительную сложность и требует применения численных методов, за исключением некоторых объектов второго и третьего порядка. Для ее решения может быть использован один из известных подходов.

Первый подход [2, 3] связан с совместным решением дифференциальных уравнений объекта управления и уравнений для сопряженных переменных $\Psi(t)$.

При практическом применении данного метода приходится сталкиваться со значительными трудностями, связанными со сложностью определения начального приближения вектора $\Psi(t_0) = \Psi^0$

сопряженной системы и направления его изменения, с тем чтобы траектория приближалась при последующих итерациях к заданной точке пространства $x_i(T_k) = x_i^k$.

В случае, когда может быть найдено общее решение, которое можно представить в виде

$$x_i = x_i(t, C_1, C_2, \dots, C_{2n}),$$

$$\Psi_i = \Psi_i(t, C_1, C_2, \dots, C_{2n}), i = \overline{1, n}$$

где C_1, C_2, \dots, C_{2n} – произвольные постоянные.

Для нахождения решения краевой задачи также требуется соответствующим образом выбрать произвольные постоянные.

Таким образом, успех решения краевой задачи определяется в первую очередь удачным выбором первого приближения, которое гарантировало бы сходимость итерационного процесса.

Второй подход заключается в определении длительностей интервалов знакопостоянства управляющего воздействия (моментов переключения), исходя из знания структуры управления [2].

В этом случае используется непрерывность решений дифференциальных уравнений, описывающих движение объекта управления, т.е. непрерывность изменения координат объекта при переключении знака релейного управляющего сигнала.

Используя метод припасовывания и учитывая смену знака управляющего воздействия, можно получить трансцендентную алгебраическую систему уравнений относительно длительностей интервалов управления $t_j (j = 1, 2, \dots, k, \dots)$

$$F(x_i^0, x_i^k, t_1, t_2, \dots, t_j, \dots, u_m \text{sign} u_1) = 0,$$

где $\text{sign} u_1$ – знак управляющего воздействия на первом интервале, $i = \overline{1, n}$

Задача отыскания оптимального управления в этом случае сводится к решению нелинейной алгебраической системы n уравнений относительно длительностей интервалов t_j . В общем случае эта система уравнений может быть решена одним из численных методов. Для ее решения необходимо иметь начальное (нулевое) приближение неизвестных $t_1^0, t_2^0, \dots, t_j^0$, обеспечивающее сходимость используемых для решения численных методов. Однако получение такого начального приближения представляет собой также трудную задачу.

Имеющиеся рекомендации по выбору начального приближения, как следует из известной нам литературы [2, 3], не привели к приемлемым для практического использования результатам.

Решить проблему выбора начального приближения позволяет предложенный авторами метод последовательных опорных решений (МОПР).

Пусть для сложного управляемого объекта, поведение которого описывается системой дифференциальных уравнений

$$\dot{x} = f(x, u),$$

где x – вектор фазовых координат;

$u: |u| \leq u_m$ – ограниченное управляющее воздействие;

требуется определить оптимальное по быстрдействию управление, переводящее его из произвольного начального положения $x(t_0) = x^0$ в конечное $x(t_k) = x^k$.

Будем считать, что процедура нахождения оптимального управления для объекта управления известна (она может быть реализована на основе одного из рассмотренных выше подходов) и сводится к построению последовательности приближений, которая при некоторых предположениях сходится к решению и строится рекуррентно $\alpha_{j+1} = S(\alpha_j)$, где $S(\alpha)$ – оператор, определенный в шаре $\|\alpha - \alpha_0\| < R$ некоторого B -пространства $L(\alpha_0 \ni L)$.

Фактически это метод последовательных приближений, в котором каждое новое приближение вычисляется, исходя из предыдущего, а выбор начального приближения, как отмечалось выше, проблематичен.

Воспользовавшись для описания объекта управления понятиями передаточной функции и структурной схемы, получившими широкое распространение в теории автоматического управления, представим сложный объект с передаточной функцией $W(p)$ в виде параллельного соединения k – простых структур или их сочетаний. В качестве простых структур следует использовать динамиче-

ские звенья первого или второго порядка или их соединения. Из числа этих структур выбирается опорная структура с передаточной функцией $W^{(1)}(p) = W_1(p)$.

Под опорной структурой будем понимать одну из числа простых структур, оказывающую наибольшее влияние на длительность переходного процесса объекта управления, и нахождение оптимального управления для которой не представляет особых трудностей.

Исходя из приведенного определения, при выборе опорной структуры следует исходить из степени влияния этой структуры на длительность переходного процесса.

Процедуру нахождения оптимального управления по переводу объекта $W_1(p)$ из положения $x^{(1)}(t_0) = x^{0(1)}$ в $x^{(1)}(t_k) = x^{k(1)}$, которую считаем также известной, обозначим оператором $S^{(1)}$, определенным в шаре $\|\alpha^{(1)} - \alpha_0^{(1)}\| < R^{(1)}$ некоторого B -пространства $L(\alpha_0^{(1)} \in L)$ и позволяющим, начиная с начального приближения $\alpha_0^{(1)}$, построить последовательность приближенных решений

$$\alpha_{j+1}^{(1)} = S^{(1)}(\alpha_j^{(1)}),$$

предел которой является искомым решением.

Отметим, что порядок оптимизируемого объекта при этом уменьшается до порядка первой опорной структуры, а, следовательно, уменьшается и размерность оператора S до размерности оператора $S^{(1)}$.

В дальнейшем будем считать, что все используемые операторы $S^{(i)}(\alpha^{(i)})$ также определены в шаре $\|\alpha^{(i)} - \alpha_0^{(i)}\| < R^{(i)}$ некоторого B -пространства $L(\alpha_0^{(i)} \in L)$.

Оператор $S^{(1)}$ назовем оператором первого опорного решения. Выбор начального приближения $\alpha_0^{(1)}$ для реализации оператора $S^{(1)}$, очевидно, особой трудности не представляет, поскольку оператор $S^{(1)}$ представляет собой процедуру нахождения неизвестных $\alpha^{(1)}$, которая может быть представлена, как правило, в виде аналитического решения.

Результат $\alpha^{(1)}$ выполнения оператора первого опорного решения $S^{(1)}$ будет являться первым опорным решением, которое определяет оптимальное управление по переводу объекта $W^{(1)}(p)$ из положения $x^{(1)}(t_0) = x^{0(1)}$ в $x^{(1)}(t_k) = x^{k(1)}$. Полученный результат $\alpha^{(1)}$, представляющий собой первое опорное решение, которое далее используется в качестве начального приближения для реализации оператора второго опорного решения $S^{(2)}(\alpha^{(2)})$, позволяющего, начиная с начального приближения $\alpha_0^{(2)} = \{\alpha^{(1)}, \Delta^{(1)}\}$, построить последовательность приближенных решений $\alpha_{j+1}^{(2)} = S^{(1)}(\alpha_j^{(2)})$, предел которой определяет оптимальное управление по переводу объекта $W^{(2)}(p)$ из $x^{(2)}(t_0)$ в положение $x^{(2)}(t_k)$.

Объект $W^{(2)}(p)$ представляет собой соединение опорной структуры $W^{(1)}(p)$ с одной или несколькими структурами из числа оставшихся простых структур.

Поскольку в общем случае размерность оператора второго опорного решения $S^{(2)}$ больше размерности оператора первого опорного решения $S^{(1)}$, то $\alpha^{(1)}$ не определяет начальное приближение для всех $\alpha^{(2)}$, $\alpha_0^{(2)} = \{\alpha^{(1)}, \Delta^{(1)}\}$. Начальное приближение для остальных неизвестных

$\Delta^{(1)} = \{\alpha^{(n_1+1)}, \dots, \alpha^{(n_2)}\}$ требуется определить дополнительно.

Результат $\alpha^{(2)}$ выполнения оператора $S^{(2)}$ будет являться вторым опорным решением, которое будет использоваться в качестве начального приближения для реализации оператора третьего опорного решения $S^{(3)}$ и т.д.

В результате выполнения оператора $(r-1)$ – опорного решения $S^{(r-1)}(\alpha^{(r-1)})$ будет получено $(r-1)$ -е опорное решение, которое используется в качестве начального приближения для выполнения оператора r -го опорного решения $S^{(r)}(\alpha^{(r)}) = S$, представляющего собой процедуру нахождения оптимального управления для исходного объекта, а решение $\alpha^{(r)}$ определяет само оптимальное управление.

Таким образом, предложенный метод последовательных опорных решений основан на построении последовательности операторов $S^{(1)}, S^{(2)}, \dots, S^{(r)}$, которые, последовательно усложняя структуру объекта, все ближе и ближе приближают получаемое решение к оптимальному, используя решение на предыдущем шаге в качестве начального приближения для выполнения следующего оператора.

Алгоритм метода последовательных опорных решений может быть представлен в виде:

$$\alpha^{(k+1)} = S^{(k+1)}(\alpha^{(k)}, \Delta^{(k)}), \quad k = 0, 1, 2, \dots, r,$$

где $\alpha^{(k)} = \{\alpha_1^{(k)}, \alpha_2^{(k)}, \dots, \alpha_j^{(k)}, \dots\}$;

$\Delta^{(k)}$ – недостающие начальные приближения на $(k+1)$ – шаге.

Недостающие приближения неизвестных $\Delta^{(k)}$ необходимо определять дополнительно с учетом реальных свойств присоединяемых структур.

В общем случае не всегда при переходе от одной структуры к другой удастся удачно выбрать недостающие приближения. Это может быть связано с соотношением параметров звеньев и начальных условий. В этих случаях в качестве следующей структуры может выбираться структура с измененными параметрами или другими начальными условиями, для которых могут быть выбраны хорошие начальные приближения.

В отличие от известных методов последовательных приближений в предложенном МПОР в процессе решения происходит изменение порядка и структуры объекта (решаемой системы уравнений), что на наш взгляд и определяет успех применения метода.

Разработанный метод численного решения задач оптимального по быстродействию управления позволит за счет гарантированной и быстрой сходимости итерационных процессов реализовать оптимальные регуляторы электроэнергетическими объектами в масштабе реального времени, тем самым, повышая надежность и устойчивость их функционирования.

Библиографический список

1. *Атанс М., Фалб П.* Оптимальное управление, – М.: Машиностроение, 1968. – 764 с.
2. *Антомонов Ю.Г.* Синтез оптимальных систем. – Киев: Наук. думка, 1972. – 320 с.
3. *Моисеев Н.Н.* Элементы теории оптимальных систем. – М.: Наука, 1975. – 528 с.

УДК 621.736

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ АЛГОРИТМА ДЕМОДУЛЯЦИИ СИГНАЛЬНО-КОВОЙ КОНСТРУКЦИИ НА ОСНОВЕ ТРЁХМЕРНОЙ СИМПЛЕКС-РЕШЁТКИ ДЛЯ МОДЕМА КВ РАДИОСВЯЗИ

А.В. Волкова

ФГУП «Научно-производственное объединение «Импульс»
(ФГУП «НПО «Импульс»)

Одним из факторов, определяющих реально достижимое значение скорости передачи, являются применяемые виды модуляции и кодирования сигналов. Но применение обычных видов модуляции позволяет увеличить скорость передачи при заданной допустимой помехоустойчивости за счёт снижения спектральной и энергетической эффективности. В качестве варианта решения указанных недостатков предлагается использовать иной вид модуляции, а именно СКК на основе трёхмерной симплекс-решётки.

Техника модуляции сигнально-кодовой конструкции «симплекс-решётка» состоит в следующем. Поток бит разделяется на первичные группы по n бит, каждой из которых ставится в соответствие скаляр по определённому манипуляционному закону. Три первичные группы образуют вторичную группу. В трёхмерном пространстве строится вектор, координаты которого являются найденными скалярами. Определяются четыре проекции вектора на плоскости, перпендикулярные главным диагоналям куба. Такие плоскости будем называть сигнальными плоскостями. Каждый вектор проекции определяет собой одну посылку сигнала в комплексной форме. Назовём такие посылки первичными. Первичные посылки объединяются во вторичную посылку, которая представляет собой сигнал, соответствующий $3 * n$ битам. Таким образом, в канал могут быть переданы две, три или четыре первичные посылки. Передача большего числа посылок эквивалентна использованию кода, корректирующего ошибки. Алгоритм демодуляции состоит в определении весов различ-

ных значений скаляров и последующем определении значения переданного в канал трёхмерного вектора по методу максимального правдоподобия. Таким образом, в пределах выбранной скорости кодирования, то есть на двух, трёх или четырёх посылках, реализуется мягкое декодирование [1].

Описанный процесс модуляции-демодуляции предполагает применение специфических для данной области алгоритмов. Следовательно, появляется необходимость оценить их вычислительную сложность и выявить особенности реализации алгоритмов на современной элементной базе. Настоящая работа посвящена оценке алгоритмической сложности процесса модуляции/демодуляции для модема декаметрового радиосвязи.

С целью достижения высокой производительности при инициализации модема имеет смысл сформировать общие данные, которые впоследствии будут использованы при модуляции и демодуляции. Получение этих данных сопряжено с вычислительной трудоёмкостью, а значения их определяется только параметрами модема. К параметрам модема следует отнести количество бит в первичной группе (обозначим, как n), а также количество первичных посылок (обозначим, как $numSecondary$). Обозначим количество точек на сигнальной плоскости через $numLines$. В таблице 1 представлены данные, которые вычисляются при инициализации модема. В таблице 2 приведены результаты оценки объёма памяти, необходимой для хранения полученной информации.

Таблица 1. – Данные, вычисляемые при инициализация модема.

Название массивов	Объём памяти	Количество сложений /умножений	Применение
Манипуляционный код (+обратный модуляционный код) ¹	$2 * 2^n$ (1 байт)	$n * \log_2(n)$	Манипуляционный код при модуляции и демодуляции
Координаты сигнальных точек	$2 * numLines = 2 * ((3 * (2^n)^2 - 3 * 2^n + 1))$ $numLines = (3 * (2^n)^2 - 3 * 2^n + 1)$ (4 байт)	n^2	Параметр для мягкого декодирования
Вероятность того, что имеет место данная точка куба при заданной точке сигнальной плоскости	$2^{3*n} * numLines * numSecondary$ (4 байт)	$n^2 / 3 * 2^n * numSecondary$	Демодуляция

Таблица 2. – Объём памяти, необходимый для реализации модема, в зависимости от количества бит для первичной группы и количества вторичных посылок.

	$numSecondary$	2	3	4
n				
	2	19 Кбайт	29 Кбайт	38 Кбайт
	3	678 Кбайт	1016 Кбайт	1354 Кбайт
	4	23 Мбайт	34 Мбайт	46 Мбайт

Алгоритм модуляции состоит в следующем: разбить входной поток на первичные группы; поставить в соответствие каждой группе скаляр по определённому закону; спроецировать точку на сигнальную плоскость (плоскость, перпендикулярную главной диагонали); сопоставить точке на плоскости сигнал. Алгоритм модуляции не является трудоёмким, поскольку упомянутое выше проецирование точки куба сводится к несложным вычислениям с участием поворачивающих матриц и матриц преобразования координат.

¹ В качестве манипуляционного кода выбирался код Грея.

Алгоритм демодуляции разделяется на следующие этапы: нахождение вероятности того, что принятому сигналу соответствует фиксированная точка на сигнальной плоскости; нахождение точки куба, которой отвечает большая совместная вероятность для всех вторичных посылок; сопоставление точке куба три скаляра; сопоставление трём скалярам потока бит. В таблице 3 описана вычислительная сложность основных операций процесса демодуляции. В таблице 4 приведена оценка количества операций для алгоритма демодуляции. При этом учитывалось, что для расчёта вероятности передачи каждой точки куба для всех плоскостей операции сложения и умножения могут быть объединены в единую операцию умножения с накоплением, реализованную на процессорах цифровой обработки сигналов, так как они представляют операцию перемножения матриц.

Далее оценивается тактовая частота, с которой необходимо выполнение операций. Ограничивающим условием здесь будет минимальная скорость передачи. В таблице 5 приведено максимально допустимое время, требуемое на обработку одного символа. Стоит отметить, что в общем случае это время не должно зависеть от количества вторичных посылок.

$$R_{\text{bit}} > 32 \cdot 10^3 \text{ бит/с}$$

$$R_{\text{sym}} = \frac{R_{\text{bit}}}{3 \cdot n}, \text{ где } n - \text{ количество бит в первичной группе.}$$

$$R_{\text{sym}} > \frac{32 \cdot 10^3}{3 \cdot n} \quad t_{\text{sym}} < \frac{3 \cdot n}{32 \cdot 10^3}$$

Таблица 3. – Вычислительная сложность процесса демодуляции.

Операция	Количество сложений	Количество умножений
Расчёт вероятности передачи каждой точки созвездия при приёме данного сигнала		$\text{numSecondary} \cdot (3 \cdot (2^n)^2 - 3 \cdot 2^n + 1)$
Расчёт вероятности передачи каждой точки куба для всех плоскостей	$\text{numSecondary} \cdot (3 \cdot (2^n)^2 - 3 \cdot 2^n + 1) \cdot 2^{3 \cdot n}$	$\text{numSecondary} \cdot (3 \cdot (2^n)^2 - 3 \cdot 2^n + 1) \cdot 2^{3 \cdot n}$
Поиск точки куба, которому соответствует максимальная вероятность	$2^{3 \cdot n}$	

Таблица 4. – Количество операций, необходимых для демодуляции.

	numSecondary	2	3	4
n				
2		4 874	7 279	9684
3		173 906	260 603	347 300
4		5 911 970	8 865 907	11 819 844

Таблица 5. – Время, требуемое на демодуляцию.

n	t_{sym} , мс
2	0.1875
3	0.2813
4	0.3750

Исходя из приведённых в таблице 5 данных можно оценить минимальную тактовую частоту процессора для разных позиционностей модуляции. Оценка произведена по следующей формуле:

$$f = \frac{t_{\text{sym}}}{\text{numOp}}, \text{ где numOp - требуемое число операций (выбиралось для количества первичных посылок равных четырём), } t_{\text{sym}} - \text{ время, затрачиваемое на обработку одного символа модуляции.}$$

Расчёт показал, что для параметров модема $n = 3$ и $n = 4$ (модуляция с высокой позиционностью) величина требуемой тактовой частоты является неприемлемой (превышает 500 МГц).

Для решения проблемы недостаточной производительности предложено использовать методы распараллеливания алгоритмов, которые могут быть применены к имеющимся операциям перемножения матриц, а также алгоритму поиска. Помимо этого, обработку первичных посылок можно производить также независимо. Таким образом, для реализации описанного выше модема требуются высокопроизводительные многоядерные процессоры цифровой обработки сигналов.

Библиографический список

1. Путилин А. Н., Волкова А. В. Сигнально-кодовая конструкция на основе трёхмерной симплекс-решётки // 12-я Международная конференция «Цифровая обработка сигналов и её применение» («DSPA-2010»). М, 2010.

УДК 621.3.049.779

ПРИНЦИПЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ И АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИК АВТОКОЛЕБАТЕЛЬНОГО МИКРОМЕХАНИЧЕСКОГО ГИРОСКОПА

А.А. Тыртычный

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения
(ГУАП)

Рассмотрев различные конструкции существующих сегодня микромеханических инерциальных датчиков, можно выделить их основные принципиальные недостатки.

Во-первых, чрезмерное увлечение минимизацией габаритов приборов привело к существенной потере их чувствительности к входному воздействию, увеличению влияния помех разного рода и, соответственно, снижению точности измерения. Попытки переломить ситуацию за счет ужесточения технологических требований не дали желаемого результата. В результате лишь существенно возросли затраты на изготовление приборов, а улучшение метрологических характеристик было незначительным.

Во-вторых, использование ёмкостных силовых преобразователей, имеющих исключительно малые силовые характеристики, приводит к необходимости использования резонансных режимов работы приборов, а также требует уменьшения массы чувствительных элементов (ЧЭ). Более того, для обеспечения высокой добротности колебательной системы прибора необходимо осуществлять вакуумирование и герметизацию внутреннего объема датчика, что само по себе является достаточно сложной технологической операцией.

В-третьих, малые геометрические размеры подвижных ЧЭ приборов и их реакция на воздействия измеряемых физических величин в виде микро- и наноперемещений приводят к проблеме сверхточных измерений ёмкостей и их приращений. Перемещения характеризуются единицами или долями нанометров, а вариации ёмкости – единицами фемтофарад.

В настоящее время говорить об измерениях таких величин с возможной оценкой погрешности измерений не имеет смысла. Можно говорить о порядке измеряемой величины, понимая при этом, что погрешность измерений может достигать 100%. Фактически речь идет об оценке чувствительности преобразователей перемещений. При этом ограничения чувствительности связаны с флуктуационными процессами как в самом преобразователе, так и в электрических цепях электронных блоков [1].

Кроме того, ёмкостной способ измерения требует сложных схем преобразования сигналов и обладает плохой помехозащищенностью. Появление паразитных ёмкостей в цепях связи датчика перемещений с блоками преобразования полезного сигнала приводит к значительному ухудшению соотношения сигнал-шум. При этом выходной сигнал датчика положения содержит, кроме полезного сигнала, синфазные и квадратурные составляющие, которые необходимо каким-либо способом устранять.

В-четвертых, ёмкостные преобразователи перемещений и компенсирующие силовые преобразователи имеют нелинейные характеристики преобразования, что требует введения дополнительных корректирующих устройств в контурах приборов для линеаризации их характеристик.

Для прорыва в области создания высокоточных и высокочувствительных микромеханических инерциальных датчиков необходим поиск принципиально новых схемотехнических и конструктивных решений. Однако это требует нового мышления, ухода от стереотипных конструкций и использования при проектировании датчиков новых совершенных компонентов.

Особенно это очевидно, если говорить о создании микромеханических приборов, способных по своим характеристикам конкурировать с лазерными или волоконно-оптическими датчиками.

Значительное расширение объема задач управления и навигации с одновременным ужесточением требований к точностным и массо-габаритным характеристикам приборов требует поиска новых путей создания прецизионных цифровых малогабаритных и микроминиатюрных датчиков. Причем, наиболее перспективной представляется разработка таких принципов построения приборов, в которых использование процессорного управления было бы естественно в силу сущности способа их функционирования и расширяло бы возможности повышения эффективности получения информации как за счет технической реализации и выбора режима работы, так и за счет программного управления ими.

Исходя из изложенной в [2] концепции предложена принципиальная схема автоколебательного микромеханического гироскопа (АММГ), представленная на рисунке 1. Датчик представляет собой двухмассовый гироскоп LL-типа и выполняется по кремниевой технологии с применением магнитоэлектрических и оптоэлектронных преобразователей.

Две подвижные инерционные массы (ИМ) 1 и 10 закреплены на упругих элементах подвеса 16 и 11 в несущей раме в зазоре между двумя постоянными магнитами с возможностью линейного перемещения по двум взаимно перпендикулярным (продольной и поперечной) осям. ИМ представляют собой пластины из монокристаллического кремния с прямоугольными оптическими щелями 4 и 7.

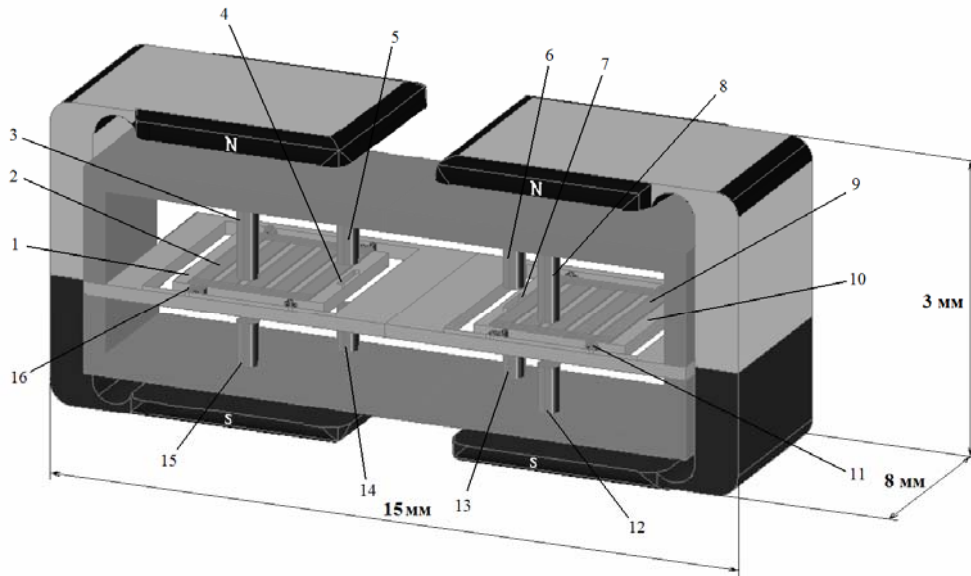


Рис. 1. Принципиальная схема АММГ (в целях наглядности указанные на рисунке пропорции отличаются от реальных).

В качестве ДП использованы оптоэлектронные преобразователи, состоящие из пар излучателей 3, 5, 6, 8 и фотоприемников 15, 14, 13, 12, построенные на основе бескорпусных элементов, не требующих применения опорных сигналов, что существенно упрощает схему прибора.

Для повышения чувствительности оптоэлектронного ДП возможно использование преобразователя с растрами. Геометрические структуры элементов, образующих растр, весьма разнообразны [3]. Например, можно использовать устройство преобразователя с плоскими параллельными растрами.

Между источником света и приёмником располагаются два растра, один из которых неподвижен, а второй перемещается. Сопряжение двух растров позволяет получить картину идущих поперёк штрихов светлых и тёмных полос, называемых комбинационными или муаровыми полосами. Высокая чувствительность к перемещению получается за счёт того, что перемещение муаровых полос ΔY оказывается во много раз больше перемещения растра ΔX [4].

Такие преобразователи обладают высокой разрешающей способностью. Когда одна пластинка перемещается по отношению к другой в направлении, перпендикулярном штрихам, полосы Муара движутся в направлении штрихов. Полосы Муара перемещаются вверх, когда пластинки движутся относительно друг друга в одном направлении, и вниз – когда в другом направлении. Длина перемещения полос существенно больше, чем расстояния между штрихами, что, в свою очередь, приводит к увеличению разрешающей способности прибора [5].

Коэффициент оптической редукции $K_{ред} = \Delta Y / \Delta X$ такого сопряжения при равных шагах растров $\omega_1 = \omega_2 = \omega$ равен $K_{ред} = 1 / \sin \alpha$ [4]. При малых углах коэффициент повышения разрешающей способности обратно пропорционален углу в радианах между штрихами α . Так для оптического преобразователя, со штрихами, расположенными на расстоянии 0,05 мм друг от друга, когда две пластинки находятся под углом 0,01 радиана этот коэффициент равен 100 [5].

В работе [6] показано, что применение в ММГ датчиков силы магнитоэлектрического типа позволяет существенно увеличить их силовые характеристики по сравнению с характеристиками электростатических ДС, что дает возможность (при некотором усложнении технологии производства) существенно расширить диапазон измерений и минимизировать погрешности датчиков, а также реализовать автоколебательные режимы. В АММГ магнитоэлектрические ДС, представленные на рисунке 2, реализованы напылением на поверхности каждой ИМ токопроводящих полосок 2 и 9. Оптические ДП переключают направление тока этих полосках, что позволяет реализовать автоколебательный режим.

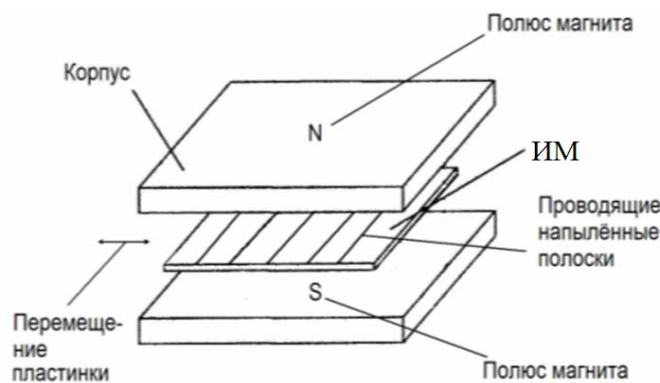


Рис. 2. Магнитоэлектрический ДС.

Переход в режим автоколебаний с достаточно низкой (дорезонансной) частотой колебаний в АММГ позволяет повысить чувствительность на порядок; отказаться от использования электростатических элементов, имеющих низкие технические характеристики; повысить за счет увеличения ИМ чувствительность и точность; существенно упростить электрическую схему прибора, схему обработки сигналов и реализовать цифровой выход. Анализ характеристик АММГ приведен в работе [1].

Использование в приборах компенсационного типа режима автоколебаний, реализующих принцип динамического уравнивания, позволяет в значительной степени разрешить указанные

ранее проблемы при создании прецизионных и высокочувствительных малогабаритных и микроинертных электромеханических инерциальных датчиков с цифровым выходом.

Реализация режима автоколебаний дает возможность решить целый ряд «тупиковых» проблем:

- существенно упростить структуру приборов, используя схемы, работающие на постоянном токе;

- использовать в конструкции приборов новые для микромеханики элементы: магнитоэлектрические ДС и фотоэлектрические ДП [7];

- разорвать однозначную связь между полосой пропускания контура и точностью датчика положения, существующую в приборах с линейными контурами управления. Зависимость погрешности измерительного устройства от полосы пропускания для линейной системы определяется соотношением $\|\Delta Y_{BX}\| = \|\Delta X\| \omega^2$, а для частоты автоколебательной системы, определяющей

период колебаний и косвенным образом моменты переключения сигнала в КП [8] $\Omega = \sqrt{K_H} \omega_0$,

где ΔY_{BX} – входное воздействие, ΔX – реакция (перемещение) системы; ω – частота системы,

Ω – частота автоколебаний, K_H – коэффициент преобразования нелинейной системы;

- минимизировать вид и время переходного процесса, доведя его при оптимальном законе управления до одного периода автоколебаний.

Изучение свойств автоколебательных систем позволило выявить еще одно, наиболее существенное, их достоинство, определяющее широкое распространение таких систем в природных, биологических и физических объектах, которое заключается в значительно более высоких характеристиках преобразования энергии, позволяющих при значительно меньших затратах (потреблении) энергии получать большее количество информации [9].

Очевидно, что это свойство имеет глубокую физическую подоплеку, поскольку в автоколебательных датчиках осуществляется измерение времени, которое, как отмечал профессор Н. А. Козырев, с философской точки зрения представляет собой физический фактор, обладающий свойствами, позволяющими ему проявляться во всех природных процессах, обеспечивая причинно-следственную связь явлений. [10]

Библиографический список

1. *Тыртычный А. А.* Анализ характеристик автоколебательного микромеханического гироскопа // Приборы. 2010. № 4. С. 37–44.
2. *Пат. 2410701* Российская Федерация. Микромеханический датчик угловой скорости / Скалон А.И., Тыртычный А.А.; патентообладатель СПбГУАП. — № 2009124889/28; заявл. 29.06.09; опубл. 27.01.11, Бюл. № 3.
3. *Э. Н. Асиновский, А. А. Ахметжанов, М. А. Габидулин и др.* Высокоточные преобразователи угловых перемещений / М.: Энергоатомиздат, 1986. 128 с.
4. *Новицкий П.В.* Основы информационной теории измерительных устройств. – Л.: Энергия, 1968. 248 с.
5. *Измерительные преобразователи.* Справочное пособие: Пер. с англ. М.: Энергоатомиздат, 1991. 144 с.
6. *Тыртычный А., Скалон А.* Анализ характеристик компенсирующих преобразователей микромеханических инерциальных датчиков // Датчики и системы. 2009. № 2. С. 21–23.
7. *Tirtichny A.* Analysis of autooscillation micromechanical gyroscope characteristics // Modern Information Society Formation – Problems, Perspectives, Innovation Approaches. 2010. Pp. 81-86.
8. *Вольфсон Г.Б., Скалон А.И.* О классе точности элементной базы в автокомпенсационных схемах гравитационных вариометров // Судостроительная промышленность. Сер. Навигация и гироскопия, 1991. Вып.1. С. 38-51.
9. *Tirtichny A.* Autooscillation Inertial Measuring Devices // Modern Information Society Formation – Problems, Perspectives, Innovation Approaches. 2010. Pp. 106-110.
10. *Жвирблис В.Е.* Диалог с Козыревым // Техника – молодежи. 2001. №12. С. 36-37.

**АНАЛИЗ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ПРОДЛЕНИЮ СРОКОВ ЭКСПЛУАТАЦИИ СИСТЕМЫ
АМОРТИЗАЦИИ СООРУЖЕНИЙ П718М**

Н.А. Уляшева

ОАО «Конструкторское бюро специального машиностроения»
(ОАО «КБСМ»)

Рассмотрены мероприятия по продлению сроков эксплуатации (СЭ) системы амортизации (СА) сооружений П718М до 30 лет, систематизированы основные эксплуатационные показатели СА, осуществлен анализ достаточности проведенных мероприятий для подтверждения эксплуатационных показателей на всех этапах жизненного цикла СА и обозначены предложения по дополнительным исследованиям и испытаниям.

Введение. Создание высокозащищенных пусковых сооружений П718 (П718М) началось в конце 60-х годов прошлого века и продолжалось до конца 80-х годов. К 1982 году в СССР находилось в эксплуатации более 300 сооружений с изделиями Р-36М, которые превосходили по своим боевым и эксплуатационным характеристикам все известные достижения США и их партнеров. Но время шло и в результате распада СССР, договоров СНВ-1, СНВ-2, а также естественного выбывания сооружений в связи с окончанием срока службы, в России на сегодняшний день в эксплуатации находятся менее сотни сооружений П718М. Гарантийный срок службы сооружений П718М, заявленный при проектировании, составляет 15 лет. Последние из них были сданы в эксплуатацию в 1992 г. В настоящее время стоит проблема продления гарантийных сроков эксплуатации этих сооружений. Понимая эту проблему, в 1991 г. году принято решение о начале опытно-конструкторских работ (ОКР) по данной тематике [1].

В результате проведенных работ срок эксплуатации сооружения П718 был продлен до 30 лет. С 2003 по 2010 г.г. в рамках ОКР проводились работы по обоснованию возможности продления до 25 лет срока эксплуатации сооружений П718М. Исследования оборудования проводились на объектах при выполнении планового регламентированного технического обслуживания (РТО), а также на предприятиях промышленности и в научно-исследовательских организациях.

ОАО «КБСМ» совместно с организациями-смежниками разработали программно-методическую документацию, в которой были приведены способы и методики обследований и проверок наиболее ответственных узлов системы амортизации сооружения П718М и провели в соответствии с разработанной документацией большой комплекс научно-исследовательских работ.

Краткое описание системы амортизации сооружения П718М как объекта исследований.

СА выполнена по маятниковой схеме с упруго-демпферными силовыми элементами.

Основными частями агрегата являются:

- горизонтальная амортизация (ГА) (рис.1);
- дополнительные опоры;
- опорное устройство;
- вертикальная амортизация (ВА) (рис.2).

В период эксплуатации агрегат может работать в следующих режимах:

- статическом;
- динамическом;
- выполнения основной работы.

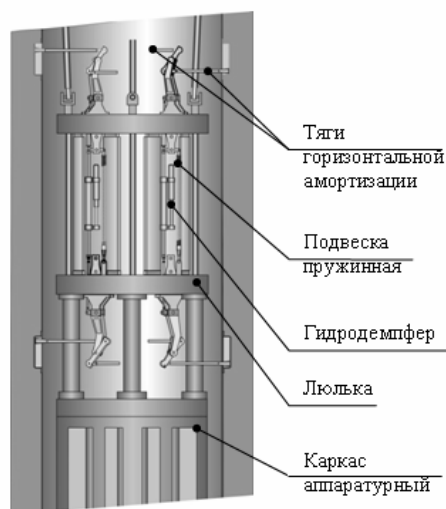


Рис.1. Горизонтальная система амортизации.

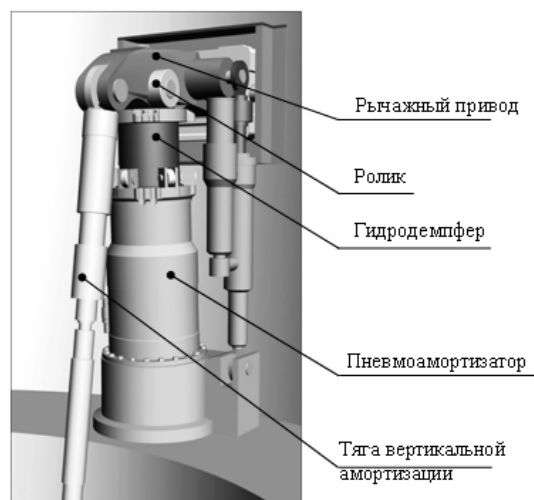


Рис.2. Вертикальная система амортизации.

В статическом режиме СА удерживает транспортно-пусковой контейнер с изделием, далее по тексту именуемый амортизируемым объектом (АО), в исходном состоянии по высоте и углу наклона относительно оси сооружения. В динамическом режиме внешние воздействия на сооружение вызывают его перемещения, что приводит к колебаниям опорного устройства с закрепленным на нем АО. При этом ВА и ГА снижают действующие на АО нагрузки до допустимых величин, гасят колебания опорного устройства и возвращают АО в исходное состояние относительно оси сооружения. По команде к выполнению основной работы срабатывают привода выключения ВА и ГА, а дополнительные опоры фиксируют АО относительно оси сооружения.

Наиболее ответственными элементами системы амортизации, от которых зависит надежность эксплуатации комплекса в целом, являются следующие:

- пневматические амортизаторы (ПА) с резинокордной оболочкой (РКО);
- гидродемпфера (ГД) с устройством фиксации;
- тяги ВА, которые через рычажные привода передают нагрузку от опорного устройства на пневмоамортизаторы;
- рычажные привода с роликами;
- механизмы горизонтальной амортизации с пружинными нольустановителями;
- опорное кольцо, на которое устанавливается контейнер с изделием.

Перечисленные выше элементы СА были рекомендованы для первоочередных исследований на объектах эксплуатации и на предприятиях изготовителях (ПИ). На рис.3 представлена обобщенная структурная схема организации работ по исследованиям этих узлов и их элементов.

Основной задачей данной статьи является проведение анализа достаточности проведенных мероприятий по продлению сроков эксплуатации и подтверждению основных эксплуатационных показателей системы амортизации на всех этапах жизненного цикла агрегата. Результаты анализа представлены в таблице 1.

Заключение

Результатом ОКР явилось продление сроков эксплуатации оборудования сооружения П718М до 25 лет (в перспективе до 30 лет). Это стало возможным благодаря большому объему научно-исследовательских, конструкторских и экспериментальных работ, проведенных КБСМ и под его руководством на предприятиях-разработчиках, заводах-изготовителях и объектах эксплуатации.

Анализ показал достаточность проведенных мероприятий по продлению сроков эксплуатации системы амортизации и подтверждению основных эксплуатационных показателей на протяжении всего жизненного цикла агрегата. Наиболее ответственным элементом СА, напрямую влияющим на ее работоспособность при всех режимах эксплуатации, является пневматический амортизатор и, соответственно, узлы, обеспечивающие его герметичность.



Рис.3. Структурная схема организации работ по продлению СЭ.

При проведении работ по исследованиям ПА в целях продления СЭ до 30 лет, особое внимание следует уделить проведению проверок герметичности ПА. В частности необходимо уточнить методику определения общей герметичности ПА с РКО на ФГУП «ПО «Баррикады» после проведения искусственного термического старения и динамических испытаний ПА. Методика требует уточнения после испытаний малой серии пневмоамортизаторов, проведенных в 2010 году. При проведении этих испытаний выявилось, что три из четырех ПА имели показатели герметичности, превышающие допустимые. В результате дополнительных испытаний, путем реализации дополнительных мероприятий, были получены необходимые показатели герметичности. Однако, ввиду ограниченного количества испытанных ПА, следует проанализировать влияние на чистоту эксперимента длительности вакуумирования ПА и наличия на ПА скрытых («паразитных») полостей. Также необходимо учесть специфику работы нового измерительного комплекса «Масс-спектрометр ИПДМ-анализатор», изготовленного предприятием ООО «НПФ «Шибболет» взамен оборудования, на котором исследования проводились ранее. Последнее находилось в эксплуатации более 40 лет и его дальнейшее использование невозможно ввиду естественного износа. Новый измерительный комплекс, не имеющий аналогов в Российской Федерации, позволяет проводить масс-спектрометрический анализ при помощи современных технологий.

Таблица 1 – Подтверждение основных эксплуатационных показателей системы амортизации на всех этапах ее службы.

Требования ТЗ	Подтверждение требований ТЗ на стадии изготовления оборудования	Подтверждение требований ТЗ при эксплуатации	Подтверждение требований ТЗ при продлении сроков эксплуатации	Результаты исследований и испытаний при продлении сроков эксплуатации
1	2	3	4	5
<p>Режим статического нагружения Падение давления в амортизаторе не должно превышать 4,5 % за 15 лет эксплуатации.</p> <p>Статическая нагрузка на амортизатор – 159 т. Рабочие хода амортизатора на сжатие – 372 мм, на растяжение – 340 мм.</p>	<p>Проведение проверки общей герметичности ПА. Общая негерметичность ПА, заправленного азотом до номинального давления, должна быть не более 16 см³/час при атмосферном давлении 101 кПа(760 мм рт.ст.) и температуре окружающего воздуха 20°C.</p> <p>Исследование газопроницаемости физико-механических характеристик РКО.</p> <p>Статическая прокачка ПА Контроль усилия, возникающего на стенде при прокачке.</p>	<p>Контроль положения АО при РТО: - проверка фактических углов наклона рычагов ВА; - проверка прилегания роликов рычагов ВА к опорным поверхностям плунжеров ПА. - проверка вертикальности АО[4];</p>	<p>Работы при РТО: - проверка давления в ПА; Статические испытания ПА на ПИ: - контроль герметичности до испытаний; - проверка ПА на прочность подачи гидравлического давления; - контроль общей герметичности ПА после испытаний [2].</p> <p>Исследование физико-механических характеристик РКО.</p> <p>Проверка работоспособности ПА в режиме статической прокачки.</p>	<p>Падение давления, измеренное на объектах эксплуатации в 2001-2010 гг. находится в пределах допустимой величины 4,5%.</p> <p>Все ПА, снятые с эксплуатации и поставленные на ПИ, выдержали испытания на герметичность и испытания на прочность подачи гидравлического давления $P=(8,5\pm 0,4)MPa$ [2].</p> <p>Физико-механические характеристики РКО после длительной эксплуатации соответствуют заданным в технических условиях для новой (не бывшей в эксплуатации) оболочки [3].</p> <p>Все ПА, снятые с эксплуатации и поставленные на ПИ, выдержали испытания статической прокачкой тремя (пятью) циклами при максимальном усилии $(205\pm 5)tс$[2].</p>

Таблица 1 – Подтверждение основных эксплуатационных показателей системы амортизации на всех этапах ее службы (продолжение).

1	2	3	4	5
<p>Контроль исходного положения АО по высоте должен осуществляться при помощи командоаппаратов, установленных на механизмах ВА.</p>	<p>В конструкции рычажного привода ВА предусмотрен механизм просадки с командоаппаратом, срабатывающим при перемещении плунжера ПА на 6 мм вниз.</p>	<p>Контроль положения АО при РТО. Отсутствие сигнала, выдаваемого командоаппаратом механизма просадки.</p>	<p>Проведение обследований металла наиболее нагруженных элементов конструкции методами неразрушающего контроля.</p> <p>Контроль положения АО при РТО. Отсутствие сигнала, выдаваемого командоаппаратом механизма просадки.</p>	<p>Недопустимых дефектов при обследовании металла неразрушающими методами контроля не зафиксировано [3]. По результатам исследований металла наиболее нагруженных конструкций дана оценка возможного срока эксплуатации, которая превышает рассматриваемый более чем в 2 раза.</p> <p>Стабильная статистика контрольных замеров при РТО. Отсутствие сигнала, выдаваемого командоаппаратом механизма просадки.</p>
<p>Режим динамического нагружения:</p> <ul style="list-style-type: none"> - время колебания до полного затухания должно быть в пределах 6...8с; - снижение перегрузок на АО до допустимых по вертикали и горизонту; - максимальные хода СА: по вертикали вверх 700 мм, вниз 530 мм, по горизонту 650 мм; - обеспечение возврата АО в исходное положение после воздействия. 	<p>Динамические испытания ПА на стенде. Контроль времени затухания колебаний</p> <p>Динамические испытания ГД на стенде в режиме амортизации. Контроль усилия в гидродемпфере и времени затухания колебаний.</p>	<p>–</p>	<p>Динамические испытания ПА, РКО, ГД, бывших в эксплуатации более 20 лет.</p> <p>Проверка герметичности ПА после динамических испытаний и ускоренного термического старения.</p> <p>Испытания пружинной подвески на растяжение сжатие и исследование ее физико-механических характеристик</p>	<p>Все испытанные ПА, РКО выдержали динамическое нагружение тремя (пятью) циклами, при этом время колебания до полного затухания находилось в пределах 6...8с при максимальном нагружении (205±5)тс. ГД выдержали динамические испытания [2]. Коэффициент запаса прочности РКО соответствует требованиям ТУ [3].</p> <p>Силовые характеристики пружин – в пределах требований КД для пружин нового изготовления. Твердость металла – в диапазоне 48,5-51,5 HRC. Прочностные характеристики пружин соответствуют требованиям ГОСТ 14959-79. При магнитной дефектоскопии пружин дефектов не обнаружено. Структура материала пружин соответствует структуре материала пружин, обработанных по штатному техпроцессу.</p>

Таблица 1 – Подтверждение основных эксплуатационных показателей системы амортизации на всех этапах ее службы (продолжение).

1	2	3	4	5
<p>Режим выполнения основной работы: фиксация АО в исходном положении на период основной работы должна обеспечиваться выключением СА за счет запирающей рабочей жидкости в ГД ВА и ГА и подведением дополнительных опор к контейнеру.</p>	<p>Контроль срабатывания запирающих клапанов ГД ВА и ГА. Испытание ГД на динамическом стенде в режиме пуска изделия.</p>	<p>Проверка состояния цепей КА при РТО.</p>	<p>Проверка работы запирающих клапанов при РТО.</p> <p>Проверка срабатывания приводов запирающих клапанов ГД, разрывных болтов и командоаппаратов снятых с эксплуатации установок при ликвидации .</p> <p>Подтверждение сроков эксплуатации СА основными работами.</p>	<p>Техническое состояние приводов запирающих клапанов ГД, РБ и КА соответствует требованиям эксплуатационной документации на агрегат. За период эксплуатации отказов и неисправностей не зафиксировано [3].</p> <p>Все механизмы ГД функционируют штатно. Время срабатывания запирающих клапанов не превышает установленного (0,15с) [3].</p> <p>В период с 1997г по 2010г была осуществлена 21 основная работа . Из них 14 было проведено с площадки 109 Космодрома «Байконур» и 7 с объекта «Ясный». При осуществлении всех этих основных работ системы амортизации отработали без замечаний.</p>

Получение уточненных данных по фактической негерметичности ПА после длительной эксплуатации, статического и динамического нагружения большим количеством циклов необходимо для составления долговременных прогнозов по возможности дальнейшего продления СЭ СА и определения возможности проведения основной работы далеко за пределами гарантийных сроков эксплуатации.

Библиографический список

1. *От артиллерийских систем до стартовых комплексов*, под редакцией В.С. Ушакова.- СПб, 2005г.
2. *Технический отчет 3 «Анализ работоспособности пневмоамортизаторов агрегата 15У104 после длительной эксплуатации по результатам исследований, выполненных в 2005 году на серийных объектах и на ФГУП «НПП «Прогресс»,- СПб: ОАО «КБСМ», 2005г.*
3. *Технический отчет «Результаты испытаний и исследований пневмоамортизаторов, резинокордных оболочек, металлоконструкций агрегата У104(Д) на серийных объектах, в ФГУП «ПО «Баррикады», ФГУП «НПП «Прогресс», МОУ «ИИФ» - СПб: ОАО «КБСМ», 2007 г.*
4. *Технический отчет №4/15-2010 «Анализ работоспособности агрегатов сооружения П718М по результатам 23-летней эксплуатации и основной работы с выработкой предложений по расчетно-экспериментальным исследованиям сооружений П718М в обеспечение возможности продления их срока эксплуатации до 30 лет»,- СПб: ОАО «КБСМ», 2010г.*

УДК 621.22

ГИДРАВЛИКА. ПЕРСПЕКТИВЫ ЕЕ ПРИМЕНЕНИЯ В БУДУЩЕМ СУДОСТРОЕНИЯ

О.В. Даниленко

ОАО «Центральное конструкторское бюро морской техники «Рубин»
(ОАО «ЦКБ МТ «Рубин»)

Введение. Данный доклад актуален вследствие того, что в судостроении на данный момент сложилась катастрофическая ситуация в сфере гидрооборудования по сравнению с другими отечественными отраслями и гидрооборудованием западных производителей.

Подчас мы не понимаем, какую роль в нашей жизни играет гидравлика, но если присмотреться, то окажется, что жидкость и устройства, связанные с ней, окружают нас со всех сторон (рис.1).



Рис. 1. Разнообразие техники, в которой применяется гидравлика.

Многие знают, что над формой планера работают аэродинамики, но немногие знают, что практически все, что в самолете движется приводится в движение гидравлическими приводами (рис.2).



Рис. 2. Гидроуправление рулями самолета.

Гидравлика обеспечивает подачу топлива, управление двигателями, снабжение энергией гидросистему самолета. Также гидравлика обеспечивает выпуск и уборку шасси, изменение геометрии крыла в полете. Электронная система автопилота также приводится в действие гидравлическими многоканальными сервоприводами. Данные применения обуславливаются лучшей идеальной мощностью в сочетании с динамикой (рис.3).



Рис. 3. Гидроусилитель руля самолета.

Посмотрите как красиво выглядят изделия в гидравлике (рис.4), при изготовлении достигаются микронные точности.



Рис. 4. Гидравлические детали высокого качества обработки.

Гидравлика используется практически во всех отраслях техники, особенно там где нужно создать большие усилия, сконструировать приводы в малодоступных местах, обеспечить устойчивость в малодоступных условиях работы. Современные строительно-дорожные машины просто обязаны своим существованием гидравлике (рис.5).



Рис. 5. Гидравлический подъемник.

Гидравлика может работать под водой, под землей и в научной лаборатории. Огромное количество жидкости перекачивается в нефтедобычи, коммунальной и сельскохозяйственной деятельности насосами большой производительности. Практически все, что летает, стреляет, плавает и взрывается гидрофицировано. Я считаю, что этого достаточно чтобы молодой специалист выбрал направлением своей будущей деятельности гидравлику.

Примеры направлений деятельности в гидравлике

В данном этапе доклада я рассмотрю два примера возможных направлений деятельности в гидравлике. Первый это пропорциональный гидрораспределитель. Сразу скажем, что в отечественном судостроении пропорциональных гидрораспределителей не изготавливается. Вся сложность заключается в плате усилителя (рис.6).



Рис. 6. Пропорциональный гидрораспределитель.

Используются такие распределители там, где необходимо не только изменять направление потоков рабочей жидкости, но и при этом добиваться нужного расхода жидкости в конкретный момент времени. В своей конструкторской деятельности я сталкивался в двух случаях с целесообразностью применения таких распределителей. В первом случае необходимость возникла при проектировании насосной установки, которая должна обеспечивать поток жидкости для разрыхлителя земснаряда при углублении морского дна (рис.7).

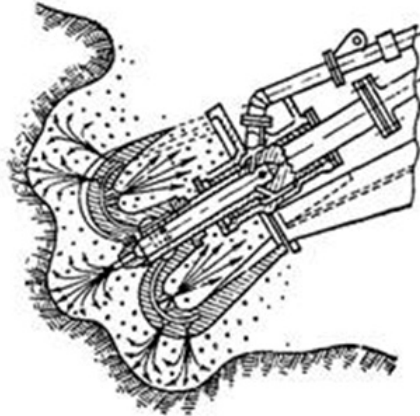


Рис. 7. Разрыхлитель земснаряда.

Необходимость в большом диапазоне расходов возникает, так как морской грунт состоит из множества слоев разной плотности. Во втором случае необходимость возникла при проектировании платформы, которая должна занимать определенную плоскость в пространстве с помощью нескольких домкратов и удерживать свое положение в плоскости.

Вторым примером мы рассмотрим редукционный клапан.

На (рис.8) представлены две гидросхемы. Одна с редукционным клапаном, а другая аналог без редукционного клапана – вынужденная мера в судостроении. Редукционный клапан позволяет сбрасывать давление до необходимой величины в местах трубопровода, где это необходимо не затрагивая другие места, где необходима работа других потребителей. Очень часто приходится ставить, вместо одного редукционного клапана два предохранительных и гидрозамка как показано на второй схеме гидравлики.

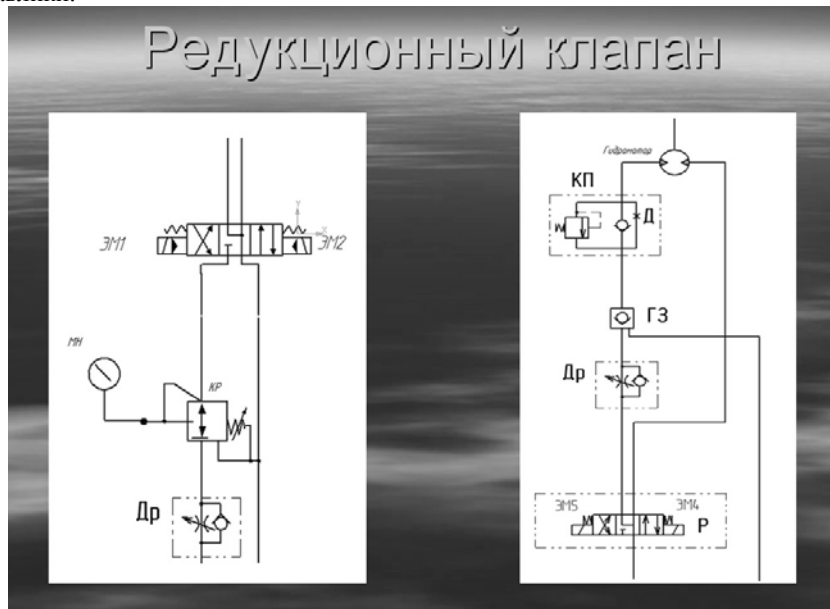


Рис. 8. Элемент гидросхемы крана.

Данные схемы необходимы, когда требуется снизить давление в исполнительных механизмах, к примеру, гидроцилиндрах, так как при проектировании необходимо использовать уже спроектированные и используемые ранее гидроцилиндры, диапазон выбора которых не такой большой, как хотелось бы, как следствие требуется разрабатывать усиленные фундаменты, что не всегда возможно из-за малого пространства размещения. Также необходимость возникает, когда движущиеся элементы крышек, щитов находятся в рабочей зоне обслуживающего персонала, возникает опасность для жизни при повышенном давлении и усилии в механизмах.

Учитывая, что в последние 20 лет гидравлика отечественного судостроения практически не развивалась, то в этой сфере деятельности можно многое сдвинуть с места, анализируя гидроаппаратуру, используемую в других отраслях и за рубежом.

УДК 629.7

УЧАСТИЕ ОАО «КБСМ» В ПОДГОТОВКЕ И ПРОВЕДЕНИИ ПОЛЕТА Ю.А. ГАГАРИНА. РОЛЬ ОАО «КБСМ» В КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

Е.А. Сидоров

ОАО «Конструкторское бюро специального машиностроения»
(ОАО «КБСМ»)

Рассматривается вклад КБСМ в создание наземной инфраструктуры для освоения космического пространства. Определены место и роль КБСМ в подготовке и проведению пилотируемых космических полетов, в том числе полета Ю.А. Гагарина.

Работы КБСМ по космической тематике начались задолго до полета Ю.А. Гагарина. В конце 50-х годов с началом регулярных запусков в СССР искусственных спутников Земли (запуск первого спутника состоялся 4 октября 1957 года) возникла острая необходимость создания надежных радиотехнических средств для космических исследований и радиосвязи с космическими аппаратами, направляемыми к удаленным от Земли планетам Солнечной системы.

Развитие современной радиоастрономии и дальней космической связи потребовало создания крупногабаритных прецизионных автоматизированных антенных комплексов, способных работать в широком диапазоне частот с практически полным обзором небесной сферы. Этим требованиям в наибольшей степени отвечают полноповоротные зеркальные антенны, обеспечивающие получение больших коэффициентов усиления и высокой разрешающей способности, что позволяет их применять в радиосвязи, радиоастрономии, радиолокации и в технике дальней космической связи. Первые шаги в этой области предприятие сделало в период с 1954 г. по 1958 г. КБСМ впервые стало выполнять работы по программе освоения космоса. По исходным данным ОКБ-1 МОП (главный конструктор С.П.Королев) коллектив создал проекты станков (СМ-56, СМ-57, СМ-57-1, СМ-66, СМ-89), с участием ЛОМО, бывший ГОМЗ (Ленинград), в части кинотелескопов и кинотеодолитов, предназначенных для непрерывного фотографирования и измерения параметров траектории космических ракет на атмосферном участке Земли. Станки приняты в эксплуатацию в 1956 году, а уже в 1957 году было начато серийное производство. Станки СМ-56, СМ-66, СМ-89 изготавливались для киносьемочных телескопов КСТ-80, КСТ-60, СКГ, входящих в специальные измерительные комплексы для фотографирования и измерения траекторий воздушных целей, в том числе и параметров траекторий ракет-носителей космических аппаратов на атмосферном участке Земли и предназначенных для наведения киносьемочного телескопа на цель по азимуту и углу места и отслеживания цели в автоматическом режиме с дистанционным управлением. Всего с 1956 по 1983гг. заводом «Большевик» было изготовлено и сдано в эксплуатацию 120 станков СМ-56, СМ-66. В период с 1956 по 1984гг. по заказу ЛОМО было изготовлено и сдано в эксплуатацию 167 станков СМ-57 и СМ-89, предназначенных для киносьемочного теодолита КТ-50. Работы по созданию таких машин проводились впервые и успешно завершены конструкторами КБСМ: Флоренским А.А. (Главный

конструктор до 1959 г.), Бочковым Б.Г. (Главный конструктор с 1959 г.), Киселевым В.И., Уткиным А.Ф., Петровым Г.П., Тарасовой О.С., Осинских Н.Н., Медведевым Б.А.

КБСМ также участвовало в реализации программ использования ракетно-космической техники в целях проведения радиоастрономических и радиофизических исследований. В связи с этим срочно потребовались высокоточные устройства наведения антенных систем, оптической и оптико-электронной аппаратуры. Учитывая опыт проектирования КБСМ опорно-поворотных устройств (ОПУ) для артиллерийских и пусковых установок, эта работа была поручена одному из комплексов КБСМ. В период с 1955 г. по 1960 г. коллективом КБСМ были спроектированы, а промышленностью изготовлены и переданы в эксплуатацию, несколько вариантов радиопеленгаторов, основное назначение которых – управление в полете ракетами с космическими аппаратами. Среди них:

- радиопеленгатор стационарный СМ-64,
- радиопеленгатор, перевозимый тягачом АТТ-1 на собственных колесных ходах, СМ-61П,
- радиопеленгатор, перевозимый тягачом АТТ-1 на отделяемой ходовой части, СМ-61ПМ (ходовая часть использовалась для перевозки нескольких радиопеленгаторов).

Конструктивное исполнение ОПУ всех радиопеленгаторов не имело принципиальных отличий. С целью обеспечения непрерывной связи с ракетами и космическими аппаратами в любой точке полета ОПУ имело три оси наведения – по азимуту, углу места и углу склонения. Точность наведения по всем осям 8-10 угл.мин.

Радиопеленгаторы типа СМ-61 участвовали в управлении полетами первых отечественных космических кораблей с человеком на борту. В КБСМ главным конструктором радиопеленгаторов СМ-61, СМ-61П, СМ-61ПМ был Ухов А.И. В работе принимали участие и внесли существенный вклад талантливые конструкторы Горицкий И.И., Саат А.А., Зильбергер Е.С., Кунин Л.А., Дьячков В.Е [7].

Все вышеперечисленные ОПУ и станки были непосредственно задействованы в обеспечении полета Ю.А. Гагарина, состоявшегося 12 апреля 1961года.

Учитывая успешный опыт создания ОПУ для радиопеленгаторов, КБСМ поручается проектирование ОПУ для астрономических приборов – оптических телескопов для оснащения обсерваторий Академии наук. Эта работа выполнялась совместно с ЛОМО, которое осуществляло головную роль в создании телескопов, а также проектировало и изготавливало всю оптику. В период 1956 г. – 1957 г. было завершено проектирование двух первых ОПУ:

- для астрономического зеркального телескопа с апертурой зеркала 1 м (АЗТ-10) – ОПУ СМ-75,
- для астрономического зеркального телескопа имени академика Шайна с апертурой 2,6 м (ЗТШ) – ОПУ-67. Этот телескоп создавался как самый совершенный и самый крупный телескоп в Европе.

Также КБСМ в содружестве с ЛОМО создана серия оптических телескопов с апертурой зеркал от 1 до 6м. При этом КБСМ проектировало высокоточные безлюфтовые опорно-поворотные устройства, позволявшие обеспечить высокую плавность наведения и секундную точность. Созданными с участием КБСМ оптическими телескопами были оснащены в 50-80-е годы все крупные обсерватории страны, в том числе в Зеленчукской обсерватории смонтирован, в свое время крупнейший в мире, оптический телескоп с шестиметровым зеркалом.

В рамках всех без исключения космических программ, начиная с первого пилотируемого полета и всех последующих полетов космических кораблей с человеком на борту – «Восток», «Восход», «Союз», «Салют», «Гранат», «Вега», «Венера», а также международных – «Союз-Аполлон», «Морской старт» и многих других, надежная связь обеспечивалась наземными и корабельными антеннами, разработанными специалистами КК-3 с участием ЭТК-5, РИК-6 и других подразделений предприятия.

Отсутствие опыта создания радиоастрономических антенных установок потребовало проведения данными коллективами целого ряда научно-исследовательских работ, направленных на исследование:

- методов аэродинамической компенсации моментов характеристик АУ с параболическим зеркалом;
- методов определения частот крутильных колебаний на исполнительных осях АУ;
- методов расчета и проектирования систем наведения АУ;
- надежности систем и агрегатов;
- методов построения оптимальных систем управления следящими электроприводами.

Полученный в эти годы научно-технический задел оказался достаточным для выполнения первых проектов антенных установок, а в дальнейшем научно-исследовательские и экспериментальные работы проводились параллельно с проектными, что позволило к началу 70-х годов коллективу КК-3 стать одним из ведущих в стране по проектированию самой разнообразной современной антенной техники и монополистом в области создания крупногабаритных антенных установок с диаметром зеркала более 5 метров.

По документации КБСМ создана уникальная техника, в том числе два крупнейших в стране и одни из крупнейших в мире радиотелескопа с зеркалами диаметром 70 метров, всего же было изготовлено более 600 установок с зеркалами диаметром от 2 до 70 метров, самая крупная в мире космическая флотилия, также предприятие приняло участие в создании ОПУ СМ-236, световых щитов СМ-255, устройства установки сферических зеркал СМ-256 для самой крупной в стране тепловакуумной камеры ТВУ-10000.

Тепловакуумные камеры создавались для обеспечения на земле условий, приближенных к космическим, обработки и испытаний в этих условиях космических аппаратов.

Большинство аппаратов, запускаемых в космос в нашей стране, проходили предстартовую отработку и испытания на стендах, созданных специалистами нашего предприятия.

Также значительный вклад внесли специалисты КБСМ в создание наземной космической инфраструктуры в интересах министерства обороны.

Наряду с проектированием разнообразных высокоточных астрономических инструментов КБСМ неоднократно поручалась разработка технологического оборудования, сложность конструкций которого зачастую была достаточно высока и сопоставима с мировым уровнем.

В целях тщательной наземной отработки всех систем космических кораблей предусматривалось проведение целого ряда мероприятий и, в том числе, создание специальных стендов СМ-173 «Платформа-1» и СМ-180 «Рупор-1» для комплексных наземных испытаний космических кораблей «Восток» в специально оборудованном здании – эхо-камере. Космический корабль, установленный на стенде «Платформа», и антенна стенда «Рупор» совместно имитировали систему «Земля-Спутник» или «Корабль-Орбитальная станция», что позволяло, при их нахождении в эхо-камере, производить наземную отработку систем радиосвязи (эффективность антенн, их ориентацию, размещение) при любом пространственном положении объектов. В 1968-1969 г.г. были созданы стенды СМ-197 «Платформа-2» и СМ-213 «Рупор-2», предназначенные для более габаритного и тяжелого космического корабля «Союз». Данные стенды, размещенные в эхо-камере космодрома Байконур, эксплуатируются уже несколько десятилетий. За это время они неоднократно модернизировались и дорабатывались под новые конструкции космических кораблей, которые все без исключения проходят перед стартом испытания на этих стендах.

Начиная с 1978 года КБСМ проектирует, разрабатывает, конструирует оптико-электронные средства контроля космического пространства и квантово-электронные средства контроля испытаний и получения координатной и некоординатной информации космических аппаратов различного назначения. Первый комплекс оптико-электронных средств 54Ж6 («Окно») находится в эксплуатации на объекте НУРЭК, Таджикистан. В последующие годы были разработаны такие комплексы как «Сажень-Т», «Сажень-ТОС» (Байконур), «Сажень-ТМ». В данный момент на предприятии ведутся работы по квантово-электронному комплексу контроля космического пространства по теме «Прицел». Также сданы в опытную эксплуатацию комплекс оптико-электронных средств «Берет», в стадии изготовления находятся средства Национального технического контроля и испытаний по теме «Моренос»; в стадии изготовления находится наземный комплекс управления квантово-оптических средств (НКУ КОС) и по теме «Стажер» (телескоп информационный с диаметром зеркала 3,12 метра).

В 1979 году КБСМ было поручено создание технологического оборудования, обеспечивающего сборку пакета ракеты «Энергия», для запуска космического корабля «Буран». Работа выполнялась всем личным составом КК-3 под руководством главного конструктора И.Н. Князева. В исключительно сжатые сроки осуществлялась разработка конструкторской документации шести сборочных агрегатов – манипуляторов большой грузоподъемности, обеспечивающих подвижность до 6 степеней свободы, и комплект средств обслуживания – 17Т317, 17Т318, 17Т328, 17Т516, 17Т517, 17Т719, 17Т332. Учитывая большую грузоподъемность манипуляторов и исключительно высокие требования к точности перемещения их рабочих органов в процессе совместной работы манипуляторов при сборке отдельных монтажных блоков в единый пакет, были применены гидравлические приводы. Несмотря на отсутствие опыта создания гидравлических устройств большой грузоподъем-

ности для таких сложных и крупных агрегатов, коллектив с этой задачей успешно справился. Исключительно сложная технология сборки ракеты потребовала в процессе совместной отладки и испытаний манипуляторов на космодроме «Байконур» с другими агрегатами, разрабатываемыми смежными организациями, решения сложных технических вопросов по уточнению технологии.[3] Безукоризненная работа манипуляторов при подготовке исторического запуска корабля «Буран», имевшего особое значение как для страны, так и для космонавтики в целом, обеспечила штатную сборку ракеты «Энергия». В общей сложности работа от начала разработки и до завершения ее сборкой ракеты и ее пуском составила 10 лет.

Сотни разработанных наземных антенных установок – стационарных, мобильных и перевозимых, размещенных в многочисленных центрах космической связи, на полигонах и на объектах министерства обороны, в течение последних десятилетий успешно решают задачи отечественных космических исследований, национальной безопасности, связи, телевидения, метрологии и др.

Высокий научно-технический потенциал, высококвалифицированные специалисты позволяют КБСМ и сегодня оставаться головным предприятием по разработке ракетно-космической техники. В настоящее время КБСМ сотрудничает с Федеральным космическим агентством (Роскосмос) по целому ряду программ, таких как «Ангара» и «Днепр», ведутся регламентно-восстановительные работы по космическим станциям связи «Тантал», «Персей», «Кентавр», также нашими специалистами проводятся научно-исследовательские работы по теме «Апогей-М». Роскосмос сообщил о новых работах с участием РТ-70, который располагается в Евпатории. Данный радиотелескоп будет принимать активное участие в сопровождении российской миссии к спутнику Марса – Фобосу, а также будет отслеживать полет космической радиообсерватории «Спектр-РГ».[12]

Заключение

Исходя из вышеизложенного можно сделать следующие выводы:

1. На протяжении всего периода развития науки в космической сфере деятельности КБСМ внесло немалый вклад для решения важнейших задач по освоению космоса.
2. Созданный организацией научно-технический потенциал позволяют КБСМ и сегодня принимать активное участие в различных современных космических программах и исследованиях.

Библиографический список

1. Александров С.Г., Федоров Р.Е. Советские спутники и космические корабли, Москва, 1961.
2. Жаков А.М., «Космический флот и управление космическим полетом», С.-Петербург, 1992.
3. Оксаян К.Х., «Измерительный комплекс космодрома Байконур», Байконур, 2001.
4. Покровский Б.А., «Космос начинается на земле», Москва, 1996.
5. Ушаков В.С., «КБСМ для космических исследований», С.-Петербург, 2006.
6. Черток Б.Е., «Ракеты и люди», Москва, 1994 год.
7. «От артиллерийских систем до стартовых комплексов», С.-Петербург, 2002
8. Государство и Военмех, С.-Петербург, 2002
9. «КБСМ для космических исследований», С.-Петербург, 2001 г.
10. «60 лет созидательного труда», С.-Петербург, 2005
11. Федеральная космическая программа России на 2006 – 2015 годы, утверждена постановлением Правительства Российской Федерации от 22 октября 2005 г. № 632
12. www.roscosmos.ru

ИЗМЕРЕНИЕ РАДИОАКТИВНОСТИ МЕТОДАМИ ЛИДАРНОГО ЗОНДИРОВАНИЯ*А.С. Гришканич, А.А. Бузников, А.П. Жевлаков*Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»
им. В.И. Ульянова (Ленина)
(СПбГЭТУ)

Развитие ядерной энергетики наряду с многими другими отраслями хозяйственной деятельности человека привело к интенсивной антропогенной дестабилизации окружающей среды. Защита окружающей среды и человека начинается, прежде всего, с диагностирования. Поэтому экодиагностика стала одним из быстро развивающихся направлений последнего десятилетия.

Одной из основных задач экодиагностики, направленной на снижение вероятности экологических потрясений, в частности, связанных с радиоактивным заражением среды и населения, является разработка средств для осуществления поисковых мероприятий по обнаружению и локализации экологических опасных объектов. В последние годы благодаря развитию новых технологий и появлению мощных микропроцессоров происходит почти полная смена приборного парка радиационного контроля (РК). Традиционные методы РК используют измерительные приборы, действующие по принципу отбора проб обследуемой и зачастую зараженной радионуклидами среды, и потому считаются контактными (дозиметры, радиометры), либо пассивные спектрометры с малым (50м) радиусом действия.

Используемые в настоящее время методы радиационного мониторинга основаны на регистрации собственного излучения (α , β , γ) радиоактивных веществ. В ряде случаев чувствительности этих методов недостаточно, и тогда для измерения малых концентраций радионуклидов применяют радиохимические методы. Основным недостатком радиохимических методов является необходимость пробоотбора и определённой (зачастую длительной) пробоподготовки: например, прокачка воздуха с осаждением пыли на специальные фильтры; отбор проб грунта с их последующим концентрированием путём озоления и т.п. Все это не позволяет решать главную задачу радиоэкологического мониторинга - оперативное определение радиоактивных веществ в окружающей среде. Существующая проблема может быть решена за счёт использования лазерных методов зондирования, применяемых сегодня для определения малых концентраций веществ в воздухе [1].

С появлением мощных компактных периодически-импульсных неодимовых лазеров, с энергией одиночного импульса до 1 Дж, частотой повторения импульсов 10...50 Гц, генерирующих на первой ($\lambda = 1064$ нм), второй ($\lambda = 532$ нм), третьей ($\lambda = 355$ нм) и четвертой ($\lambda = 266$ нм), гармониках стали широко развиваться методы дистанционного обнаружения и измерения концентрации веществ в различных средах [2].

Бортовой флуоресцентный лидар для контроля радиоактивных заражений.

Метод регистрации спектров флуоресценции позволяет оперативно обнаруживать в атмосфере радионуклид ^{137}Cs и определять поле распределения его концентрации в результате получения измерительной информации об интенсивности флуоресценции цезия.

Основная идея оптического дистанционного обнаружения радиационных выбросов в атмосферу из контейнерных захоронений и в местах утилизации отходов топлива АЭС состоит в регистрации концентрации радионуклида цезия Cs^{137} путем возбуждения и регистрации его флуоресценции. При возбуждении лазерным когерентным излучением на дискретных резонансных линиях поглощения на длинах волн $\lambda = 0,347$ мкм, $\lambda_1 = 0,456$ мкм или $\lambda_2 = 0,459$ мкм флуоресценция атомов цезия может происходить в широком диапазоне от $\lambda = 0,347$ мкм до $\lambda = 7$ мкм вследствие множества каскадных переходов.

Наибольшим квантовым выходом (числом переизлученных фотонов) характеризуются линии $\lambda_1 = 0,456$ мкм, $\lambda_2 = 0,459$ мкм, $\lambda_3 = 0,852$ и $\lambda_4 = 0,894$ мкм. [3] Зондирующий лазерный пучок, взаимодействуя с атомами Cs, заселяет подуровни $7p$ и с данных подуровней возможна флуоресценция на линиях $\lambda_1 = 0,456$ мкм или $\lambda_2 = 0,459$ мкм с вероятностью 30%. После заселения этого уровня 60% атомов безызлучательно релаксируют на подуровни $6p$, с которых осуществляется переход в основное $6s$ состояние с излучением в ИК области на $\lambda_3 = 0,852$ или $\lambda_4 = 0,894$ мкм. Среднее время

задержки излучения флуоресценции относительно возбуждающего светового импульса составляет ~ 1 мкс. Интенсивная флуоресценция осуществляется при давлении паров Cs на уровне 1 мТор (концентрация атомов 10^{12} см^{-3}) при плотности мощности пучка накачки не превышающей 10 Вт/см². При резонансном возбуждении атомов ¹³⁷Cs на линиях $\lambda = 0,347$ мкм, $\lambda_1 = 0,456$ мкм или $\lambda_2 = 0,459$ мкм целесообразно регистрировать флуоресценцию Cs на линиях $\lambda_3 = 0,852$ и $\lambda_4 = 0,894$ мкм, которая обеспечивает максимальную чувствительность и точность идентификации спектральных линий, соответствующих Cs¹³⁷, вследствие высокой эффективности фотоприемников в данной области и характеристик ослабления сигнала в атмосфере при тех или иных метеоусловиях. Также целесообразно, при возбуждении в УФ диапазоне регистрировать линии спектра $\lambda_1 = 0,456$ мкм или $\lambda_2 = 0,459$ мкм, обладающих высоким квантовым выходом. Уменьшить уровень фона от солнечного излучения, так и других источников, можно выбором приемников излучения, работающих в соответствующей области, а также следует отметить, что вследствие узкой спектральной ширины линий флуоресценции цезия ($\Delta\lambda=0,01\dots0,1$ А в зависимости от уширения контура линии) соотношение сигнал/шум можно значительно увеличить при использовании узкополосных интерференционных фильтров, настроенных на конкретную длину волны.

Работу схемы дистанционного обнаружения утечек атомов Cs можно проиллюстрировать следующим образом. Излучение лазера накачки (XeCl лазер или Nd: YAG) преобразуется в необходимые резонансные частоты с использованием блока преобразователя частоты, в качестве которого можно использовать либо лазер на красителе С-102 (кумарин 102), либо генератор третьей гармоники излучения Nd: YAG лазера. Излучение на резонансных длинах волн фокусируется на разных точках объекта с использованием сканирующей телескопической оптической системы и возбуждает атомы цезия. Рассеянное флуоресцентное излучение собирается приемной оптической системой и поступает на блок интерференционных фильтров, где происходит разделение по спектральным каналам, соответствующим линиям флуоресценции. Разделенное по спектральным каналам излучение поступает на фотоприемное регистрирующее устройство, где определяется интенсивность или число приходящих фотонов. Для анализа приходящих сигналов и управления всей системой используется компьютерный блок управления с АЦП, на который приходят сигналы с регистрирующей системы и который управляет работой лазера и сканирующей передающей оптической системы.

Опираясь на вышеприведенные исследования, был создан экспериментальный макет малогабаритного авиационного флуоресцентного лидара для контроля радиоактивных захоронений путем регистрации концентрации радионуклида Cs¹³⁷.

Лидар-спектрометр лазерной искры для дистанционного измерения концентрации радионуклидов.

Отличительной особенностью системы является, что данный метод пригоден для любого агрегатного состояния вещества (газ, жидкость, твердое тело), также, этот метод позволяет переводить любое вещества в плазменное состояние, и соответственно разделять сложные химические соединения (соли, окислы, щелочи и т.д.) на элементарные составляющие и в дальнейшем определять качественный и количественный состав. Следует отметить, что все радионуклиды имеют определенный спектр атомной и ионной эмиссии, что позволяет по нескольким линиям точно идентифицировать элемент.

Плазма, образуемая в результате воздействия на вещество мощных световых импульсов, получила название лазерной искры. Поскольку при столь высокой температуре лазерной плазмы в области искры вещество атомизуется и сильно возбуждается, на первой стадии, совпадающей по времени с действием на плазму излучения лазера, лазерная искра испускает, кроме интенсивного сплошного спектра, тянущегося через всю видимую и ультрафиолетовую область, линии, принадлежащие многократно ионизованным атомам, в том числе и лежащие в рентгеновской области. После прекращения лазерного импульса на протяжении нескольких микросекунд плазма расширяется и остывает. В этот период времени она излучает обычные атомные спектры. Исходя из этих свойств, для многих исследователей стали понятны перспективы использования спектроскопии лазерной искры для элементного анализа. По сравнению с другими аналитическими методами, в спектроскопии лазерной искры используются очень малые количества вещества без какой-либо предварительной подготовки. Это позволяет проводить качественный анализ в реальном масштабе времени, поскольку возбуждение и регистрация спектров проходят практически одновременно. Применение лазеров дает возможность проводить анализ в очень чистых условиях, так как полностью отсутствует спектр электродов, обычно затрудняющий проведение анализа неметаллических проб. Возбуждая лазерную искру в

газах, можно также анализировать газовые смеси без искажения результатов анализа загрязняющим действием стенок и электродов разрядной трубки, что играет особенно важную роль в газовом спектральном анализе. При анализе твердых образцов применение искры позволяет осуществить локальный микроспектральный анализ. Возбуждение и испарение вещества происходит при фокусировке излучения импульсного лазера в нужную точку образца. В зависимости от энергии и мощности лазера испаряется $10^{-8} \dots 2 \cdot 10^{-6}$ г вещества из кратера диаметром 20...200 мкм. Возбуждение может происходить лазерным светом в процессе испарения, либо, что иногда более удобно, электрическим разрядом через образовавшуюся плазму.

При проведении исследований был рассмотрен следующий вариант лидара-спектрометра лазерной искры и выяснены основные достоинства и недостатки схемы. Работу схемы дистанционного обнаружения радионуклидов можно описать следующим образом. Излучение импульсно-периодического лазера накачки Nd: YAG с высокой частотой повторения импульсов (до 1 кГц) преобразуется в излучение второй гармоники с использованием блока преобразователя частоты – генератора второй гармоники излучения Nd: YAG лазера. Импульсно-периодическое излучение фокусируется оптической системой на объект, где возбуждает лазерную искру, которая в свою очередь возбуждает атомы радионуклидов. Приемная оптическая система собирает рассеянное эмиссионное излучение радионуклидов и формирует изображение лазерной искры на входе световода. Излучение по световоду поступает на компактный спектрограф, размещенный в корпусе портативного компьютера, где производится регистрация спектров искры в диапазоне 250...500 нм. В данном диапазоне спектра находятся наиболее интенсивные эмиссионные линии атомов и ионов радионуклидов. С использованием компьютерной обработки спектров возможно определение количественного и качественного состава объекта, включая определение малых концентраций радионуклидов

Таким образом, используя современные технологии возможно создание лазерно-оптической аппаратуры дистанционного зондирования радионуклидов с использованием метода лазерной искры.

Библиографический список

1. «Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. Экологическая диагностика.» Под редакцией чл.-кор. РАН В.В.Клюева, МГФ «Знание» М, 2000.
2. *Межерис Р.* «Лазерное дистанционное зондирование» Пер. с англ.-М.: Мир, 1987.
3. *А.Н. Зайдель* Атомно-флуоресцентный анализ. Физические основы метода. М., Наука, 1980.

УДК 001.865

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МОДЕЛЕЙ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ИННОВАЦИЙ

Н.А. Трубкина

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
(СПбГПУ)

Приводятся результаты исследования существующих моделей распространения инноваций и выявлению основных проблем управления программами и портфелями инновационных проектов с точки зрения распространения и взаимного влияния инноваций.

В рамках исследовательской работы было выделено два типа распространения инноваций:

1. Распространение и взаимодействие нововведений на макро-уровне в пределах всей экономики или региона;
2. Распространение и взаимодействие нововведений в рамках конкретного предприятия или отрасли при реализации инновационных проектов.

Первый тип — это распространение и взаимодействие нововведений на макро-уровне в пределах всей экономики или региона. В данном случае нововведение рассматривается в качестве готового продукта, вышедшего на рынок, и анализируется его дальнейшее распространение с целью про-

гнозирования будущей динамики потребления товара. На сегодняшний день в литературе встречается большое количество разнообразных моделей, описывающих такой процесс распространения. Рассмотрим данные модели подробнее.

Модели называются диффузными (лат. *diffusio* — разлитие, рассеивание), т.к. рассматриваемые идеи никогда не охватывают общество целиком в один момент, а постепенно просачиваются через различные слои населения, каналы и коммуникации. Основоположником теории является французский социолог Габриэль Тард, он изучал, как распространяются инновации в обществе, и выявил, что некоторые люди усваивают их быстрее других. В 40-е годы XX века эту концепцию поставили на научную основу. В математическом плане процесс диффузии описывается логистическим уравнением Ферхюльста (1838 г.) и изображается графически в форме S-образной кривой (траектории), описывающей зависимость уровня распространения нововведения от времени.

В теории инноваций [3] под диффузией инноваций понимается решение $N = N(t)$ задачи Коши для дифференциального уравнения

$$\frac{dN}{dt} = f(t, N(t))$$

с начальным условием

$$N(0) = N_0. \quad (1)$$

Здесь

t — время;

$N(t)$ — объем распространения инновации к моменту t (который определяется обычно количеством проданных экземпляров или количеством действующих потребителей инновационного продукта), функция $N(t)$ непрерывна и дифференцируема при всех неотрицательных t ;

$f(t, N(t))$ — функция, определяющая форму диффузионной кривой и отражающая определенные предположения о природе процесса распространения инновации, предполагается, что функция унимодальна.

Базовая модель диффузии инноваций (согласно работам С. Калиша, С. Сэна, В. Махаджана, М. Шумана, Е. Мюллера, Ф. Басса) может быть представлена следующим образом:

$$\frac{dN(t)}{dt} = g(t, N(t))(M - N(t)) \quad (2)$$

При этом общее число потенциальных потребителей инновации M на рынке неизменно во времени, а скорость распространения инновации $\frac{dN(t)}{dt}$ в каждый момент времени пропорциональна объему потенциального рынка $M - N(t)$.

Функция $g(t, N(t))$ в модели (2) обозначает скорость адаптации, интерпретируется как вероятность того, что потенциальный потребитель инновационного продукта приобретет его в момент t , и считается линейной функцией $N(t)$:

$$g(t, N(t)) = a + bN(t) \quad (3)$$

Дифференциальное уравнение фундаментальной модели диффузии инноваций [4] выглядит следующим образом:

$$\frac{dN(t)}{dt} = (a + bN(t))(M - N(t)) \quad (4)$$

Параметры a (коэффициент инновации) и b (коэффициент имитации) в фундаментальной модели диффузии инноваций (4) отражают соответственно степень внешних и внутренних воздействий на скорость адаптации и на скорость распространения инновации. Экзогенные влияния на скорость адаптации $a(M - N(t))$ определяются потребностью индивидов в инновациях и уровнем маркетинговых и рекламных коммуникаций, а внутренние влияния $bN(t)(M - N(t))$ на ско-

рость адаптации обусловлены коммуникациями между действующими пользователями инновации и потенциальными потребителями (в результате которых потенциальным потребителям передается информация об инновационном продукте).

Первые модели внешнего влияния, или External influence models, (Коулман Дж., Катц Э., Менцель Х., Форт Л., Вудлок Дж., Миллер Дж., Шариф М. и др.) основывались на предположении о том, что скорость распространения инновации $\frac{dN(t)}{dt}$ зависит только от потенциальной возможности насыщения рынка, т.е. только от числа потенциальных потребителей $M - N(t)$. Параметр a представляет собой степень проникновения на рынок, диффузия при высоком значении a протекает достаточно быстро, означая, что большинство индивидов склоняются к восприятию нового продукта. Число первых покупателей со временем уменьшается, т. к. модель ограничивается инновационным поведением покупателей. Данные модели не учитывают взаимодействия действующих и потенциальных потребителей инновации, коммуникаций между ними.

Первые модели внутреннего влияния, или Internal influence models, были предложены Ц. Грилихесом в 1957 г. и Э. Мэнсфилдом в 1961 г. Предполагается, что скорость распространения инновации $\frac{dN(t)}{dt}$ пропорциональна как потенциальной возможности насыщения рынка $M - N(t)$, так и достигнутому уровню распространения инновации $N(t)$. Параметр b можно интерпретировать как интенсивность имитационного поведения. Число потенциальных покупателей, которые будут приобретать инновационный продукт в период времени t , увеличивается с усиливающимся проникновением на рынок. При этом внешние влияния не оказывают существенного воздействия на процесс принятия решения о приобретении инновационного продукта, решение принимается только в результате личного контакта с действующим пользователем инновации.

Наибольшее распространение в исследованиях имеют модели смешанного влияния, или Mixed influence model, в которых оба параметра a и b не равны нулю (Махаджан В., Мюллер Е., Басс Ф., Паркер П., Салтэн Ф., Фарли Дж., Леманн Д. и др.), т.е. на процесс принятия решения о приобретении инновационного продукта оказывают влияние как внешние факторы, так и внутренние факторы. В данном случае количество проданного инновационного товара равно сумме инновационных и имитационных покупок покупателей. Путем вариации параметров a и b формируются различные направления диффузной кривой.

Активное использование моделей диффузии инноваций, основанных на модели Ф. Басса, в экономике началось в 1969 г. и продолжается до сих пор [2, 4].

Второй тип — это распространение и взаимодействие нововведений в рамках конкретного предприятия или отрасли при реализации инновационных проектов. В результате проведенного исследования было выявлено, что на сегодняшний день моделей и методик реализации инновационных проектов, учитывающих взаимное влияние нововведений, не разработано, а также была выявлена актуальность построения таких моделей и методик, сформированных в виде программы развития предприятия или портфеля проектов.

Действительно, при управлении инновационными проектами возникает задача определения, каким образом инновации взаимодействуют между собой, как они распространяются и как это отражается на портфеле проектов предприятия в целом. Построив данные модели, станет возможным составить эффективный портфель инновационных проектов, обеспечивающий достижение стратегических целей предприятия, и определить последовательность правильного запуска данных проектов за счет того, что возникнет возможность оценивать и отбирать те инновационные проекты, взаимодействие которых покажет наилучшие результаты, а также выявить те инновации, совместное включение которых в портфель нежелательно.

Перспективным представляется подход сравнения распространения инноваций с распространением волн, т.е. построение и исследование интерференционной модели распространения инноваций. Согласно определению интерференция (от лат. inter – взаимно, между собой и ferio – ударяю, поражаю) — взаимоподавление одновременно осуществляющихся процессов, при котором возникает нарушение (подавление), по крайней мере, одного из них. Иногда интерференцией называют любое взаимодействие, в том числе и не ведущее к нарушению участвующих в нем процессов.

Явление интерференции уже было успешно применено для решения различных задач в таких областях науки, как ботаника (вариант конкуренции; неблагоприятные взаимодействия, возникающие при наличии близких соседей того же или близких видов), лингвистика (последствие влияния одного языка на другой), психология (взаимоподавление одновременно осуществляющихся психических процессов; обусловлена ограниченным объемом распределяемого внимания), связь (изменение или повреждение информации, переносимой сигналом от передатчика через канал связи к приёмнику, например, солнечная интерференция в спутниковой связи).

При разработке модели взаимодействия инноваций в портфеле проектов необходимо учитывать следующие положения:

- Ограниченность и распределение ресурсной базы во времени (бюджет, материально-техническое обеспечение, трудовые ресурсы и т.д.);
- Категория инновации, т.е. в какой части жизненного цикла продукции реализуется инновация (продуктовая, процессная, организационная, маркетинговая);
- Класс инновации, т.е. величина производимых изменений (модифицирующая, улучшающая, прорывная).

От решения поставленной задачи зависит успешное восприятие нововведений на конкретном предприятии, что позволяет повысить эффективность деятельности и конкурентоспособность предприятия. Решение данной задачи в рамках определенной отрасли обеспечит эффективное формирование и управление отраслевыми портфелями инновационных проектов.

Библиографический список

1. *Гольдштейн Г.Я.* Инновационный менеджмент: Учебное пособие. — Таганрог: Изд-во ТРТУ, 1998. — 132 с.
2. *Кришнан Т., Басс Ф., Кумар В.* (Krishnan T. V., Bass F. M., Kumar V.) Impact of a Late Entrant on the Diffusion of a New Product/Service // Journal of Marketing Research. — 2000. — V. 37. №2 — P. 269-278.
3. *Махаджан В., Петерсон Р.* (Mahajan V., Peterson R.) Models for Innovation Diffusion. — Beverly Hills, USA: Sage, 1985. — 87 с.
4. *Мид Н., Ислам Т.* (Meade N., Islam T.) Modeling and forecasting the diffusion of innovation – a 25 year review // International Journal of Forecasting. — 2006. — V. 22. — P. 519-545.
5. *Соловьев В.И.*, Экономико-математическое моделирование рынка программного обеспечения : монография / В. И. Соловьев; ГУУ. — М.: Вега-Инфо, 2009. — 176 с.
6. *Трубкина Н.А., Туккель И.Л.* Особенности многопроектного управления – XXXIX Неделя науки СПбГПУ: материалы международной научно-практической конференции. Ч. XVII. – СПб.: Изд-ва Политехн. ун-та, 2010. – 55 с.
7. *Туккель И.Л.* Управление инновационными проектами: учебник / И.Л. Туккель, А.В. Сурина, Н.Б. Культин / Под ред. И.Л. Туккеля. — СПб.: БХВ-Петербург, 2011. — 416 с.

УДК 517 (517)

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ В ПОСТРОЕНИИ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

И.В. Кочетков, В.В. Макаров, И.А. Мокеев

ОАО «Санкт-Петербургское Морское бюро машиностроения «Малахит»
(ОАО «СПМБМ «Малахит»)

Ведущей мировой тенденцией в современном кораблестроении является достижение технического совершенства корабля при максимальном снижении его водоизмещения. Реализация этой тенденции в значительной степени связана с развитием систем управления техническими средствами. Исторически можно выделить следующие этапы качественного развития структурной организации систем управления. На первом этапе создавались системы управления по функциональным комплексам технических средств. Второй этап характеризуется переходом от функциональных систем управления к комплексам систем управления. Создание комплексных систем управления основыва-

лось на координации работы технических средств корабля, что обеспечивало возможность управления различными процессами с одного пульта и взаимодействия между этими процессами. При этом в соответствии с ГОСТ 19176-85 корабельная система управления техническими средствами определялась как “единая система управления, обеспечивающая координированное управление в нормальных условиях эксплуатации, аварийных ситуациях и при борьбе за живучесть корабля”. Система представляет собой совокупность вычислительных средств совместно с каналами связи.

Для систем управления комплексами технических средств близкими по своему целевому назначению целесообразно поручать выполнение одинаковых функций типовым приборам. За счет использования высокоинтегрированной элементной базы (микропроцессоров, контроллеров, специализированных микросхем), уплотненных типовых каналов обмена информацией создание типовых приборов явилось насущной задачей. Эффект применения таких приборов становится более ощутимым при объединении одних и тех же функций в рамках не только одной, но и нескольких систем управления. В итоге, в процессе совершенствования систем управления техническими средствами была выдвинута идея создания интегрированных систем. Под интегрированной системой управления в соответствии с ГОСТ 34.003-90 понимается “совокупность двух и более взаимосвязанных систем, в которой функционирование одной из них зависит от результатов функционирования другой (других) так, что эту совокупность можно рассматривать как единую автоматизированную систему”.

Корабль, включающий в свою структуру комплексы технических средств, является аварийно-опасным объектом с повышенным риском эксплуатации.

Анализ аварийных событий свидетельствует о том, что центр тяжести проблем, связанных с обеспечением таких важнейших свойств, как безопасность и живучесть корабля, лежит в области организации процессов управления его техническими средствами. Именно системы управления, выполняющие развитые функции аварийной защиты отдельных агрегатов и составных частей многоагрегатного комплекса, обеспечивают его целенаправленное поведение путем согласованного изменения режимов работы агрегатов и перестройки (реконфигурации) его структуры.

Процесс управления кораблем и всеми его средствами по своей природе относится к категории централизованных. Основные проблемы организации управляющей системы, обеспечивающей централизованное управление кораблем, связаны с ограниченными возможностями единого центра (персонала управления и технических средств обработки информации) по сбору и переработке больших потоков информации в динамически изменяющихся внешних условиях и внутренней обстановке на корабле.

Необходимость правильного и своевременного принятия решений по управлению комплексом технических средств, особенно в экстремальных условиях, повлекла за собой необходимость разработки и внедрения бортовых интеллектуальных систем реального времени. Функционирование бортовых интеллектуальных систем реального времени основано на непрерывном мониторинге информации о динамике управляемого объекта и внешней среде, поступающей по каналам измерительного комплекса. Непрерывный мониторинг большого объема разнородных данных приводит к необходимости использования высокопроизводительных вычислительных систем.

Повышение степени “интеллектуальности” бортовых интеллектуальных систем возможно за счет использования подходов и методов бурно развивающегося в рамках теории искусственного интеллекта нового научного направления, получившего название “мягкие вычисления” (soft computing). Фундаментальной основой этого направления являются теоретические принципы формализации знаний с использованием нечеткой логики, теории искусственных нейронных сетей и генетического алгоритма.

Нечеткая логика обеспечивает эффективные средства отображения неопределенностей и неточностей реального протекающего процесса, что дает возможность системам управления осуществлять функцию прогнозирования ситуации и взаимодействовать с нелинейными параметрами объектов управления. Искусственные нейронные сети позволят формализовать сложные процессы преобразования информации и организовать обучение системы управления в процессе выполнения вычислений и их высокопроизводительную реализацию. Основной отличительной особенностью нейронных систем является постоянное пополнение их базы знаний на основе сведений, поступающих из текущих информационных каналов. Сама структура нейронных систем предоставляет возможность массового параллельного синхронного выполнения большого числа простейших операций (сложения, умножения и нелинейного безынерционного преобразования) и исключает сложные и

длинные иррациональные операции (деления, извлечения корня и т.д.). Все это самым благоприятным образом сказывается на скорости обработки поступающей информации. Нейронные сети реализуют достаточно гибкое и сложное функциональное преобразование входного пространства состояний в выходные, причем гибкость этого преобразования при необходимости может регулироваться числом слоев нейронной сети и типом связей между ними.

Нейронные сети оказываются эффективными в случаях, когда протекающие процессы являются слишком сложными для анализа с помощью общепринятых количественных методов, или когда доступные источники информации интерпретируются неточно (частично искажают информацию) и частично заблокированы. Развитие математического фундамента генетических алгоритмов обеспечивает оптимизацию базы знаний и параметров нечетких логических регуляторов, а также выбор стратегических решений в задачах нечеткого моделирования.

Учитывая вышеприведенные тезисы, касающиеся бортовых интеллектуальных систем реального времени, предполагается следующее построение структуры системы управления комплексом технических средств (Рис.1).

В процессе эксплуатации происходит распознавание входной информации, поступающей от датчиков, поиск соответствующего ей алгоритма управления, но в то же время не останавливается накопление новых знаний. При поступлении новых параметров, не содержащихся в базе знаний, блок распознавания старается найти ближайший похожий параметр и обучиться новому, исходя из заложенных целевых установок. Таким образом, качество процесса управления напрямую зависит от того, насколько представительная выборка параметров была заложена в базу знаний в процессе обучения.

Возможность принятия решений с последующим изменением своего поведения на базе адаптивных алгоритмов, самообучение и контроль своей работоспособности за счет автоматической самопроверки и самокалибровки измерительных каналов – стандартные операции, определяемые концепцией разработки бортовых интеллектуальных систем реального времени.

Техническое совершенствование такого сложного объекта как корабль предполагает дальнейшее развитие не только структурных построений систем управления техническими средствами, но и элементной базы этих систем. Это касается, в частности, информационных линий связи в системах управления.

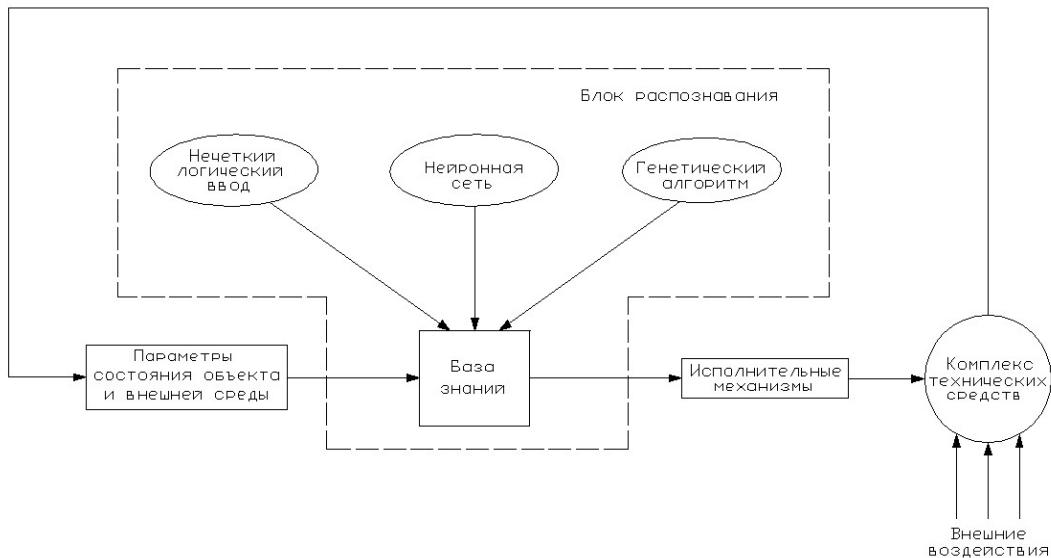


Рис.1. Предполагаемая структура системы управления комплексом технических средств.

Традиционно структура построения электротехнической части корабля предполагала проектное совмещение разнородных систем, приборов, датчиков и исполнительных устройств путем соединения между собой их конструктивно-обособленных элементов независимыми кабельными

электрическими связями, проложенными по принципу “от прибора до прибора”. Попытки упорядочить эту структуру и сконцентрировать информационные потоки в относительно маложильных кабелях путем уплотнения электрических каналов передачи информации не дали желаемого результата. Положение изменилось с развитием локальных вычислительных сетей (ЛВС) до уровня, обеспечивающего возможность их использования в качестве единой среды, через которую производится обмен информацией с основной массой потребителей. Абонентами ЛВС могут быть однотипные и разнородные средства вычислительной техники, периферийные устройства, отдельные датчики и управляющие входы исполнительных механизмов, средства внутрисудовой связи и сигнализации. Эффект от создания ЛВС усиливается за счет применения взамен электрических волоконно-оптических линий связи. Анализ информационных линий связи на подводных лодках и надводных кораблях позволил сделать вывод о том, что от 30% до 70% информационных электрических линий связи могут быть заменены на оптические.

На современном этапе структура волоконно-оптических систем передачи данных строится по тем же принципам, что и проводных. Однако передача информации посредством света позволяет обеспечить такие преимущества, как связь между системами с более высокой скоростью и надежностью. Оптические линии связи не подвержены влиянию электромагнитных помех. Поэтому их можно прокладывать через любые помещения, в том числе радиорубки и помещения с помехоизлучающим технологическим оборудованием, без использования специальных мероприятий по экранированию линий связи. Волоконно-оптические линии обладают высокой пожаробезопасностью, так как в них отсутствуют источники искрообразования, нагрева и коротких замыканий. Поэтому допускается прокладка оптических линий в помещениях со взрывоопасной средой без использования защитных средств. Более того, при использовании жаростойких оптических волокон, они сохраняют работоспособность в условиях воздействия открытого огня, что позволяет использовать их в составе аварийных систем.

Важным преимуществом оптических систем и линий связи являются их малые габариты и масса, что при наличии уплотнения каналов связи приводит к сокращению массо-габаритных характеристик корабельных кабельных трасс, а также уменьшению трудоемкости работ по монтажу кабельной сети.

Наибольшего эффекта от применения волоконно-оптической техники можно достигнуть при переходе от локальных внутрисистемных сетей к единой корабельной системе обмена данными (КСОД). В настоящее время ведутся работы по формированию структуры и отработке принципиальных вопросов взаимодействия отдельных комплексов посредством корабельной системы обмена данными. При использовании в этой системе оптических линий возникает проблема выбора рационального способа передачи информации по оптическому кабелю. Основная трудность заключается в том, что при организации связи между вычислительным комплексом и периферийными устройствами необходимо производить мультиплексирование их интерфейсов. На первом этапе эта задача может быть решена с помощью концентраторов, обеспечивающих обработку и передачу сигналов, их преобразование из электрических в оптические и наоборот. В перспективе возможна интеграция концентраторов непосредственно в оборудование и их совместное использование с оптоволоконными датчиками. Это приведет к упрощению систем управления, снизит трудоемкость их монтажа и улучшит общую электромагнитную обстановку на корабле.

Обобщая все вышесказанное, можно сделать вывод о том, что будущее систем управления будет заключаться во внедрении бортовых интеллектуальных систем реального времени на базе искусственных нейронных сетей и формирование структуры с использованием современной элементной базы. На настоящий момент искусственные нейронные сети еще не нашли достаточно широкого применения в связи с недостаточным математическим обеспечением и неразвитой элементной базой для построения моделей, способных к обучению и принятию рациональных решений в обстановке неполной и неоднородной информации. Однако несомненная перспективность этого направления и насущная потребность в подобных системах в условиях все усложняющихся структур комплексов технических средств корабля делает решение этого аспекта делом недалекого будущего. Волоконно-оптическая техника, напротив, уже заняла прочное место в разработке современных систем управления. В дальнейшем, при достижении соответствующего технического уровня, совмещение этих двух тенденций развития может привести к появлению совершенно нового типа систем управления.

Библиографический список

1. *Кочетков И.В.* «Перспективные развития систем управления электроэнергетикой корабля», сборник конференций «Взгляд в будущее – 2008», 2008 г., стр. 51-58.
2. *Войтецкий В.В.* «Развитие интеграционных процессов в комплексной автоматизации технических средств», сборник конференций «Моринтех-2005», 2005 г., стр. 33-37.
3. *Сиек Ю.Л., Воронин Р.И.* «Нейросетевой подход к представлению измерений в системах управления», сборник конференций «Моринтех-2001», 2001 г., стр. 316-319.
4. *Тихонов Д.Г.* «Нейронные сети при функционировании бортовых интеллектуальных систем (оценка параметров внешней среды и характеристик динамического объекта)», сборник конференций «Моринтех-2003», 2003 г., стр. 363-366.
5. *Кирюхин И.А.* «Нейронные сети при функционировании бортовых интеллектуальных систем (идентификация экстремальных ситуаций)», сборник конференций «Моринтех-2003», 2003 г., стр. 359-361.
6. *Войтецкий В.В.* «Основные направления работ по интеграции систем управления надводных кораблей и подводных лодок», сборник конференций «Моринтех-2003», 2003 г., стр. 8-14.

УДК 517 (075)

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ КОМПЛЕКСНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ КОРАБЕЛЬНЫМИ ТЕХНИЧЕСКИМИ СРЕДСТВАМИ

А.Н. Фоломеев, А.В. Дубинин

ОАО «Санкт-Петербургское Морское бюро машиностроения «Малахит»
(ОАО «СПМБМ «Малахит»)

Комплексная система управления техническими средствами (КСУ ТС) современных кораблей выполняет множество задач по управлению совокупностью входящих в нее функциональных комплексов ТС.

В последние годы, в условиях совершенствования элементной базы для СУ ТС, стали актуальными вопросы изменения структуры и архитектуры проектируемых СУ, снижения стоимости проектирования и изготовления СУ, совершенствования и оптимизации алгоритмов управления для программно-аппаратных средств.

Входящие в КСУ ТС функциональные комплексы решают конкретные задачи управления ТС в системе управления маневрированием (СУМ), системе управления общекорабельными системами (СУ ОКС), системе управления электроэнергетической системой (СУ ЭЭС), системе управления главной энергетической установкой (СУ ГЭУ) и др.

В отличие от заказов предшествующих поколений, на проектируемых ОАО «СПМБМ «Малахит» заказах, в КСУ ТС введена новая система – центральная координирующая система управления.

ЦКСУ в новой иерархии КСУ ТС является системой верхнего уровня управления, которая предназначена:

- для координированного управления всей совокупностью ТС, находящихся в заведовании БЧ-5, исходя из требований к определенному режиму корабля при повседневной эксплуатации;
- для информационной поддержки процессов принятия решений командиром БЧ-5 на верхнем (координирующем) уровне для управления всей совокупностью ТС, находящихся в заведовании БЧ-5 в аварийных ситуациях;
- для мониторинга и регистрации информации о состоянии ТС и данных от систем управления функциональными комплексами, входящих в КСУ ТС и т.д.

Ввод новой системы стал возможным после перехода от аналоговых КСУ ТС, аппаратура которых в основном создавалась на средствах параллельной обработки информации, к цифровым КСУ ТС, в которых применяется микропроцессорная техника, позволяющая наиболее полно использовать алгоритмически развитые методы функционального и диагностического контроля состояния аппаратуры КСУ ТС и управляемых ТС и комплексов.

В настоящее время структурно КСУ ТС на заказах ОАО «СПМБМ «Малахит» построены по функционально-иерархическому принципу, при котором приборы каждой системы осуществляют функции управления, вычисления и контроля применительно к нескольким видам ТС. При этом связь между системами осуществляется только по сети верхнего уровня, между центральными пультами управления (средний уровень) и пультом ЦКСУ (рис. 1).

Стоит отметить, что в этом варианте не произошло изменения основных принципов структурной организации КСУ ТС по сравнению с КСУ ТС предшествующего поколения, а был осуществлен переход от релейно-аналоговой элементной базы к цифровой вычислительной технике. Изменения коснулись системы электропитания, входящей в КСУ ТС, в которой, помимо функций преобразования, применена функция обеспечения бесперебойного электропитания от корабельных сетей переменного и постоянного тока на аппаратуру КСУ ТС и на источники информации.

При последующем проектировании, сохраняя функционально-иерархический принцип построения структуры, был предложен принцип интеграции систем управления ТС, входящих в КСУ ТС. В результате чего вводится информационно-управляющее поле – сеть обмена данными, функционально входящая в ЦКСУ.

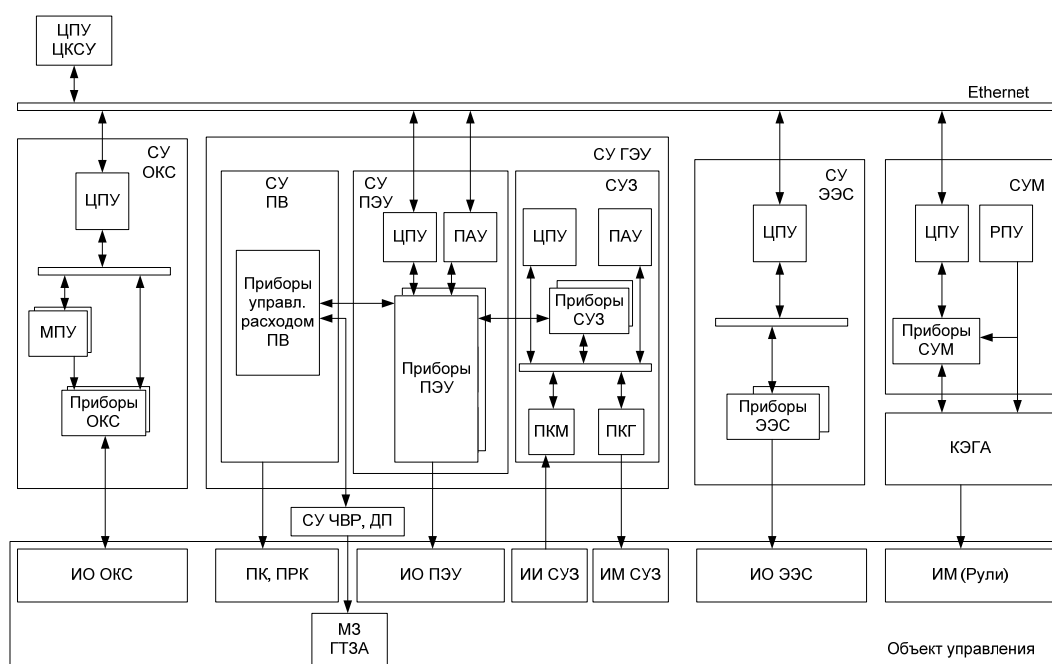


Рис. 1. Структурная схема КСУ ТС (1 вариант).

Предложенная интегрированная сеть верхнего уровня конструктивно имеет межотсечную магистральную резервированную структуру, состоящую из двух-трех замкнутых колец, проходящих как внутри заказа, так и вне прочного корпуса. Сеть выполнена с использованием волоконно-оптического кабеля и сетевых контроллеров, входящих в приборы центральные Ethernet (ПЦЕ), расположенные в каждом отсеке, по одному прибору на каждое кольцо. Приборы каждой СУ ТС в пределах отсека связываются с каждым отсечным прибором ПЦЕ. Таким образом, образуя информационно-управляющую среду, на которую существенное влияние оказывает применение программно-аппаратных решений, отвечающих за надежность функционирования и обмена данными как внутри отдельно взятой СУ ТС, так и между системами управления, входящими в КСУ ТС (рис. 2).

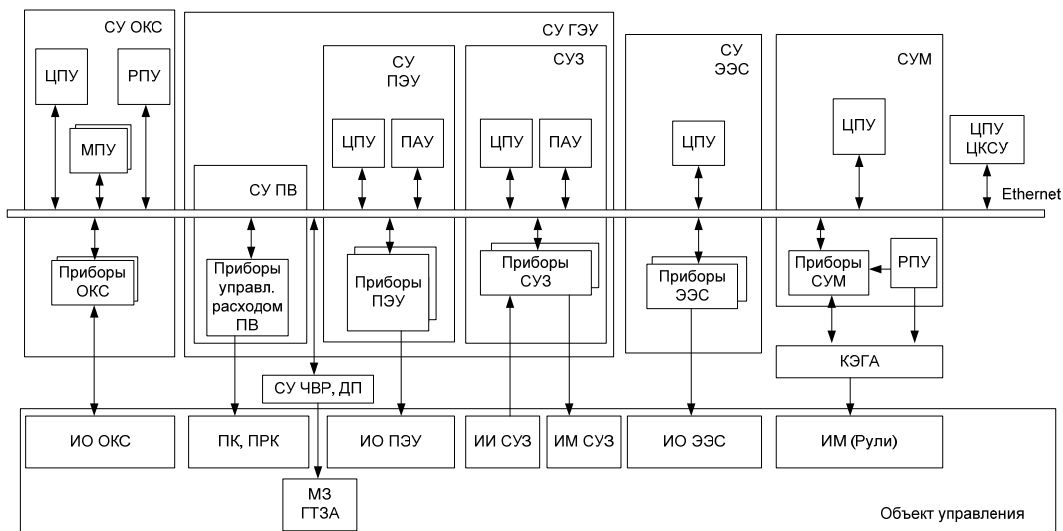


Рис. 2. Структурная схема КСУ ТС (2 вариант).

В предложенной структуре глубокоинтегрированной КСУ ТС расширились функциональные возможности отдельных систем в части задач информационной поддержки операторов, диагностики аппаратуры и ТС, и других задач. Кроме того, за счет использования уплотненного обмена, значительно уменьшилось количество физических межотсечных связей (кабелей) внутри СУ ТС.

Однако, вместе с укрупнением и объединением информационных потоков в КСУ ТС более явно стали проявляться вопросы увеличения времени формирования и обработки сигналов управления по сравнению с системами управления ТС предыдущих поколений, в которых происходило «мгновенное» срабатывание логических электроцепей.

Оценка качества функционирования СУ в приведенных выше структурах, в частности безаварийности, безопасности, экономичности функционирования технических средств, а также взаимодействия СУ и передачи управляющих сигналов в условиях возникновения внешних и внутренних возмущений - вопрос ближайшего будущего.

Одним из вариантов изменения проектируемых структур КСУ ТС является возвращение к так называемому проектированию СУ функциональными комплексами (ФК) «по заведованию» с децентрализованным управлением. При котором для каждой СУ ФК необходимо применить разработанные программно-аппаратные решения для выполнения первичной обработки сигналов, ведения контроля, решения задач функционирования и обработки алгоритмов управления внутри СУ. При этом верхний уровень СУ ФК, входящих в КСУ ТС, следует объединить сетью сбора и обработки информации (мониторинга), осуществляющей сбор данных информационного поля корабля, их структурирование, хранение и обеспечение к ним доступа для представления на ЦПУ СУ, а также резервированной управляющей сетью, для передачи команд и сигналов управления между системами и координированным их взаимодействием (рис. 3).

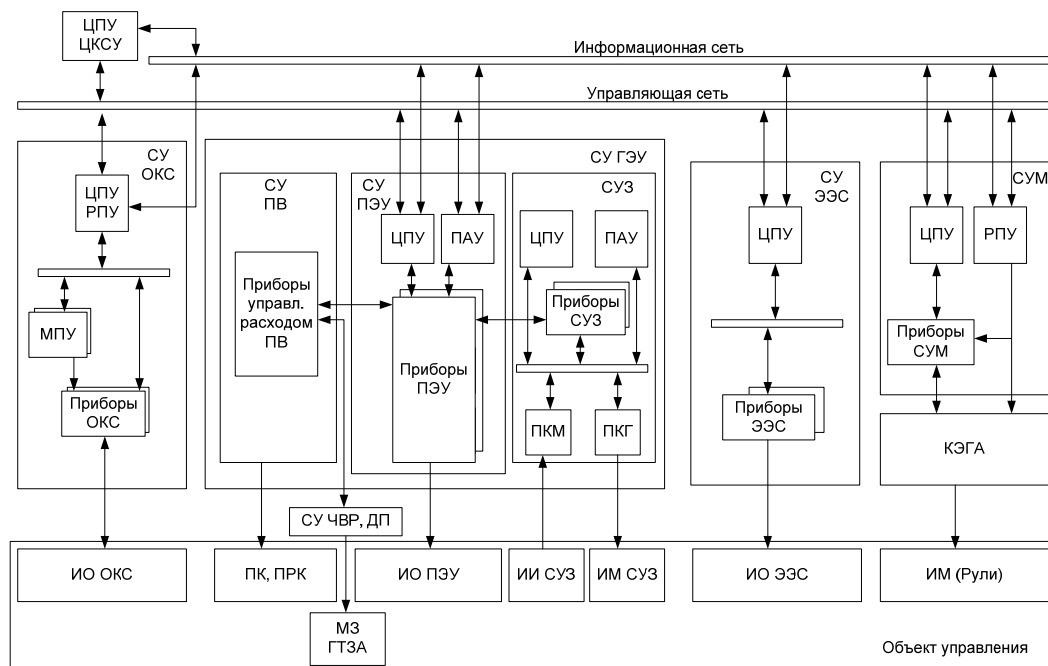


Рис. 3. Структурная схема КСУ ТС с выделением сети управления и информационной сети.

Рассматривая приведенные выше структуры в настоящий момент делать выводы о выборе направления совершенствования КСУ ТС преждевременно. Говорить можно только о том, что с переходом на новую элементную базу затраты на проектирование и изготовление КСУ ТС не уменьшились. Взвешенные выводы по выбору структуры построения КСУ ТС можно будет сделать только после проведения испытаний на ряде, а также основываясь на опытной их эксплуатации.

Библиографический список

1. *Войтецкий В.В., Корчанов В.М., Сурин С.Н.* Новый подход к формированию структуры комплексной системы управления корабельными техническими средствами. СПб.: Морская радиоэлектроника. №2 (5). 2003. С.14-21.
2. *Войтецкий В.В.* Основные направления совершенствования структурно-аппаратной реализации комплексных систем управления техническими средствами перспективных кораблей. СПб.: Системы управления и обработки информации. Научн.-техн. сб.. ОАО «Концерн «НПО «Аврора». вып. 8. 2002 г. С.3-10.

**РАЗРАБОТКА УПРУГИХ СОЕДИНИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ АВТОНОМНЫХ
РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОВРЕМЕННЫХ
КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

*А.И. Орлов, А.Н. Лихачев**

ОАО «Санкт-Петербургское Морское бюро машиностроения «Малахит»
(ОАО «СПМБМ «Малахит»),

* Балтийский государственный технический университет «Военмех» им. Д.Ф. Устинова
(БГТУ «Военмех»)

Эксплуатация автономных робототехнических систем в большинстве случаев проходит в условиях, существенно отличающихся от наземных, поэтому основные конструктивные принципы и технологии, используемые в них, также отличаются от наземных. Решение всей совокупности сложных конструкционных, схематехнических и технологических задач при разработке, создании и эксплуатации таких средств невозможно без развития и внедрения принципиально новых материалов и конструкций для целевых систем. Примером таких новых конструкций могут служить гибкие соединительные элементы (ГСЭ), изготовленные из композиционных материалов, в структуру которых могут входить так называемые «Smart materials», то есть материалы, изменяющие свои свойства в зависимости от характеристик среды или каких-либо других внешних воздействий.

В данной статье приводится постановка задачи для исследований возможности замены жестких механических соединений на гибкие, в которых, для обеспечения подвижности друг относительно друга соединяемых деталей, используются упругие структурные деформации материала. На рис. 1 показана возможность такой замены для узла, отвечающего, например, за подстройку отражающей поверхности.

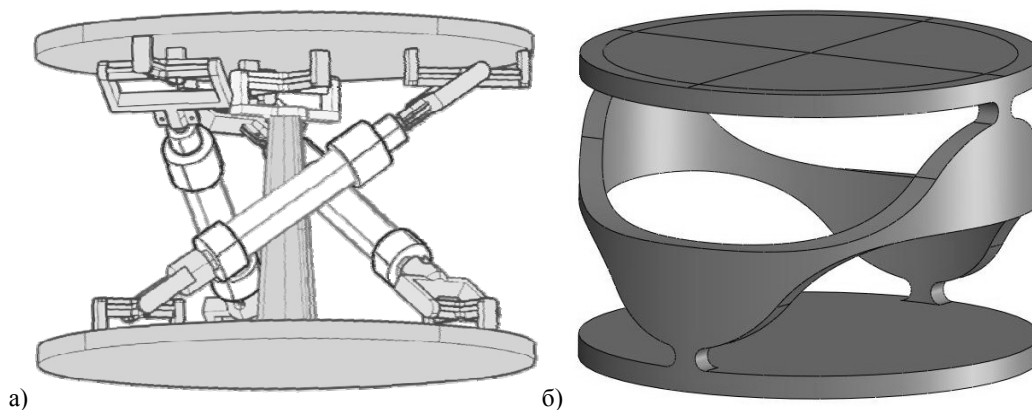


Рис. 1. Замена механического устройства (а) на гибкое соединение (б).

Следует упомянуть, что исследование механизмов, осуществляющих передачу энергии или движения за счет упругих деформаций составляющих его звеньев (в зарубежной литературе такие механизмы получили название «compliant joint» [1]), уже давно ведется в мировом научном сообществе, но разработки идут в основном в области малых деформаций гибких элементов. В данной работе основное внимание уделено именно проблеме использования больших упругих деформаций в механизмах такого типа.

В процессе своего функционирования механические устройства, используемые в настоящее время для обеспечения выполнения целевых задач (закрепление, приведение в рабочее положение, трансформация и раскрытие систем и оборудования) подвергаются широкому спектру воздействий. К нему можно отнести как внешние нагрузки, обусловленные влиянием среды эксплуатации (высокие градиенты температуры и давления, вибрационные нагрузки, низкие температуры, глубокий вакуум, радиационное воздействие, микрочастицы и т.д.), так и нагрузки, возникающие вследствие конструктивных особенностей, условий и принципов работы механических устройств.

Механические устройства и соединения, изготовленные по традиционным схемам и из традиционных материалов, используемые в настоящее время имеют ряд недостатков:

- трение в кинематических парах, ведущее к износу, появлению люфтов и зазоров, и, как следствие, неточностям в работе узла или механизма;
- испарение смазки с поверхностей трущихся деталей, ведущее к заклиниванию механизмов, а в некоторых случаях и к эффекту холодной сварки;
- большие температурные деформации элементов механических устройств;
- большие габариты и вес конструкций, а как следствие большая их инерционность;
- большое число составляющих механизма, ведущее к снижению надежности.

Для создания упругих соединительных элементов планируется использовать современные композиционные материалы (КМ), то есть многосложные разнородные структуры, образованные комбинацией армирующих элементов и связующего. В пользу такого решения говорят следующие факторы:

- КМ обладают высокими физико-механическими характеристиками при низкой плотности, что позволяет решить проблему снижения массы узлов и элементов конструкции;
- использование в качестве составляющих КМ со специальными свойствами позволит свести к минимуму температурные деформации элементов, а значит повысить точность их работы при больших температурных градиентах;
- в элементах, выполненных по подобной схеме, внешнее трение будет сведено к минимуму;
- направленный характер свойств материалов позволит создавать элементы конструкции с заранее заданными свойствами, наиболее полно отвечающими характеру и условиям работы узла;
- использование КМ позволит создавать конструкции целевых систем совместно с их исполнительными устройствами, отвечающими за раскрытие, трансформацию и дальнейшее функционирование. Таким образом, снижается количество элементов системы. Также возможно создание целевых систем, которые сами будут обеспечивать свое функционирование за счет упругих перемещений и деформаций;
- включение в состав материала активных элементов (сплавы с памятью формы, термореактивные матрицы, пьезоэлементы и т.п.), позволит использовать их для создания адаптивных конструкций, реагирующих на внешние воздействия. В частности, эффект может использоваться для активного и пассивного подавления вибрации, для создания поверхностей изменяемой геометрии, исполнительных элементов высокой точности, исполнительных элементов с контролируемыми в реальном времени параметрами работы;
- возможность создания пассивных адаптивных конструкций, т.е. конструкций, в которых под воздействием нагрузок возникают заданные упругие деформации элементов или заданные перемещения элементов друг относительно друга, в результате чего происходит перераспределение нагрузки. Сюда же можно отнести высокую демпфирующую способность упругих элементов из КМ;
- управляемая анизотропия свойств и прогнозируемый эффект связанности мембранных, крутильных и изгибных деформаций позволяет совмещать в упругом элементе функции двух и более деталей, т.е. заменять несколько простейших кинематических пар. Это свойство позволит существенно упростить конструкции, экономить материал, снизить трудоемкость изготовления, повысить надежность узлов.

Как было упомянуто выше, в данной работе рассматриваются ГСЭ, работающие в области больших упругих деформаций. Вычисление таких деформаций представляет собой достаточно трудную задачу ввиду нелинейного поведения конструкций, так как оказываются несправедливы основные положения строительной механики и сопротивления материалов о действии сил и моментов при изгибе, кручении и других видах деформации. В частности, вследствие нелинейной зависимости больших упругих перемещений от значения силы будут несправедливы принципы суперпозиции решений, а также правила определения опорных реакций. Здесь же следует обратить внимание на то, что в процессе деформации ГСЭ будут происходить значительные перемещения приложенных к нему векторов сил и моментов. При этом закон перемещения векторов сил и моментов будет определяться искомыми перемещениями ГСЭ.

Как и в классической теории сопротивления материалов, конструкция гибкого соединительного элемента может подразделяться на основные составляющие, которыми являются стержни, пластины и оболочки. Также здесь можно выделить и твердотельные элементы, но их можно рассмат-

ривать в конструкции только в качестве жестких элементов, с деформациями в пределах линейной теории упругости.

Указанные элементы будут различаться только соотношением характерных размеров, но с механической точки зрения их деформирование является настолько специфичным, что требует получения своих уравнений и зависимостей, составляющих математическую модель этих элементов.

Математическая модель для больших деформаций ГСЭ может быть составлена на основе известных аналитических зависимостей теории упругости или эмпирических формул. Для больших деформаций стержня в настоящее время существуют аналитические зависимости, основанные на точном решении уравнения упругой линии при изгибе [2], [3]:

$$\chi = \frac{d^2 y / d^2 x}{[1 + (dy / dx)^2]^{3/2}}, \quad (1)$$

где χ — кривизна в данной точке упруго изогнутой продольной оси стержня. Следует отметить, что при вычислении малых деформаций в формуле (1) отбрасывается знаменатель ввиду малости его значений.

Для более сложных видов больших деформаций стержней и оболочек (пространственный изгиб, кручение) достаточно сложно найти точное аналитическое решение, поэтому более целесообразным в данном случае видится применение численных методов наряду с физическими экспериментами.

При составлении математической модели работы ГСЭ, следует обратить внимание, что конечной целью является получение конкретной формы деформаций упругого элемента. При этом важным параметром является как траектория точек тела, по которой происходит их перемещение, так и характер, направление и точки приложения усилий. Следовательно, необходимо иметь математический аппарат, описывающий все возможные формы деформированного тела, являющегося совокупностью стержневых и оболочечных элементов, дающий также и представление о размещении управляющих элементов. Таким математическим аппаратом может стать использование математического описания В-сплайнов и созданных на их основе поверхностей.

Библиографический список

1. *Lobontiu N.* Compliant mechanisms. Design of flexure hinges. USA: CRC Press LLC, 2003.
2. *Попов Е.П.* Теория и расчет гибких упругих стержней. М.: Наука, 1986.
3. *Светлицкий В.А.* Механика гибких стержней и нитей. М.: Машиностроение, 1978.

РОЛЬ ЗИП В ОБЕСПЕЧЕНИИ НАДЕЖНОСТИ СОВРЕМЕННОЙ ТЕХНИКИ

М.Н. Архипов

ОАО «Конструкторское бюро специального машиностроения»
(ОАО «КБСМ»)

Определена роль комплектов ЗИП в обеспечении надежности изделий; сформулированы требования, предъявляемые к запасным частям различными изделиями отечественной военной промышленности, и рассмотрены методы оптимизации запасных частей, с учетом этих требований.

Целью исследования является определение методов повышения эффективности проектирования, изготовления, отработки и эксплуатации продукции военного назначения за счет выбора оптимального состава комплекта запасных частей, необходимого для своевременного восстановления боевой готовности вооружения и военной техники с заданными требованиями по времени восстановления.

Цель исследования достигается решением следующих задач:

- 1) определением роли и места комплектов ЗИП в общем и запасных частей в частности в обеспечении надежности изделий;
- 2) формулированием требований, предъявляемых к запасным частям различными изделиями отечественной военной промышленности;
- 3) рассмотрением методов оптимизации запасных частей с учетом требований, предъявляемых к запасным частям различными изделиями отечественной военной промышленности.

Описание научно-технической задачи, на решение которой направлено исследование.

В настоящее время в России активно ведутся разработки и ввод в эксплуатацию новой продукции военного назначения. С учетом экономических условий и поставленных задач современного мира, появляется необходимость более *эффективной организации функционирования* новых изделий. В этих условиях перед разработчиками изделий встаёт ряд задач, решение которых требует повышения точности определения характеристик продукции с повышенной точностью.

Необходимо понимать, что поломки случаются всегда и везде, даже на самых современных предприятиях и электростанциях, в авиации, опирающейся на новейшие технологии. Продукция военного назначения к сожалению тоже не находится в стороне от этих явлений. Какова бы ни была причина отказа, важно учитывать коэффициент готовности системы, зависящий от возможности замены отказавшего узла. Ведь большой ущерб может быть причинен даже за малое время.

Вооружение и военная техника являются стратегически важными объектами и поэтому в данном случае очень важен коэффициент боевой готовности. Ключевым элементом поддержания готовности продукции военного назначения является комплект ЗИП.

Под ЗИП следует понимать комплект запасных элементов, инструмента и принадлежностей, предназначенных для поддержания техники в работоспособном состоянии, проведение всех видов технического обслуживания, плановых и внеплановых ремонтных работ в течение расчетного срока ее эксплуатации.

Основные комплекты ЗИП в зависимости от состава, назначения и размещения подразделяются на:

- одиночные комплекты ЗИП (ЗИП-О);
- групповые комплекты ЗИП (ЗИП-Г).

Одиночный комплект ЗИП-О предназначен для эксплуатации одного изделия, поддержания его в исправном состоянии путем проведения ТО в соответствии с регламентом, а также для устранения отказов и неисправностей в течение срока службы изделия на месте эксплуатации силами обслуживающего персонала.

Групповой комплект ЗИП-Г предназначен для обеспечения эксплуатации группы однотипных изделий, поддержания их в исправном состоянии путем проведения ТО в соответствии с требованиями ЭД, а также для устранения отказов и неисправностей дорогостоящего оборудования в течение срока службы изделия на месте эксплуатации силами обслуживающего персонала.

Совокупность одиночного и группового комплектов ЗИП представляет собой двухуровневую систему ЗИП.

Также существуют и другие комплекты ЗИП, которые имеют более специализированную направленность. ЗИП-Р – ремонтный комплект ЗИП предназначенный для проведения ремонта силами специального сервисного центра. ЗИП-М – монтажный комплект ЗИП предназначенный для монтажа оборудования на заранее подготовленной площадке. ЗИП-П – подвижный. При эксплуатации морской техники комплект ЗИП-О делится на ЗИП-ОВ возимый (бортовой) и ЗИП-ОН невозимый (базовый).

Роль и место комплектов ЗИП в общем и запасных частей в частности в обеспечении надежности изделий

Известно, что ресурс отдельных видов оборудования и систем более ограничен по сравнению со сроком службы изделия, после отработки которых необходимо проводить капитальный ремонт с частичной заменой оборудования. При достижении критического срока необходимо проводить комплексное обследование изделия. Главное место в этом обследовании занимает анализ надёжности элементов и систем, а также система обеспечения ЗИП.

Особое внимание следует уделить показателю надёжности изделия. *Надёжность* — свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, хранения и транспортирования.

Интуитивно надёжность объектов связывают с недопустимостью отказов в работе. Надёжность тесно связана с различными сторонами процесса эксплуатации. Надёжность в «широком» смысле — комплексное свойство, которое включает в себя свойства *безотказности, долговечности, ремонтнопригодности и сохраняемости*. При разработке продукции военного назначения все эти свойства очень важны, они взаимосвязаны друг с другом.

Однако следует учитывать, что показатели надёжность нельзя противопоставлять другим показателям качества: без учёта надёжности все другие показатели качества изделия теряют свой смысл, точно так же и показатели надёжности становятся полноценными показателями качества лишь в сочетании с другими характеристиками изделия.

Надёжность, как явление в технике отвечающее за работоспособность, тесно связана с комплектами ЗИП. Необходимо понимать, что без правильно подобранных комплектов ЗИП невозможно будет провести ремонт, техническое обслуживание и, как следствие, выполнить необходимое задание при боевом дежурстве.

Вопросы *оптимальной организации функционирования* подразумевают решение ряда проблем:

- оптимизацию состава запасных изделий и приспособлений;
- оптимизацию проведения регламентного технического обслуживания;
- оптимизацию проведения ремонта.

Особое внимание должно быть уделено оптимизации состава запасных элементов. Однако следует учитывать, что лишь решение всех вышеописанных проблем является необходимым условием повышения адекватности моделей с точки зрения надёжности изделия.

Проблема управления запасами имеет широкий смысл (например, запасы сырья для производства или запасы товара для бесперебойной торговли). Остановимся только на проблеме в контексте обеспечения техники запасными частями, необходимыми для поддержания ее работоспособности, то есть для проведения ремонтно-восстановительных работ. Проблема управления движением запчастями имеет большое значение, так как в высокотехнологичных изделиях военного назначения, где эксплуатируются дорогостоящие элементы, имеющие длительные жизненные циклы, до 60% узлов являются ремонтируемыми. Проведение ремонта оказывается экономически более выгодным, нежели закупка нового оборудования.

Для изделий военного назначения обычно характерны следующие черты:

- Дорогостоящее оборудование с длительным жизненным циклом;
- Двухуровневая организация запасными частями: одиночный и групповой ЗИП;
- Наличие различных типов запчастей, которые необходимо учитывать и контролировать;
- Первостепенное значение коэффициента боевой готовности.

Резерв запасных элементов призван обеспечить надёжность функционирования технической системы. Чем больше резерв, тем выше надёжность. Вместе с тем чрезмерное количество запаса может оказаться экономически невыгодным, так как ведет к омертвлению денежных средств. Баланс между двумя альтернативными аспектами проблемы позволяет осуществить оптимальное резервирование запасных элементов.

Требования, предъявляемые к запасным частям различными изделиями отечественной военной промышленности

Одним из основополагающих требований, предъявляемых к комплектам ЗИП, является восстановление боевой готовности вооружений и военной техники с заданными требованиями по времени восстановления. Восстановление готовности подразумевает под собой необходимый ремонт в сжатые сроки, связанный с заменой отказавшего блока или элемента. Следовательно, комплекты ЗИП должны иметь в своем составе необходимые блоки и элементы в достаточном количестве.

Однако не стоит забывать и об экономической составляющей комплектов ЗИП. От 10% до 15% стоимости изделия приходится на затраты, связанные с комплектами ЗИП. Стоит учитывать, что простои в ремонтах из-за отсутствия необходимых запасных частей тоже влекут за собой экономические потери.

Эти вопросы следует решать как с учётом обеспечения достаточного количества запасных элементов, так и с учётом экономических показателей - таких как стоимость элемента, затраты на ремонт, потери от простоя изделия при отсутствии запасных элементов.

Таким образом, можно сказать, что оптимальный комплект ЗИП по номенклатурному и количественному составу должен обеспечивать все необходимые требования, предъявленные при проведении ТО, ремонта и эксплуатации изделия с учетом вышеописанных требований.

Исходя из этого, нельзя с большой долей вероятности сказать, что оптимальный состав ЗИП для двух разных изделий будет идентичен. Напротив, комплекты ЗИП будут отличаться друг друга. Однако существуют общие методы комплектования ЗИП, пригодные для большинства изделий.

Методы оптимизации запасных частей с учетом требований, предъявляемых к запасным частям различными изделиями отечественной военной промышленности

В мире существует различные методы и модели определения и управления движения запасными частями.

В процессе эксплуатации аппаратуры комплекты ЗИП пополняются: одиночный — за счет группового, а групповой — со специального склада или из органа снабжения. Пополнение ЗИП может проводиться сразу после изъятия из него элемента для установки в аппаратуру (1-й вариант) или через определенные интервалы времени (2-й вариант). Нетрудно видеть, что оба эти метода пополнения комплектов ЗИП имеют свои минусы и плюсы.

При разработке продукции военного назначения в ОАО «КБСМ» применяется несколько иная схема пополнения ЗИП (3-й вариант). Для этой схемы характерно пополнение одиночного состава ЗИП – за счет группового, а групповой ЗИП имеет *неснижаемый запас*, при снижении количества запасных частей которого принимаются срочные меры для пополнения этого комплекта ЗИП.

В качестве метода определения номенклатуры запасных частей в комплектах ЗИП-О и ЗИП-Г избран метод, заключающийся в выборе номенклатурного состава комплектов на основе классификационных признаков, присущих составным частям изделия, для которых разрабатывался ЗИП.

Основными классификационными признаками изделия являются:

- возможность контроля работоспособности составной части изделия;
- оценка возможности отказа составной части во время эксплуатации изделия;
- влияние отказа составной части на работоспособность изделия;
- целесообразный способ устранения отказа составной части.

Критерием, определяющим необходимость включения в состав ЗИП той или иной составной части изделия, является её кодовое число, состоящее из четырех разрядов на основе Таблицы 1 (каждому из указанных выше классификационных признаков соответствует своя кодовая оценка разряда: 0 или 1). Если кодовое число, полученное в результате анализа классификационных признаков каждой составной части изделия, состоит из одних единиц, то составная часть соответствующего наименования включается в состав комплектов ЗИП.

Таблица 1 – Определение номенклатуры комплектов ЗИП методом инженерного анализа.

Номер разряда	Классификационный признак		Оценка разряда
	Наименование	Характеристика разряда	
1	Возможность контроля составной части	Контролируемая	1
		Неконтролируемая	0
2	Качественный прогноз возможности отказа составной части за время эксплуатации	Отказ возможен	1
		Отказ невозможен	0
3	Влияние отказов составной части изделия на работоспособность изделия	Отказ составной части приводит к отказу изделия или ухудшает выполнение основных функций изделия	1
		Отказ составной части не ухудшает выполнение изделием основных функций	0
4	Целесообразный способ устранения отказа составной части	Отказ целесообразно устранять заменой составной части рассматриваемого уровня	1
		Отказ целесообразно устранять заменой составной части более низкого уровня	0
		Отказ целесообразно устранять путем восстановления или изготовления рассматриваемой составной части без замены её запасной на время восстановления	0

В других случаях составная часть изделия в номенклатуру комплектов ЗИП не включается.

При оценке количественного состава необходим соответствующий опыт. Этот опыт должен базироваться как на назначениях запасных частей, так и на отслеживании актуальности использования этих запасных частей в процессе жизненного цикла изделия. За десятилетия работы ОАО «КБСМ» был накоплен большой опыт именно назначения ЗИП, который актуален и по сей день.

В виду различных факторов достаточность номенклатурного и количественного состава запасных частей в процессе эксплуатации вооружения и военной техники отследить, к сожалению, невозможно. Для решения этой проблемы необходимо создать единую базу по отслеживанию достаточности различных запчастей. Необходимо будет учитывать специфику работы каждого конкретного изделия, отдельного элемента, а также условия работы этого элемента.

В результате анализа, а также исходя из опыта эксплуатации аналогичных составных частей изделия, будет определена номенклатура одиночного и группового комплектов ЗИП с учетом требований, предъявляемых к запасным частям различными изделиями отечественной военной промышленности.

Заключение

В результате работы была определена роль комплектов ЗИП в обеспечении надежности изделий; были сформулированы требования, предъявляемые к запасным частям различными изделиями отечественной военной промышленности, и рассмотрены методы оптимизации запасных частей, с учетом этих требований. Таким образом, в результате исследования была достигнута основная цель - определены методы повышения эффективности проектирования, изготовления, отработки и эксплуатации продукции военного назначения за счет выбора оптимального состава комплекта запасных частей, необходимого для своевременного восстановления боевой готовности вооружения и военной техники с заданными требованиями по времени восстановления.

Исходя из проведенного анализа, можно сделать вывод, что состав комплекта запасных частей является неотъемлемой частью изделия. Правильно укомплектованный ЗИП, с учетом всех предъявляемых требований, является гарантом надежности изделия и обеспечивает необходимую функциональность. Предложенная единая база по достаточности номенклатурного и количественного состава запасных частей в процессе эксплуатации вооружения и военной техники позволит в дальнейшем назначать запасные части с большей долей достаточности, что повлечет за собой экономические и эксплуатационные выгоды.

Библиографический список

1. РМО 1288-63 Нормы ЗИП машин специального назначения.
2. *Рыжиков, Ю.И.* Теория очередей и управление запасами / Ю.И. Рыжиков. – СПб.: Питер, 2001.
3. *Кузьмин, Ф.И.* Задачи и метода оптимизации показателей надежности / Ф.И. Кузьмин. – М.: Советское радио, 1972.
4. *Байхельт, Ф.* Надежность и техническое обслуживание Математический подход [Пер. с нем.] / Ф. Байхельт, П. Франкен, М.Г. Коновалова., под ред. И.А. Ушакова – М.: Радио и связь, 1988.
5. *Райкин, А.Л.* Элементы теории надежности технических систем / А.Л. Райкин., под ред. И.А. Ушакова – 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Советское радио, 1978.
6. *Елизаветин, М. А.* Повышение надежности машин / М. А. Елизаветин. – 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1973.
7. Надежность и долговечность машин и оборудования (опыт и теоретические исследования) – М.: Издательство стандартов, 1972.

СЕКЦИЯ «ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ»

УДК: 629.726.2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ ВЫСОТЫ БРОСКА ИЗДЕЛИЯ ПРИ ХОЛОДНОМ СТАРТЕ

А.Б. Кузнецов

ОАО «Конструкторское бюро специального машиностроения»
(ОАО «КБСМ»)

Рассматривается постановка задачи оптимизации высоты броска изделия при старте из транспортно-пускового контейнера на основании совместного решения задачи определения газодинамической силы и динамики пусковой установки. Рассмотрена разница в качественной оценке устойчивости пусковой установки при традиционном способе расчета и при решении совместной газодинамической и динамической задач.

При проектировании мобильного ракетного комплекса одной из основополагающих задач являлся выбор типа старта. На сегодняшний день наиболее распространёнными типами старта баллистических ракет (БР) являются так называемый «горячий» и «холодный» старт. При горячем старте двигатель изделия запускается в транспортно-пусковом контейнере (ТПК), продукты сгорания отводятся по специальным газоотводящим каналам. При холодном старте двигатель изделия запускается вне ТПК, на высоте броска S , которая отсчитывается от верхнего среза ТПК. Подъём на эту высоту осуществляется за счёт импульса силы, сообщаемого изделию за время, пока оно движется в ТПК.

Преимущества и недостатки двух типов старта вытекают из характера взаимодействия изделия и пусковой установки (ПУ). Реактивная струя от изделия оказывает силовое, температурное и акустическое воздействие на пусковую установку. Чем ближе источник реактивной струи к ПУ тем более разрушительное воздействие оказывает реактивная струя. При этом важно отметить, что даже при совпадении осей ТПК и струи может возникать значительная боковая сила (до 10 - 15% от тяги), способная опрокинуть ПУ [1].

Основным преимуществом горячего старта перед холодным является то, что осевая перегрузка, которую испытывает изделие в момент движения по ТПК, оказывается меньше.

Горячий старт имеет и ряд существенных недостатков, к которым можно отнести значительное температурное воздействие на ТПК и газоотводящие каналы, а также значительную боковую силу, которая возникает при обтекании ТПК сверхзвуковой струей от удаляющейся БР.

При холодном старте изделие испытывает более значительные осевые перегрузки, соответственно вертикальная реакция со стороны стартующего изделия на пусковую установку соответственно увеличивается. Влияние боковой силы так же сохраняется, но проявляется в меньшей степени, так как двигатель первой ступени изделия запускается на некотором удалении от верхнего среза ТПК.

При горячем старте импульс боковой силы относительно велик, а импульс вертикальной силы относительно мал. При холодном старте наоборот импульс боковой силы мал, а импульс вертикальной силы велик.

При проектировании пусковой установки холодного старта возникает задача оптимизации высоты броска изделия. С одной стороны она не должна быть слишком мала, для того чтобы двигатель первой ступени не запускался на малом удалении от ТПК и импульс боковой силы не оказался слишком велик и не опрокинул ПУ. С другой стороны, высота броска не должна быть слишком велика, чтобы осевое воздействие на ПУ не превысило предельного значения. Вертикальное воздействие от стартующего изделия через ПУ передаётся на основание, которое имеет некоторый предел по несущей способности. Так, например, при старте из вагона существует предельная нагрузка, которую могут выдержать железнодорожные пути без образования остаточной деформации в балластной призме. Несущая способность грунта является неуправляемым параметром оптимизации при проектировании ПУ [2].

Величину вертикального воздействия при холодном старте не трудно оценить, зная минимальную высоту броска и массу БР. Так, например, для БР 15Ж61 ракетного комплекса типа «Скальпель» величина вертикального воздействия ориентировочно должна составлять: $F = m \cdot S/l = 104 \cdot 1,6 = 166 \text{ т}$, где S/l - отношение высоты броска к длине ТПК.

Величина вертикального воздействия определяет конструкцию и массу опорного устройства при выбранном типе основания, или же лимитирует его тип. Всё вместе это влияет на мобильность, скрытность и тактику применения данного вида вооружения.

Таким образом, видно, что решение задачи об определении минимальной необходимой высоты броска может оказать решающее значение на облик ПУ и следовательно на возможности боевого применения.



Рис. 1. Зависимость угла отклонения ТПК от времени.

На сегодняшний день задача по определению импульса боковой силы решается в квазистатической постановке с неподвижными граничными условиями. То есть фактически рассматривается ряд реализаций газодинамической задачи, для различных вариантов взаимного пространственного расположения изделия и ПУ в соответствии с предполагаемой программой полёта. При этом как изделие, так и ПУ являются неподвижными. В такой постановке исключается взаимовлияние колеблющейся под воздействием реактивной струи пусковой установки и обтекающей её сверхзвуковой реактивной струи.

Более точным мог бы стать подход, при котором ПУ рассматривалась как подвижное упругое тело. Анализируя графики на рисунке 1 можно видеть качественное различие, которое достигается при внедрении такого подхода. Кривая а получена при решении задачи с неподвижными граничными условиями (то есть с неподвижной ПУ). Кривая б получена в результате расчета динамического и газодинамического процессов с учетом их взаимовлияния. Разница в амплитуде отклонения ТПК обусловлена положительной обратной связью между углом отклонения и боковой газодинамической силой.

В момент времени t_1 (см. рисунок 2) под действием относительно небольшой боковой силы ТПК начинает смещаться влево. Из-за этого смещения уменьшается угол между осями ТПК и струи и далее сила продолжает увеличиваться до момента времени t_2 после которого (из-за увеличения расстояния между изделием и верхним срезом ТПК) она вновь начинает падать. ПУ возвращается в исходное положение, продолжая колебательное движение относительно вертикальной оси. Критический угол не был достигнут лишь благодаря тому, что в рассмотренном варианте пусковая установка оказалась достаточно инертна, а изделие продолжило набирать высоту достаточно быстро. В данном варианте старта имеется целый ряд управляемых параметров, варьируя которыми возможно добиться минимальной высоты броска изделия. К ним относятся: длина ПУ, скорость выхода из ПУ, высота запуска двигателя, угол поворота сопла двигательной установки первой ступени, наклон осей ТПК и изделия и др.

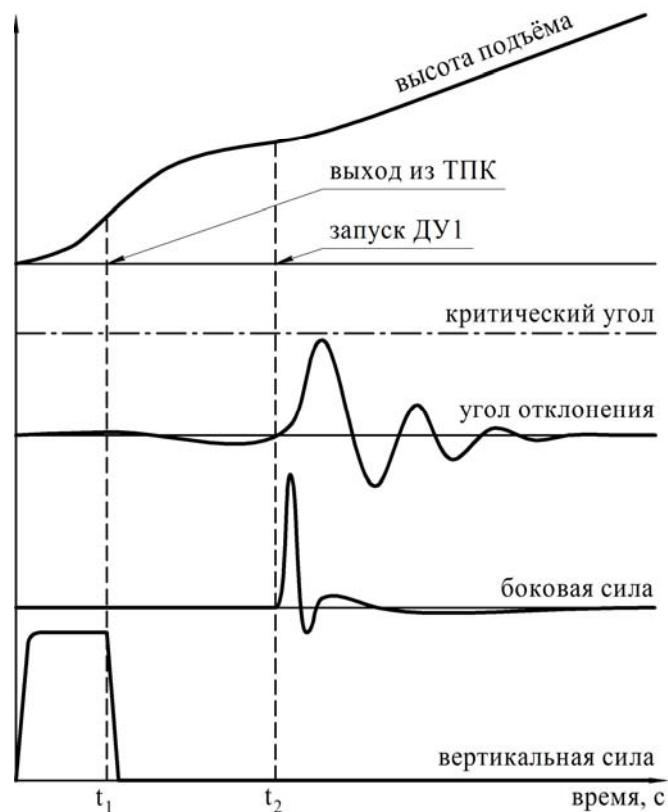


Рис. 2. Зависимость высоты подъема, угла отклонения, боковой силы и вертикальной нагрузки от времени при старте изделия.

Для того, чтобы выбрать оптимальное соотношение между перечисленными параметрами на этапе эскизного проектирования требуется провести расчеты большого числа реализаций стартов с различными сочетаниями этих параметров. Целевой функцией в такой постановке является высота броска, а параметрическим ограничением является несущая способность грунта. Функциональными ограничениями являются габаритно-массовые характеристики ПУ.

Использование традиционных сеточных методов для решения совместной динамической и газодинамической задачи представляется затруднительным ввиду большого числа машинного времени, затрачиваемого на расчет одного варианта старта. Основное расчетное время расходуется на перестроение расчетной модели, сетки и определение газодинамических параметров, расчет динамики занимает относительно небольшое время. Ввиду этого обстоятельства в качестве газодинамического решателя использован набор программ, основанный на методе структурно-элементного моделирования, который позволяет получать значения газодинамических нагрузок за несравненно меньшее время, при этом с удовлетворительной для инженерных расчетов точностью.

Алгоритм расчета сохраняется тем же, что и при решении подобных задач сеточными методами:

- определение параметров струи;
 - определение силы взаимодействия струи и ТПК;
 - расчет динамики ПУ за время равное шагу интегрирования;
 - определение взаимной ориентации изделия и ПУ;
- далее процесс расчета продолжается, но уже на следующем шаге по времени.

Заключение

Применение разработанного пакета программ позволяет повысить качество концептуальных решений на этапе эскизного моделирования, сократив при этом затраты на проведение модельных экспериментов, а также улучшить качественные показатели разрабатываемой техники.

Библиографический список

1. Афанасьев Е.В., В.И. Балобан, С.В. Бобышев, И.Л. Добросердов Структурно-Элементное моделирование газодинамических процессов при старте ракет. Санкт-Петербург, 2004.
2. Храмов Б.А. Основы теории и проектирования устройств и систем боевого железнодорожного комплекса. Санкт-Петербург, 2005.

УДК 621.45.01

ВЛИЯНИЕ УДАРНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ РДТТ С ПРЕГРАДОЙ

Д.А. Фёдоров

ОАО «Конструкторское бюро специального машиностроения»
(ОАО «КБСМ»)

При проектировании ракеты на твердом топливе особое внимание уделяется созданию топливного заряда, поверхность горения которого определяет тяговые характеристики ракеты. Непредсказуемое изменение поверхности горения влияет не только на тягу двигателя, но и на давление в камере сгорания, которое может превысить допустимое значение.

Введение. При погрузке и выгрузке ракеты с транспортного средства, неудачных такелажных работах, установке в шахте и старте элементы конструкции ракеты могут испытывать ударное взаимодействие, вызывающее недопустимые напряжения и деформации. Результатом ударного взаимодействия может быть отслоение твердого топлива от оболочки ракетного двигателя или возникновение трещин в заряде. Это, в свою очередь, приводит к изменению его площади горения, что может служить причиной разрушения двигателя при его работе [1 – 3].

Объектами исследования работы являются особенности механического состояния твердого топлива при ударном воздействии на РДТТ. В работе предлагается разработать метод оценки разрушения заряда твердого топлива для внедрения в предприятия ракетно-космической отрасли. Данный метод включает в себя следующие обязательные этапы:

1. Постановка задачи численного моделирования;
2. Выбор моделей поведения материалов;
3. Создание математической модели ударного взаимодействия;
4. Исследование и анализ особенностей разрушений и остаточных деформаций в топливе при динамическом воздействии, выработка рекомендаций.

1. Постановка задачи численного моделирования ударного воздействия на РДТТ

Для постановки задачи численного моделирования ударного воздействия на РДТТ необходимо:

- Определение типа ударного воздействия на РДТТ (локальное или распределенное);
- Определение скорости ударного воздействия (скорость столкновения РДТТ с преградой или скорость попадания пули);
- Определение физико-механических характеристик материалов (твердого топлива, элементов корпуса РДТТ, пули или преграды).

При ударном воздействии на корпус твердотопливной ракеты, повышенные напряжения и относительные деформации могут быть локализованы в зоне воздействия или распределены по объему заряда, либо существенной его части. Условимся локальным (точечным) ударным воздействием считать такое, которое вызывает появление повышенных напряжений и относительных деформаций лишь в локальной области. Соответственно, распределенным ударным воздействием условимся считать такое, при котором напряжения и относительные деформации распределены по объему заряда.

К случаю локализации напряжений и относительных деформаций относятся попадания пуль и осколков, а также удары при установке в шахту и схода с направляющих. Распределение напряжений и относительных деформаций по всему объему заряда возникает при падении на пол или рельс, а также при воздействии детонационной волны. Заметим, что в случае чрезвычайного сильного уда-

ра при установке в шахту напряжения и относительные деформации также могут иметь распределенный характер.

Скорость ударного воздействия напрямую зависит от характера взаимодействия.

Для падения скорость соударения с полом или рельсом можно с высокой точностью определить по формуле:

$$V = \sqrt{2 \cdot h \cdot g}, \quad (1)$$

где h – высота падения;
 g – ускорение свободного падения.

Обычно скорость падения не превышает нескольких метров в секунду.

При простреле корпуса ракеты скорость ударного взаимодействия соответствует скорости пули или осколка. Для pistolетных патронов скорость пули может достигать 300...500 м/с, для промежуточных и винтовочных 700...1000 м/с. Начальная скорость осколков гранаты составляет 700...720 м/с. Величина начальной скорости указывается в таблицах стрельбы и в боевых характеристиках оружия.

Для определения напряженно-деформированного состояния заряда твердого топлива при статическом или динамическом нагружении необходимо располагать информацией о физико-механических характеристиках материала топлива с учетом влияния различных внешних и внутренних факторов, таких как температура окружающей среды, срок эксплуатации, характер и время внешнего воздействия, химический состав топлива. Следует учитывать, что материал топлива обладает такими нежелательными свойствами, как ползучесть, растрескивание при низкой температуре из-за высокой жесткости, анизотропия, снижение прочностных характеристик при повышенных температурах и старение [2 – 6, 24]. Подобная изменчивость физико-механических свойств топлива затрудняет возможность предсказания результатов воздействия на корпус твердотопливной ракеты.

Деформации заряда зависят от характера приложения нагрузки, поскольку твердое топливо относится к вязко-упругим материалам. В общем случае оно характеризуется малым модулем упругости, большим относительным удлинением, достаточно высокой прочностью на разрыв и выраженным пределом текучести. При медленном приложении нагрузки твердое топливо является пластичным, при быстром приложении – хрупким. Твердое топливо теряет твердость и прочность с повышением температуры и становится жестким и хрупким при низких температурах. Прочностные свойства топлив находятся в сильной зависимости от скорости деформации.

В зависимости от вида топлива, способа снаряжения (вкладной или прочноскрепленный с корпусом заряд) условий работы (температуры, влажности и т. п.) и типа нагрузки (статической, динамической, импульсной или длительной и т. п.) меняется как поведение материала, так и важность тех или иных физико-механических характеристик. Для прочноскрепленного заряда, как правило, наиболее важным является высокое значение относительных деформаций топлива, достигающее 50 и даже 100% [6].

Твердые топлива, как и другие полимерные материалы, подвержены необратимому изменению свойств из-за происходящих в полимерах химических и физических процессов. Структурные нарушения в заряде накапливаются и развиваются в трещины на свободной поверхности заряда или приводят к отслоению заряда от корпуса. При длительном хранении могут ухудшаться внутрибаллистические и энергетические параметры заряда, повышаться чувствительность топлива к внешним воздействиям, снижаться прочность различных структурных элементов и происходить другие нежелательные изменения.

Теоретическое описание поведения материала топлив производится посредством механико-математических моделей, которые идеализируют реальное поведение материала, отражая его наиболее характерные свойства. Большое разнообразие видов топлив и свойств, проявляющихся при различных условиях работы, а также стремление к более подходящему описанию породили до сих пор и продолжают порождать различные механико-математические модели.

2. Математические модели материалов твердых топлив

Используемые при прочностных расчетах механико-математических модели материала должны отражать особенности поведения твердого топлива при статических и динамических воздействиях, зависимость деформации заряда от характера приложения нагрузки, скорости деформации и температуры, изменение свойств топлив из-за происходящих в них химических и физических процессов. Наличие у твердых топлив таких особых свойств позволяет сделать вывод о необходимости

использования различных математических моделей материалов твердого топлива, в зависимости от типа и характера нагружения. При использовании любой модели материала особенно важно установить критерии разрушения, так как они позволяют прогнозировать пределы безопасной эксплуатации двигателя или его транспортировки и определять недопустимые режимы нагружения.

В зависимости от типа твердого топлива и характера действующей нагрузки необходимо использовать различные модели поведения материалов [7, 8]. Более сложное поведение материала обычно описывается математическими моделями, использование которых в численном моделировании требует большого количества машинного времени. Модели материалов твердого топлива, соответствующие различным условиям нагружения, представлены в таблице 1.

Таблица 1. – Модели материалов твердого топлива для разных условий нагружения.

Условия нагружения	Модели материала
Статическая нагрузка с малыми относительными деформациями (5-10%) при низких температурах	Линейно-упругая
Статическая нагрузка с большими относительными деформациями (10-100%)	Мультилинейная упругая
Динамическое воздействие с малыми скоростями деформации	Билинейная и мультилинейная пластические
Динамическое воздействие с высокими скоростями деформации (ударное взаимодействие)	Кинематическая билинейная и мультилинейная модели с упрочнением и зависимостью от скорости деформации Вязкопластические модели

При использовании любой модели материала особенно важно установить критерии разрушения, так как они позволяют прогнозировать пределы безопасной эксплуатации двигателя или его транспортировки и определять недопустимые режимы нагружения. Для определения разрушения используются различные подходы, например, считают, что разрушение наступает при появлении первой видимой трещины или при разрыве образца, при достижении максимального значения напряжения на кривой напряжение-деформация или при максимально допустимом возрастании того или иного параметра. Разумеется, само разрушение имеет статистическую природу, и при расчетах на прочность это тоже следует принимать во внимание.

Существуют две категории критериев разрушения твердых ракетных топлив: критерии первой категории представляют собой простые соотношения между разрушениями в натурных двигателях и в лабораторных испытаниях, а критерии второй категории носят аналитический характер и допускают геометрическое представление в виде "поверхностей разрушения". К критериям первой категории можно отнести предельные напряжения σ_{np} и предельные относительные деформации ε_{np} [2, 6], к критериям второй категории - коэффициент интенсивности напряжений K и инвариантный энергетический интеграл J -интеграл [9]. При решении сложных задач с разрушением материала возможно использование совокупности различных критериев.

3 Математическая модель динамических процессов в конструкции РДТТ

Система уравнений, описывающая движение и состояние тел при их ударном взаимодействии является системой дифференциальных уравнений второго порядка в частных производных [16 – 22] и включает в себя:

- уравнения фундаментальных законов сохранения механики сплошных сред (сохранения массы, импульса, энергии);
- уравнения описания поведения материалов (определяющее уравнение, уравнение состояния);
- кинематические отношения, геометрические соотношения и дополнительные для обеспечения замкнутости системы.

Точное решение такой системы в аналитическом виде получить невозможно.

Известно [3], что при действии динамических нагрузок на ракету в ее корпусе возникают колебательные процессы, которые в случае неблагоприятного сочетания факторов могут оказаться определяющими для прочности и надежности конструкции.

Основными задачами динамического расчета обычно являются:

- определение максимальных внутренних динамических усилий и сравнение их с предельными или разрушающими;

- расчет динамической устойчивости элементов конструкции ракеты и ракеты в целом.

Главнейшими динамическими характеристиками конструкции являются собственные частоты (или периоды свободных колебаний) и формы колебаний. Если нагрузка нарастает или вообще претерпевает изменения и течение времени, не превышающего два-три периода свободных колебаний, то такая нагрузка по отношению к конструкции может считаться динамической и быстро изменяющейся.

Для определения напряженно-деформированного состояния заряда твердого топлива при динамическом воздействии на РДТТ используются экспериментальные исследования и эмпирические соотношения.

Высокоскоростное взаимодействие тел на практике выполняется экспериментальными методами. Однако, исследование поведения заряда твердого топлива с использованием натуральных РДТТ является неоправданно дорогим и трудоемким процессом.

Для изучения реакции твердого ракетного топлива на циклическое нагружение проводятся специальные динамические испытания. Получаемая при этом информация полезна для оценки вибрационных характеристик конструкций, вязкоупругих свойств топлива, вибрационного горения, характеристик демпфирования материала и срока службы твердого топлива при усталостных нагрузках.

Выделяют две основные категории испытаний:

- испытания с малой деформацией (меньше 1%) при достаточно малом времени нагружения;

- испытания с большой деформацией (близкой к разрушающим деформациям при одноосном нагружении) при времени нагружения, достаточном для повреждения или полного разрушения образца.

Силовые приводы, используемые в испытаниях, могут быть основаны на различных физических принципах (механическом, электромагнитном, электродинамическом, пьезоэлектрическом) [2].

Расчет напряженно-деформированного состояния твердотопливных зарядов и оценка их прочности при динамическом нагружении является сложной теоретической задачей. В настоящее время нет методов расчета прочности зарядов при действии ударных нагрузок, рекомендуемых при проектировании РДТТ.

В качестве упрощенной математической модели поведения твердого топлива при динамическом нагружении могут рассматриваться соотношения Тормея и Бритона [23].

Тормей и Бритон сводят динамическое воздействие к циклическому. В своей работе они считают, что воздействие на смесевые топлива циклических нагрузок приводит, прежде всего, к появлению в системе некоторой дополнительной энергии. Эта энергия распределяется в топливной массе следующим образом: часть энергии аккумулируется в полимерных цепях топливной связки, часть — поглощается на поверхностях раздела компонентов топливной смеси и, наконец, часть энергии выделяется в виде тепловой, вызывая разогрев топливной массы заряда.

Данные аналитические соотношения описывают узкий класс процессов и в общем случае не применимы для метод оценки разрушения заряда твердого топлива при локальном и распределенном динамическом воздействии на РДТТ.

4. Численное моделирование ударного взаимодействия РДТТ с преградой

Аналитические методы расчета напряженно-деформированного состояния заряда РДТТ не могут дать результаты требуемой точности. Различные режимы работы и условия эксплуатации, для разных типов ракет, не позволяет установить единые расчетные случаи. Расчет заряда на прочность из-за высокой сложности целесообразно выполнять при помощи ЭВМ. Развитие вычислительной техники и совершенствование численных методов позволили решать задачи моделирования динамических процессов в конструкции с помощью специальных программных продуктов.

Различные ударного воздействия на корпус РДТТ относятся к глубоко нелинейным задачам механики сплошных сред. Для их решения необходимо использовать численные методы механики сплошных сред [7].

Наибольшее распространение для решения задач ударного взаимодействия получили Лагранжева, Эйлерова и Лагранжево-Эйлерова постановки [10, 7].

В лагранжевой сетке узлы и элементы двигаются вместе с материалом. Зависимые переменные (узловые значения) являются функциями от лагранжевых координат и времени.

При эйлеровой сетке конечных элементов узлы фиксируются в пространстве, а переменные являются функциями от эйлеровых координат и времени. Так как через сетку элементов течет материал среды, переменные, характеризующие состояния среды, переносятся. Уравнения сохранения включают дополнительные члены. В алгоритме вычисления нужен адвекционный шаг, где переменные узлов вычисляются в соответствии с новыми точками среды.

Известные в настоящее время алгоритмы позволяют при использовании эйлеровой сетки каждый элемент содержать один или более одного материала. Такие сетки, соответственно, называются однокомпонентной, многокомпонентной эйлеровой сетками. Элементные переменные в элементах, содержащие более одного материала, являются усредненными.

Лагранжево-эйлерова (ALE) сетка объединяет преимущества лагранжевой и эйлеровой сеток. В алгоритме между лагранжевыми шагами содержится шаг выравнивания сетки и адвекционный шаг.

Шаг выравнивания сетки строит новую сетку вместо старой искаженной. При этом определяются узлы, которые необходимо переместить; затем производится перемещение граничных и внутренних узлов в новое положение. В алгоритме простого усреднения координаты одного нового узла определяются усреднением координат его окружающих узлов. В алгоритме эквипотенциального выравнивания используется параметрическая сетка, в которой топология узлов при выравнивании не меняется. Новое положение узлов определяется путем решения уравнения Лапласа. После выполнения шага выравнивания сетки, необходимо осуществить адвекционный шаг, с помощью таких же алгоритмов, как при применении эйлеровой сетки.

В начальный момент времени предполагается, что соударяющихся тел не деформированы, не возмущены, все точки одного тела находятся в покое, а все точки другого движутся с одинаковой скоростью.

При постановке задачи взаимодействия тел необходимо также задавать граничные условия, исходя из физических условий задачи. Например, перемещения точки на закрепленных поверхностях неподвижного тела всегда равны нулю.

На поверхности контакта должны задаваться условия контакта. Так как реализация начальных условий на контактной поверхности сложная, в работе предлагается конкретный алгоритм вычисления. По физическому смыслу граничные условия на этой поверхности накладывают ограничения на скорость движения находящихся в контакте точек, в соответствии с условием непроницаемости.

Обзор и анализ литературы [7, 9, 10, 11] дает возможность выработать единую методику для численного моделирования динамических процессов в конструкции РДТТ.

Развитие вычислительной техники и совершенствование численных методов позволили решать задачи моделирования динамических процессов в конструкции с помощью специальных программных продуктов. Наибольшую популярность среди них получили Ansys (ANSYS, Inc.), LS-DYNA (Livermore Software Technologies Corp.), ADAMS (Mechanical Dynamics, Inc.), Pro/Engineer, MSC NASTRAN и др.

Оптимальная реализация перечисленных выше математических моделей материала твердого топлива и критериев разрушения при динамическом воздействии на РДТТ, может быть осуществлена средствами LS-DYNA – программным продуктом, эффективно используемым для решения задач численного моделирования динамических процессов в конструкции РДТТ [12 – 15].

Описанная методика позволяет моделировать динамическое ударное воздействие на РДТТ (рис.1).

Заключение

Обзор и анализ литературы показывает, что исследование проблемы ударного взаимодействия РДТТ с преградой требует решения следующих задач:

1. Исследование физико-механических свойств твердых топлив при статических и динамических нагрузках.
2. Исследование математических моделей материалов и критериев разрушения твердых топлив.
3. Создание математической модели ударного взаимодействия РДТТ с преградой (геометрическая и численная модели).
4. Проведение численных расчетов и анализ полученных результатов.

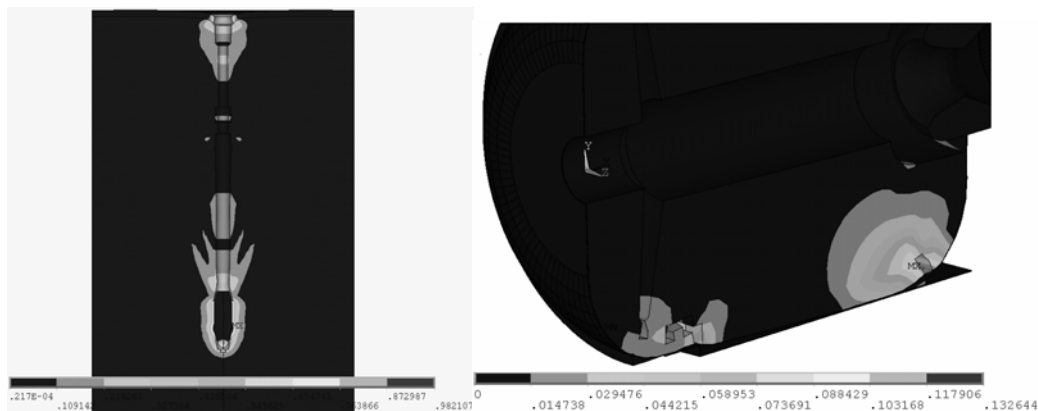


Рис. 1. Относительные деформации при простреле РДТТ и при падении РДТТ на пол.

Библиографический список

1. В. И. Погорелов, Д. А. Федоров. Локализация области опасных напряжений в топливе при точечном столкновении РДТТ с преградой. Инновационные технологии и технические средства специального назначения: труды научн.-практ. конф./Балт. гос. техн. ун-т. – СПб.; 2008. С. 34-40.
2. И. Тимнат. Ракетные двигатели на химическом. - М. Мир 1990, 292 с.
3. А.М. Синюков, Л.И. Волков, А.И. Львов, А.М. Шишкевич. Баллистическая ракета на твердом топливе. М., Воениздат, 1972.
4. Г. П. Гардымов, Б.А. Парфенов, А. В. Пчелинцев. Технология ракетостроения. – СПб: «Специальная литература», 1997.
5. Штехер И. С. Топлива и рабочие тела ракетных двигателей. Учебное пособие для авиационных вузов. М., «Машиностроение», 1976.
6. Н.Г. Рогов, Ю.А. Груздев. Физико-Химические свойства порохов и твердых ракетных топлив: Учебное пособие. – СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2005 г.
7. John O. Hallquist. LS-DYNA Theoretical manual. Livermore Software Technology Corporation. 1998. 498 p.
8. Д. Коларов, А. Балтов, Н. Бончева. Механика пластических сред. – М.: Мир, 1979, 302 с.
9. Е. М. Морозов, А. Ю. Муйземнек, А. С. Шадский. ANSYS в руках инженера. Механика разрушения. - М.: Ленанд, 2008. - 456 стр.
10. А. Ю. Муйземнек, А. А. Богач. Математическое моделирование процессов удара и взрыва в программе LS-DYNA: учебное пособие / А— Пенза: Информационно издательский центр ПГУ, 2005. — 106 с.
11. Бохова Л.А. Особенности расчёта на прочность элементов конструкций из изотропных и композиционных материалов с допустимыми дефектами: Монография.- Улан-Удэ: Изд-во ВСГТУ, 2007. -192с.
12. В. И. Погорелов, Д. А. Федоров Локализация области опасных напряжений в топливе при точечном столкновении РДТТ с преградой. Вестник Балтийского государственного технического университета. № 3. /Балт. гос. техн. ун-т. – СПб.; 2008. С. 40-45.
13. Федоров Д.А. Влияние времени хранения двигателя твердого топлива на напряженно-деформированное состояние заряда при внешнем ударном воздействии. XXXIII Гагаринские чтения. Научные труды Международной молодежной научной конференции в 8 томах. Москва, 7-10 апреля 2009 г. М.: МАТИ, 2007. Т.2. с. 116 – 117.
14. Кривошеина М.Н., Радченко А.В., Кобенко С.В., Афтаева Е.Н. Влияние ориентации свойств двухслойной ортотропной оболочки, скрепленной с твердым топливом, на параметры волны сжатия при ударе. Механика композиционных материалов и конструкций 2004 г., том 10, №2 с 276-288.
15. LS-DYNA keyword users's manual, volume II. Livermore Software Technology Corporation. 2001. 544 p.
16. Альтицлер Л. В., Крупников К. К., Бражник М. И. Динамическая сжимаемость металлов при давлениях от четырехсот до четырех миллионов атмосфер. В журн. “Экспериментальная и теоретическая физика”, 1958, т. 34, вып. 4.
17. Бабкин А. В., Селиванов В. В. Прикладная механика сплошных сред, в 3-х т. Том 1 – Основы механики сплошных сред. –М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1998.
18. Иванов К. М, Лясников А. В, Новиков Л. А, Юргенсон Э. Е. Математическое моделирование процессов обработки давлением. –СПб., ТОО “Инвентекс”, 1997.

19. Седов Л. И. Механика сплошной среды, в 2 т. –М., Наука, 1980, т. 1. 20. Седов Л. И. Механика сплошной среды, в 2 т. –М., Наука, 1980, т. 2.
21. Физика взрыва/ Под ред. Орленко Л. П. В 2 т. Т.2. –М., ФИЗМАТЛИТ, 2002.
22. Фомин В. М., Гулидов А. И., Сапожников Г. А. и др. Высокоскоростное взаимодействие тел. –Новосибирск, изд-во СО РАН, 1999.
23. Torrey J.F., Britton S.C. Effect of Cyclic Loading on Solid Propellant Grain Structures, “AIAA Journal” 1963, 1, 8.
24. Бован Д.В., Червоненко А.В. К вопросу создания специальной техники в процессах подготовки твердых сырьевых энергонасыщенных материалов и обеспечения безопасности рассаряжения и утилизации боеприпасов. Збірник 6 - ої міжнародної наукової конференції аспірантів та студентів. - Донецьк: ДонНТУ, 2007. С.124 - 125.

УДК 517: 621.83

АНАЛИЗ МЕТОДОВ БАЛАНСИРОВКИ ВРАЩАЮЩИХСЯ КОНСТРУКЦИЙ

А.В. Кузнецова, В.И. Прокопчук

ОАО «Конструкторское бюро специального машиностроения»
(ОАО «КБСМ»)

Рассмотрены методы балансировки вращающихся конструкций.

Введение. В соответствии с техническим заданием, для обеспечения работоспособности антенного поста поверхность антенны не должна отклоняться от начального положения более чем на 8 угл. мин. при ветровом воздействии. Помимо ветрового воздействия отклонение антенны вызывается действием неуравновешенных сил и моментов, связанных с вращением контейнера относительно вертикальной оси.

Для расчета этих сил и моментов антенный пост представляется состоящим из отдельных элементов. До тех пор, пока антенный пост находится в состоянии покоя и не вращается, на каждый элемент его конструкции действует только сила тяжести, направленная вертикально. Как только антенный пост начинает вращаться, на каждый элемент конструкции антенного поста дополнительно начинает действовать центробежная сила, направленная горизонтально. Сила тяжести и центробежная силы создают соответствующие моменты относительно опорно-поворотного устройства. Суммируя эти моменты для каждого элемента конструкции, получим суммарный опрокидывающий момент. Рассмотрено два варианта балансировки.

В первом варианте балансировки только суммарный момент сил тяжести и центробежных сил сводится к нулю. Реакция от центробежных сил остаётся неуравновешенной (рис. 1).

Во втором варианте балансировки к нулю сводится как суммарный момент, так и реакция от центробежных сил (рис. 1).

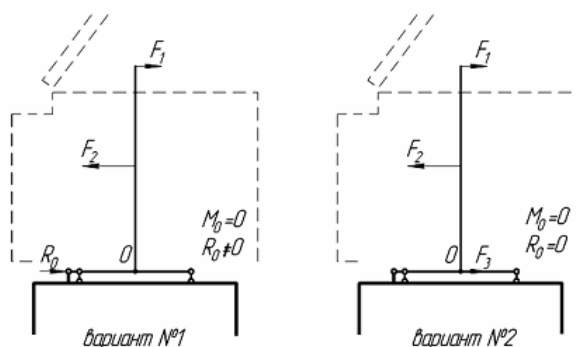


Рис. 1. Варианты балансировки.

Для пояснения вышесказанного рассмотрим рис. 1. На нем вращающийся контейнер условно изображен в виде шарнирно закреплённого вертикального вала. Изначально вал не сбалансирован и на него действует сила F_2 , создающая момент относительно точки O . Для того, чтобы вал остался в вертикальном положении к нему необходимо приложить силу F_1 , создаваемую балансировочным грузом. Посредством этой силы вращающийся вал остаётся вертикальным, однако появляется горизонтальная реакция R_0 , возникающая в точке контакта опорно-поворотного устройства с основанием. (рис. 1 вариант 1). Данное состояние системы соответствует первому варианту балансировки.

Для того чтобы компенсировать горизонтальную реакцию R_0 необходимо установить ещё один балансировочный груз на высоте точки O , центробежная сила F_3 от второго груза уравнивает реакцию R_0 .

Второй вариант балансировки обеспечивает полное отсутствие горизонтально направленных сил со стороны контейнера.

Выбор одного из двух вариантов балансировки производится на основании вычисления суммарной массы балансировочных грузов по первому и второму вариантам балансировки, а также на основании расчета динамики высотной опоры при вращении антенного поста в период начального увеличения скорости вращения и в период установившегося вращения для случая балансировки по первому варианту. Высотная опора, осуществляющая подъем антенных систем на высоту 50 м.

Расчет действующих моментов производится относительно плоскости качения шаров в опорном погоне ОПУ. Для этого используется центральная система координат, показанная на рис. 2.

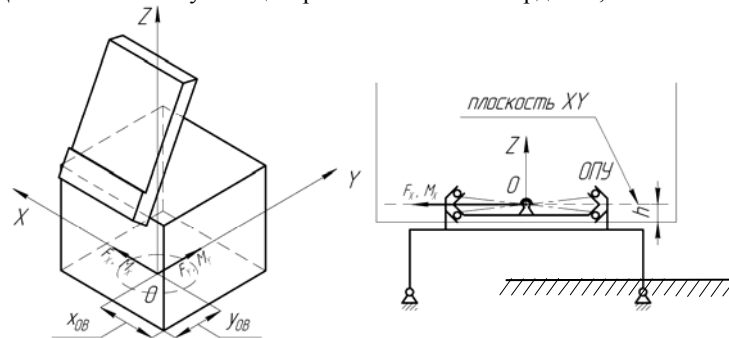


Рис. 2. Центральная система координат.

1. Первый вариант балансировки

Выбор параметров балансировочного груза по первому варианту балансировки

Масса балансировочного груза определяется исходя из равенства нулю проекции суммарного опрокидывающего момента на ось z.

Балансировочный груз должен находиться на линии АВ на крыше контейнера (рис. 3).

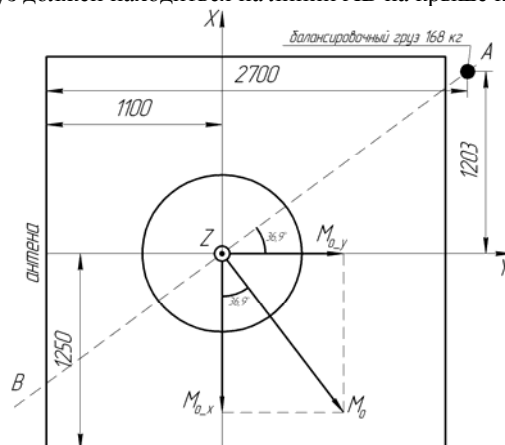


Рис. 3. Направление суммарного вектора опрокидывающего момента и расположение балансировочного груза.

Так как центр масс груза находится на прямой АВ, то он одновременно уравнивает контейнер и по оси Х и по оси Y.

Для расчета динамики высотной опоры при разгоне антенного поста от нулевой скорости до номинальной, использовалась конечноэлементная модель. Модель высотной опоры состоит из двух частей: модели антенного поста и модели вышки.

Суммарный вектор опрокидывающего момента и суммарный вектор центробежной силы относительно контейнера изменяются только по модулю и только в период разгона. Время разгона составляет 40 с, что значительно больше периода собственных колебаний не только антенного поста, но и высотной опоры в целом.

Нагрузка на вышку носит динамический характер, так как относительно вышки суммарный вектор центробежных сил поворачивается со скоростью, равной скорости вращения антенного поста. Таким образом, в процессе разгона нагрузка на вышке постоянно изменяется не только по модулю, но и по направлению.

Отклонение антенны определено как сумма отклонения, связанного с деформацией металлоконструкции антенного поста под нагрузкой от действия центробежных сил, и отклонения, связанного с колебаниями ОПУ под действием суммарного вектора центробежных сил.

В процессе разгона скорость вращения антенного поста постоянно увеличивается, следовательно модуль вектора опрокидывающего момента уменьшается от величины модуля вектора момента от сил тяжести до величины остаточной неуравновешенности, равной 409 Нм. Модуль вектора суммы центробежных сил при этом постоянно увеличивается от 0 до 3763 Н.

Графики зависимостей проекций опрокидывающего момента и вектора суммы центробежных сил на оси Х, Y центральной системы координат приведены на рис. 4 – 5.

Влияние вращательного ускорения на напряженно-деформированное состояние антенного поста не учитывалось, т.к. его действие не приводит к возникновению раскачивающих колебаний в период разгона антенного поста, а в период вращения на номинальной скорости вращательное ускорение вообще отсутствует.

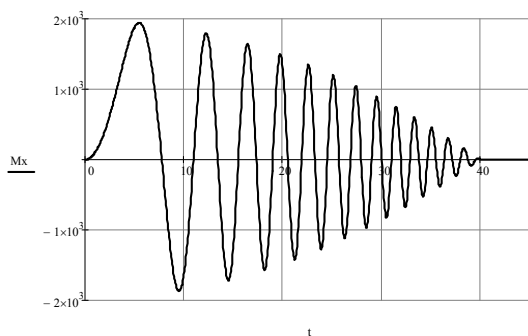


Рис. 4. Зависимость проекций опрокидывающего момента антенного поста В1 от времени.

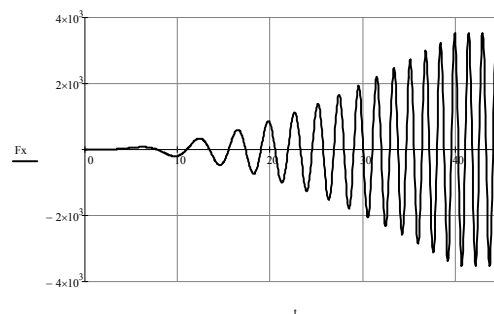


Рис. 5. Зависимость проекций суммарного вектора центробежных сил от времени.

Так как время разгона достаточно велико, а частота собственных колебаний контейнера значительно выше частоты прикладываемой нагрузки, то для составления картины колебаний высотной опоры под действием сил и моментов от вращающегося антенного поста необходимо рассматривать два отдельных периода: начальный и установившийся. Начальный период разгона характерен тем, что нагрузка на ОПУ в основном состоит из неуравновешенного момента от сил тяжести, момент от центробежных сил невелик, как и суммарный вектор центробежных сил. Период установившегося вращения характерен тем, что момент от сил тяжести практически полностью уравновешен моментом от центробежных сил, однако вектор суммы центробежных сил достаточно велик.

При балансировке по первому варианту, отклонение антенны, вызванное опрокидывающим моментом, равным по модулю 409 Нм и суммарным вектором центробежных сил, равным по модулю 3763 Н не вызывает отклонений более 2 угл. мин, тогда как от действия ветра отклонение составляет 5 угл. мин.

2. Второй вариант балансировки

Второй вариант балансировки позволяет полностью уравновесить не только опрокидывающий момент, но и суммарный вектор центробежных сил. Для этого на металлоконструкции антенного поста устанавливаются два груза. Первый груз устанавливается исходя из требования уравновесить действие момента от центробежных сил. Этот груз устанавливается в верхнем срезе металлоконструкции антенного поста для того, чтобы плечо центробежной силы от этого груза было максимальным. Второй груз уравнивает действие центробежных сил и моменты относительно осей центральной системы координат от сил тяжести и устанавливается на уровне ОПУ (это позволяет компенсировать статический момент и при этом не создавать нежелательный момент от центробежной силы).

Расчет масс балансировочных грузов производится в два этапа. На первом этапе по величинам проекций момента центробежных сил определяется масса первого балансировочного груза. На втором этапе по величинам проекций момента от сил тяжести определяется масса второго груза. Выбор параметров балансировочных грузов производится исходя из величин моментов.

Так как центр масс груза находится на прямой АВ, то он одновременно уравнивает контейнер и по оси X и по оси Y.

После того как масса первого балансировочного груза, компенсирующего действие момента центробежных сил, определена, находим массу второго балансировочного груза, компенсирующего действие момента сил тяжести (с учётом наличия в конструкции первого балансировочного груза).

Для уменьшения модуля статического момента необходимо разместить балансировочный груз, центр масс которого должен находиться на прямой АВ. Координата этого груза по оси y локальной системы координат контейнера определяется исходя из конструктивных ограничений.

Координата по оси z локальной системы координат контейнера выбирается таким образом, чтобы в центральной системе координат обеспечить минимальное расстояние от начала координат (т.е. от плоскости ОПУ) до центра масс второго балансировочного груза. Это сделано для того, чтобы не создавать плечо для центробежной силы, действующей на второй груз, и тем самым не разрушать достигнутого на первом этапе равновесия.

Масса второго балансировочного груза определяется исходя из равенства нулю суммарного статического момента.

На основании этого можно утверждать, что при установке грузов, параметры которых приведены в таблице 1, контейнер будет оказывать минимальное раскачивающее воздействие на высотную опору в целом.

Таблица 1. – Параметры балансировочных грузов по второму варианту балансировки.

№ п/п	Наименование элемента	x, мм	y, мм	z, мм	m, кг
1	Балансировочный груз №1	1026	1200	2076	386
2	Балансировочный груз №2	1732	1200	0	

Заключение

В первом варианте балансировки неуравновешенная центробежная сила приводит к значительному отклонению антенны, установленной на высотной опоре.

Во втором варианте балансировки расчетный модуль вектора опрокидывающего момента и расчетный модуль центробежной силы равны нулю при любой скорости вращения. Таким образом, единственным фактором, приводящим к отклонению антенны от начального положения, остаётся действие ветровой нагрузки.

При размещении антенного поста на высотных опорах рекомендуется использовать балансировку с уравниванием опрокидывающего момента и центробежных сил.

**АНАЛИЗ НАГРУЗОК НА НИЖНИЕ ПЛОЩАДКИ ОБСЛУЖИВАНИЯ СК
ПЕРСПЕКТИВНЫХ РКН***С.В. Ефимова, А.В. Королев, А.П. Маштаков*ОАО «Конструкторское бюро специального машиностроения»
(ОАО «КБСМ»)

Опыт проектирования пусковых установок (ПУ) различного назначения и анализ литературы [1,2,5] показывает, что основным источником нагрузок на элементы металлоконструкций ПУ является газодинамическое воздействие от струй ракетных двигателей. Для определенного вида комплексов удается снизить или избежать этих нагрузок различными способами, для других они являются определяющими. В данной статье показано, что газодинамические нагрузки *не всегда* являются определяющими для расчета прочности элементов металлоконструкций стартовых комплексов.

Обычно ПУ для запуска ракетно-космического носителя (РКН) включает в своем составе кабель-заправочную башню (КЗБ), оборудованную площадками обслуживания и стрелами удержания. КЗБ бывают стационарные («Союз») и подвижные на катковом ходу («Рокот», «Протон»). Подвижные КЗБ непосредственно перед стартом отводятся от РКН для сведения газодинамических нагрузок к минимуму. Стационарные КЗБ испытывают интенсивное силовое и тепловое нагружение в процессе старта. КЗБ для запуска перспективных РКН является стационарной и должна неизбежно испытывать на себе струйные воздействия. Однако, выбранная конструктивная схема расположения КЗБ и траектория полета перспективной РКН позволили свести к минимуму газодинамические нагрузки на площадки обслуживания.

Масштабы конструкции РКН и расположение КЗБ относительно РКН потребовали соответствующих площадок обслуживания весом более 40 тонн, наветренной площадью $S \approx 55 \text{ м}^2$ и площадью горизонтальной поверхности $S \approx 67 \text{ м}^2$. Это привело к тому, что ветровые и весовые нагрузки при проектировании площадок стали определяющими, что нетипично для данного типа ПУ.

Авторы принимали участие в расчетном сопровождении рабочего проектирования площадки нижней, которая состоит из четырех секций и трех площадок, закрепленных на секциях. Расположение площадки нижней на КЗБ приведено на рис 1. Положения центра масс металлоконструкции площадки приведены на рис. 2 и 3.

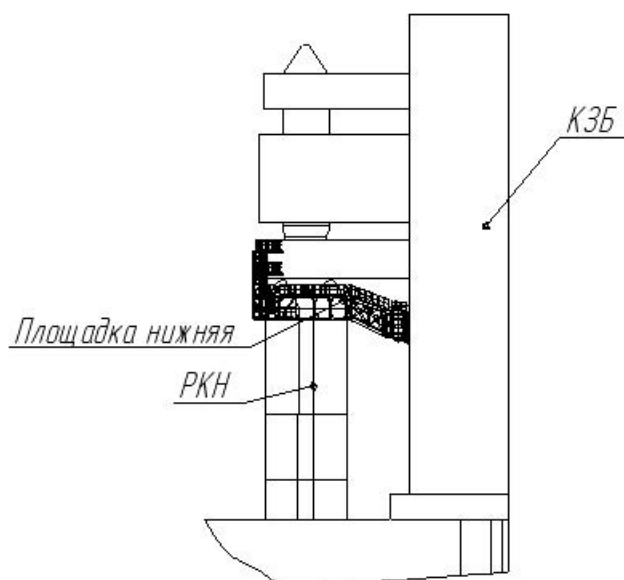


Рис.1. Кабель-заправочная башня.

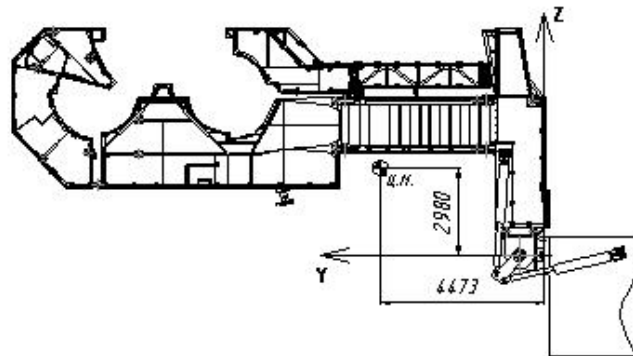


Рис.2. Центр масс площадки нижней в рабочем положении.

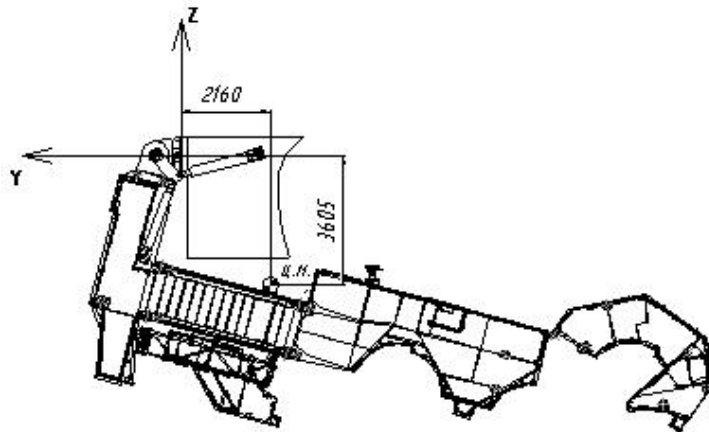


Рис.3. Центр масс площадки нижней в отведенном положении, угол поворота 165°.

Анализ конструкции площадки нижней позволил выделить следующие действующие нагрузки:

- весовые нагрузки:

1) вес металлоконструкции площадки;

2) вес снега, расположенного на площадке (IV снеговой район в соответствии с [3]);

3) вес льда при обледенении металлоконструкции площадки (II гололедный район в соответствии с [3]);

4) полезная нагрузка, которую составляет вес людей, находящихся на площадке в процессе эксплуатации [4];

- ветровые нагрузки;

- нагрузки от гидроцилиндров поворота площадки при травлении предохранительных клапанов;

- газодинамические нагрузки.

При определении нагрузок на площадку нижнюю рассматривались пять расчетных случаев:

- расчетный случай 1 - нагрузки на соединение в процессе эксплуатации (площадка в рабочем положении), скорость ветра $V = 18$ м/с;

- расчетный случай 2 - нагрузки на соединение при повороте площадки на угол 36°, скорость ветра $V = 15$ м/с;

- расчетный случай 3 - нагрузки на соединение при повороте площадки на угол 126°, скорость ветра $V = 15$ м/с;

- расчетный случай 4 - нагрузки на соединение при нахождении площадки в отведенном положении, скорость ветра $V = 20$ м/с;

- расчетный случай 5 - нагрузки на соединение при травлении предохранительных клапанов гидроцилиндров поворота площадки.

Значения нагрузок, действующих на площадку одновременно, взяты с учетом коэффициентов сочетания. Коэффициенты сочетания нагрузок приняты в соответствии с [1] и приведены в таблице 1.

Таблица 1. – Коэффициенты сочетания.

Положение площадки нижней	Коэффициенты сочетания							
	Снеговые			Ветровые				Гололедные
				При отсутствии обледенения (гололедные нагрузки не действуют)		При обледенении (гололедные нагрузки действуют)		
ψ_1	ψ_2	k	ψ_2	w	ψ_2	w	ψ_2	
Отведенное	0,95	-	0,5	0,9	1	0,9	0,25	0,9
Рабочее	-	1	1	0,8	1	0,8	0,25	0,6

Весовые и ветровые нагрузки с учетом коэффициентов сочетания приведены в таблице 2. Весовые нагрузки, действующие на площадку нижнюю при старте РКН, приведены в таблице 3.

Таблица 2. – Внешние нагрузки на площадку нижнюю.

Положение площадки	Нагрузка от веса				Нагрузка от ветра, кН
	Вес площадки, кН	Вес снега, кН	Вес льда, кН	Полезная нагрузка (вес людей), кН	
Нагрузки с учетом коэффициентов сочетания					
Отведенное	413,54	37,24	11,91	-	87,32
Рабочее	413,54	56,84	8,25	18,20	32,66

Таблица 3. – Весовые нагрузки на площадку нижнюю при старте РКН.

Положение площадки	Нагрузка от веса		
	Вес площадки Q_x , кН	Момент относительно оси Y M_y , кН·м	Момент относительно оси Z M_z , кН·м
Отведенное	-413,54	-1490,81	893,25

Из площадок обслуживания, отведенных в нерабочее положение, максимальному нагружению от струйного течения, распространяющемуся в направлении с траектории движения РКН подвергаются левые площадки, поскольку их металлоконструкции имеют максимальную парусность относительно направления набегающего потока.

Максимальные газодинамические нагрузки, действующие на площадку нижнюю при старте, приведены в таблице 4.

Таблица 4. – Газодинамические нагрузки при старте.

Вертикальная нагрузка на площадку Q_x , кН	Момент относительно оси Y $M_{yгд}$, кН·м	Момент относительно оси Z $M_{zгд}$, кН·м
-50,8	-197,3	-28,6

В таблице 3 показаны весовые нагрузки и моменты относительно узла соединения площадки с КЗБ, нагрузки определены только от веса, т.к. положение площадки соответствует предстартовому и площадка очищена от снега и наледи. В таблице 4 показаны нагрузки только от натекающего на площадку струйного течения, при этом площадка также находится в отведенном положении. В таблице 6 приведены суммарные нагрузки в момент старта РКН.

В таблице 5 приведены нагрузки на болтовое соединение относительно центра стыка О (рис. 4), при этом воспринимаемые болтовым соединением моменты M_y и M_z определены не только от веса площадки, но и учетом обледенения и снега.

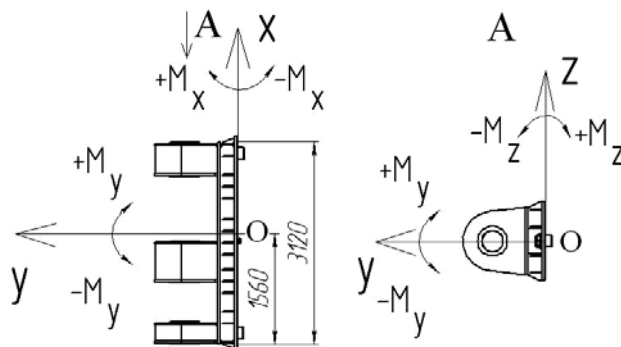


Рис.4. Положение системы координат.

Таблица 5. – Нагрузки на болтовое соединение кронштейна площадки с фланцем блока КЗБ.

Расчетный случай	Нагрузки					
	Q_x , кН	Q_y , кН	Q_z , кН	M_x , кН·м	M_y , кН·м	M_z , кН·м
Рабочее положение площадки	-496,83	-531,80	623,29	498,63	2894,15	-1521,62
Отведенное положение площадки	-462,69	4,58	-17,08	-13,67	-1783,46	1201,28

Таблица 6. – Суммарные нагрузки (весовые и газодинамические) на площадку нижнюю при старте РКН.

Положение площадки	Нагрузка от веса и натекающей струи		
	Q_x , кН	M_y , кН·м	M_z , кН·м
Отведенное	-410,80	-1688,11	864,65

Нагрузки, показанные в таблицах 2...6, приводятся к системе координат, центр которой находится в центре масс О стыка болтового соединения кронштейна площадки с фланцем блока КЗБ. Положение системы координат приведено на рис. 4.

Сравнительный анализ табличных данных (таблицы 3, 4 и 6) показывает, что газодинамические нагрузки на площадку нижнюю при старте РКН не являются определяющими и учитываются как дополнительный нагружающий фактор.

Максимальные нагрузки на нижние площадки обслуживания возникают при нахождении площадки в рабочем положении (таблица 5). В рабочем положении площадки производится обслуживании РКН, в этот момент газодинамические нагрузки отсутствуют в принципе. Однако моменты M_y и M_z от веса площадки с учетом наледи и снега *в 2 раза превышают* моменты (таблица 6), возникающие от веса и газодинамического воздействия.

Таким образом, расчетные силовые факторы от газодинамического воздействия на нижние площадки обслуживания не превышают нагрузок от снега, льда и ветра и могут не учитываться при расчетном сопровождении, т.к. прочность металлоконструкций ПУ должна обеспечиваться при предельном сочетании нагрузок. Такое предельное сочетание, как выяснилось по результатам работы, не возникает при наличии газодинамического воздействия, что нетипично для данного вида ПУ и представляет несомненный интерес.

Библиографический список

1. Афанасьев ЕВ., Балобан В.И., Бобышев С.В., Добросердов И.Л. «Структурно-элементное моделирование газодинамических процессов при старте ракет» Учеб. пособ. для ВУЗов – СПб., 2004.
2. М. Петров «Ракетные комплексы РВСН», журнал «Техника и вооружение» вып. 5-6.2001
3. СНиП 2.01.07-85. Нагрузки и воздействия. М., 1987.
4. ГОСТ В 17418-72 «Агрегаты подъемно-установочные и агрегаты обслуживания».
5. ГОСТ Р 51282-99 «Оборудование технологическое стартовых и технических комплексов ракетно-космических комплексов».

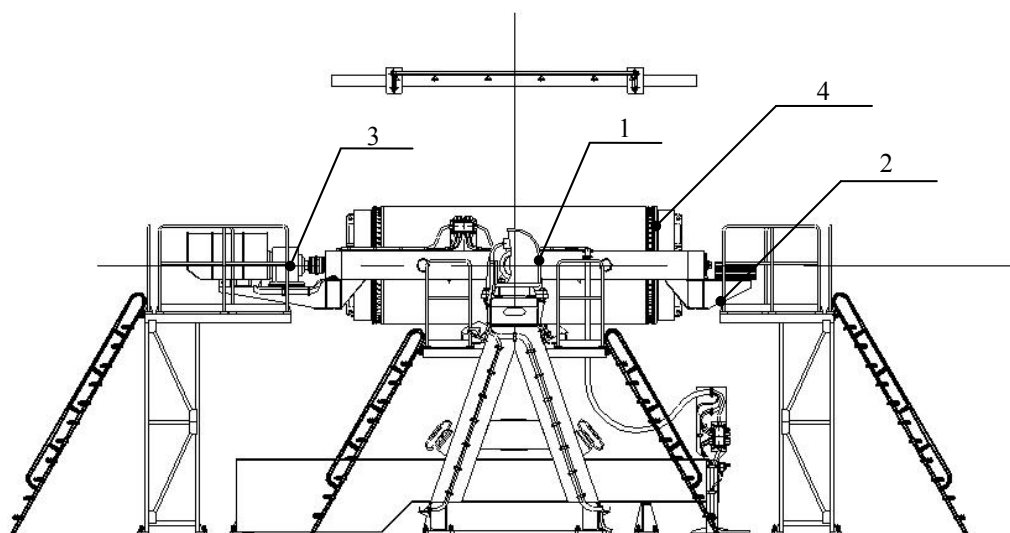
ОПЫТ ОТРАБОТКИ УСТАНОВКИ СТЕНДОВОЙ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ПОЛОЖЕНИЙ

А.В. Королев, А.П. Маштаков, А.В. Хусаинов

ОАО «Конструкторское бюро специального машиностроения»
(ОАО «КБСМ»)

Рассматриваются результаты отработки системы управления качающейся частью стенда в ходе наладочных испытаний.

Установка стендовая пространственных положений (УСПП), агрегат СМ-801, представляет собой стенд для воспроизводства качки корабля, воздействующей на объект испытаний в течение длительного промежутка времени. УСПП воспроизводит качку по углам крена и дифферента, и обеспечивает следующие сочетания углов качания по дифференту: 15, 30, 45 град. и по крену: 30, 45, 60 град., с периодами качки: 12, 9, 6 секунд. Общий вид УСПП показан на рис. 1. Общая масса качающейся части (КЧ) ≈ 22 т.



1 – объект испытаний; 2 – качающаяся часть;
3 – привод воспроизводства качки по углу крена;
4 – привод воспроизводства качки по углу дифферента.

Рис. 1. Общий вид УСПП.

Для воспроизводства качки по каждому из углов на стенде установлены асинхронные электродвигатели с частотным регулированием ($N_{\text{дифф}} = 45$ кВт, $N_{\text{крен}} = 7,5$ кВт) и циклоидально-цевочные редукторы (передаточные отношения $i_{\text{дифф}} = 195$, $i_{\text{крен}} = 165$) передающий момент на валы КЧ через зубчатые муфты.

В процессе наладочных испытаний проводилась отработка и наладка программного обеспечения (ПО) системы управления (СУ) стендом, работоспособность узлов приводов качающейся части (КЧ) стенда в целом. В проектировании ПО и СУ была задействована смежная организация. По результатам первого этапа испытаний было выявлено, что ПО и СУ не соответствуют предъявляемым к ним требованиям.

На этапе проектирования в сопроводительных расчетах, подтверждающих работоспособность конструкции, в качестве исходных данных для кинематического и силового расчетов задавался синусоидальный закон изменения угла поворота КЧ в зависимости от времени, рис.2. Поскольку начало качания производится не от нулевого положения, то фактически закон носит косинусоидальный

характер. Такое допущение удобно для поиска производных в аналитическом решении, что будет показано далее.

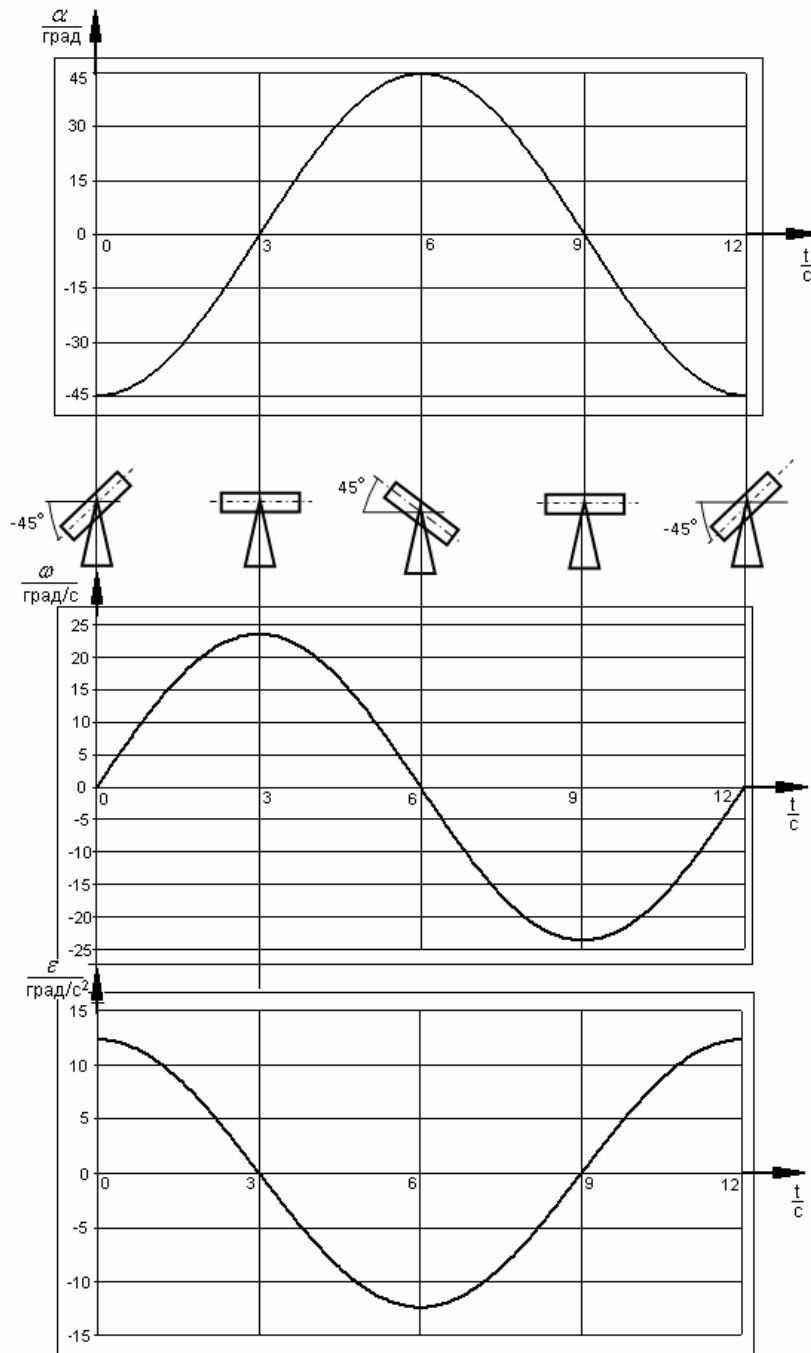


Рис. 2. Графики изменения угловой скорости и углового ускорения в зависимости от угла поворота КЧ для привода воспроизводства качки по углу дифферента с амплитудой 45° и периодом 12 с.

Разработанная СУ предусматривает контроль угловой скорости вращения выходного вала электродвигателя и момента на валу в процентном соотношении от номинала. Контроль же углового

положения КЧ осуществляется «пересчетом» количества импульсов поступающих с энкодера в СУ, где определенному количеству импульсов соответствует определенная угловая величина. Разработчиками ПО на всех этапах проектирования не было предусмотрено включение в СУ стендом обратной связи между угловой скоростью поворота КЧ и вращения вала электродвигателя. Необходимость такой обратной связи подтверждена по результатам отработки стенда и показана на рис.3.

Нерасчетные величины угловых скоростей и ускорений могут привести к нерасчетным режимам нагружения стенда. Известные соотношения (1) и (2) хорошо показывают влияние закона движения на режим нагружения.

$$E = J \cdot \omega(t)^2 / 2; \quad (1)$$

$$M_{кч} = J \cdot \varepsilon(t), \quad (2)$$

где J – массовый момент инерции относительной выбранной оси качания.

Расчетный закон движения [1] записывается соотношением (3), откуда можно получить аналитические выражения для закона изменения угловой скорости $\omega(t)$ и углового ускорения $\varepsilon(t)$:

$$\alpha(t) = -A \cdot \cos(\omega \cdot t); \quad (3)$$

$$\dot{\alpha}(t) = \dot{\omega}(t) = A \cdot \omega \cdot \sin(\omega \cdot t);$$

$$\ddot{\alpha}(t) = \ddot{\varepsilon}(t) = A \cdot (\omega)^2 \cdot \cos(\omega \cdot t),$$

где A – амплитуда качки для заданного режима;

$\omega = 2\pi/T$ – круговая частота;

T – период качки для заданного режима.

С другой стороны, момент, приходящийся на КЧ от момента на двигателе, можно определить:

$$M_{кч} = M_{ном} \frac{M\%}{100\%} \cdot i \cdot \eta, \quad (4)$$

где i – передаточное отношение редуктора,

η – К.П.Д. редуктора,

$M_{ном}$ – максимальный номинальный момент на электродвигателе,

$M\%$ – момент на электродвигателе в процентах от номинального, регистрируемый СУ.

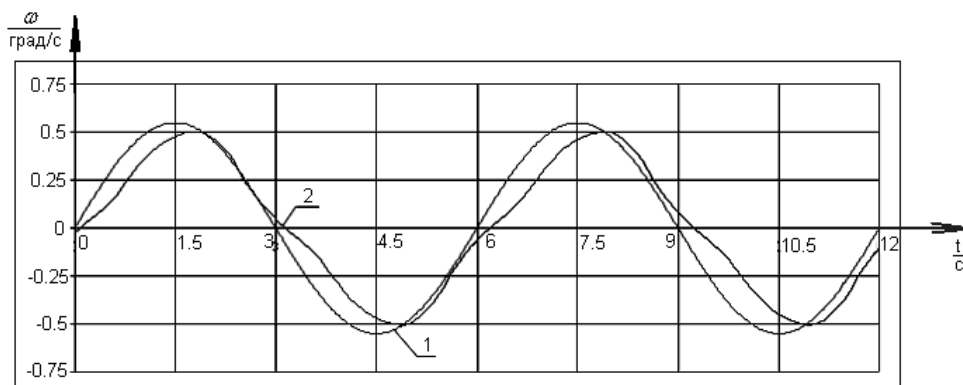
В ходе первого этапа наладочных испытаний было установлено, что закон движения, заложенный в СУ, не соответствует заданному по ТЗ. Режимы нагружения стенда не соответствуют расчетным режимам. После обработки и анализа полученных экспериментальных данных были выработаны конкретные рекомендации по усовершенствованию ПО и доработкам узлов и соединений, передающих моменты на металлоконструкцию стенда.

Закон движения удалось приблизить к требуемому закону, инерционные нагрузки на механическую часть стенда снизить. Результаты анализа новых экспериментальных данных после проведенных доработок приведены на рис.3 и рис. 4.

На рис.4 видно, что кривая 2 практически повторяет по форме теоретическую кривую 1. Кривая 3 – дает совпадения с кривой 2, полученной численным дифференцированием фактически обрабатываемой угловой скорости. Положения экстремумов совпадают, однако разнятся в амплитудных значениях, что фиксирует превышение момента на электродвигателе выше номинального ($M_{ном}$).

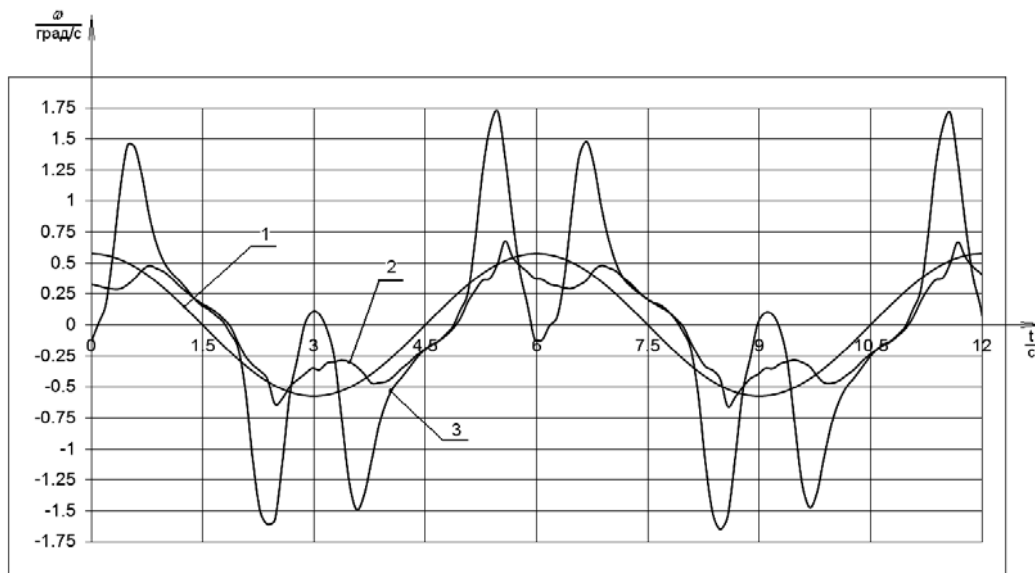
В соответствии с основным уравнением динамики [2] вращательного движения (2) величина потребного момента целиком определяется инерционностью системы и законом движения (угловым ускорением). В соответствии с заданным законом движения и уравнением (2) с некоторым запасом были выбраны редукторы и электродвигатели, которые реализовывали максимальный потребный момент на самых экстремальных режимах качки.

Следует полагать, что фиксируемый на электродвигателе момент дает больше представления о реальных ускорениях (кривая 3, на рис.4) испытываемых металлоконструкцией КЧ, чем кривая 2, полученная численным дифференцированием. По приведенным результатам на рис. 4, режим качки ($A=30^\circ$, $T = 6$ с) не самый нагруженный для привода дифферента, поэтому моменты на электродвигателе выше номинального реализовываться не должны.



1 – заданный закон изменения угловой скорости от времени ($A=30^{\circ}$, $T = 6$ с);
 2 – фактически обрабатываемое СУ угловая скорость.

Рис. 3. Изменение угловой скорости на раме КЧ в зависимости от времени.



1 - заданный закон изменения углового ускорения от времени ($A=30^{\circ}$, $T = 6$ с);
 2 - фактически обрабатываемое СУ угловое ускорение, численное дифференцирование по угловой скорости; 3 - угловое ускорение, пересчитанное по зависимостям (2) и (4) по результатам измерения момента на электродвигателе в процентах от номинального момента.

Рис. 4. Изменение углового ускорения на раме КЧ в зависимости от времени.

Заключение

Анализ результатов измерений, фиксируемых в СУ, на этапе наладочных испытаний позволяет сделать вывод, что введение в СУ управления стандом обратной связи по угловому ускорению позволит уменьшить рассогласование и еще больше снизить инерционные нагрузки испытываемые стандом.

Библиографический список

1. Трофимова Т.И. Курс физики. М.: «Высшая школа», 2001.
2. Кильчевский Н.А. Курс теоретической механики. Том 2. М.: «Наука», 1977.

ОПОРНОЕ УСТРОЙСТВО ОБОРУДОВАНИЯ ПРИ УСТАНОВКЕ НА ЛОНЖЕРОНЫ ШАССИ

Н.М. Данилов, В.А. Десятков

ОАО «Конструкторское бюро специального машиностроения»
(ОАО «КБСМ»)

Рассматривается конструкция передней опоры длинномерного груза при его установке на лонжероны шасси, без применения промежуточной силовой рамы. Передняя опора представляет из себя пакеты тарельчатых пружин установленные под углом к раме шасси.

При движении шасси по разбитым грунтовым дорогам и разведанной местности неровности под колесами правого и левого борта могут иметь значительное расхождение по высоте и длине колеи. Эксплуатация подвижных наземных комплексов, установленных на шасси высокой проходимости, показывает, что несмотря на большие вертикальные хода колес на подвеске, лонжероны шасси скручиваются по длине около 1° на 1 метр, тем самым обеспечивается постоянный контакт колес шасси с землей для повышения проходимости. Для обеспечения развязки длинномерного оборудования от кинематического воздействия шасси, оно устанавливалось на промежуточную силовую раму, установленную на шасси по трехточечной схеме. В настоящей статье рассмотрено расчетное обоснование и конструкция передней опоры длинномерного оборудования, установленного непосредственно на лонжероны шасси без промежуточной платформы. Таким образом, при креплении оси цапф качающейся части (КЧ) на заднем торце лонжеронов рамы шасси передняя опора КЧ во время движения будет иметь угловые и линейные смещения относительно первоначального положения.

Для обеспечения минимальных нагрузок на КЧ при скручивании лонжеронов рамы шасси необходимо применить плавающую переднюю опору КЧ (рис. 1), позволяющую перемещаться относительно продольной оси ПУ в поперечном направлении.

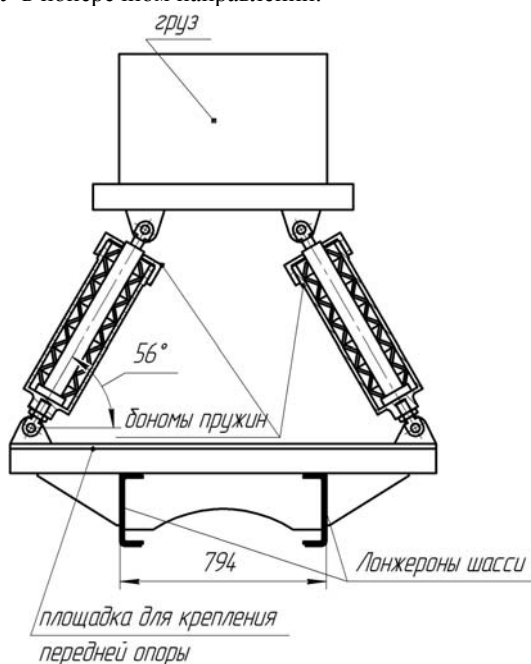


Рис. 1. Передняя опора.

Передняя опора КЧ опирается на бономы тарельчатых пружин, установленных под углом к раме машины.

Пакеты пружин представлены в двух вариантах, рис. 2: в первом случае один из пакетов работает на растяжение, во втором за счет сложной конструкции возможно сжатие и растяжение пакета.

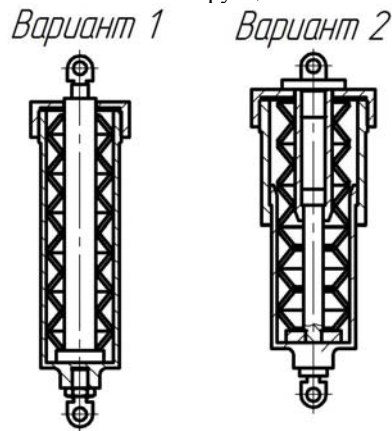


Рис. 2. Пакеты пружин.

В обоих вариантах однократная перегрузка вбок и вверх воспринимается как жесткая опора за счет предварительного поджатия бономов пружин на расчетную нагрузку. При трехкратной перегрузке вниз в зависимости от варианта опора может быть как жесткой так и упругой.

В первом варианте при скручивании происходит разворот КЧ на одном из бономов при одновременном растяжении второго. Для уменьшения усилия, передаваемого на КЧ, могут быть введены дополнительные тарели.

Во втором варианте при скручивании один боном сжимается, а второй растягивается. Благодаря этому для достижения поперечного смещения КЧ ход одного пакета пружин меньше чем в первом варианте.

Рассмотрим расчет опоры для груза массой $m = 16000$ кг для шасси Камаз 6560

Нагрузка, приходящаяся на переднюю опору $Q = 56,6$ кН, следовательно при движении будут следующие транспортные нагрузки:

– максимальная вертикальная нагрузка:

а) вверх $Q_n = 56,6$ кН;

б) вниз $Q_b = 166,6$ кН;

– максимальная поперечная нагрузка $Q_n = 56,6$ кН.

Ширина рамы шасси $c = 794$ мм. Высота от рамы до элемента крепления КЧ, $l = 900$ мм. Расстояние между узлом цапф и передней опорой, $a = 6000$ мм. Угол наклона бономов к раме шасси, $\alpha = 56^\circ$.

Нагрузка на одну пружину составляет:

– вертикальная нагрузка вниз $Q_b = 83,3$ кН;

– поперечная нагрузка $Q_n = 56,6$ кН.

Для обоих вариантов выбираем тарельчатую пружину [1]:

F_3 – сила, $F_3 = 212000$ Н;

D_1 – наружный диаметр пружины, $D_1 = 315$ мм;

D_2 – внутренний диаметр пружины, $D_2 = 160$ мм;

t – толщина пружины, $t = 11,5$ мм;

S_{31} – максимальная деформация, $S_3 = 9,8$ мм;

l_0 – высота пружины, $l_0 = 21,3$ мм;

b – ширина опорной плоскости, $b = 1$ мм;

$F_{0,2}$ – сила F при деформации $0,2 \cdot S_3$, $F_{0,2} = 63020$ Н;

$F_{0,4}$ – сила F при деформации $0,4 \cdot S_3$, $F_{0,4} = 111620$ Н;

$F_{0,6}$ – сила F при деформации $0,6 \cdot S_3$, $F_{0,6} = 149400$ Н;

$F_{0,8}$ – сила F при деформации $0,8 \cdot S_3$, $F_{0,8} = 179970$ Н.

Характеристики пакета пружин:

$$F_{23} = k \cdot F_3 \cdot n_1,$$

где k – коэффициент, учитывающий сухое трение при параллельной сборке, для одиночной сборки $k = 1$;

n_1 – количество пружин при сборке, $n_1 = 1$.

$F_{23} = 212$ кН.

Оценим нагрузки в первом варианте

Необходимо осуществить предварительное поджатие пакета пружин для исключения вертикального перемещения вверх и бокового перемещения. Рассмотрим вариант, когда на опору действует максимальная боковая и вертикальная перегрузка. Поджатие составляет [2]:

$$f_Q = \sqrt{Q_n^2 + \frac{Q_b^2}{2}} \cdot \cos\left(a \tan \frac{2 \cdot Q_n}{Q_b} - \alpha\right)$$

$$f_Q = \sqrt{56,6^2 + \frac{56,6^2}{2}} \cdot \cos\left(\left[a \tan \frac{2 \cdot 56,6}{56,6} \right] - 56\right) = 69,32 - \cos(7,4) = 68,74 \text{ кН.}$$

Находим деформацию одной тарели:

$$\Delta_1 = \frac{f_Q \cdot 0,4 \cdot S_3}{F_{0,4}} = \frac{68,74 \cdot 0,4 \cdot 9,8}{111,62} = 2,415 \text{ мм.}$$

Необходимое количество пружин:

$$n_{\min} = \frac{S_{\min}}{(S_{31} - \Delta_1) \cdot \cos(\alpha)} = \frac{95}{(9,8 - 2,415) \cdot \cos(56)} = 24.$$

Длина пакета составляет:

$$l_{\text{пак}} = (l_0 - \Delta_1) n_{\min} = (21,3 - 2,415) 24 = 453,24 \text{ мм.}$$

Максимальная длина пакета за вычетом крепежа бонома составляет не более $s_1 = 600$ мм.

Найдем максимальное количество тарелей:

$$n_{\max} = \frac{l_{\max}}{l_0 - \Delta_1} = \frac{600}{21,3 - 2,415} = 31.$$

Для уменьшения усилия на качающую часть количество пружин $n = 31$.

Найдем максимальный ход пакета:

$$\Delta l_{24} = S_{31} \cdot n_{\min} = 9,8 \cdot 24 = 235,2 \text{ мм;}$$

$$\Delta l_{31} = S_{31} \cdot n_{\max} = 9,8 \cdot 31 = 303,8 \text{ мм.}$$

Деформация пакета составляет:

$$S_{n1} = \frac{\Delta l_{24}}{\Delta l_{31}} = \frac{235,2}{303,8} = 0,78.$$

Данной деформации соответствует усилие:

$$F_{n1} = \frac{0,78 \cdot F_{0,8}}{0,8} = \frac{0,78 \cdot 179,97}{0,8} = 175,4 \text{ кН.}$$

Оценим нагрузку во втором варианте

В результате совместной деформации пакетов пружин, деформация одного пакета при максимальном угле скручивания, $S_3 = 89$ мм. Деформации от предварительного поджатия принимаем вычисленные для первого варианта.

Находим количество тарелей, обеспечивающих ход

$$n_{\min} = \frac{S_3}{S_{31} - \Delta_1} = \frac{89}{9,8 - 2,415} = 13.$$

Максимальное количество тарелей найдено выше и составляет, $n_{\max} = 31$.

Найдем максимальный ход пакета:

$$\Delta l_{13} = S_{31} \cdot n_{\min} = 9,8 \cdot 13 = 127,4 \text{ мм;}$$

$$\Delta l_{31} = S_{31} \cdot n_{\max} = 9,8 \cdot 31 = 303,8 \text{ мм.}$$

Деформация пакета составляет:

$$S_{n2} = \frac{\Delta l_{13}}{\Delta l_{31}} = \frac{127,4}{303,8} = 0,42.$$

Данной деформации соответствует усилие:

$$F_{n2} = \frac{0,42 \cdot F_{0,4}}{0,4} = \frac{0,42 \cdot 111,62}{0,4} = 117,2 \text{ кН.}$$

Для снижения передаваемого усилия можно увеличить количество бономов до четырех (по два на каждую сторону). Это позволит снизить усилие, за счет менее жестких тарелей, особенно это актуально для первого варианта, но так же можно применить и для второго в случае ограничения на длину бонома.

Заключение

Таким образом, предложена конструкция передней опоры длинномерного груза при транспортировке без промежуточной платформы.

Библиографический список

1. *СТП456-105-80* Стандарт предприятия. Альбом 5. Пружины тарельчатые.
2. *В.И. Ануриев* Справочник конструктора-машиностроителя. Том2. М.: «Машиностроение», 2001.

УДК 004.052.42

МОДЕЛЬ НАДЕЖНОСТИ СРЕДСТВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ АВТОМАТИКИ С НЕОДНОРОДНО-ЭРЛАНГОВСКИМ РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ ДЛИН ИНТЕРВАЛОВ ВРЕМЕНИ ДО ОТКАЗА И ВОССТАНОВЛЕНИЯ

К.И. Буцева

ООО «ТРТранс»

1. Расчетная схема

Рассматривается система железнодорожной автоматики (САЖ), содержащая N микроконтроллеров. В любой момент времени работает один, остальные находятся в холодном резерве. В случае отказа работающего микроконтроллера осуществляется процесс перехода на следующий. Время, требуемое для перехода на резервный микроконтроллер, подчинено произвольному закону распределения, который аппроксимируется неоднородно-эрланговским распределением с учетом первых двух начальных моментов исходного распределения [1-3]. Таким образом, распределение времени до отказа j -го микроконтроллера аппроксимируется с интенсивностями $\lambda_j, \bar{\lambda}_j$. А распределение времени перехода на резервный $j+1$ микроконтроллер с интенсивностями $\mu_j, \bar{\mu}_j$, соответственно.

Необходимо рассчитать вероятность нахождения системы в работоспособном состоянии, а также среднее число отказавших микроконтроллеров на заданном временном интервале.

Представим процесс отказов и перехода на резервные средства вложенной цепью Маркова с дискретным множеством состояний и непрерывным временем [4]. Граф переходов между состояниями САЖ, приведен на рис. 1.

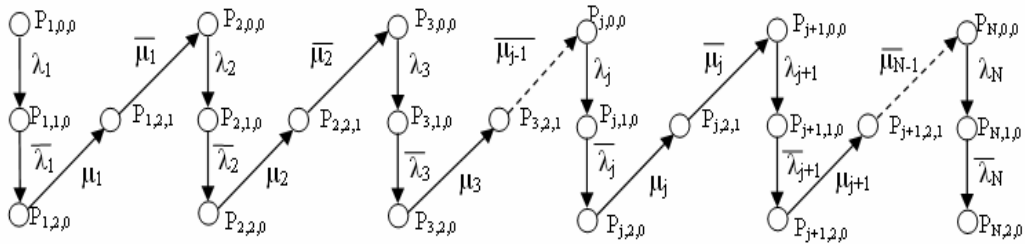


Рис. 1. Граф переходов между состояниями системы.

Каждый микроконтроллер характеризуется своими интенсивностями отказа и интенсивностями перехода на резервный микроконтроллер.

Состояние САЖ в любой момент времени характеризуется вектором $\langle j, k, l \rangle$.

j — номер микроконтроллера, находящегося в рабочем состоянии $\langle j, 0, 0 \rangle$; на первом этапе неоднородно-эрланговского распределения до отказа $\langle j, 1, 0 \rangle$; в отказавшем состоянии $\langle j, 2, 0 \rangle$; на первом этапе неоднородно-эрланговского распределения переход на резервный $j+1$ микроконтроллер $\langle j, 2, 1 \rangle$. Состояние $\langle N, 2, 0 \rangle$ является поглощающим, так как отказал последний микроконтроллер. Общее число состояний N_c вычисляется по формуле:

$$N_c = 4N - 1.$$

Приведенный граф переходов между состояниями САЖ описывается системой из N_c дифференциальных уравнений:

$$\frac{dP_{j,k,l}(t)}{dt} = \delta(1-k) \{ \delta(j-1) \overline{\mu}_j P_{j-1,2,1} - \lambda_j P_{j,0,0} \} + \delta(k) \delta(2-k) \{ \lambda_j P_{j,0,0} - \overline{\lambda}_j P_{j,1,0} \} + \delta(k-1) \delta(1-l) \{ \overline{\lambda}_j P_{j,1,0} - \delta(N-j) \mu_j P_{j,2,0} \} + \delta(l) \{ \delta(N-j) \mu_j P_{j,2,0} - \delta(N-j) \overline{\mu}_j P_{j,2,1} \}, \quad (1)$$

где $j = \overline{1, N}$; $k = \overline{0, 2}$; $l = \overline{0, 1}$.

(здесь и далее в тексте статьи используется обозначение: $\delta(m) = \begin{cases} 1, & \text{если } m > 0 \\ 0, & \text{если } m \leq 0 \end{cases}$).

Для каждого момента времени t должно соблюдаться условие нормировки, вида:

$$\sum_{j=1}^{N-1} \sum_{k=0}^2 \sum_{l=0}^1 P_{j,k,l}(t) + \sum_{k=0}^2 P_{N,k,0}(t) = 1.$$

Задав начальные условия к системе в виде:

$$P_{j,k,l}(0) = \begin{cases} 1, & \text{если } j=1, k=0, l=0; \\ 0, & \text{иначе,} \end{cases}$$

можно найти численное решение соответствующей задачи Коши для произвольного значения t .

Используя решения системы (3), можно получить показатели функциональной надежности системы: вероятность нахождения САЖ в работоспособном состоянии (4), математическое ожидание числа отказавших микроконтроллеров (3).

$$P_0(t) = \sum_{j=1}^N \sum_{k=0}^1 P_{j,k,0}(t). \quad (2)$$

$$R(t) = \sum_{j=1}^N j \sum_{l=0}^1 P_{j,2,l}(t). \quad (3)$$

2. Вычислительный эксперимент

Авторами была выполнена программная реализация данного метода. С помощью разработанного программного комплекса был исследован диапазон изменения коэффициент вариации исходных распределений времени до отказа от 0.6 до 0.9 и коэффициент вариации исходных распределений времени до восстановления от 0.0 до 0.4. Далее приведены наиболее показательные результаты

расчетов, иллюстрирующие использование предлагаемой модели надежности с неоднородно-эрланговским распределением длительности интервалов между моментами отказа и распределением длительности интервалов между моментами восстановлений микроконтроллеров. Для сравнения приведены также результаты, полученные с использованием предположения об экспоненциальном распределении интервалов между моментами отказов и восстановлений микроконтроллеров.

Расчеты приведены для системы, содержащей $N=3$ микроконтроллеров.

Средние длины временных интервалов между отказами $T_1 = 6.5$ ч., $T_2 = 7.5$ ч., $T_3 = 10.0$ ч. И средние длины временных интервалов между восстановлениями $T^e_1 = 0.0125$ ч., $T^e_2 = 0.025$ ч.

На рис. 2 приведены графики вероятности нахождения САЖ в работоспособном состоянии $N=3$ микроконтроллера для различных значений коэффициентов вариации исходных распределений времени до отказов $v_0 = 0.9, 0.8, 0.7, 0.6, 1.0$ и коэффициентов вариации исходных распределений времени восстановления $w_0 = 0.0, 0.2, 0.3, 0.4, 1.0$.

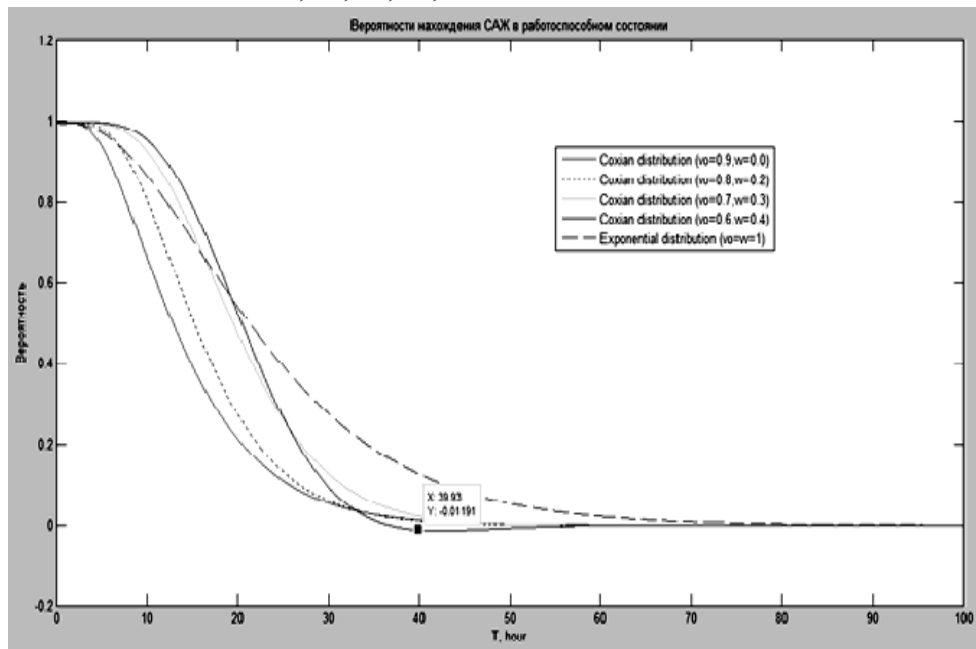


Рис. 2. Вероятность нахождения САЖ в работоспособном состоянии.

На рис. 3 приведены графики математического ожидания числа отказавших микроконтроллеров при $N=3$ микроконтроллерам для различных значений коэффициентов вариации исходных распределений времени до отказов $v_0 = 0.9, 0.8, 0.7, 0.6, 1.0$ и коэффициентов вариации исходных распределений времени восстановления $w_0 = 0.0, 0.2, 0.3, 0.4, 1.0$.

Заключение

Проведенные вычислительные эксперименты демонстрируют, что при коэффициенте вариации исходных распределений времени до отказа, близком к 0.6, возрастает влияние комплексных составляющих аппроксимирующих распределений, что приводит к выходу за пределы реальных значений.

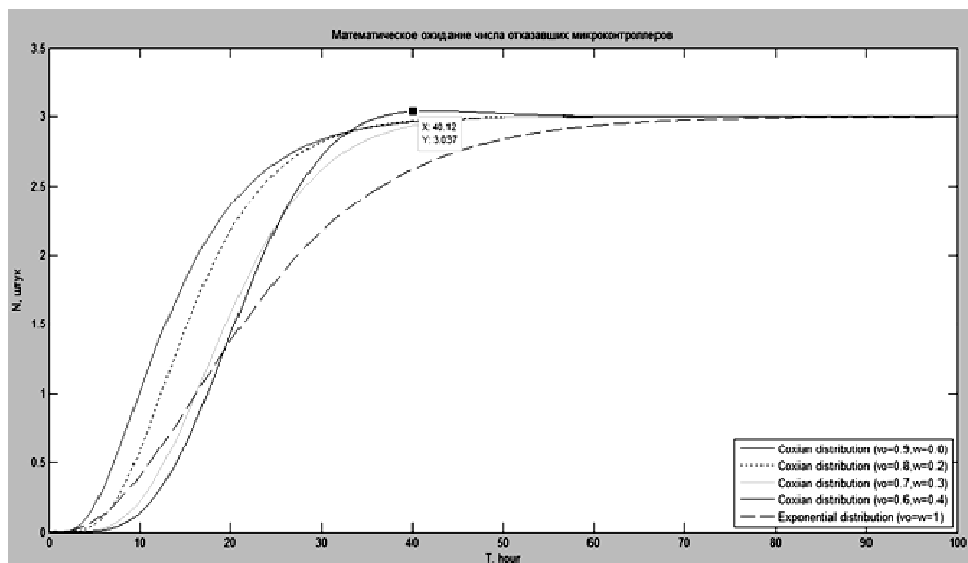


Рис.3. Математическое ожидание числа отказавших микроконтроллеров.

Библиографический список

1. А. М. Половко, С. В. Гуров / Основы теории надежности: [учеб. пособие для вузов по направлению подгот. 230100 (654600) "Информатика и вычисл. техника"] - Изд. 2-е, перераб. и доп. - СПб.: БХВ-Петербург, - 2006. - 702 с.
2. В. А. Смагин, А. Н. Дорохов / Основы теории надежности программного обеспечения. - СПб.: ил. Библиогр.- 2009. - 303 с
3. В. П. Бубнов, К. И. Бурцева, А. В. Тырва / Модель надежности программных средств с распределением Кокса длин интервалов времени исправления ошибок // Вестник ВЭЛНИИ. - 2010. - №1 - С. 143-152.
4. В. П. Бубнов, В. И. Сафонов / Разработка динамических моделей нестационарных систем обслуживания/. - СПб.: Издательство «Лань». - 1999. - 64с.

УДК 621.391

ПЛАНИРОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПОТОКОВ В СИСТЕМЕ С ИЗМЕНЯЮЩЕЙСЯ СТРУКТУРОЙ

М.А. Коллин, К.Л. Григорьев

Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского
(ВКА им. А.Ф. Можайского)

Развитие систем автоматизированного управления сложными территориально разнесенными комплексами, функционирование которых связано с обработкой больших объемов данных, приводит к необходимости использования в контуре таких систем подвижных элементов (объектов), осуществляющих информационный обмен между различными подсистемами комплекса. Класс таких систем весьма широк. К ним относятся, в частности, системы сбора и передачи информации через подвижные ретрансляторы в центральный пункт, где эта информация обрабатывается; системы, состоящие из совокупности подвижных объектов, выполняющих общую целевую задачу и осуществляющих между собой информационный обмен с целью координации действий. Вместе с тем, математические модели, которые позволяют автоматизировать процесс распределения информации между элементами системы, с учетом изменения во времени ее структуры и характеристик элемен-

тов, в настоящее время разработаны недостаточно. В этой связи разработка моделей, позволяющих оценивать потенциальные возможности сложных систем по передаче информации, является весьма актуальной задачей, решение которой позволит принимать более обоснованные решения по управлению информационными потоками и сократить потери информации.

Распределение потоков информации в системе с подвижными объектами наряду с ограниченными пропускными способностями каналов передачи данных должно учитывать и динамику относительного перемещения объектов. Такой учет будет производиться с использованием понятий динамической сети, структура и пропускные способности дуг которой меняется во времени. Так как к решению (плану распределения информации) предъявляются разнородные требования, отражающие необходимость минимизации потерь информации и повышения срока активного существования системы подвижных объектов, при постановке задачи поиска оптимального решения используются методы векторной оптимизации.

На множестве подвижных объектов $A = \{a_j, j \in N\}$, где N - множество номеров объектов, выделим множество источников однородной информации A_0 , множество ретрансляторов A_p и множество приемников информации A_k . Для этих множеств выполняются следующие соотношения: $A_0 \cup A_p \cup A_k = A$, $A_0 \cap A_k = \emptyset$, т.е. источник информации не может быть ее получателем; $A_0 \cap A_p \neq \emptyset$ и $A_k \cap A_p \neq \emptyset$, т.е. возможны ситуации, когда часть источников информации (A_0) является одновременно и ретрансляторами и, аналогично, часть приемников информации (A_k) может быть ретрансляторами. Это позволяет организовать более гибкую передачу и переработку информации, в частности, если некоторый объект из A_k не может переработать весь поступающий поток информации, то часть этой информации он может передать для переработки на другой объект. На каждом объекте $a_j, j \in N$ полагается наличие буферного накопителя информации объемом V_j .

Потенциальные возможности передачи информации в каждый момент времени t на интервале управления $T = (t_0, t_k]$ можно характеризовать ориентированным графом без циклов $\Gamma(t) = (N, E(t))$, где N - множество номеров подвижных объектов, которое рассматривается здесь, как множество узлов графа $E: T \rightarrow N \times N$ - многозначное отображение, сопоставляющее каждому моменту времени $t \in T$ некоторое множество пар из $N \times N$ - дуг графа, характеризующих потенциальные возможности передачи или приема однородной информации. Наряду с графом $\Gamma(t)$, описывающим в каждый момент времени t структуру системы, будем рассматривать три заданных функциональных отображения: $\psi: E(t) \rightarrow R^+$ - характеризует пропускные способности дуг графа (каналов передачи данных); $\chi: N \times T \rightarrow R^+$ - характеризует интенсивность поступления информации в узлы системы от внешних источников; $\varphi: N \times T \rightarrow R^+$ - характеризует интенсивность переработки информации в узлах системы; здесь R^+ - множество неотрицательных действительных чисел. В дальнейшем эти функции будем обозначать как $\psi_{ij}(t), i, j \in N$; $\chi_j(t), j \in N$; $\varphi_j(t), j \in N$. Причем $\chi_j(t) \equiv 0, j \in N \setminus N_0(t)$, где N_0 - номера объектов из A_0 ; $\varphi_j(t) \equiv 0, j \in N \setminus N_k$, где N_k - множество номеров объектов из A_k .

Будем искать распределение $X(t) = \{x_{ij}(t)\}, i, j \in N, t \in T$ данных между узлами (объектами) поступления которых задается функцией $\chi_j(t), i \in N$, возможности передачи по каналам функцией $\psi_{ij}(t), i, j \in N$ и возможности переработки в конечных узлах функцией $\varphi_j(t), j \in N_k$, причем такое распределение, которое позволяет минимизировать потери информации и продлить срок активного существования системы сбора и передачи информации с использованием подвижных объектов. Этот срок определяется запасом энергоресурса на подвижном объекте, который расходуется на передачу информации; такой расход задается функцией $p: X(t) \rightarrow R^+$. Хотя энергоресурс и пополняется периодически, но интервал пополнения зависит от того, когда он закончится пусть даже на одном объекте, поэтому важно минимизировать расходывание ресурсов на всех подвижных объектах.

Итак, под $x_{ij}(t)$ будем понимать количество информации, переданной к моменту времени t от i -го подвижного объекта к j -му. Тогда $X(t) = \{x_{ij}(t)\}$ характеризует состояние передачи информации в системе к моменту t . Через $u_{ij}(t)$ обозначим скорость передачи информации от i -го объекта к j -му в момент времени t , очевидно, что

$$0 \leq u_{ij}(t) \leq \psi_{ij}(t), \quad (1)$$

Теперь состояние $x_{ij}(t)$ можно определить дифференциальным уравнением

$$\dot{x}_{ij}(t) = \varepsilon_{ij}(t)u_{ij}(t), \quad (2)$$

где $\varepsilon_{ij}(t)$ - функция, характеризующая потенциальные возможности передачи информации в системе (отражает динамику относительного перемещения объектов и технологические ограничения на использование каналов)

$$\varepsilon_{ij}(t) = 1, \text{ если } i \in Q_j^{(+)}(t); \varepsilon_{ij}(t) = 0, \text{ в противном случае,} \quad (3)$$

здесь

$$Q_j^{(+)}(t) = \{i \in N \mid \exists(i,j) \in E(t)\}, \quad (4)$$

т.е. это множество вершин графа $\Gamma(t)$, из которых существует ребро, ведущее к j -ой вершине.

Скорость поступления информации в момент t в j -ый узел из других узлов определяется как

$$\dot{x}_j^{(+)}(t) = \sum_{j \in N} \dot{x}_{ij}(t), \quad (5)$$

соответственно скорость передачи информации из j -го узла

$$\dot{x}_j^{(-)}(t) = \sum_{k \in N} \dot{x}_{jk}(t), \quad (6)$$

Обозначим через $y_j(t)$ количество информации, хранимой в буферном накопителе j -го объекта в момент t , тогда

$$0 \leq y_j(t) \leq V_j \quad (7)$$

Через $z_j(t)$ обозначим количество информации потерянной в j -м узле к моменту t ,

$$z_j(t) \geq 0, \dot{z}_j(t) \geq 0 \quad (8)$$

Тогда для каждого узла $j \in N$ должно выполняться равенство:

$$\chi_j(t) + \dot{x}_j^{(+)}(t) - \dot{y}_j(t) - \dot{z}_j(t) = \dot{x}_j^{(-)}(t) + \omega_j(t), t \in T, \quad (9)$$

Здесь $\chi_j(t)$ - скорость поступления информации в j -й узел;

$\omega_j(t)$ - скорость переработки информации в j -м узле,

$$0 \leq \omega_j(t) \leq \varphi_j(t) \quad (10)$$

Теперь математическая модель, описывающая условия приема, передачи и переработки информации в системе подвижных объектов, может быть представлена в следующем виде:

$$\dot{x}_{ij}(t) = \varepsilon_{ij}(t)u_{ij}(t), i, j \in N,$$

$$\chi_j(t) + \dot{x}_j^{(+)}(t) - \dot{y}_j(t) - \dot{z}_j(t) = \dot{x}_j^{(-)}(t) + \omega_j(t), j \in N,$$

$$0 \leq \omega_j(t) \leq \varphi_j(t), 0 \leq u_{ij}(t) \leq v_{ij}(t), 0 \leq y_j(t) \leq V_j, \forall i, j \in N \quad (11)$$

$$z_j(t) \geq 0, \dot{z}_j(t) \geq 0, j \in N,$$

где $\dot{x}_j^{(+)}(t)$, $\dot{x}_j^{(-)}(t)$ определяются соответственно согласно формулам (5) и (6).

Анализ модели (11) показывает, что использование методов оптимизации, развитых для динамических моделей встречает ряд трудностей, прежде всего алгоритмического характера, связанных с особенностями учета разрывности правых частей уравнений и с фазовыми ограничениями. Возможным путем построения эффективных алгоритмов в этом случае является путь сведения исходной задачи в динамической интерпретации к статической и использование методов оптимизации, развитых в математическом программировании. Основой такого сведения служит учет специфики функционирования системы, заключающейся в том, что перемещение подвижных объектов приводит к дискретному изменению структуры сети, т.е. потенциальных возможностей передачи информации в ней, а все характеристики сети представляются кусочно-постоянные функции. Такое измене-

ние происходит в моменты времени, когда подвижные объекты входят (или выходят) из зон доступности друг друга.

Упорядоченное множество моментов времени, когда изменяется структура сети или ее характеристики, (t_0, t_1, \dots, t_k) разбивает весь интервал $T = (t_0, t_k]$ на подинтервалы, соответствующие постоянной структуре сети. Произвольному интервалу $(t_{l-1}, t_l]$ постоянства структуры сети и всех её числовых характеристик сопоставим номер $l \in L = \{1, \dots, k\}$, тогда переменные состояния примут вид:

$$x_{ijl} = x_{ij}(t_l) - x_{ij}(t_{l-1}),$$

x_{ijl} - количество информации, передаваемой от i -го узла к j -му на l -м интервале постоянства структуры.

Количество информации, поступающей на l -м интервале в j -ый узел из других узлов

$$x_{jl}^{(+)} = \sum_{i \in Q_{jl}^{(+)}} x_{ijl} \quad (12)$$

и информации, переданной из j -го узла в другие

$$x_{jl}^{(-)} = \sum_{i \in Q_{jl}^{(-)}} x_{ijl}. \quad (13)$$

Здесь $Q_{jl}^{(+)}$ - множество узлов, из которых на l -м интервале в j -ый узел может быть передана информация; $Q_{jl}^{(-)}$ - множество узлов, в которые может передаваться информация из j -го узла:

$$Q_{jl}^{(+)} = \{i \in N \mid \exists(i, j)E_l\}, \quad Q_{jl}^{(-)} = \{i \in N \mid \exists(j, i)E_l\}, \quad (14)$$

где E_l - множество ребер графа, характеризующего структуру сети на l -м интервале времени.

Количество информации, поступающей в j -ый узел на l -м интервале.

$$\chi_{jl} = \int_{t_{l-1}}^{t_l} \chi_j(t) dt, \quad j \in N, \quad l \in L; \quad (15)$$

ограничения по переработке информации j -м узле

$$\varphi_{jl} = \int_{t_{l-1}}^{t_l} \varphi_j(t) dt, \quad j \in N, \quad l \in L; \quad (16)$$

ограничения по пропускной способности каналов

$$\psi_{ijl} = \int_{t_{l-1}}^{t_l} \Psi_{ij}(t) dt, \quad i, j \in N, \quad l \in L, \quad (17)$$

Некоторую особенность по сравнению с другими характеристиками сети, которые либо могут неограниченно возрастать (потери, например), либо ограничены на каждом интервале постоянства структуры (пропускные способности дуг, возможности переработки информации), представляет собой учет информации y_{jl} , накапливающейся в буфере j -го подвижного объекта на l -м интервале;

$$y_{jl} = \int_{t_0}^{t_l} y_j(t) dt = y_{j(l-1)} + \Delta y_{jl}, \quad (18)$$

где $y_{j(l-1)}$ - количество информации в буфере j -го объекта на $(l-1)$ -м интервале, причем $y_{j0} = 0$;

Δy_{jl} - приращение информации на l -м интервале, причем

$$|\Delta y_{jl}| \leq V_j, \quad 0 \leq y_{jl} \leq V_j, \quad j \in N, \quad l \in L, \quad (19)$$

Интегрируя систему уравнений (11), получим

$$x_{jl}^{(+)} + \chi_{jl} - \Delta y_{jl} - z_{jl} = x_{jl}^{(-)} + \omega_{jl}, j \in N, l \in L, \quad (20)$$

здесь $x_{jl}^{(+)}, x_{jl}^{(-)}$ определяются согласно (12), (13),

$z_{jl} \geq 0, 0 \leq \omega_{jl} \leq \varphi_{jl}$, но $|\Delta y_{jl}| \leq V_j$, а следовательно может принимать отрицательные значения. Для использования эффективных конечных алгоритмов линейного программирования необходимо, чтобы все переменные были неотрицательны. Поэтому в соответствии с (18) произведем замену $\Delta y_{jl} = y_{jl} - y_{jl-1}; y_{j0} \equiv 0$

Тогда модель, описывающая условия передачи информации в системе подвижных объектов, окончательно примет вид:

$$\sum_{i \in Q_{jl}^{(-)}} x_{jil} - \sum_{i \in Q_{jl}^{(+)}} x_{jil} + (y_{jl} - y_{jl-1}) + z_{jl} + \omega_{jl} = \chi_{jl},$$

$$0 \leq x_{ijl} \leq \psi_{ijl}, 0 \leq y_{jl} \leq V_j, z_{jl} \geq 0, 0 \leq \omega_{jl} \leq \varphi_{jl}, j \in N, l \in L, \quad (21)$$

Из (21) видно, что информация χ_{jl} , поступающая в j-й узел на l-м интервале (заданная функция), и информация, поступающая в j-ый узел из других узлов ($x_{jl}^{(+)}$) может передаваться ($x_{jl}^{(-)}$), перерабатываться (ω_{jl}), храниться в буферном накопителе ($y_{jl} - y_{jl-1}$) или теряться (z_{jl}).

Таким образом допустимое решение d обобщенно состоит из четырех подвекторов x, y, w, z .

$$d = (x, y, w, z), \quad (22)$$

где x - характеризует объем информации, передаваемой между узлами;

y - объем информации в буферных накопителях объектов;

w - объем информации, переработанной в узлах;

z - объем потерь информации.

Построенная математическая модель задает множество допустимых решений $D (d \in D)$, позволяющее оценить потенциальные возможности сложной системы по распределению информационных потоков между её элементами в различных условиях обстановки. Предложенная модель может быть использована при долгосрочном и оперативном планировании распределения информационных потоков при функционировании сложных систем.

УДК 623.428.8

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ЭЛЕМЕНТОВ СТАРТОВЫХ КОМПЛЕКСОВ

Д.А. Кузьмин

ОАО «Конструкторское бюро специального машиностроения»
(ОАО «КБСМ»)

Представлено описание модели для имитационного моделирования процессов функционирования пусковой установки.

Введение. Проектирование элементов военной техники (ВТ) сопряжено с решением множества сложных технических и организационных задач. Современный уровень развития вооружений обуславливает наличие ряда повышенных требований к создаваемым образцам, к степени их качества.

Качество, в общем виде, - это совокупность характеристик объекта, относящихся к его способности удовлетворять установленные и предполагаемые потребности. Потребности могут включать,

эксплуатационно-технические характеристики, надежность, безопасность, сохранение работоспособности после внешнего воздействия и пр.

Контроль за качеством образца ВТ осуществляется в течение всего жизненного цикла изделия, начиная с научно-исследовательских работ и заканчивая утилизацией. Задачи повышения качества должны решаться на протяжении всего этого срока, путём применения конструктивно-технических, технологических и организационных мероприятий.

Конструктивно-технические мероприятия по повышению качества образцов ВТ можно подразделить на следующие:

- применение современных методов и средств проектирования;
- решение задачи оптимального сочетания параметров изделий, закладываемых при проектировании, в различных условиях эксплуатации;
- применение, наряду с отработанными схемными решениями, новых технических решений и вариантов исполнения конструкций, позволяющих улучшить показатели образца ВТ;
- использование в конструкциях новых материалов;
- использование современной элементной базы;
- совершенствование системы экспериментальной отработки элементов ВТ;

и пр.

Технологические мероприятия можно разделить на:

- технологическое перевооружение и развитие производственных мощностей организаций оборонно-промышленного комплекса;
- сохранение и развитие промышленных критических технологий, необходимых для реализации государственной программы вооружений;
- создание новых технологий на базе научных исследований и открытий;
- создание новых материалов и элементной базы на основе этих открытий;
- совершенствование производственных процессов и оборудования;

и пр.

Организационным мероприятия включают:

- создание научно-технологического задела в интересах развития ВТ;
- совершенствование системы менеджмента качества на предприятиях;
- проведение исследовательских работ по прогнозированию развития ВТ и требований к ней;
- рационализация производственных и конструкторских цепочек кооперации при создании ВТ;
- совершенствование аппарата управления организаций, участвующих в проектировании, производстве, эксплуатации и утилизации образцов ВТ, и научно-исследовательских учреждений различных ведомств и структур;
- совершенствование организационно-правовой базы;

и пр.

Одним из конструктивно-технических способов повышения качества ВТ может стать внедрение имитационного моделирования для решения задачи оптимизации параметров элементов изделий, для оценки их эффективности на ранних стадиях проектирования, для проведения части экспериментальных исследований и отработок без проведения натурных испытаний.

Описание модели

В данной работе предлагается имитационная модель процессов функционирования пусковой установки комплекса ПВО. Объектом исследования является пусковая установка (ПУ) комплексов противовоздушной обороны (ПВО) объектного типа (предназначенных для прикрытия важных объектов инфраструктуры, группировок войск или районов патрулирования).

Эта модель позволит оценить эффективность принимаемых технических решений на этапе проектирования, как следствие повысить качество разрабатываемых ПУ и наметить пути создания перспективных комплексов повышенной живучести. Использование имитационного моделирования позволит снизить объёмы экспериментальной отработки элементов ПУ, сократить сроки и стоимость выпуска КД.

Для ПУ её качество определяется эффективностью боевого применения, т.е. успешным выполнением пуска зенитной управляемой ракеты (ЗУР). Выполнение этой задачи осуществляется в условиях наличия агрессивного противодействия со стороны внешней среды. Это воздействие проявляется в снижении уровня боевых характеристик (эффективности боевого применения, вероятности

успешного пуска) из-за наличия боевых повреждений элементов ПУ, нарушения их функционирования и эксплуатационных отказов аппаратуры.

Значения критериев эффективности зависят от многих показателей: мобильности, стойкости, скрытности, боеготовности ПУ в заданных условиях боевого применения и др. В свою очередь, эти показатели определяются множеством факторов, зависящих от конструктивных характеристик ПУ, характеристик внешней среды, действий противника. Многие факторы должны рассматриваться как случайные (отказы, время суток, погодные условия, наряды сил вероятного противника и т.п.).

Всё это определяет целесообразность использования методов имитационного моделирования.

Рассмотрим постановку задачи для подобной модели.

ПУ в составе зенитно-ракетного комплекса (ЗРК) совершает марш на расстояние до 400 км с технической позиции (места базирования, проведения регламентного обслуживания, места хранения) до зоны развёртывания комплекса. В этой зоне должны существовать несколько подготовленных в инженерном отношении или инженерно-разведанных позиций – стартовых площадок (СПл) для развёртывания ПУ и других элементов ЗРК.

После прибытия на СПл ПУ совершает развёртывание из походного положения в боевое за минимально возможное время и готова в любой момент времени перейти в режим боевой работы (пуск ЗУР). После выполнения боевой работы ПУ должна свертываться в походное положение и быть готова к дальнейшим операциям: перезарядка, марш или уход из-под удара.

Таким образом, пусковая установка, в общем виде, должна обеспечивать:

- прием и надёжную фиксацию в транспортном и рабочем положении транспортно-пусковой контейнер (ТПК) с изделием;
- транспортирование ТПК с изделием на стартовую площадку (СПл);
- развёртывание по прибытию на СПл;
- боевое дежурство;
- боевую работу с пуском изделия из ТПК;
- перевод ПУ после выполнения пуска в походное положение;
- хранение ПУ, как с ТПК, так и без, на технической базе или на СПл.

Исходя из назначения ПУ и тактики применения ЗРК целесообразно выделить два этапа функционирования ПУ, для которых будут выделены основные процессы функционирования элементов ПУ, установлены параметры среды функционирования и факторы воздействия. Первый этап характеризует пребывание ПУ на СПл. Второй этап характеризует пребывание ПУ вне стартовой позиции – на марше или в процессе транспортировки.

Пребывание ПУ при её хранении, на территории эксплуатирующих организаций или технических баз и пр. не рассматривается, т.к. влияние факторов внешних воздействий на элементы и характеристики ПУ в этом случае сложно прогнозируемы, а изменение параметров ПУ, влияющих на эффективность боевого применения, не будет иметь актуального значения.

Рассмотрим режимы работы ПУ на различных этапах функционирования.

ПУ на первом этапе может находиться в следующих режимах: режим хранения; режим боевого дежурства (БД); режим «Снят с боевого дежурства» (СБД); режим боевой работы (БР).

Режим хранения – режим, при котором ПУ в проверенном и исправном состоянии хранится на СПл. ТПК с изделиями при этом находятся в походном положении.

Режим БД – основной, непрерывный, круглосуточный эксплуатационный режим на СПл. ТПК с изделием находится в транспортном положении и может быть переведен в рабочее положение по команде от командного пункта за минимальное время в любой момент без проведения каких-либо дополнительных мероприятий.

При переходе из режима БД в режим БР ТПК с изделием переходит в рабочее положение и обеспечивает готовность пуска изделия из ТПК.

Режим БР – режим, при котором должен обеспечиваться пуск изделия из установленного ТПК.

ПУ должна быть рассчитана на непрерывную работу в режиме БР в течение нескольких часов с последующим переходом в режим БД при несостоявшемся пуске изделия.

Переход ПУ из режима БД в режим СБД производится по команде от командного пункта за заданное время. В режиме СБД проводится техническое обслуживание ПУ и его составных частей.

На втором этапе функционирования ПУ может находиться в следующих режимах: походный режим (с изделиями); транспортный режим (без изделий).

Походный режим будем рассматривать в двух аспектах.

Первый – это маршевый режим. Второй – это режим ухода из-под удара.

Маршевый режим – режим функционирования, при котором ПУ транспортируется по всем видам шоссе и грунтовых дорог и отдельным участкам местности, позволяющим движение без потери проходимости на расстояние до 10000 км со скоростями, принятыми для транспортного средства, своим ходом с изделиями и без них. При этом ТПК с изделием находится в транспортном положении с обеспечением заданного температурно-влажностного режима.

Режим ухода из-под удара – режим функционирования, при котором ПУ уходит из начальной позиции по одной из дорог за заданное время на максимальное расстояние. Противнику известно на какой из позиций находится ПУ, до ПУ доводится команда на уход из-под удара, и до возможного полета боевых частей имеется некоторый запас времени.

Транспортный режим – режим функционирования, при котором ПУ транспортируется без изделий:

- железнодорожным транспортом без ограничения расстояния. При железнодорожной транспортировке оборудование ПУ должно сохранять свою работоспособность при механических нагрузках, возникающих в процессе транспортировки со скоростями, установленными «Правилами технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации» для грузовых поездов;

- водным транспортом;

- воздушным транспортом на высоте 11000 м в негерметизированных кабинах самолётов. При действии перегрузок во время транспортирования в грузовой кабине самолета.

Рассмотрим характеристики среды функционирования ПУ, которые могут влиять на её параметры на каждом режиме функционирования.

Под средой функционирования будем понимать, всю совокупность физических, климатических, топологических, геодезических характеристик пространства, в котором может находиться ПУ в любой момент времени.

Среда функционирования воздействует с различной степенью интенсивности, на элементы ПУ, оказывая влияние на изменения её параметров и характеристик. При моделировании будем учитывать параметры, влияющие на эффективность ПУ, а именно вероятность сохранения работоспособного состояния и вероятность успешного пуска изделия.

Воздействие среды функционирования можно разделить на две группы. К первой относятся воздействия, обусловленные наличием вероятных источников противодействия ПУ, а именно средств поражения вероятного противника. Во вторую группу попадают все остальные воздействия, например обусловленные силой ветра, весовыми нагрузками и т.п.

Рассмотрим первый этап функционирования ПУ.

На этом этапе ПУ в любой момент времени, с различной степенью вероятности, может находиться в следующих режимах: режим хранения, режим БД, режим СБД, режим БР. Вероятность нахождения в каком-либо режиме определяется средним временем нахождения ПУ подобного типа на данных режимах. Т.е. при проведении эксперимента на модели режим, в котором будет находиться ПУ, будет задаваться случайным образом, но вероятность нахождения в режиме БР, например, будет меньше чем в режиме БД в конкретный момент времени. Как вариант, можно составить условную «карту функционирования ПУ», в которой на каждый режим функционирования будет отводиться определенное время. Тогда в случайный момент времени ПУ окажется на том или ином режиме.

По такому же принципу будет определяться на каком этапе функционирования может находиться ПУ: на СПл или вне её.

Также, при определении конкретного режима нахождения ПУ в определённый момент времени, необходимо учесть действия сил противника, например, при разыгрывании варианта при котором ПУ известно, что она обнаружена, вероятность того, что ПУ перейдёт в режим СБД и далее в режим «уход из-под удара» выше, чем когда ПУ не известно, ведётся по ней воздействие средств противника или нет.

Рассмотрим воздействие среды функционирования, влияющее на характеристики ПУ.

На первом этапе функционирования и в походном режиме на ПУ оказывают влияния погодноклиматические и топографические условия. В модели случайным образом задается дата и время и, исходя из среднестатистических данных, погодноклиматические условия для данной даты и времени. Топографические условия (рельеф местности, высота над уровнем моря, карта дорог и пр.) выбираются случайно из набора типовых моделей местности или реальных областей.

На первом этапе функционирования погодноклиматические условия оказывают различное влияние. Например, состояние опорной поверхности, если прошли продолжительные дожди, ухудшается, и это оказывает влияние на устойчивость ПУ при различных режимах функционирования. Также скорость ветра, температура, влажность, наличие обледенения могут влиять на работу ПУ, на время её свёртывания или развёртывания.

При движении ПУ состояние опорной поверхности и климатические условия влияют на скорость её движения. Например, при наличии снежного покрова около 300 мм появляется «бульдозерный эффект», который снижает скорость движения ПУ, и как следствие влияет на время, за которое ПУ может преодолеть опасную зону при уходе из-под удара.

В транспортном и маршевом режиме рассматриваются вибрационные и ударные воздействия, обусловленные транспортными перегрузками, их влияние на состояние оборудования ПУ, на сохранение его работоспособности.

Рассмотрим воздействие среды функционирования, обусловленное наличием вероятных источников противодействия ПУ. Влияние этого воздействия наиболее актуально на режимах функционирования ПУ на СПл и при уходе из-под удара.

Исходя из времени года и времени суток вероятность обнаружения ПУ средствами разведки вероятного противника различна. На неё (вероятность обнаружения) также оказывают влияния демаскирующие факторы. Эти факторы определяются конструкцией ПУ и могут меняться в зависимости от конкретного состояния ПУ. Например, в режиме хранения интенсивность теплового излучения от ПУ минимальна, а ночью ПУ менее заметна в визуальном диапазоне излучения и т.п. Эти факторы оказывают влияние на процессы наблюдения и индентификации ПУ.

В модели задаются параметры процессов наблюдения. Это интенсивность пролётов разведывательных спутников, беспилотных самолётов-разведчиков и пр. и будет оцениваться вероятность обнаружения точных координат расположения ПУ с учётом демаскирующих факторов, особенностей рельефа местности, времени года и суток.

Исходя из этого можно оценить уровень внешних воздействий.

Для ПУ ЗРК ПВО наиболее актуальны вопросы, связанные с воздействием высокоточных средств поражения. Чтобы оценить степень влияния этих воздействий на характеристики ПУ, необходимо задавать характеристиками носителей и видом высокоточного оружия, используя данные по средним нарядам сил вероятного противника и учитывая процессы наблюдения и индентификации. После определения характеристик носителей и применяемого оружия (с учётом вышеперечисленного), будет выбитаться координатным законом поражения изделия и законом рассеивания точек подрыва боевых частей ВТО, а также оценивать влияние воздействия на элементы ПУ при конкретном режиме функционирования.

Для оценки параметров ядерного воздействия будет производиться выбор точек прицеливания и числа боевых блоков, исходя из процессов наблюдения. Далее определяем уровень поражающих факторов, координаты ядерного взрыва (ЯВ), и следовательно параметры воздействия ЯВ.

Для этих воздействий будем определять вибро-ударо стойкость элементов ПУ и оценивать вероятность поражения ПУ. Если эта вероятность 1, то ПУ гарантированно уничтожена, если меньше 1, то тогда определяется степень поражения ПУ и оценивается вероятность сохранения работоспособного состояния и вероятность успешного пуска. В модели также необходимо учитывать воздействие обычных средств поражения.

Входными данными для модели являются конструктивно-технические параметры ПУ. Предполагается проведение экспериментов, где время, дата, погодноклиматические и пр. условия будут задаваться случайным образом. На выходе модели оценивается вероятность сохранения работоспособного состояния ПУ и вероятность успешного пуска.

Заключение

Таким образом будет разработана имитационная модель пусковой установки комплекса ПВО, благодаря которой можно будет оценивать эффективность разрабатываемой ПУ; влияние изменения отдельных параметров установки на её конечную эффективность; влияние конструктивных изменений на эффективность; оценивать характеристики уже разработанных ПУ, сравнивать различные ПУ уменьшая количества натурных испытаний и др., и как следствие повысить качество разрабатываемой техники.

Библиографический список

1. *Надёжность и эффективность в технике*: Справочник в 10 т., т.3. Под общ. ред. В.Ф. Уткина, Ю.В. Крючкова. М.: Машиностроение, 1988.
2. *Буренок В.М., Ляпунов В.М., Мудров В.И.* Теория и практика планирования и управления развитием вооружения. М.: Издательский дом «Граница», 2005.
3. *Василин Н.Я., Гуринович А.Л.* Зенитные ракетные комплексы. Мн.: ООО «Попурри», 2002.

УДК 629.762

ДИНАМИКА ДВУХСРЕДНЫХ АППАРАТОВ

В.А. Бородавкин, С.Н. Ельцин, А.Н. Кононов, А.А. Русина

Балтийский государственный технический университет «Военмех» им. Д.Ф.Устинова
(БГТУ «Военмех»)

Двухсредные аппараты представляют собой перспективный класс технических объектов многоцелевого назначения, решающих задачи поражения подводных и надводных целей, постановки средств гидроакустического противодействия, радиоэлектронной борьбы, датчиков траекторных измерений. Вопросам проектирования таких аппаратов посвящено достаточно много публикаций. Фундаментальными из них можно назвать работы Грумондза В.Т., Яковлева Г.А, Дегтяря В.Г., Пегова В.И., Шахиджанова Е.С., Мяндина А.Ф.

В данной статье обсуждаются особенности использования двухсредных аппаратов (ДА), предназначенных для решения задач связанных с организацией гидроакустического противодействия (ГАП) и радиоэлектронной борьбы (РЭБ). Использование ДА как средства доставки аппаратуры ГАП и РЭБ определяет требования к моделям функционирования ДА, в которых должны учитываться:

- диапазон глубин, с которых ДА стартует;
- диапазон дальностей, на которые доставляется аппаратура ГАП и РЭБ;
- требуемое распределение аппаратуры ГАП и РЭБ в пространстве.

Исходя из этого расчетные модели должны отражать факторы, влияющие на формирование зон ГАП и РЭБ:

- зависимость изменения тяги РДТТ как функции времени и глубины движения;
- неуправляемость как на подводном, так и надводном участке траектории движения ДА (с учетом возможного кавитационного обтекания);
- взаимодействие ДА со свободной взволнованной водной поверхностью;
- особенности движения неуправляемого ДА в атмосфере, при действии на него возмущающих факторов и др.
- соизмеримость геометрических параметров ДА с параметрами, характеризующими состояние свободной водной поверхности;
- «залповость» пуска.

Работа двигателя на подводном участке протекает при больших давлениях окружающей среды. В этом случае предпочтительнее использовать двигатели на твердом топливе. При подборе соответствующего двигателя основные функциональные требования к аппарату определяют соответствующие функциональные требования к двигателю. Так, аппарат имеет определенные гидродинамические характеристики и компоновку, из которых вытекает необходимая для достижения нужной скорости тяга, а также объем и обводы отсека, в котором должен размещаться двигатель.

Зависимость давления от глубины погружения в воду по отношению к уровню моря описывается законами гидравлики и увеличивается на 1 бар (0,0981 МПа) с увеличением глубины погружения на каждые 10 м. При этом возникают проблемы с появлением скачков уплотнения и отрывом потока. Глубинную характеристику реактивного двигателя на твердом топливе можно определить [3]:

$$P_H = P_{II} - F_a p_H,$$

где P_H – значение пустотной тяги ($P_H = P_3 + F_{aP_3}$); P_3 – значение стендовой тяги; p_3 – абсолютное давление на земле.

При движении аппарата под водой на него действуют следующие силы:

- массовые силы – вес и сила плавучести;
- гидродинамические силы, распределенные по поверхности аппарата и обусловленные воздействием окружающей среды;
- газодинамические силы, создаваемые выхлопными горячими газами энергетического средства старта;
- реактивная сила двигателя.

Задача динамики подводного старта и движения заключается в определении кинематических параметров пространственного движения аппарата при заданных начальных условиях старта, массо-центровочных и гидродинамических характеристиках аппарата. Решение ее состоит в выводе системы дифференциальных уравнений движения ДА, разработке алгоритма интегрирования и его программной реализации.

В общем случае пространственное движение ДА может быть представлено суммой поступательного движения центра масс и вращательного движения вокруг центра масс, т.е. систему дифференциальных уравнений движения аппарата образуют три уравнения поступательного движения и три уравнения вращательного движения:

$$\frac{d\vec{Q}}{dt} = \sum \vec{F}_i; \quad \frac{d\vec{G}}{dt} = \sum \vec{M}(\vec{F}_i),$$

где \vec{Q} – импульс тела, \vec{G} – кинетический момент тела относительно неподвижной точки, в данный момент времени совпадающей с центром масс; $\sum \vec{F}_i$ – сумма всех внешних сил, приложенных к аппарату, $\sum \vec{M}(\vec{F}_i)$ – сумма моментов всех внешних сил относительно центра масс.

Силы, приложенные к аппарату:

$$\sum \vec{F}_i = \vec{F}_G + \vec{F}_A + \vec{F}_P + \vec{F}_R + \vec{F}_H; \quad \sum \vec{M}(\vec{F}_i) = \vec{M}_A + \vec{M}_R + \vec{M}_H,$$

где \vec{F}_G – сила тяжести, \vec{F}_A – Архимедова сила, \vec{F}_P – тяга двигателя, \vec{F}_R – аэродинамические реакции, \vec{F}_H – гидродинамические реакции, \vec{M}_A – момент Архимедовой силы, \vec{M}_R – момент аэродинамических реакций, \vec{M}_H – момент гидродинамических реакций.

Векторные параметры проецируются на оси связанной системы координат. Полная система уравнений приведена в [2].

При движении аппарата во взволнованной жидкости полагают что параметры волнения моря известны и внесение тела в жидкость в целом несущественно влияет на характеристики волнения. Реальное морское волнение представляет собой сложный нерегулярный процесс. Влияние его на движущееся тело проявляется в силовом воздействии скоростей и ускорений волнового движения частиц воды. В расчетах применяется наиболее изученный предельный случай для жидкости неограниченной глубины, когда воздействие реальной волны заменяется воздействием гармонической волны [2].

Сложную задачу представляет выход и вход аппарата в воду. Этапом выхода считается участок движения, началом которого является момент первого касания носиком аппарата свободной поверхности, концом – момент пересечения поверхности жидкости кормовой оконечностью аппарата. При построении математической модели выхода аппарата из воды необходимо учитывать изменение в процессе движения присоединенных масс, архимедовой силы, положения центра водоизмещения и гидродинамических сил.

При входе в воду аппарат некоторое время движется в естественной нестационарной каверне, которая по мере увеличения глубины и уменьшения скорости уменьшается в размерах, в определенный момент замыкается, а затем и исчезает. Несмотря на непродолжительность этого участка, кинематические и динамические характеристики аппарата изменяются на нем весьма интенсивно, при

этом их изменение необходимо рассматривать в совокупности с изменением формы и размеров каверны. Модели движения аппарата при пересечении границы двух сред представлены в [1].

Движение на атмосферном участке траектории отличается от подводного движения отсутствием присоединенных масс, Архимедовой силы и совпадением центров масс и водоизмещения.

При движении аппарата в неспокойной атмосфере полагают скорость ветра постоянной $\overline{W} = \text{const}$. Это приводит к изменению вектора воздушной скорости $\overline{V} = \overline{V}_k - \overline{W}$ и соответствующей коррекции углов атаки и скольжения [1].

Рассеивание координат точки падения характеризуется эллипсом рассеивания, причем его продольная ось тем больше, чем меньше начальный угол возвышения траектории. В общем случае различают четыре группы факторов, вызывающих суммарное рассеивание:

- Технические погрешности изготовления аппарата и его агрегатов;
- Параметры пересечения аппаратом границы двух сред;
- Погрешности реализации заданных начальных условий движения и стартовые возмущения;
- Отклонение параметров атмосферы.

Таким образом реальное движение двухсредных аппаратов является весьма сложным и подверженным влиянию большого числа факторов. В сегодняшних условиях ограниченности выделяемых средств на мероприятия по глубокой модернизации эксплуатируемых изделий и на разработку новых типов двухсредных аппаратов и их подсистем, проводить работу в этом направлении можно только базируясь на фундаментальных теоретических исследованиях и методах математического моделирования с использованием современных программных и технических средств компьютерных технологий.

Библиографический список

1. Грумондз В.Т., Яковлев Г.А. Алгоритмы аэрогидробаллистического проектирования.–М.: Изд-во МАИ, 1994.
2. Дегтярь В.Г., Пегов В.И. Гидродинамика баллистических ракет подводных лодок: Монография. - Миасс: ФГУП "ГРЦ "КБ им. акад. В.П. Макеева", 2004.
3. Шахиджанов Е.С., Мяндин А.Ф. Реактивные двигатели подводных аппаратов на твердом топливе.– Москва, 2005.

УДК 621.396 (075)

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ГРАНИЧНЫХ ИСПЫТАНИЙ ПО УСКОРЕННОМУ ОПРЕДЕЛЕНИЮ ВЛИЯНИЯ ВОЗДЕЙСТВИЯ ВНЕШНИХ ФАКТОРОВ НА СРОК СЛУЖБЫ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ

М.Л. Оржаховский, Н.С. Резниченко

ФГУП «Центральный научно-исследовательский радиотехнический институт
имени академика А.И. Берга»
(ФГУП «ЦНИРТИ им. академика А.И. Берга»)

Для получения информации на стадии разработки о показателях качества функционирования испытуемых изделий в условиях воздействия различных внешних факторов, определения из них наиболее сильно влияющих на показатели качества, а также выбора наилучших режимов применения изделия, проводят *исследовательские испытания*. При этом может проводиться сравнение ряда возможных вариантов реализации изделия, выбор вида или построение его математической модели функционирования при различных внешних воздействиях.

К исследовательским испытаниям относятся граничные испытания.

Граничные испытания – испытания, проводимые для определения зависимостей между предельно допустимыми значениями параметров объекта и режимом эксплуатации.

1 Граничные испытания по определению влияния значений быстродействующих входных факторов на параметры работоспособности изделия.

В первом приближении входными факторами можно считать: внешний воздействующий фактор, входной сигнал, питающее напряжение.

Быстродействующий фактор – фактор, действие которого на выходные параметры изделия проявляется в сроки, определяемые возможностью измерительных приборов, и пренебрежимо малые по сравнению со сроками службы изделия (например, температура внешней среды).

Исследовательские граничные испытания проводят для оценки предельных возможностей изделий, причин и мест появления отказов. Эти испытания основаны на определении зависимостей между предельно допустимыми (граничными) значениями параметров, характеризующих режим эксплуатации. Исследования параметров могут выполняться путем *лабораторных испытаний* или *анализа математической модели* изделия.

В данном докладе рассматривается вопрос о проведении лабораторных испытаний.

Результатом граничных испытаний является графическая зависимость, позволяющая отделить область безотказной работы от области отказов, т.е. определить область работоспособности.

Работоспособность – состояние объекта, при котором значения всех параметров, характеризующих способность выполнять заданные функции, соответствует требованиям нормативно-технической документации.

Большой интерес представляет знание областей работоспособности элементов электронной техники (резисторов, конденсаторов, катушек индуктивности, диодов, транзисторов, микросхем, электронных приборов и т.д.), определенных по единым методикам и построенных в одинаковых масштабах. Наличие таких областей позволяет путем наложения их друг на друга определить (как общее геометрическое место точек) область работоспособности изделия, состоящего из указанных элементов. Это в первую очередь относится к условию влияния внешних воздействий на точностные параметры изделий, причем тех внешних воздействий, действие которых на параметры является результатом кратковременных воздействий. Кроме того, знание областей работоспособности элементов позволяет определить «запас прочности» схемы, правильно выбрать номиналы параметров и режимы элементов схемы, предсказать появление отказов, сравнить физическую надежность идентичных схем по площадям безотказной работы, а также выработать конструктивные способы защиты наиболее уязвимых элементов.

Проведение исследовательских граничных испытаний, позволяющих определить области работоспособности современной радиоэлектронной аппаратуры и средств измерений, представляет значительную трудность, так как в их конструкцию входят различные интегральные и дискретные элементы, свойства которых при воздействии внешних факторов изменяются разным образом. Кроме того, указанные изделия характеризуются большим числом выходных параметров со сложными зависимостями от воздействия внешних факторов (ВВФ), изменений питающих напряжений и входных сигналов. Поэтому на основании результатов граничных испытаний изделий низшей группы (детали, узлы и радиоэлектронные элементы), характеризуемые более простыми зависимостями выходных параметров от входных, проводят граничные испытания изделия в целом.

При проведении граничных испытаний изделий возможно несколько целевых назначений испытаний:

– определение областей работоспособности по каждому из выходных параметров изделия при идентичных внешних воздействиях. По результатам проведенных испытаний определяют степень соответствия допусков значения различных выходных параметров от входящего параметра. В данном случае предполагается, что при определенных значениях параметров воздействия внешнего фактора значения различных выходных параметров изделия могут быть в пределах допуска, а также выходить за его пределы.

– определение значений ВВФ, при которых значения выходных параметров изделий будут находиться в пределах областей их работоспособности с соблюдением заданных допусков.

При проведении граничных испытаний сложных изделий (микросхемы, электровакуумные приборы и т.д.) необходимо установить, какие выходные параметры наиболее критичны к воздействию внешних факторов, и оценку работоспособности проводить только для них.

В общем виде методика осуществления лабораторных граничных испытаний складывается из следующих операций:

- выбор воздействий, характеризующих режим эксплуатации: воздействие внешнего фактора, входного сигнала, питающего напряжения;
- установление диапазона значений воздействующего параметра;
- определение вида и значения выходного параметра, по которому можно судить о работоспособности испытуемого изделия;
- снятие зависимости значений выбранного выходного параметра от значений входного и определение области работоспособности.

2 Ускоренные граничные испытания по определению долговечности и сохраняемости.

Чтобы правильно оценить реальную надежность разрабатываемой или серийно выпускаемой аппаратуры, ее необходимо экспериментально испытать в условиях воздействия тех факторов, которые наиболее сильно влияют на *долговечность* и *сохраняемость*. На проведение экспериментального исследования аппаратуры в реальных условиях требуются длительное время и существенные экономические затраты. Перечисленные затруднения являются естественной причиной поиска таких методов, которые позволили бы сократить продолжительность испытаний и объем выборки.

Ускоренные испытания имеют цель выявить изменение параметров элементов и узлов аппаратуры при сокращении длительности испытаний. Как показывает опыт исследований влияния ВВФ, одним из наиболее достоверных способов ускорения испытаний аппаратуры является ужесточение воздействия факторов внешней среды. Повышенное воздействие на элементы и узлы аппаратуры приводит к сравнительно быстрому их изнашиванию и старению. При ускоренных испытаниях значения воздействующих на аппаратуру факторов (температура, влажность, электрические и механические нагрузки и др.) должны, как правило, превышать эксплуатационные значения, при которых еще сохраняется нормальная работа типовых функциональных узлов и аппаратуры.

Основной целью и средством исследований являются получение функциональных зависимостей между показателями долговечности и сохраняемости изделий и значениями ВВФ и экспериментальное определение коэффициентов этих зависимостей.

По результатам определения коэффициентов этих зависимостей с требуемой доверительной вероятностью может быть установлено следующее:

- средний или гамма-процентный ресурс или срок службы или срок сохраняемости (далее – срок L) при заданных значениях (постоянных или переменных) основных ВВФ*;
- значения основных ВВФ, при которых допустима эксплуатация изделий при заданном сроке L*;
- режим ускоренных испытаний при одном значении основных ВВФ. Режим ускоренных испытаний может быть использован для определения срока службы или срока сохраняемости, или ресурса изделий (определяющие испытания). В этом случае ускоренные испытания проводят до отказа образцов*.
- ускоренные контрольные испытания, которые проводят при одном значении каждого испытательного фактора с целью подтверждения установленных в нормативных документах на изделия требования по срокам службы, срокам сохраняемости и ресурсу изделий**;
- графики зависимости срока L от основных ВВФ, могущие служить аттестованными нормативно-справочными данными о свойствах материалов, системы материалов, покрытий, изделий**;
- прогноз зависимости изменения значений критерия отказа от продолжительности действия заданных значений основных ВВФ**.

* – относятся к области граничных испытаний;

** – не относятся к области граничных испытаний, но, тем не менее, широко применяются для характеристики изделий:

При разработке методики по проведению ускоренных граничных испытаний следует руководствоваться ГОСТ Р 51910-2002.

Основной составной частью при разработке методики исследования и проверки ускоренными методами влияния ВВФ на долговечность и сохраняемость изделий является выбор:

- формы и конструкции образца – для материалов, покрытий, систем материалов;
- основных критических узлов – для готовых изделий;
- критериев отказа;
- критических значений критериев отказа;
- типового (условного) режима эксплуатации – для готовых изделий;
- основных видов испытательных воздействий, последовательностей и способов их приложения;

– способов ускорения испытаний, в том числе плана и режимов испытаний, периодичности контроля показателей критериев отказа в процессе испытания, последовательности и контроля параметров после испытаний.

1) Предпочтительно выбирать прямые критерии отказа (т.е. критерии, связанные с нарушением основных функций материала в системе материалов). Допускается пользоваться косвенными критериями (для удобства измерений или сокращения числа образцов). При этом необходимо учитывать, что изменение значений косвенных критериев может быть обусловлено механизмом отказа, отличающимся от механизмов отказа, вызывающего изменение прямых критериев.

2) Многообразие реальных режимов эксплуатации изделий должно быть сведено к одному или нескольким условным типовым режимам эксплуатации. Эти режимы должны быть представлены в виде набора видов ВВФ как внешних, так и зависящих от режима работы. При выборе типового режима эксплуатации проводят, в частности, разделение этапов эксплуатационного хранения и этапов выработки ресурсов изделий. При этом учитывают, что такое разделение этапов может быть нецелесообразным для некоторых изделий в соответствии с их конструктивными особенностями и особенностями эксплуатации.

3) Проводят анализ влияния эксплуатационных воздействующих факторов на узлы и материалы изделий, связанные с критериями отказа. При этом виды эксплуатационных ВВФ делят на несущественные и существенные. Последние принимают в качестве испытательных воздействий.

Факторы, принятые в качестве испытательных воздействий, подразделяют на основные, вызывающие разрушение при длительном воздействии (разрушающие), и на дополнительные, только выявляющие произведенное основными факторами разрушение (диагностические).

Следует учитывать, что один и тот же фактор может быть либо основным, либо только диагностическим в зависимости от значения и продолжительности его действия, последовательности приложения испытательных воздействий и (или) сочетания этого фактора с другими.

4) Способы ускорения испытаний должны быть основаны на математической модели, выражающей зависимость между показателями долговечности и сохраняемости изделий и значениями ВВФ, и отвечающей, в частности, на вопрос «как экстраполировать результаты ускоренных испытаний в область рабочих значений ВВФ или параметров изделий».

5) Результаты ускоренных испытаний выражают в виде математической зависимости срока L от основных воздействующих факторов.

Для получения аналитической зависимости срока L образцов от основных испытательных факторов, экспериментальные данные обрабатывают по методу наименьших квадратов с вычислением среднего арифметического или среднего логарифмического срока L , коэффициентов зависимостей и, при необходимости, нижних доверительных границ для среднего, а также математических ожиданий требуемых вероятностей безотказного хранения или безотказной работы (гамма-процентных сроков L) и нижних доверительных (толерантных) границ для этих показателей. Возможно также определять вероятность безотказной работы (или безотказного хранения) при заданных значениях ресурса (или срока сохраняемости), значениях основных воздействующих факторов и выбранной доверительной вероятности.

6) Испытания являются циклическими. Параметры и продолжительность режима испытаний выбирают такими, чтобы жесткость испытательного воздействия каждого фактора в каждом цикле составляла одинаковую долю (рекомендуется одна десятая) жесткости испытательного воздействия для всего срока службы или срока сохраняемости, или ресурса изделий.

Библиографический список

1. *ГОСТ 16504-81* «Система государственных испытаний продукции. Испытания и контроль качества продукции. Основные термины и определения».
2. *ГОСТ Р 51910-2002* «Методика исследования и проверки ускоренными методами влияния внешних воздействующих факторов на долговечность и сохраняемость технических изделий. Разработка и построение».
3. *Серегин М.Ю.* Организация и технология испытаний: в 2 ч. Ч 1: Методы и приборы испытаний: учебное пособие – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2006. – 84 с.
4. *Испытания аппаратуры и средств измерений на воздействие внешних факторов: Справочник/* Под ред. В.Д. Малинского. – М.: Машиностроение, 1993. 579 с.

МЕТРОЛОГИЧЕСКАЯ ЭКСПЕРТИЗА ИЗДЕЛИЙ ВВТ КАК СОСТАВНАЯ ЧАСТЬ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАЧЕСТВА ВЫПУСКАЕМОЙ ПРОДУКЦИИ

И.В. Незнамова

ОАО «Конструкторское бюро специального машиностроения»
(ОАО «КБСМ»)

Рассматриваются проблемы взаимосвязи качества выпускаемой продукции и метрологического обеспечения (метрологической экспертизы) изделий ВВТ.

Введение. Эффективность измерений при контроле технического состояния, поиске отказа, прогнозировании технического состояния, а также при настройке и регулировке образца вооружения и военной техники (ВВТ) определяется тем, насколько рационально решены вопросы метрологического обеспечения (МО) при его разработке. Оценка правильности решения этих вопросов производится специалистами путем метрологической экспертизы (МЭ) конструкторской документации (КД) и опытных образцов ВВТ. Ее проведение способствует достижению обоснованного и рационального метрологического обеспечения разрабатываемых образцов ВВТ.

Роль и место измерений, контроля, испытаний и их метрологического обеспечения в системе менеджмента качества (СМК) организации показана на схеме рис. 1 [2-3]. Из его рассмотрения видно, что измерения, испытания и их метрологическое обеспечение играют роль важнейшей подсистемы СМК, обеспечивающей объективную количественную информацию о параметрах и характеристиках создаваемых изделий.

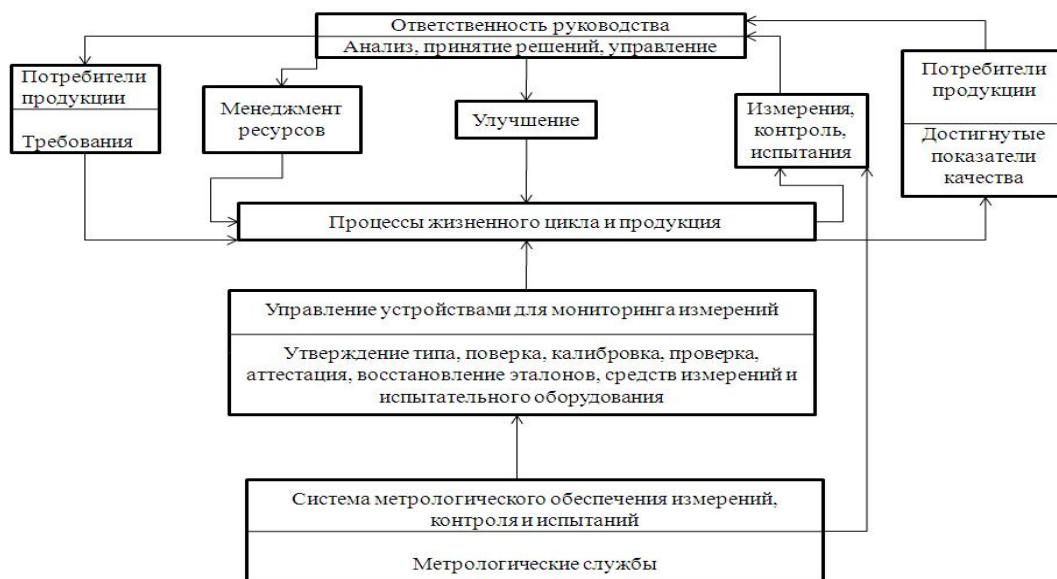


Рис.1. Роль измерений, контроля и испытаний в СМК организации.

Под метрологической экспертизой изделий ВВТ понимается анализ и оценка правильности принятых разработчиком (конструктором) технических решений и разработка рекомендаций по повышению эффективности метрологического обеспечения образцов ВВТ в процессе их разработки, производства и эксплуатации.

При проектировании образцов ВВТ основополагающей целью МО является точность измерений и достоверность результатов контроля параметров изделий ВВТ и процессов их создания и испытания, что в свою очередь является необходимым условием повышения качества создаваемой техники, инновационного развития и конкурентоспособности на отечественном и зарубежных рынках.

Качество измерений и испытаний достигается повышением эффективности МО, развитием измерительной и испытательной базы, эффективным функционированием метрологических служб в организации, соблюдением законодательных и нормативных документов по обеспечению единства измерений.

МЭ в организации проводится для оценки обоснованности и правильности выбора состава контролируемых (измеряемых) параметров изделия, контролепригодности изделия при изготовлении, испытаниях и эксплуатации, качества систем и средств измерений и контроля, определения правильности решения организационных, методических и технических вопросов метрологического обслуживания средств измерений и контроля.

Основные задачи метрологической экспертизы

В процессе проведения метрологической экспертизы решаются задачи, определённые типовой программой проведения метрологической экспертизы, согласованной с военной приемкой Министерства Обороны (ВП МО):

- контроль выполнения заданных в ТТЗ (ТЗ) требований к МО;
- оценка обоснованности выбора состава контролируемых параметров и допусков на их отклонение;
- проверка наличия методик выполнения измерений и анализ результатов оценки погрешности измерений;
- проверка соответствия условий применения СИ и контроля техническим условиям на данные средства измерений и контроля;
- проверка соответствия показателей эффективности измерений показателям, заданным в техническом задании;
- оценка контролепригодности;
- контроль соответствия выбранных СИ номенклатуре «Перечня СИ, разрешённых к применению...»;
- оценка правильности способов выражения и нормирования метрологических характеристик СИ;
- проверка состава СИ, подлежащих периодической поверке и правильности установления их межповерочных интервалов;
- оценка уровня унификации и взаимозаменяемости методов и СИ, их основных элементов, определяющих точность измерений;
- оценка обеспеченности поверки СИ поверочными органами эксплуатирующей организации;
- контроль выполнения требований НТД по метрологическому обеспечению, применению терминов, обозначению единиц физических величин, представлению результатов измерений.

В течение 2010 г. в ОАО «КБСМ» проведено двадцать МЭ. Количество метрологических экспертиз, проведенных в ОАО «КБСМ», с 1990 по 2010 г.г. приведено на диаграмме рис. 2. Из данной диаграммы видно резкое увеличение в последние годы количества разрабатываемого в организации изделий ВВТ и соответственно увеличение проведенных МЭ.

Основные направления метрологической экспертизы

1. Анализ и оценка принятых технических решений

Анализ и оценка принятых технических решений является главной и основной задачей при проведении метрологической экспертизы изделия.

Контроль метрологического обеспечения проводится в целях оценки выполнения заданных в ТЗ (ТТЗ) метрологических требований и определения правильности принятых при разработке технических решений, направленных на обеспечение единства, требуемой точности измерений и достоверности контроля параметров и характеристик образца, оптимизацию состава средств измерений и контроля. По результатам контроля разрабатываются предложения по дальнейшему повышению эффективности и качества метрологического обеспечения вновь создаваемого образца.

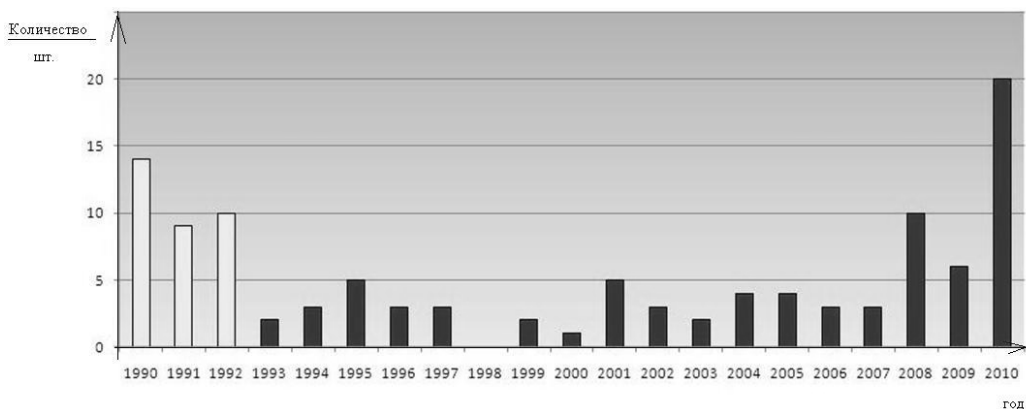


Рис. 2. Количество метрологических экспертиз, проведенных в ОАО «КБСМ» с 1990 по 2010 г.г.

2. Выбор состава контролируемых параметров и их допустимых отклонений

Оценка правильности выбора состава контролируемых параметров является первой задачей метрологической экспертизы. От того, насколько правильно выбраны контролируемые параметры, зависит объективность (достоверность) оценки технического состояния образца ВВТ. Структурная схема обоснований (выбора) контролируемых параметров приведена на схеме рис. 3 [1].

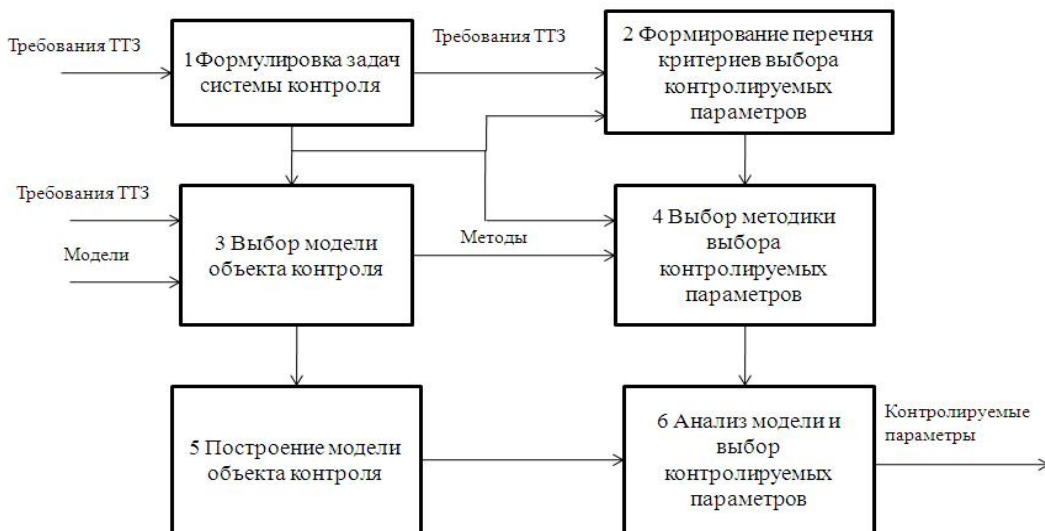


Рис. 3. Структурная схема обоснований (выбора) контролируемых параметров.

3. Точность измерений и достоверность контроля параметров

Обеспечение единства измерений в организации реализуется в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений (далее СГР ОЕИ). СГР ОЕИ применительно к выполнению государственного оборонного заказа (далее ГОЗ) определяется пунктом 14 части 3 статьи 1 ФЗ-102 “Обеспечений единства измерений” [4] и Перечнем измерений, относящихся к СГР ОЕИ в области обороны. К ним относятся измерения по оценке соответствия продукции обязательным требованиям, выполняемой с участием представителя заказчика и удостоверяемой их подписью. Обязательные требования к оборонной продукции, в том числе к точности измерений её параметров и средствам измерений, устанавливаются государственными заказчиками оборонного заказа (далее ГЗ ОЗ) в своих нормативных правовых актах и технической документации (конструкторской, технологической, документах по стандартизации оборонной продукции и процессов).

Требования к допустимым отклонениям и точности измерений параметров в ОАО «КБСМ» при испытаниях устанавливаются следующими НД:

а) ГОСТ Р 51282 – 99 Оборудование технологическое стартовых и технических комплексов ракетно-космических комплексов. Нормы проектирования и испытаний.

п.11.2.4 Фактические испытательные нагрузки не должны отличаться от нормативных более чем на 5 %.

б) ГОСТ 17108 – 86 Гидропривод объемной и смазочной системы. Методы измерений параметров.

п.1.4 В зависимости от вида испытаний установлены три группы точности измерений. При приемо-сдаточных испытаниях погрешность измерения должна соответствовать группе точности 3.

в) ГОСТ 29266-91 Краны грузоподъемные. Требования к точности измерений параметров при испытаниях.

4. Качество выбора средств измерений и контроля

Выбор средств измерений (СИ) по точности (упрощенный вариант), при отсутствии требований к достоверности измерительного контроля в ТТЗ (ТЗ) или в другой нормативной документации (например: ГОСТ 17108-86, ГОСТ 8.051-81 и др.) осуществляется путем обеспечения требуемого (рекомендуемого) коэффициента точности $K_{т.р} \geq 3$, при котором погрешность измерений принимается несоизмеримо малой по отношению к допуску на контролируемый параметр и не учитывается.

Фактический (реализуемый) коэффициент точности $K_{т.ф}$ определяется по формуле:

$$K_{т.ф} = \frac{\delta_n}{\Delta_{\Sigma}}$$

где δ_n - допуск на отклонение контролируемого параметра;

Δ_{Σ} - суммарная погрешность результатов измерения параметра.

При невозможности или сложности обеспечения $K_{т.р} \geq 3$ вводится приемочный (эксплуатационный) допуск на контролируемый параметр, учитывающий фактическую (реализуемую) погрешность измерений, т.е. в данном случае конструкторский допуск, устанавливающий предельные значения (истинные) допускаемого отклонения измеряемого параметра, рекомендуется уменьшить (зачать) на 2/3 реализуемой суммарной погрешности измерений или на основную погрешность средств измерений, когда при выполнении прямых измерений не представляется возможным учесть дополнительную погрешность.

Примечание – Сохранение работоспособности изделия при крайних значениях параметра подтверждает конструктор (расчетчик).

5. Качество системы поверки средств измерений

Средства измерений военного назначения, используемые ОАО «КБСМ», для комплектации образцов (комплексов) ВВТ, аппаратуры, приборов, устройств и оборудования военного назначения разрешены к применению, так как входят в «Перечень средств измерений военного назначения, разрешенных для комплектации вооружения, военной техники и поставки министерству обороны Российской Федерации», являющийся обязательным и для эксплуатирующих изделия ВВТ организаций. При этом нужно отметить, что количество средств измерений, включенных в указанный «Перечень средств измерений ...» с 2005 по 2011 г.г. и используемых в разрабатываемых организациях образцах ВВТ резко сократилось (см. диаграмму рис. 4), что создает определенные трудности по выбору СИ.

Проверяя допустимость использования СИ, следует также руководствоваться положениями Федерального закона «Об обеспечении единства измерений» от 26 июня 2008 г. (№ 102-ФЗ). В сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений к применению допускаются средства измерений утвержденного типа (зарегистрированные в Госреестре) и прошедшие поверку.

При проверке соответствия точности СИ требуемым значениям погрешности измерений (допускаемым или нормам погрешности измерений) необходимо произвести расчет погрешности СИ (инструментальной составляющей погрешности измерений) в реальных условиях использования этого СИ. Такой расчет осуществляется по метрологическим характеристикам СИ. При этом можно воспользоваться рекомендациями, изложенными в РД 50-453-84 «ГСИ. Методические указания. Характеристики средств измерений в реальных условиях эксплуатации. Методы расчета». Кроме инструментальной составляющей погрешности измерений следует оценить и другие составляющие: методическую погрешность, погрешность, обусловленную влиянием условий измерений и неинформативных

параметров и др. Если погрешность измерений с учетом всех составляющих погрешностей измерений не превышает требуемую погрешность измерения, то СИ выбрано правильно.

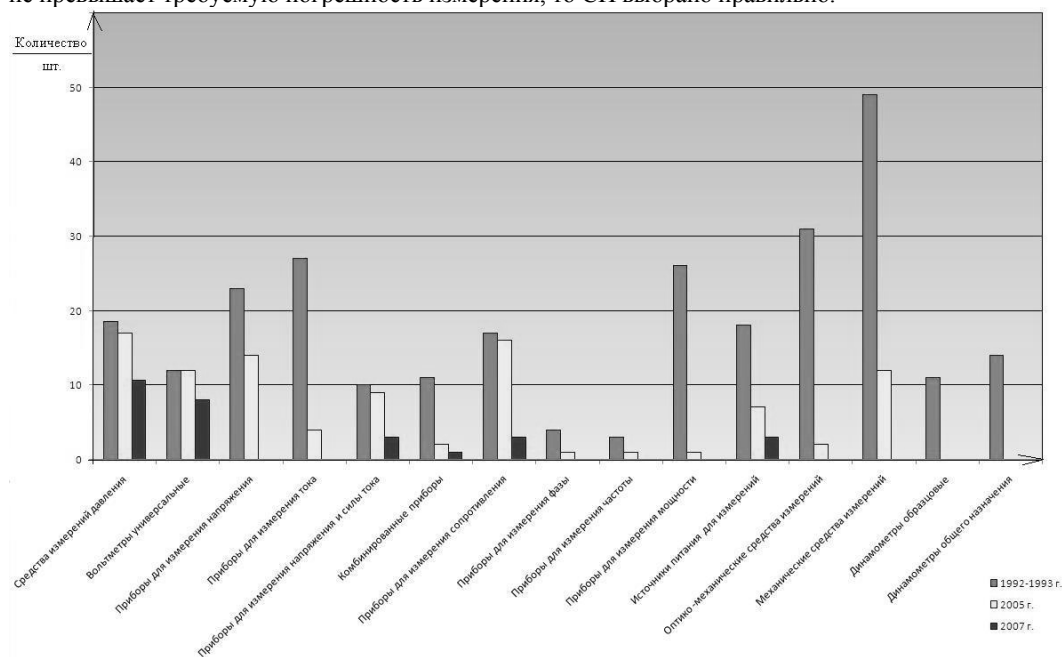


Рис. 4. Количество средств измерений, включенных в «Перечень средств измерений ...».

Требования к средствам измерений военного назначения для комплектации образцов (комплексов) вооружения и военной техники, аппаратуры, приборов, устройств и оборудования военного назначения, а также комплектования штатов воинских частей Вооруженных Сил Российской Федерации установлены ОТТ 1.1.7-89, ОТТ 2.1.14-95, ГОСТ РВ 20.39.309-98.

6. Контролепригодность изделия

Под контролепригодностью понимают возможность контроля необходимых параметров в процессе изготовления, испытаний, эксплуатации и ремонта изделий.

При МЭ технической документации оценивают возможность измерения параметров продукции с требуемой точностью существующими или вновь разработанными средствами измерений. Для этого следует проверить, возможен ли доступ ко всем точкам измерений (поверхностям, параметры которых измеряются, контрольным гнездам, разъемам и т.д.). Если доступ к точкам измерений затруднен, можно сделать предложение по усовершенствованию конструкции объекта. Далее, необходимо проанализировать, ко всем ли свойствам объекта, влияющим на погрешность измерений, установлены требования. Например, при измерении линейных размеров должны быть регламентированы шероховатость поверхности детали (от нее зависит составляющая погрешности измерений, обусловленная взаимодействием СИ и объекта) и материал детали (от жесткости его зависит погрешность взаимодействия, а от коэффициента температурного расширения зависит температурная погрешность).

При проведении МЭ чертежей следует не только установить неконтролепригодные размеры (например, внутренние диаметры, канавки, уступы и др.), но и размеры, измерение которых требует трудоемких методов контроля. В некоторых случаях специалист, проводящий МЭ, может рекомендовать обеспечить необходимую точность параметров технологически.

При решении этой задачи эксперт может также рекомендовать ужесточить или расширить допуск на контролируемые параметры, ограничить требования к условиям измерений, разработать специальные СИ или методики выполнения измерений.

7. Изложение вопросов метрологического обеспечения

Метрологическое обеспечение производства и испытаний изделий – комплекс мероприятий, направленных на обеспечение единства измерений и на достижение требуемой точности при выполнении измерительного контроля параметров изделия.

Требования к метрологическому обеспечению производства и испытаний изделий устанавливаются ГОСТ РВ 1.1–96, ГОСТ РВ 8.570-98 и др. государственными стандартами по метрологическому обеспечению.

Методики выполнения измерений должны быть стандартизованными или аттестованными. Вновь разрабатываемые МВИ должны быть аттестованы в соответствии с требованиями ГОСТ Р 8.563-2009. Выбор средств измерений, при разработке МВИ, осуществлять с учетом рекомендаций МИ 1967-89 и др. действующей в организации нормативной документацией.

Применение вновь разрабатываемых средств измерений допускается в случае невозможности выполнения измерений стандартизованными средствами измерений и должно быть обосновано с приведением их перечня и необходимых технико-экономических оценок.

При создании образцов ВВТ вновь разрабатываемые средства измерений должны проходить испытания на утверждение типа в соответствии с ГОСТ РВ 8.560-95, с учетом правил ПР 50.2.027-2001 и рекомендаций МИ 2146-98.

При создании изделий гражданского назначения, используемых в сферах распространения государственного метрологического контроля и надзора, вновь разрабатываемые средства измерений должны проходить испытания на утверждение типа в соответствии с ПР 50.2.009-94, с учетом правил ПР 50.2.027-2001 и рекомендаций МИ 2146-98.

8. Экономическая эффективность метрологической экспертизы

По результатам проведения метрологической экспертизы метролог-эксперт либо подтверждает правильность принятого разработчиком технического решения, либо предлагает изменить систему метрологического обеспечения создаваемого образца ВВТ. При этом, предлагаемые изменения направлены на повышение качества МО изделия и повышение технико-экономических показателей изделия в части МО.

Заключение

Основной целью проведения МЭ в ОАО «КБСМ» является контроль соблюдения требований ТТЗ по МО к опытному образцу ВВТ, и, как следствие, повышение качества, надежности и технико-экономических показателей данного изделия до его постановки на серийное производство.

Проведение МЭ на этапе изготовления и предварительных испытаниях изделия позволяет обнаружить и устранить ошибки и несоответствия в конструкторской документации изделия, в результате которых возможны как брак в производстве, так и отказы в эксплуатации серийных изделий.

Знание типовых ошибок позволяет определить причины их возникновения и в ряде случаев избежать их. Определенной гарантией создания рациональной системы метрологического обеспечения является составление программ метрологического обеспечения. Для повышения эффективности работы структурных подразделений технического комплекса (ТК) внедрена и успешно используется справочная нормативная система база данных “NormaCS”, которая позволяет оперативно получать доступ к необходимой нормативной документации. Так же в организации внедряется автоматизированная система ”Архив” (АС “Архив”), что впоследствии улучшит качество проведения метрологической экспертизы изделий и сократит количество ошибок.

С целью повышения качества выпускаемой документации специалистами отдела метрологии разработаны и внедрены в конструкторские комплексы методические пособия по правильному оформлению разделов МО разрабатываемых изделий, в процессе согласования КД. Помимо разработки методических пособий экспертами метрологами проводится постоянная работа по анализу ошибок, допускаемых конструкторами в вопросах МО разработок, их систематизации. Результаты этой работы доводятся до сведения конструкторов на специальных занятиях, которые проводятся совместно с отделом обучения, что в конечном итоге положительно влияет на качество разрабатываемых изделий.

Библиографический список

1. Сычев Е.И., Храменков В.Н., Шкитин А.Д. Основы метрологии военной техники.// Министерство Обороны Российской Федерации. Москва, Военное Издательство, 1993.

2. *Вестник метролога*, научно-информационный журнал № 3 2010.
3. *Теплинг Д., Шукер Т.*, Стандарты и качество, научно-технический и экономический журнал №1 2009.
4. *Федеральный закон Российской Федерации* от 26 июня 2008 года № 102-ФЗ, Обеспечение единства измерений.
5. *ГОСТ РВ 1.1-96 ГСС*. Метрологическое обеспечение вооружения и военной техники. Основные положения.
6. *ГОСТ Р 8.563-2009 ГСИ*. Методики выполнения измерений.
7. *ГОСТ РВ 8.570-98 ГСИ*. Метрологическое обеспечение испытаний ВВТ. Основные положения.
8. *ГОСТ РВ 8.573-2000 ГСИ*. Метрологическая экспертиза образцов ВВТ. Организация и порядок проведения.
9. *ГОСТ РВ 8.576-2000. ГСИ*. Порядок поверки средств измерений в сфере обороны и безопасности РФ.
10. *ГОСТ РВ 20.39.309-98. КСОТТ*. Аппаратура, приборы, устройства и оборудование.
11. *ПР 50.2.009-94. ГСИ*. Порядок проведения испытаний и утверждения типа средств измерений.
12. *ПР 50.2.027-2001 ГСИ*. Порядок проведения испытаний и утверждения типа средств измерений специального назначения (срок введения в действие с 1 марта 2001 г.).
13. *МИ 1967-89. ГСИ*. Выбор методов и средств измерений при разработке.
14. *МИ 2146-98. ГСИ*. Порядок разработки и требования к содержанию программ испытаний средств измерений для целей утверждения их типа.
15. *ОТТ 1.1.7-89*.
16. *ОТТ 2.1.14-95*.

УДК 389

СТАНДАРТИЗАЦИЯ И УНИФИКАЦИЯ ИЗДЕЛИЙ, РАЗРАБАТЫВАЕМЫХ ОАО «КБСМ»

Д.А. Карпенков

ОАО «Конструкторское бюро специального машиностроения»
(ОАО «КБСМ»)

Рассматриваются вопросы стандартизации и унификации изделий, разрабатываемых ОАО «КБСМ».

Введение. Прежде чем, приступить к рассмотрению сущности унификации и стандартизации необходимо обратиться к краткой исторической справке по данному вопросу.

С развитием человеческого общества непрерывно совершенствовалась трудовая деятельность людей. Это проявлялось в создании различных предметов, орудий труда, новых трудовых приемов. При этом люди стремились отбирать и фиксировать наиболее удачные результаты трудовой деятельности с целью их повторного использования. Применение в древнем мире единой системы мер, строительных деталей стандартного размера, водопроводных труб стандартного диаметра – это примеры деятельности по стандартизации, которая на современном научном языке именуется как "достижение оптимальной степени упорядочения в определенной области посредством установления положений для всеобщего и многократного использования для решения реально существующих или потенциальных задач".

Первые упоминания о стандартах в России отмечены во времена правления Ивана Грозного, когда были введены для измерения пушечных ядер стандартные калибры – кружала. Петр I, стремясь к расширению торговли с другими странами, не только ввел технические условия, учитывающие повышенные требования иностранных рынков к качеству отечественных товаров, но и организовал правительственные бракеражные комиссии в Петербурге и Архангельске. В обязанность комиссий входила тщательная проверка качества экспортируемого Россией сырья (древесины, льна, пеньки и др.).

Началом развития стандартизации в нашей стране следует считать 1925 г. Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии подтверждено, что в 2010 г. стандартизации в России исполнилось 85 лет. В 1925 г. был создан первый центральный орган по стандартизации – Комитет по стандартизации при Совете Труда и Обороне. Основными задачами Комитета были организация руководства работой ведомств по разработке ведомственных стандартов, а также утверждение и опубликование стандартов.

Объект стандартизации – продукция, работа, процесс и услуги, подлежащие или подвергшиеся стандартизации.

В процессе трудовой деятельности специалисту приходится решать систематически повторяющиеся задачи: измерение и учет количества продукции, составление технической и управленческой документации, измерение параметров технологических операций, контроль готовой продукции, упаковывание поставляемой продукции и т.д. Существуют различные варианты решения этих задач. Цель стандартизации – выявление наиболее правильного и экономичного варианта, т.е. нахождение оптимального решения. Найденное решение дает возможность достичь оптимального упорядочения в определенной области стандартизации. Для превращения этой возможности в действительность необходимо, чтобы найденное решение стало достоянием большого числа предприятий (организаций) и специалистов. Только при всеобщем и многократном использовании этого решения существующих и потенциальных задач возможен экономический эффект от произведенного упорядочения.

Таким образом **стандартизация** – это деятельность, направленная на достижение оптимальной степени упорядочения в определенной области посредством установления **законодательных положений** для всеобщего и многократного использования в отношении реально существующих или потенциальных задач.

Заключительным этапом работ по стандартизации является разработка нормативного документа (в виде стандарта, правил, рекомендаций, кодекса установившейся практики, регламента, общероссийского классификатора) на основе проведенных работ по унификации.

Применение нормативных документов дает экономический или социальный эффект. Непосредственный экономический эффект дают стандарты, ведущие к экономии ресурсов, повышению надежности, технической и информационной совместимости. Стандарты, направленные на обеспечение безопасности жизни и здоровья людей, окружающей среды, обеспечивают социальный эффект.

В целом вложение в стандартизацию выгодно государству: 1 руб., направленный в эту сферу, дает, как показывает практика, 10 руб. прибыли.

Унификация – приведение к единообразию технических характеристик изделий, технологических процессов, методов и средств испытаний, услуг и т.д. на основе установления рационального числа их разновидностей.

Основными направлениями унификации в машиностроении являются:

- разработка параметрических и типоразмерных рядов изделий, машин, оборудования, приборов, узлов и деталей;
- разработка типовых изделий в целях создания унифицированных групп однородной продукции;
- разработка унифицированных технологических процессов, включая технологические процессы для специализированных производств продукции межотраслевого применения;
- ограничение целесообразным минимумом номенклатуры разрешаемых к применению изделий и материалов.

Результаты работ по унификации оформляются по-разному: это могут быть альбомы типовых (унифицированных) конструкций деталей, узлов, сборочных единиц; комплект обезличенных чертежей с индексом "А", имеющих многократное применение в изделиях, ограничительные перечни к изделиям, ограничивающие номенклатуру крепежных деталей, материалов, покрытий и т.д. стандарты типов, параметров и размеров, конструкций, марок и др.

Принципами унификации при создании (разработке) изделий являются:

- заимствование ранее разработанных и апробированных составных частей;
- применение стандартных изделий;
- симплификация (простое сокращение типоразмеров составных частей).

Работы по стандартизации и унификации в процессе разработки изделий

Работы в области стандартизации и унификации в процессе разработки и постановки на производство изделий военной техники проводят исходя из целей и задач стандартизации и унификации

военной техники, определенных в основополагающих документах по стандартизации оборонной продукции, и требований по стандартизации и унификации, устанавливаемых нормативно-технических документов системы общих технических требований к видам военной техники, а также в тактико-техническом задании, техническом задании на разработку изделий военной техники, с обеспечением непрерывности и преемственности их проведения на всех стадиях создания изделия военной техники.

Порядок проведения работ по стандартизации и унификации в процессе разработки и постановки на производство изделий устанавливает государственный военный стандарт Российской Федерации ГОСТ РВ 15.207–2005 и стандарт ракетно-космической отрасли ОСТ 92–1.9–81. Кроме того с учетом специфики изделий ОАО "КБСМ", применяется СТП 456–115–2010 "Порядок разработки и содержание материалов по стандартизации и унификации изделий", разработанный отделом стандартизации ОАО "КБСМ".

Работы в области стандартизации и унификации проводятся с учетом результатов исследований по обоснованию развития военной и ракетно-космической техники в части унификации перспективных изделий, а также перспективных требований к техническому уровню и качеству составных частей, комплектующих изделий межотраслевого применения и материалов.

Работы по стандартизации и унификации в процессе разработки и постановки на производство изделия осуществляют с установлением требований по стандартизации и унификации в тактико-техническом задании (техническом задании) на опытно-конструкторскую работу (ГОСТ РВ 15.201–2003 "Система разработки и постановки продукции на производство. Военная техника. Тактико-техническое (техническое) задание на выполнение опытно-конструкторских работ").

Требования по стандартизации и унификации в ТЗ вновь разрабатываемых и модернизируемых изделий устанавливаются головным отделом-разработчиком в виде количественных и качественных требований в соответствии с ГОСТ РВ 15.207–2005.

Количественные требования по унификации задаются в общем случае в виде следующих показателей:

а) **коэффициента применяемости $K_{пр}$** , характеризующего уровень конструктивной преемственности составных частей в разрабатываемом изделии, т.е. оценивающего степень насыщения изделия стандартными, заимствованными (из другого изделия), унифицированными с индексом "А" и покупными составными частями.

$K_{пр}$ является основным показателем.

$$K_{пр} = \frac{n - n_0}{n} \cdot 100\% , \text{ где } n - \text{ общее количество типоразмеров составных частей в изделии;}$$

n_0 – количество типоразмеров оригинальных составных частей.

$K_{пр}$ может быть рассчитан отдельно по каждому виду вышеперечисленных составных частей, например, по числу заимствованных частей, стандартных, унифицированных и покупных составных частей;

б) **коэффициента повторяемости $K_{п}$** , характеризующего уровень внутрипроектной унификации изделия, а также взаимозаменяемость составных частей внутри изделия (значение $K_{п}$, как правило, не задается, т.к. практически не прогнозируется) $K_{п} = \frac{N}{n}$, где N – общее количество составных частей в изделии;

в) **коэффициента межпроектной унификации $K_{му}$** , характеризующего уровень взаимной унификации группы изделий, а также степень сокращения номенклатуры составных частей в изделиях группы.

Значение $K_{му}$, как правило, не задается, т.к. не прогнозируется и не отражает конкретности степени унификации по каждому изделию из группы.

$K_{му}$ рассчитывается на уровне сборочных единиц для количества изделий в группе, как правило, более двух.

Численные значения показателей унификации устанавливаются в ТЗ на основе анализа:

- конструкторской документации ранее разработанных изделий;
- конструкции прототипа (базовой модели) изделия и его составных частей;
- значений количественных показателей унификации изделий, близких по своим функциональным характеристикам к оцениваемому.

Качественные требования по стандартизации и унификации, в общем случае, устанавливаются в виде:

- указания изделий, из которых должно быть произведено заимствование конкретных составных частей;
- указаний об использовании серийно выпускаемых изделий или их отдельных функционально-законченных узлов и механизмов в качестве прототипа или базового изделия;
- указаний о разработке изделия в качестве базового, на основе которого возможно создание необходимых модификаций;
- указаний о соответствии изделия (составных частей) и его эксплуатационных характеристик конструктивно-унифицированным и параметрическим рядам;
- перечня нормативно-технической документации, обязательной для руководства при разработке изделия;
- требований о составлении или использовании ранее разработанных ограничительных перечней.

Дополнительные требования в ТЗ по обеспечению оптимального уровня и унификации изделия и его составных частей (в том числе требования по расчету экономической эффективности от работ по унификации согласно ОСТ 92–4363–85) могут быть установлены по согласованию между заказчиком и разработчиком изделия.

При отсутствии необходимости в требованиях по унификации в разделе ТЗ указывается "Требования по стандартизации и унификации не предъявляются" (например, в случаях отсутствия аналога, разработки экспериментального (опытного) изделия, единичного изделия, частичной доработки изделия, разработки макета изделия).

Результаты работ по стандартизации и унификации изделий и их составных частей на стадиях разработки технического предложения, эскизного и технического проектов оформляются разделом пояснительной записки с наименованием "Уровень стандартизации и унификации", в котором соответственно приводятся сведения согласно требованиям стандартов ЕСКД.

На стадиях **технического предложения, эскизного и технического проектов** раздел пояснительной записки разрабатывается головным отделом-разработчиком изделия под методическим руководством отдела стандартизации.

На вышеуказанных стадиях разработки расчет Кпр, как правило, не производится, а обосновывается предполагаемый (ориентировочный) уровень унификации, приводится перечень предполагаемых заимствованных, покупных, стандартных составных частей, заимствованных конструкторских решений.

На стадии разработки рабочей конструкторской документации изделия результаты работ по стандартизации и унификации оформляются отдельным конструкторским документом с наименованием "Расчет показателей стандартизации и унификации" и с шифром Р07, в соответствии с требованиями ГОСТ РВ 15.207–2005.

Расчет показателей унификации производится, как правило, по каждому изделию (при наличии в ТЗ заданных значений показателей унификации или при наличии требования по их расчету).

Документ Р07 входит в комплект конструкторской документации изделия и включается в схему деления изделия на составные части и разрабатывается в ОАО "КБСМ" отделом стандартизации в соответствии с планами-графиками конструкторских комплексов по выпуску рабочей конструкторской документации изделия.

Исходные данные для расчета готовятся по результатам отработки спецификаций, ведомостей спецификаций и ведомости покупных изделий.

Документ Р07, как правило, содержит:

- сведения о наличии прототипа (базовой модели) разрабатываемого изделия и его составных частей;
- расчет и обоснование достигнутых показателей унификации;
- сведения о заимствовании конструктивных и схемных решений;
- обоснование применения оригинальных конструктивных и схемных решений, а также перспективности их применения;
- сведения о выполнении качественных требований по унификации, заданных в ТЗ;
- расчет экономического эффекта от снижения затрат на разработку рабочей конструкторской документации, и экономического эффекта от снижения затрат на изготовление составных частей по ОСТ 92–4363–85;

- перечень использованных при разработке изделия государственных и отраслевых стандартов, влияющих на уровень унификации и ограничительных перечней изделий и материалов, разрешенных к применению.

Заключение

Работа в области унификации дает прежде всего экономический эффект и способствует повышению надежности изделий.

Экономический эффект от унификации при разработке изделий подтверждается многолетним опытом ОАО "КБСМ" создания изделий военной и ракетно-космической техники.

В ОАО "КБСМ" с момента образования отдела стандартизации (в 1946 г.) специалистами отдела стандартизации, с участием конструкторских комплексов, расчетно-исследовательского отделения, технологического отдела, отдела метрологии разработано 68 отраслевых стандарта ОСТ 92 (ракетно-космической отрасли), 3 государственных стандарта по военной техники (ГОСТ В 21943–76, ГОСТ В 22176–76, ГОСТ В 22650–76), сборник ГОСТ 24132–80..ГОСТ 24140–80 (9 стандартов), 240 наименований стандартов организации СТП, как ограничительных ГОСТ так и организационных.

Практически по каждому изделию отделом стандартизации разрабатываются с целью унификации ограничительные перечни, ограничивающие применение крепежных деталей, материалов, лакокрасочных покрытий и т.д.

ОАО "КБСМ" является головным предприятием в отрасли по ведению обезличенных унифицированных чертежей с индексом "А" (18000 наименований, 52250 форматов А4).

Библиографический список

1. Стандартизация, метрология и сертификация. Учебник.–М. Юрайт-Издат, 2002 И.М. Лифиц.
2. ГОСТ РВ 15.201–2003 "Система разработки и постановки продукции на производство. Военная техника. Тактико-техническое (техническое) задание на выполнение опытно-конструкторских работ";
3. ГОСТ РВ 15.207–2005 "Военная техника. Порядок проведения работ по стандартизации и унификации в процессе разработки и постановки на производство изделий";
4. ГОСТ 23945.0-80 "Унификация изделий. Основные положения";
5. ОСТ 92–1.9–81 "Отраслевая система стандартизации. Методика определения количественных показателей стандартизации и унификации изделий";
6. ОСТ 92–4363–85 "Изделия отрасли. Методика оценки экономического эффекта от работ по унификации при разработке изделий";
7. СТП 456–115–2010 "Порядок разработки и содержание материалов по стандартизации и унификации изделий".

УДК 62-576 + 534

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РАЗБРОСОВ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МАЯТНИКОВЫХ ТЯГ НА ДИНАМИКУ НЕЛИНЕЙНОЙ СИСТЕМЫ АМОРТИЗАЦИИ

Н.Ю. Ильин

ОАО «Конструкторское бюро специального машиностроения»
(ОАО «КБСМ»)

Рассматриваются нелинейные системы амортизации (СА) промышленных объектов, подвешиваемых к сооружению посредством протяженных металлических тяг (рис. 1).

Сооружение под действием вертикально направленной знакопеременной нагрузки испытывает колебательные движения, вызывающие в свою очередь переменные напряжения в маятниковых тягах. В случае сжимающих напряжений возможна потеря устойчивости упругой системы, что требует проверки прочности тяг. Тяги представляют собой составные трубчатые балки с резьбовыми соединениями по концам отдельных участков труб.

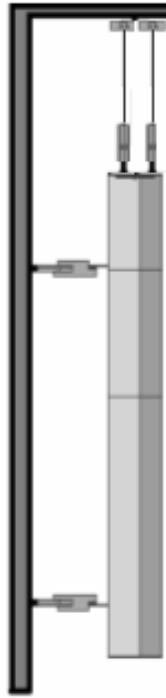


Рис. 1. СА с маятниковой подвеской типового объекта амортизации.

Амортизаторы, демпферы и нульустановители СА описываются нелинейными связями с известными силовыми характеристиками. Что касается маятниковых тяг, силовые характеристики для них с учетом возможной потери устойчивости в литературе отсутствуют.

В докладе на основе теории продольно-поперечного изгиба составных стержней предложена нелинейная силовая характеристика маятниковой тяги, учитывающая технологические несовершенства при изготовлении. С использованием этой характеристики проведен конечно-элементный динамический анализ СА в целом. При этом параметры СА и воздействия подробно не обсуждаются. Основное внимание уделено методическим вопросам решения задачи.

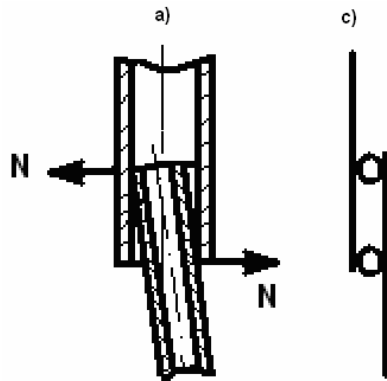
1 Методика расчета на прочность тяг амортизации в динамическом анализе включает в себя три этапа:

- определение эйлеровой критической силы при сжатии тяги, включающей восемь резьбовых соединений по концам труб разных поперечных сечений и длин. Вследствие высокой размерности задачи составление и решение уравнения устойчивости проводилось с использованием модуля Buckling программной оболочки Cosmos/M;

- формирование силовой характеристики тяги, схематизируемой нелинейной пружиной. На участке растяжения пружина линейна и подчиняется закону Гука. На участке сжатия - нелинейна и зависит от критической силы, полученной на предыдущем этапе, и дополнительно вводимыми в расчет начальной погиби и эксцентриситета приложения силы по концам тяги для случая линеаризованных дифференциальных уравнений равновесия тяги;

- разработку конечноэлементной динамической модели СА при внешнем воздействии для вертикальных колебаний с использованием нелинейных силовых характеристик тяг в предположении малого влияния поперечных инерционных сил, возникающих в них. Моделирование проведено в модуле Nonlinear программной оболочки Cosmos/M.

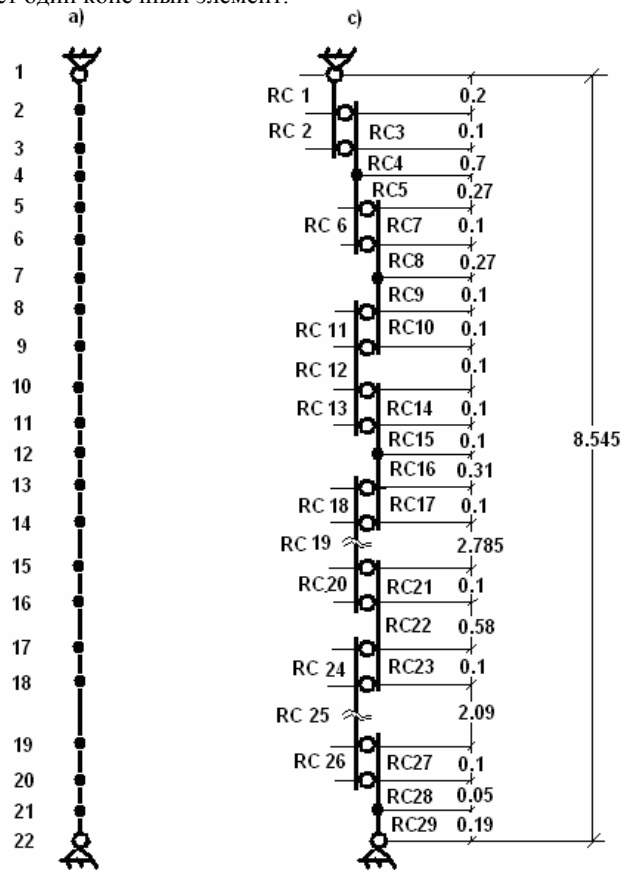
2 Определение критической силы. Расчетная схема тяги для определения критической силы показана на рис. 2 и 3.



а) Конструктивная схема резьбового соединения труб с зазором;
 б) Конечнoэлементная модель резьбового соединения труб

Рис. 2. Схематизация резьбового соединения двух труб (при наличии поперечных зазоров) в виде двух изгибаемых балок, шарнирно опертых по концам резьбы.

Для наглядности оси балок на рис. 2 а) условно смещены. В действительности в конечнoэлементной модели балки соосны. Два участка модели тяги на рис. 3, имеющие номера наборов констант RC 19 и RC 25, разбиты по пять одинаковых элементов. На остальных участках каждому набору RC соответствует один конечный элемент.



а) Номера точек конечнoэлементной модели;

б) Номера различных наборов реальных констант конечных элементов

Рис. 3. Расчетная схема тяги в поперечном направлении в виде сборной конструкции с резьбовыми соединениями труб, имеющими разные поперечные сечения и длины.

В результате расчета устойчивости определены критическая сила по Эйлеру и соответствующая ей форма изогнутой оси сборной балочной конструкции тяги (рис. 4). Критическая сила составила 446 кН.

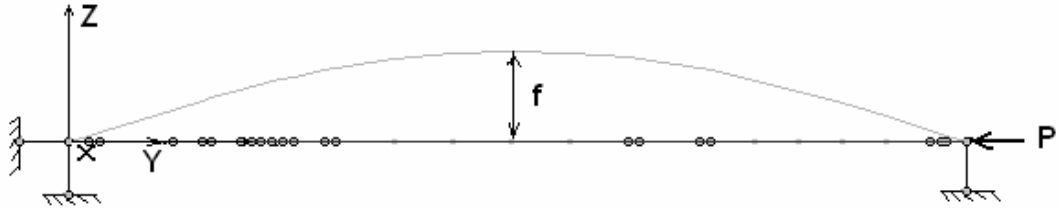


Рис. 4. Устойчивая криволинейная форма равновесия.

На практике критическая сила может оказаться ниже полученного значения вследствие возможных случайных разбросов (в сторону уменьшения) наружных диаметров и толщин стенок труб, а также нерассмотренных из-за сложности учета контактных деформаций труб и овализации круглой формы сечений по концам резьбовых соединений. По этим причинам критическая сила понижена на 10 % и в дальнейшем принимается равной 400 кН.

Для сравнения отметим, что если не учитывать резьбовые соединения и рассматривать тягу, как обычную балку переменного сечения, критическая сила составит 580 кН.

Кружками отмечены точки в соответствии с рисунком 3 а)

3 Силовая характеристика тяги

Рассмотрим первоначально зависимость прогиба стержня при сжатии от действующей силы, исходя из нелинейных дифференциальных уравнений продольно-поперечного изгиба [1]

$$f^2 = (4 \cdot L / \pi)^2 \cdot [(P_{кр} / P)^{0.5} - P_{кр} / P]. \quad (1)$$

Здесь обозначено:

f- стрелка прогиба стержня;

L- длина стержня;

$P_{кр}$ - критическая сила по Эйлеру;

P- действующая сила.

Силовая характеристика стержня при сжатии представляет собой зависимость продольной силы от сближения его концов, поэтому в дальнейшем потребуются знать зависимость стрелки прогиба f от сближения концов x . Аппроксимируем кривую прогиба стержня дугой окружности

$$f \approx [(3/16) \cdot (2 \cdot L \cdot x - x^2)]^{0.5}. \quad (2)$$

Подстановка аппроксимации (2) в уравнение (1) приводит к неявной форме задания силовой характеристики

$$(x/L)^2 - 2 \cdot (x/L) + (1/3) \cdot (4/\pi)^2 \cdot [(P/P_{кр})^{0.5} - P_{кр}/P] = 0. \quad (3)$$

В качестве примера силовая характеристика стержня в явной форме рассчитана численно для исходных данных, соответствующих тяге: $L=8.545$ м и $P_{кр}=400$ кН, и показана на рис. 5. Из него видно, что в диапазоне малых сближений концов стержня по отношению к его длине ($x/L \ll 1$), силовая характеристика практически линейна, что позволяет в дальнейшем воспользоваться линейными дифференциальными уравнениями продольно-поперечного изгиба.

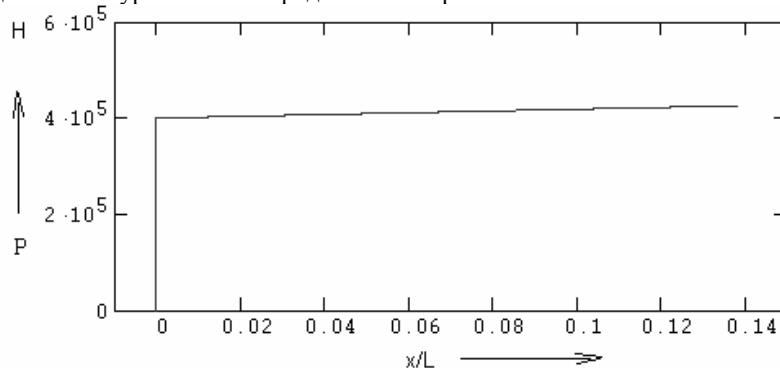


Рис. 5. Силовая характеристика одиночного стержня.

Ниже приведена оценка влияния на силовую характеристику тяги начальной погиби и эксцентриситета приложения нагрузки, вызванных несовершенством изготовления отдельных деталей и сборки тяги в целом.

В ГОСТ 8734-75 и 8732-78 представлены данные по металлургическим разбросам наружных диаметров и толщин стенок труб при изготовлении, а также начальные погиби (кривизны) отдельных участков. Предельные отклонения наружных диаметров и толщин стенок труб (в сторону уменьшения) составляют соответственно 1 и 15%. Предельное отклонение начальной погиби на 1 м длины труб с толщиной стенки 20 и более мм составило 2 мм.

Предельное значение эксцентриситета приложения силы по отношению к нейтральной оси, определяемое машиностроительными допусками, по предварительным оценкам может достигать ≈ 3 мм.

Расчетные формулы, учитывающие начальную погибь и эксцентриситет приложения силы, для линейной теории продольно-поперечного изгиба стержней [2] имеют вид

$$P(\varepsilon) := P_{kr} \left(1 - \frac{\varepsilon}{f\varepsilon} \right); \quad P(e) := P_{kr} \cdot \frac{4}{\pi^2} \cdot \arccos \left[\frac{e}{2 \cdot (e + f\varepsilon)} \right]^2; \quad (4)$$

$$\varepsilon(P) := \frac{f\varepsilon}{1 - \frac{P}{P_{kr}}}; \quad e(P) := f\varepsilon \cdot \left(\frac{1}{2 \cdot \cos \left(\frac{\pi}{2} \cdot \sqrt{\frac{P}{P_{kr}}} \right)} - 1 \right); \quad (5)$$

где $f\varepsilon$ - начальная погибь;
 $f\varepsilon$ - эксцентриситет силы;
 ε - стрелка прогиба при учете начальной погиби;
 e - стрелка прогиба при учете эксцентриситета силы.

Учитывая, что при одновременном действии несовершенств прогибы стержня при сжатии в первом приближении суммируются и принимая во внимание зависимости (2) и (5), приходим к уравнению связи продольной силы P и сближения концов стержня x за счет изгиба

$$\frac{f\varepsilon}{1 - \frac{P}{P_{kr}}} + f\varepsilon \cdot \left(\frac{1}{2 \cdot \cos \left(\frac{\pi}{2} \cdot \sqrt{\frac{P}{P_{kr}}} \right)} - 1 \right) = \frac{\sqrt{3}}{4} \cdot \sqrt{L^2 - (L - x)^2} \quad (6)$$

Численно решая уравнение (6), можно найти силовую характеристику $P(x)$ или сближение концов в зависимости от действующей силы $x(P)$ при продольно-поперечном изгибе.

Для задания двусторонней силовой характеристики $P1(x)$ тяги, описывающей не только фазу сжатия тяги, но и фазу растяжения, уравнение (6) должно быть скорректировано. В этом случае к сближению концов тяги за счет изгиба следует добавить сближение концов за счет деформаций растяжение-сжатие, т.е.

$$x1(P) = x(P) + P/c, \quad (7)$$

где c -коэффициент жесткости тяги при растяжении-сжатии тяги как балки переменного сечения (также получено в программе Cosmos/M), $x(P)$ - решение уравнения (6).

Обратная к $x1(P)$ функция

$$P(x1) = x1^{-1}(P) \quad (8)$$

определяет двустороннюю силовую характеристику тяги с учетом продольно-поперечного изгиба и деформаций растяжение-сжатие.

Численная реализация уравнения (8) выполнена в программной оболочке Mathcad для следующих исходных данных: $L=8.545$ м, $P_{kr}=400$ кН, $f\varepsilon=0.012$ м, $\varepsilon=0.003$ м, $c1=2.486 \cdot 10^8$ Н/м.

График силовой характеристики тяги $P(x1)$ с учетом продольно-поперечного изгиба показан на рис. 6. Знаки перемещений и сил в уравнении (8) заменены на противоположные, как это принято в программной оболочке Cosmos/M, при этом отрицательные относительные перемещения концов стержня соответствуют сжатию, а положительные – растяжению.

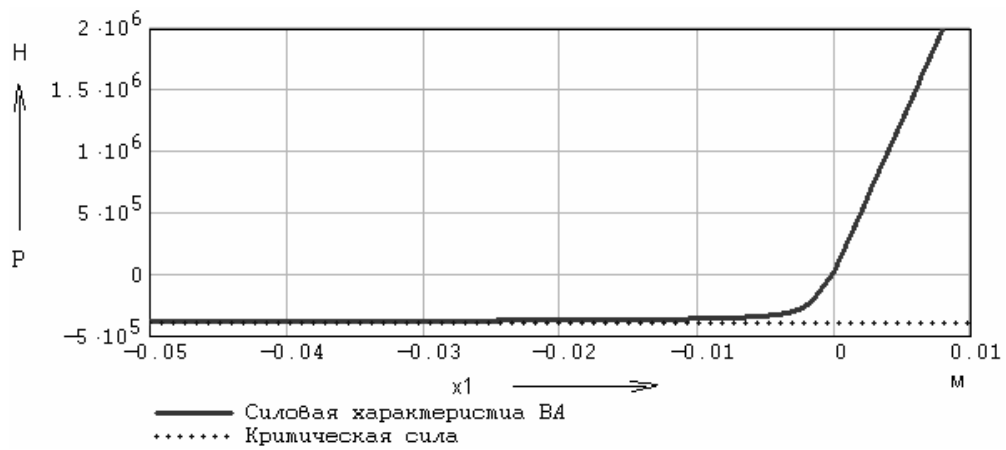


Рис. 6. Силовая характеристика тяги.

4 Динамика системы амортизации по вертикали при внешнем воздействии.

Упрощенная динамическая схема СА показана на рис. 7. Жесткостные характеристики балочных элементов, схематизирующих систему амортизации, подобраны из соображений обеспечения известных весовых деформаций. Упругие связи между массами амортизируемого объекта смоделированы линейными пружинами, жесткости которых рассчитаны по низшим тонам вертикальных колебаний подконструкций.

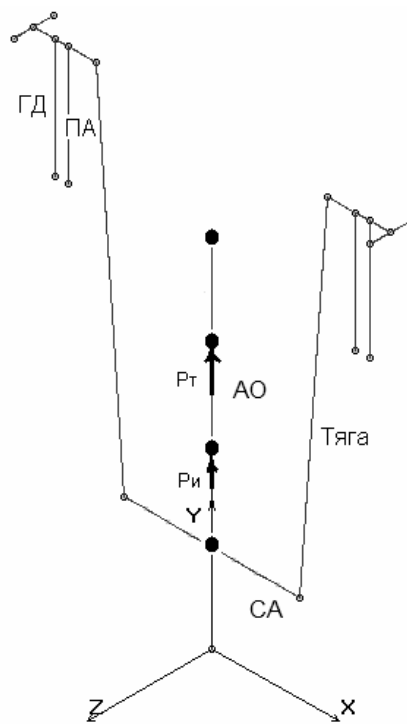


Рис. 7. Динамическая схема системы.

На рис. 8 и 9 показаны внешние нагрузки P_T и $P_{и}$, действующие на амортизируемый объект.

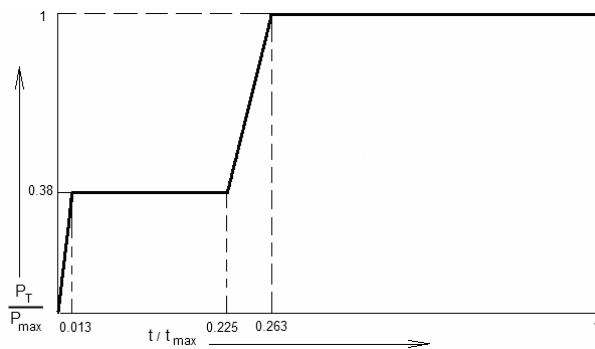


Рис. 8. График изменения P_T .

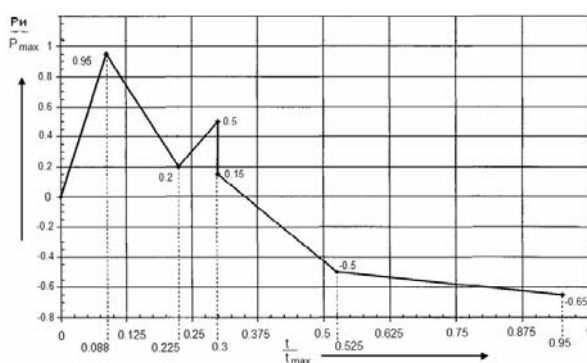
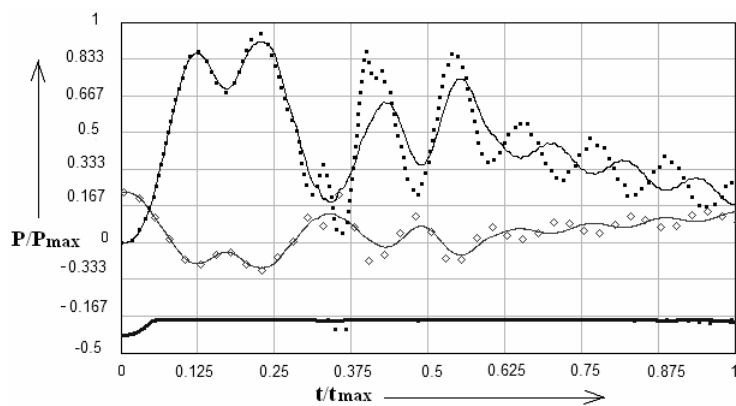


Рис. 9. График изменения P_i .

5 Рассмотрим результаты решения задачи динамики для двух моделей, одна из которых учитывает продольно-поперечный изгиб тяг, а другая – нет.

Как видно из рис. 10 сравниваемые усилия близки как качественно, так и количественно, в то же время изменение расстояний между концами тяги на участках сжатия (рис. 10) в двух сравниваемых кривых существенно различаются. Это говорит о значительных деформациях тяги, сближение концов которой возможно только за счет деформаций изгиба (рис. 11 и 12).



- | | | |
|---|--------|--|
| 1 | — тяга | тяга (с учетом продольно-поперечного изгиба) |
| 2 | — ПА | ПА (с учетом продольно-поперечного изгиба) |
| | — ГД | ГД (с учетом продольно-поперечного изгиба) |

Рис. 10. Усилия в тяге, ПА и ГД.

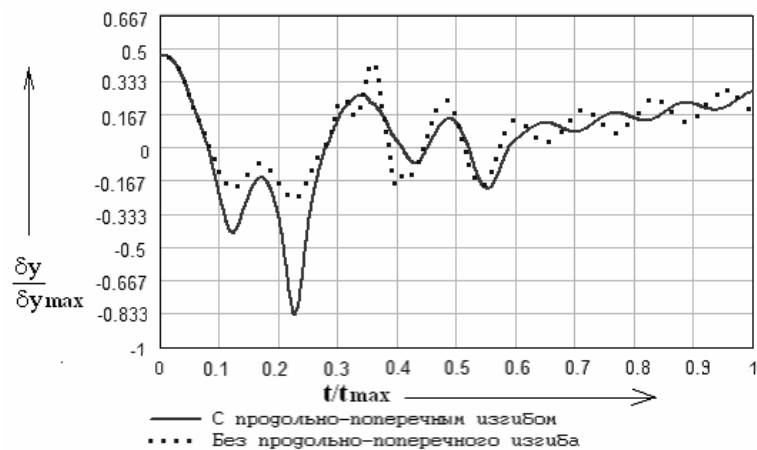


Рис. 11. Изменение расстояния между концами тяги при учете продольно-поперечного изгиба и в его отсутствии.

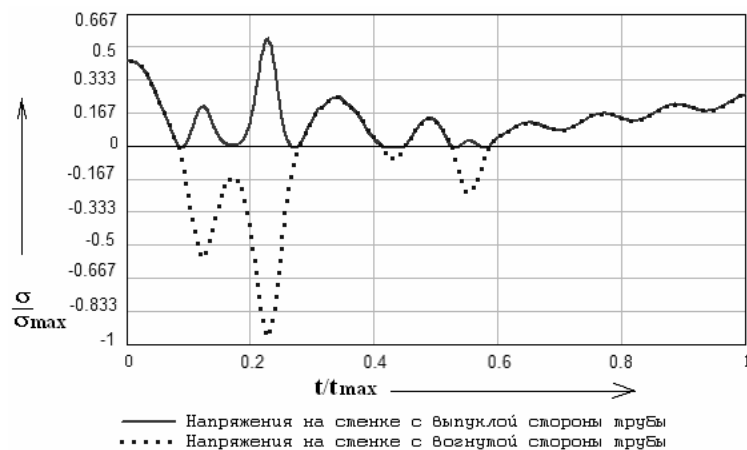


Рис. 12. Суммарные напряжения на наружной стенке трубы от продольной нагрузки и изгиба.

В интервалах времени, где напряжения на разных концах наружного диаметра трубы совпадают, действуют только растягивающие усилия.

Выводы

Таким образом, предлагаемая методика позволяет учесть потерю устойчивости протяженных элементов конструкции СА, провести нелинейный динамический анализ СА с использованием универсальных конечно-элементных пакетов программ. Это, в свою очередь, позволяет использовать все преимущества таких пакетов перед вновь создаваемыми специальными программами и главное из них – возможность проведения оперативных расчетов в сжатые сроки проектирования.

Библиографический список

1. *Расчеты на прочность в машиностроении*. Том III. Изд. "Машиностроение". 1959.
2. *Филин А.П. Прикладная механика твердого деформируемого тела*. Том 3. Изд. "Наука". 1981.

ПРОЧНОСТЬ КОРПУСА ШАХТЫ РЕАКТОРНОЙ УСТАНОВКИ БРЕСТ-ОД-300

В.В. Грунин

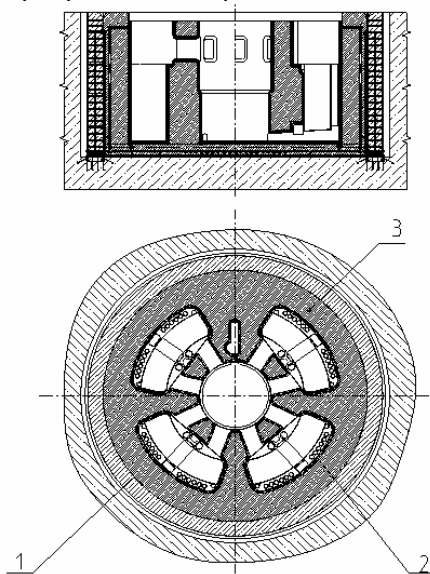
ОАО «Конструкторское бюро специального машиностроения»
(ОАО «КБСМ»)

Рассматривается прочность шахты реакторной установки нового поколения, в основу разработки которой положен «Концептуальный проект быстрого реактора со свинцовым теплоносителем (БРЕСТ ОД-300) естественной безопасности для крупномасштабной ядерной энергетики», включенный постановлением Правительства РФ в план развития промышленности до 2020 г.

Корпус шахты в составе РУ БРЕСТ-ОД-300 предназначен для [4]:

- размещения реакторной установки, парогенераторов и сопрягаемого с ними оборудования;
- восприятия статических и динамических нагрузок от теплоносителя реактора, парогенераторов, защитных перекрытий и сопрягаемого оборудования;
- снижения теплового и радиационного воздействия на строительные конструкции реакторного отделения;
- обеспечения проведения широкого спектра экспериментальных, исследовательских и демонстрационных работ в области реакторных технологий нового поколения АЭС, а также для отработки и проверки технических решений, определяющих безопасность и экономичность быстрых реакторов со свинцовым теплоносителем.

Общий вид корпуса реактора представлен на рис. 1.



- 1 Забетонированный армометаллоблок
- 2 Страхобочный корпус
- 3 Бетон №2

Рис. 1. Общий вид корпуса шахты реактора.

Технические решения, заложенные в РУ «БРЕСТ ОД-300» [3], являющуюся крупномасштабной демонстрационной моделью быстрых реакторов со свинцовым теплоносителем, должны предусматривать возможность их использования в более мощных РУ типа «БРЕСТ ОД-1000» с максимально возможным учетом требований моделирования.

Требования максимальной безопасности, положенные в основу ядерной энергетики нового поколения, определили:

- выбор свинца в качестве первичного теплоносителя и выбор интегральной компоновки первого контура установки в четырех периферийных корпусах (лайнерах) парогенераторов и в центральном лайнере реактора, связанных между собой горизонтальными проходными каналами (проходками);

- размещение корпусов в бетонном наполнителе корпуса шахты РУ, обеспечивающем их постельное опирание с равномерным нагружением конструкции;

- создание вокруг корпусов контактирующего с ними страховочного корпуса, как минимум, с одним дополнительным контуром (барьером) герметизации, локализирующим возможные протечки теплоносителя в аварийных условиях потери герметичности обшивки корпусов;

- обеспечение требований минимизации уровня напряженного состояния конструкции корпусов при температурных деформациях бетонного наполнителя и металлоконструкций лайнеров.

Исходя из этих требований на стадии выпуска эскизного проекта было определено рациональным:

- использование в качестве страховочного корпуса металлобетонной конструкции с размещением ее в теплоизоляционном бетонном наполнителе - бетоне класса В2...В4 по прочности;

- равновысокое исполнение центрального и периферийных лайнеров с плоскими днищами, расположенными на едином уровне;

- создание единой жесткой опорной плиты – фундаментной конструкции всех пяти лайнеров;

- создание по наружному контуру шахты РУ ограждающей металлобетонной конструкции (армометаллоблока), изолирующей строительную часть АЭС от блока корпусов;

- создание охватывающего блок корпусов РУ единого блока монолитного теплоизоляционного бетона;

- использование в различных зонах шахты РУ различных бетонных наполнителей, отвечающих оптимальным условиям работы конструкции.

Это конструктивное решение позволило максимально упростить проблему температурных деформаций конструкции каналов, соединяющих периферийные корпуса с центральным, и упростить конструкцию.

В связи с изменением конструкции элементов корпуса шахты РУ: металлических оболочек для размещения реактора и ПГ-ГЦН, страховочного корпуса и ограждающей конструкции, связанным с изменениями конфигурации полостей для размещения ПГ-ГЦН, проходов между центральной и периферийными полостями и появлением перегрузочной полости, были выполнены дополнительные расчеты напряженно-деформированного состояния корпуса шахты РУ с оценкой прочности его основных элементов [4].

Расчеты выполнены при следующих режимах нагружения:

- нормальные условия эксплуатации – корпус шахты РУ воспринимает тепловое воздействие, весовые нагрузки со стороны оборудования, собственный вес, гидростатическое давление теплоносителя и давление газа над уровнем теплоносителя;

- аварийное повышение температуры, на конструкцию действуют тепловые нагрузки, собственные и со стороны оборудования весовые нагрузки, гидростатическое давление теплоносителя и повышенное давление над уровнем теплоносителя;

- сейсмическое воздействие.

При работе реакторной установки корпус шахты воспринимает воздействие весовых и гидростатических нагрузок, температурные градиенты, давление газа на уровне.

Весы элементов конструкции шахты РУ (металлических оболочек центральной и периферийных полостей, верхних и нижних проходов, страховочного и ограждающего корпусов, теплоизоляционного слоя и плиты перекрытия) учитываются в расчете в виде объемных нагрузок, равных $\rho \cdot g$, где ρ – плотность материала конструкции, g – ускорение свободного падения.

В условиях работы реактора в аварийных ситуациях корпус шахты должен сохранять прочность и работоспособность при

- возможном аварийном повышении температуры теплоносителя до 600 °С в течение 3 часов;

- максимальном абсолютном давлении газа в газовой полости 0.2 МПа;

- при сейсмическом воздействии.

При сейсмическом воздействии колебания корпуса шахты кинематически возбуждаются фундаментом плитой главного корпуса атомной станции, параметры движения которой соответствуют максимальному расчетному землетрясению в 7 баллов по шкале MSK-64 с пиковыми горизонтальными ускорениями 0.1g и вертикальными – 0.07g.

Расчеты напряженно-деформированного состояния элементов конструкции шахты РУ при нормальных условиях эксплуатации выполнены на следующие случаи нагружения при материале центральной и периферийных оболочек – сталь ЭП-302:

- начальный разогрев конструкции с учетом весовых нагрузок от элементов конструкции и оборудования при наличии конструктивных зазоров между оболочками и страховочным корпусом;
- действие на элементы шахты РУ силовых нагрузок (на оболочки – гидростатического давления теплоносителя, давления газа, собственного веса и веса оборудования, на элементы шахты РУ - собственного веса) при выборе конструктивных зазоров между оболочками и страховочным корпусом;
- совместное действие силовых нагрузок и теплового воздействия, в этом случае напряженно-деформированное состояние определяется как сумма температурных напряжений, определенных при наличии конструктивных зазоров, и напряжений от силовых нагрузок при выборе конструктивных зазоров.

Расчеты напряженно-деформированного состояния корпуса шахты РУ выполнены методом конечных элементов. Все элементы конструкции моделируются объемными элементами. В связи с изменениями [4], внесенными в предыдущую конструкцию сооружения [3], возникла необходимость моделирования конструкции объемными элементами. Это связано с тем, что в силу сложных конструктивных решений, которые применены в корпусе шахты [4], и несимметричности конструкции, необходимо рассматривать конструкцию полностью, исключая простейшие двумерные модели. Также при проектировании конструкции были использовано различное количество материалов (бетон) с анизотропными свойствами, работающих при больших температурах по нелинейным законам, с появлением пластических деформаций. Учет этого факта требует использования сложных математических моделей бетона, позволяющих учитывать пластические деформации в бетоне, учитывать появление трещин в бетоне и их раскрытие. Также в металле при аварийной работе металла возможно превышение допустимых напряжений в конструкции, что может привести к появлению пластических деформаций. В конструкции шахты реактора возможны конструктивные зазоры между бетоном и металлическими оболочками. Для учета всех этих процессов была разработана специальная пространственная конечно-элементная модель /4/ с использованием специальных конечных элементов, позволяющих моделировать поведение бетона с учетом возникновения пластических деформаций и возникновения трещин. При нагреве расширение бетона и металла может привести к выбору зазоров и к контактному взаимодействию. Для учета сложного контактного взаимодействия с учетом сложной геометрии конструкции использовались специальные конечные элементы [4].

Арматура ограждающего корпуса заменяется оболочками с соответствующими приведенными толщинами. Трубы системы разогрева и охлаждения моделируются стержневыми элементами. Между теплоизолирующим бетоном и стенками страховочного корпуса, ограждающей конструкции, верхнего перекрытия и опорной плиты вводятся контактные связи. При наличии начальных конструктивных зазоров между оболочками и страховочным корпусом и при выборе их при разогреве между этими элементами также вводятся контактные связи. Предполагается, что между оболочками центральной и периферийной областей и верхним перекрытием существует развязка, позволяющая свободно смещаться оболочкам в вертикальном направлении.

Распределение давления на стенки оболочек и проходок принимается в виде

$$p(z) = \begin{cases} p_r + p_c \cdot \frac{H-z}{H} & \text{при } 0 \leq z \leq H, \\ p_r & \text{при } z > H, \end{cases}$$

где z – расстояние от внутренней поверхности днища оболочек до рассматриваемого уровня,

p_r – избыточное давление газа на уровне теплоносителя, $p_r=0.005$ МПа,

p_c – максимальное гидростатическое давление теплоносителя, $p_c=1.25$ МПа,

$H=(H_c-H_g)$ – расстояние от днища оболочек до уровня теплоносителя,

$H_c=9.4$ м – верхний уровень теплоносителя,

$H_g= -2$ м – уровень днища оболочек.

Давление, действующее на перекрытия центральной и периферийных полостей, равняется $p_r=0.005$ МПа.

При определении нагрузок от собственного веса конструкций принято, что плотность материалов металлоконструкций – 7850 кг/м^3 . Все нелинейные поведения бетона, связанные его пластичностью, ползучестью и изменением характеристик при нагреве, учитываются вводом приведенного (секущего) модуля упругости $E_{пр}$. Нагрев конструкции рассматривается как длительный при скорости нагрева, стремящейся к нулю. В этом случае:

$$E_{пр} = E_b \beta_b \bar{V} \cdot \frac{1}{\phi_{b2}},$$

где E_b - начальный модуль упругости бетона при нормальной температуре;

β_b , \bar{V} , ϕ_{b2} – коэффициенты, учитывающие снижение модуля упругости, пластические свойства и ползучесть бетона в зависимости от температуры.

Реализация выбранной модели выполнена с использованием программного комплекса конечно-элементного анализа ANSYS /2/. Конечно-элементная модель шахты приведена на рис. 2.

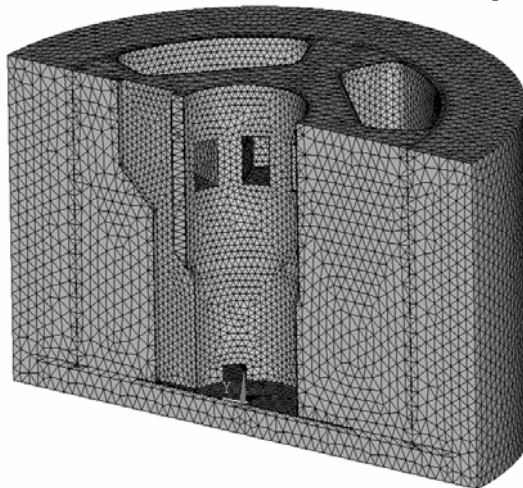


Рис. 2. Конечно-элементная модель шахты.

На рис. 3, 4 показаны распределения напряжений в конструкциях при действии весовых нагрузок и давления и совместном действии этих нагрузок и нагрева при нормальных условиях эксплуатации, если оболочки выполнены из плакированной стали.

Анализ результатов расчетов показывает, что прочность элементов корпуса шахты при нормальных условиях эксплуатации обеспечена.

Следует отметить, что в случае выполнения оболочек из стали ЭП-302 при разогреве конструкции и выборе конструктивных зазоров возможно появление дополнительных зазоров между внутренними стенками периферийных оболочек и страховочным корпусом. При появлении таких зазоров в этих стенках могут возникнуть недопустимые напряжения при действии внутреннего давления, что приведет к необходимости дополнительного усиления конструкции.

Расчет напряженно-деформированного состояния элементов конструкции при аварийном повышении температуры выполнен по методике при следующих случаях нагружения:

- действие на элементы шахты весовых собственных и от оборудования нагрузок, гидростатического давления теплоносителя и повышенного давления газа ($p_r=0.1$ МПа) с учетом снижения механических свойств материалов при аварийном повышении температуры;

- совместное действие силовых и температурных напряжений.

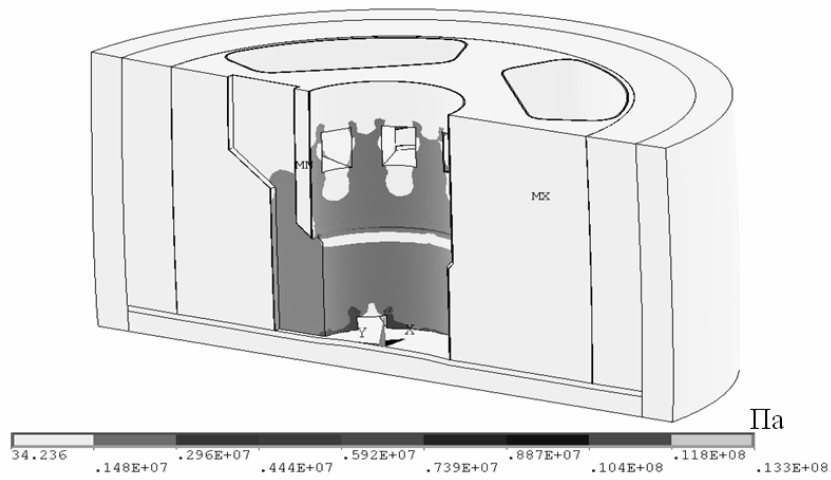


Рис. 3. Распределение напряжений в конструкции шахты при действии весовых нагрузок и давления.

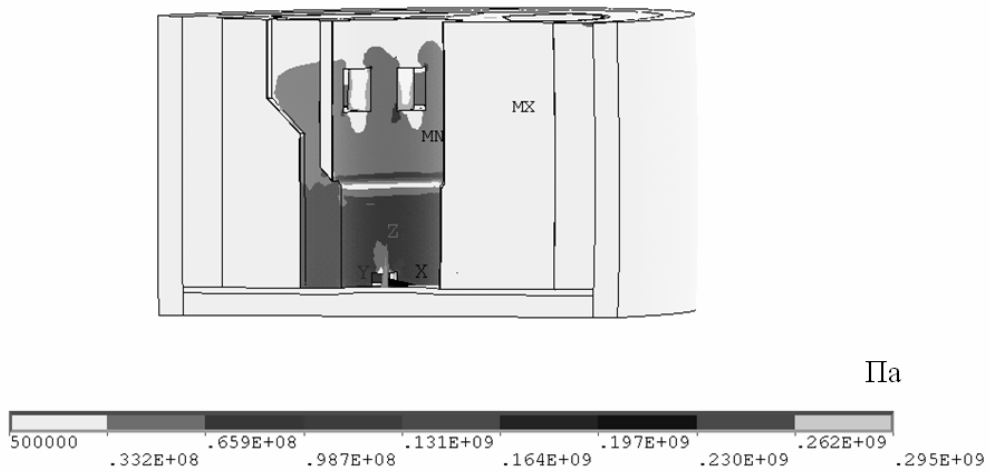


Рис. 4. Распределение напряжений в конструкции шахты при одновременном действии тепловых и силовых нагрузок.

Аварийное повышение температуры рассматривается как кратковременный нагрев конструкции. Распределение напряжений в конструкциях шахты представлено на рис. 5.

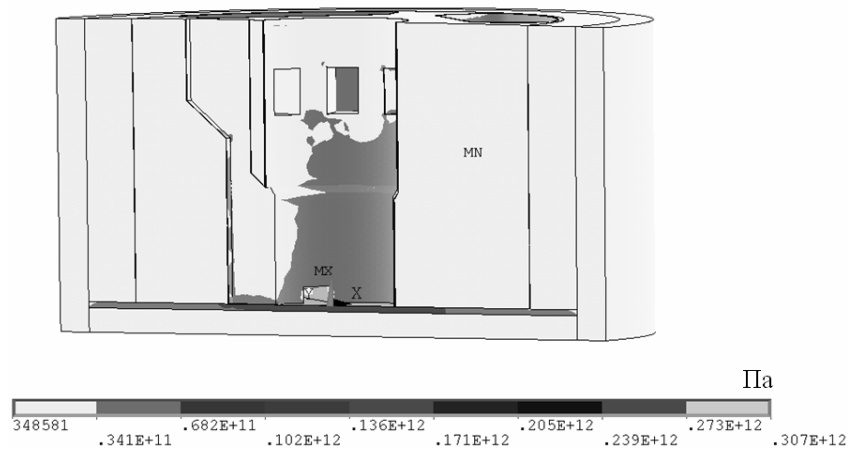


Рис. 5. Распределение напряжений в конструкции шахты при аварийном повышении температуры.

Анализ результатов расчета показывает, что при аварийном повышении температуры за счет температурных напряжений в оболочках центральной и периферийных полостей, в стенках страховочного корпуса возможно появление пластических деформаций, не превышающих допустимых.

Напряженно-деформированное состояние ограждающей конструкции останется на уровне нормальных условий эксплуатации. Возможно появление трещин в бетоне №2, не влияющих на его дальнейшую работу. Работоспособность элементов корпуса шахты при аварийном повышении температуры и последующем остывании полностью сохранится.

Предварительный анализ массово-инерционных характеристик конструкции показал, что наименьшие собственные частоты горизонтальных колебаний металлических оболочек, страховочного и ограждающего корпусов, расположенных в бетонном массиве, выше 20 Гц, вертикальных колебаний – выше 33 Гц. Поэтому расчет напряженно-деформированного состояния элементов конструкции шахты выполнен квазистатическим методом, когда инерционные нагрузки при пиковых горизонтальных, умноженных на коэффициент 1.3, и вертикальных ускорениях действуют совместно. Предполагается, что на конструкцию действуют вертикальные, направленные вниз и равные $1.07g$, и горизонтальные, равные $0.13g$, объемные силы и инерционные нагрузки от оборудования. Учитывается давление, действующее на внутренние стенки и днища оболочек и перекрытия проемов.

На рис. 6 представлено распределение напряжений в конструкции шахты при сейсмическом воздействии.

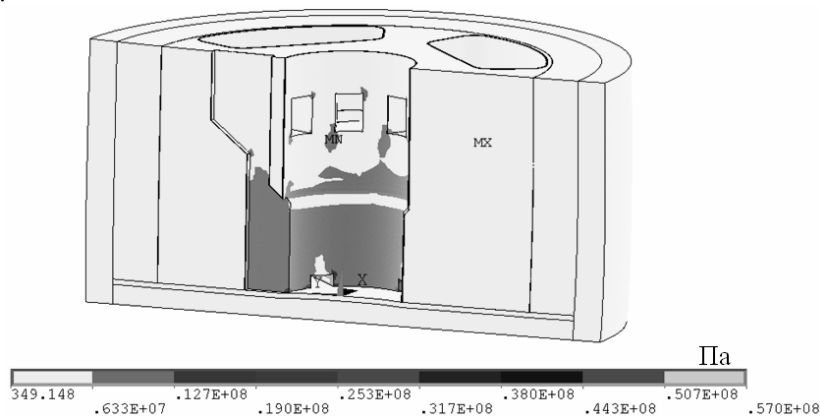


Рис. 6. Распределение напряжений в конструкции шахты при сейсмическом воздействии.

Результаты расчетов показали, что прочность конструкции элементов шахты при сейсмическом воздействии полностью обеспечена.

Выводы

В результате проектирования и расчетов шахты реактора была создана методика расчета /4/, позволяющая рассматривать трехмерную конструкцию реактора с использованием нелинейных свойств материалов конструкции металла и бетона, с учетом возможного образования пластических деформаций и раскрытия трещин в бетоне и учетом сложного пространственного контактного взаимодействия.

Библиографический список

1. СНиП 2.03.04-84. Бетонные и железобетонные конструкции, предназначенные для работы в условиях повышенных и высоких температур.
2. Басов К.А. ANSYS: справочник пользователя. – М.: ДМК Пресс, 2005. – 640с.
3. Корпус шахты реакторной установки БРЕСТ-ОД-300. Эскизный проект. Пояснительная записка. 69-04Сп ПЗ, ОАО «КБСМ», 2003.
4. Корпус шахты реакторной установки БРЕСТ-ОД-300. Пояснительная записка. Дополнение. 69-04Сп ПЗ, ОАО «КБСМ», 2010.

УДК 621.396: 624.07

НАГРУЗКИ В ВАНТОВЫХ РАСТЯЖКАХ ИЗДЕЛИЯ 78Я6-1

А.И. Цуркан

ОАО «Конструкторское бюро специального машиностроения»
(ОАО «КБСМ»)

Введение. Вышка представляет собой сборно-разборную металлоконструкцию, состоящую из 50 основных модулей, сформированных из вертикальных, горизонтальных элементов и раскосов различного профиля, платформы антенной системы (ПАС), верхнего модуля ПАС, опорно-подъемного устройства (ОПУ), радио-прозрачного укрытия (РПУ) (Рис. 1).

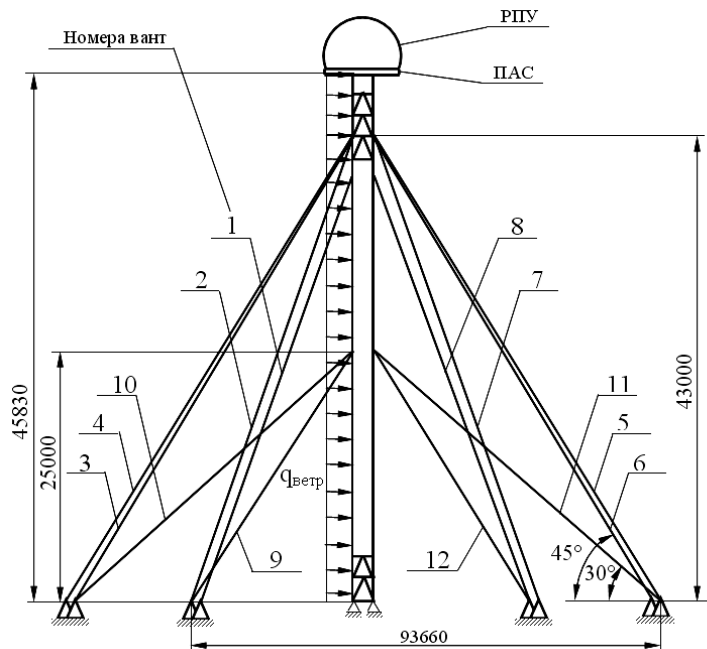


Рис. 1. Изделие 78Я6-1.

Для удержания вышки используются системы вантовых растяжек (СВР) верхнего и нижнего уровня. Растяжек верхнего уровня восемь штук, направленных под углом 45° к поверхности земли, растяжек нижнего уровня четыре штуки, направленных под углом 30° к поверхности земли. Ванты верхнего и нижнего пояса изготовлены из стального каната по ГОСТ 2688-80 наружным диаметром 37 мм. Для обеспечения требуемой жесткости конструкции ванты предварительно натягиваются силой 30 кН. Лебедки растяжек установлены на четыре закладные части (фундаменты).

Рассматривались следующие варианты нагружения вышки:

– нагружение вышки при действии ветра 25 м/с и 50 м/с под углом 90° к боковой поверхности модулей;

– нагружение вышки при действии ветра 25 м/с и 50 м/с под углом 45° к боковой поверхности модулей.

Нагрузки на вышку определялись по ОСТ 92-9249-80 и прикладывались к модели вышки 78Я6-1. При моделировании были получены усилия в верхнем и нижнем поясе вант. На рис. 2 приведена гистограмма распределения усилий в вантах для скорости ветра 25 м/с и угле обтекания 90° .

Из гистограммы рис. 2 видно, что наименее нагруженные ванты верхнего пояса это ванты 5 и 6, а нижнего пояса это ванта 11.

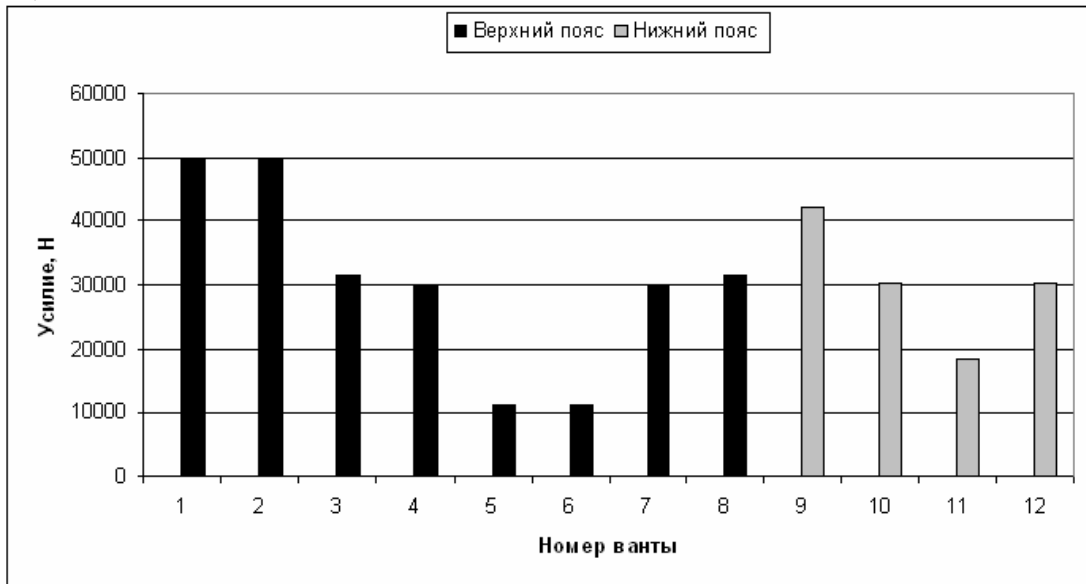


Рис. 2. Гистограмма распределения усилий в вантах для скорости ветра 25 м/с и угле обтекания 90° .

На рис. 3 приведена гистограмма распределения усилий в вантах для скорости ветра 25 м/с и угле обтекания 45° .

Из гистограммы рис. 3 видно, что наименее нагруженные ванты верхнего пояса это ванты 5, 6, 7, 8, а нижнего пояса это ванты 11 и 12.

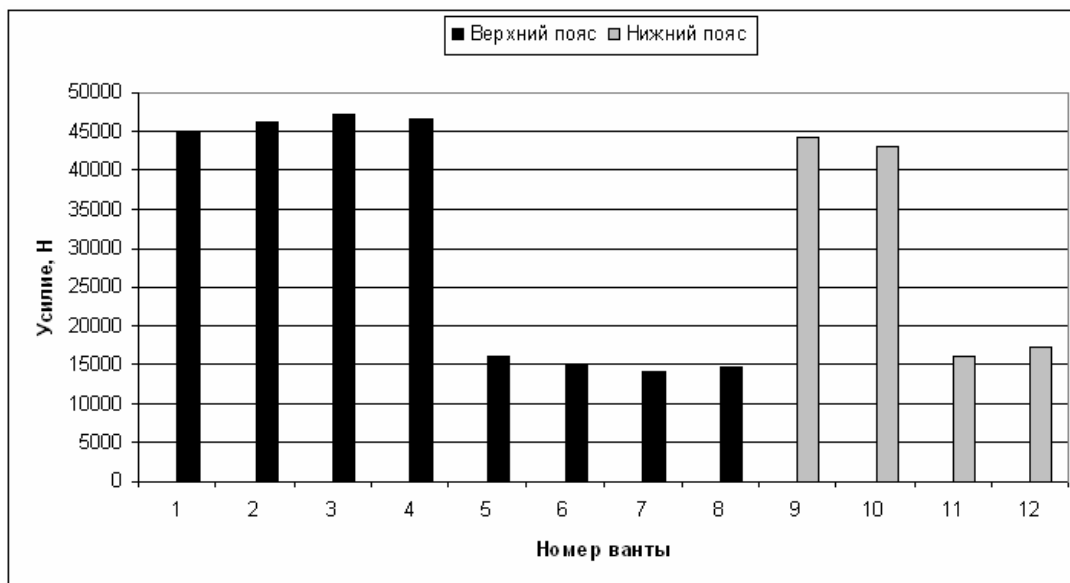


Рис. 3. Гистограмма распределения усилий в вантах для скорости ветра 25 м/с и угле обтекания 45°

На рис. 4 приведена гистограмма распределения усилий в вантах для скорости ветра 50 м/с и угле обтекания 90°.

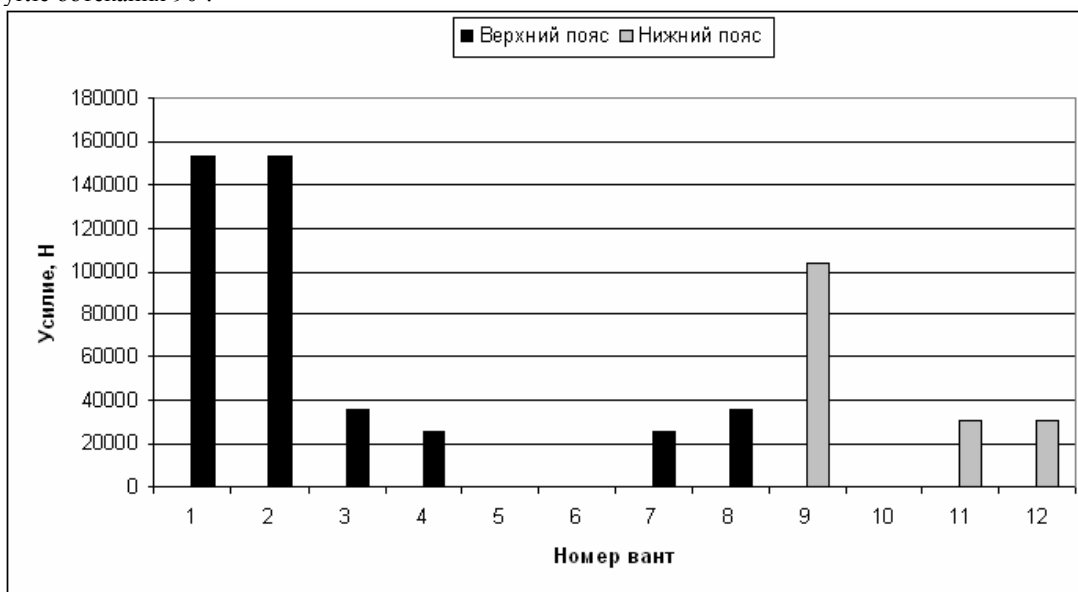


Рис. 4. Гистограмма распределения усилий в вантах для скорости ветра 50 м/с и угле обтекания 90°

Из гистограммы рис. 4 видно, что не нагруженные ванты верхнего пояса это ванты 5, 6, 7, 8, а нижнего пояса это ванта 10.

На рис. 5 приведена гистограмма распределения усилий в вантах для скорости ветра 50 м/с и угле обтекания 45°.

Из гистограммы рис. 5 видно, что не нагруженные ванты верхнего пояса это ванты 5, 6, 7, 8, а нижнего пояса это ванты 11 и 12.

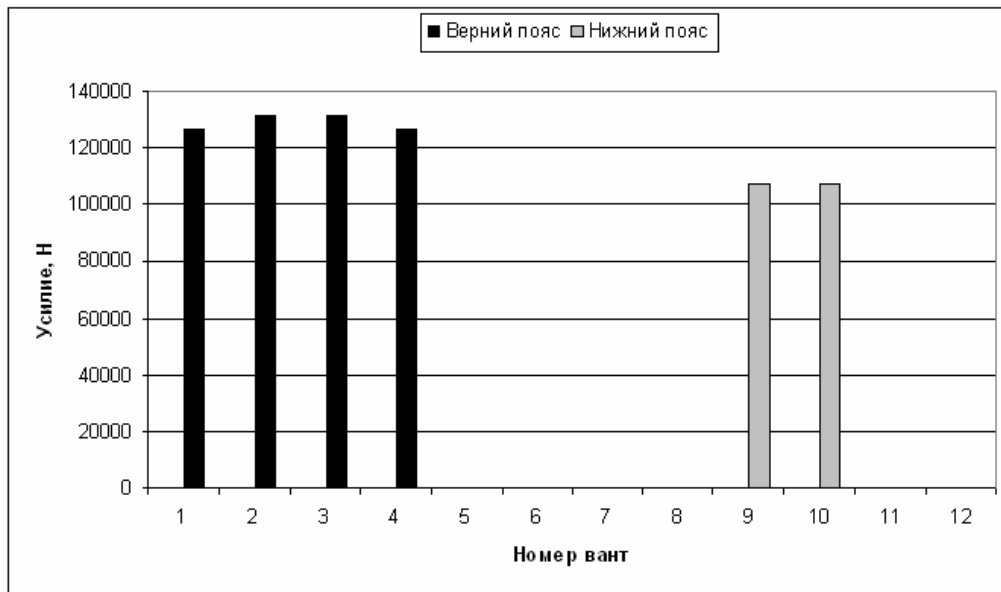


Рис. 5. Гистограмма распределения усилий в вантах для скорости ветра 50 м/с и угле обтекания 45°

Кроме того определялись напряжения в вантах для верхнего и нижнего поясов при изменении температуры воздуха $\Delta t = \pm 50^\circ\text{C}$ по отношению к монтажной температуре $t_{\text{МОН}} = 0^\circ\text{C}$.

Основная зависимость, связывающая монтажное состояние тонкой упругой нити пояса вант в исследуемом состоянии при изменении температуры Δt :

$$\left(\sigma_t - \frac{A_o}{\sigma_t^2} \right) - \left(\sigma_o - \frac{A_o}{\sigma_o^2} \right) = \Delta t \cdot E_{\text{от}} \cdot (\alpha_{\text{от}} - \alpha_{\text{ст}} \cdot \cos^2 \alpha) + \frac{(\sigma_t - \sigma_o) \cdot n \cdot F \cdot \cos^3 \alpha \cdot E_{\text{от}}}{F_{\text{ств}} \cdot E_{\text{ств}}}$$

На рис. 6 приведена зависимость усилий вантовых растяжек двух поясов от температуры по отношению к монтажной температуре.

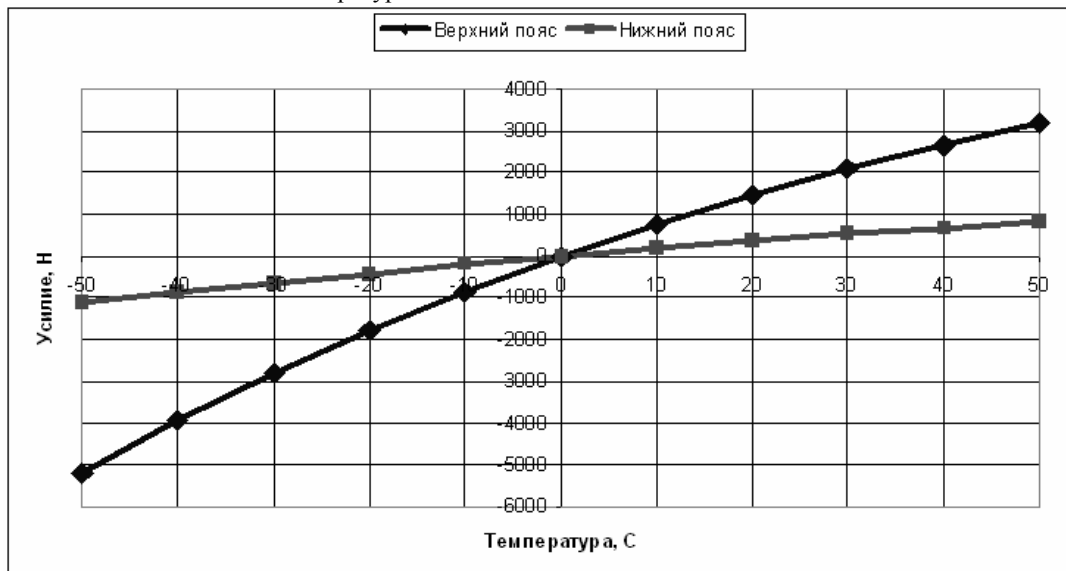


Рис. 6. Зависимость усилий вантовых растяжек двух поясов от температуры по отношению к монтажной температуре.

Заклучение

В ходе проведенных расчетов была подтверждена работоспособность сборно-разборной вышки в части её стабильности и прочности, обусловленных выбором диаметров канатов растяжек и предельным натяжением вантовых растяжек.

Библиографический список

1. ОСТ 92-9249-80.
2. Мельников Н.П. Справочник проектировщика. Металлические конструкции промышленных зданий и сооружений. "Строительство и архитектура", 1962.

УДК 534

ИССЛЕДОВАНИЕ КОЛЕБАНИЙ ОРТОТРОПНОЙ БАЛКИ

С.М. Галилеев, Е.А. Салихова*

Санкт-Петербургский государственный инженерно-экономический университет
(ИНЖЭКОН),

* ОАО «Конструкторское бюро специального машиностроения»
(ОАО «КБСМ»)

Представлены приближенные уравнения, описывающие динамику ортотропных балок, работающих в условиях плоской задачи теории упругости. Рассмотрены балки, изготовленные из стеклопластика, углепластика и графена. Определены свободные колебания балок при различных отношениях высоты балки к ее пролету.

Введение. В связи с бурным развитием нанотехнологий в последнее десятилетие появился интерес к механическим свойствам объектов наноразмерного масштабного уровня, которые были рассмотрены в статье [1].

Известно, что в ряде случаев тело, получившее некоторое начальное возмущение, после удаления причины этого возмущения продолжает совершать колебания. Эти свободные колебания играют важнейшую роль не только в плане проверки системы на резонанс, но и на выявление совпадения одной из собственных частот колебаний, с частотой действующих на систему постоянно вибрационных нагрузок. Дело в том, что поведение системы при свободных колебаниях характеризует её "динамическую индивидуальность", которая определяет поведение системы при всех других условиях.

Колебания ортотропной балки. На сегодняшний день существует много работ, где делается попытка уточнения известных и широко применяемых дифференциальных уравнений, описывающих свободные колебания изотропных балок. В книге [2] получено уравнение для ортотропной балки. При этом произведен учет сдвигов поперечных сечений. В обзоре [3] приведено значительное количество информации, в частности, о неклассических подходах к изложению динамики стержней и пластин.

Представляется целесообразным провести исследования с целью получения точных и различной степени приближенных уравнений, описывающих динамику ортотропных балок, работающих в условиях плоской задачи теории упругости.

Простейшая теория изгибных колебаний изотропных упругих систем типа балок базируется на гипотезе Бернулли и не учитывает ни инерцию вращательного движения сечений балки, ни прогибы, вызванные сдвигом. Дифференциальное уравнение движения, описывающее свободные поперечные колебания балки прямоугольного поперечного сечения на основе такой расчетной схемы, имеет вид:

$$(2\rho h\partial_t^2 + EJ\partial_1^4)W^0(x,t) = 0, \quad (1)$$

где $2h$ – высота балки, $b=1$ – ширина балки, ρ – плотность материала, $J=2h^3/3$ – момент инерции сечения; W^0 – прогиб срединной плоскости.

Дифференциальное уравнение для балки при колебаниях совершают не только поступательное движение, но и вращательное, на которое обратил внимание впервые Релей, имеет вид [4]:

$$(2\rho h\partial_t^2 + EJ\partial_1^4 - \rho J\partial_1^2\partial_t^2)W^0(x,t) = 0. \quad (2)$$

Если принять во внимание не только инерцию вращения, но также прогибы, вызванные сдвигом, то получается еще более тонкое уравнение, которое впервые было сделано С.П.Тимошенко [5]. Так для балки прямоугольного поперечного сечения с известными размерами уравнение имеет вид

$$[2\rho h\partial_t^2 + EJ\partial_1^4 - (\rho J + \frac{\rho J}{K'G})\partial_1^2\partial_t^2 + \rho J\frac{\rho}{K'G}\partial_t^4]W^0 = 0, \quad (3)$$

где K' – числовой коэффициент, зависящий от формы поперечного сечения.

В работе [6] для исследования свободных поперечных колебаний изотропной балки как плоской задачи теории упругости предлагаются более точные дифференциальные уравнения, полученные методом начальных функций.

$$[2\rho h\partial_t^2 + EJ\partial_1^4 - (\rho J + \frac{\rho J}{K'G})\partial_1^2\partial_t^2 + \rho J\frac{\rho}{K''G}\partial_t^4 - EJ_1\partial_1^6 + \rho J_1(1 + \frac{E}{GK_1})\partial_1^4\partial_t^2 - \dots]W = 0, \quad (4)$$

$$\text{где } J = \frac{2}{3}h^3, K' = \frac{2(1+\nu)}{3+2\nu}, K'' = \frac{4}{7-\nu}, J_1 = \frac{2}{15}h^5, K_1 = \frac{4(1+\nu)}{9+6\nu-\nu^2}.$$

Как видно, четыре первых члена уравнения (4) есть ни что иное, как левая часть уравнения (3), но вместо коэффициента формы K' появляется два коэффициента K' и K'' , зависящие от коэффициента Пуансона ν . Следующие члены уточняют элементарную теорию колебаний изотропной балки.

Уравнение для ортотропной балки, полученное в [1] имеет вид

$$(\partial_1^4 + \frac{\rho}{E} \frac{E}{J} \partial_t^2 - \frac{\alpha\rho}{G} \partial_1^2\partial_t^2 - \frac{\rho}{E} \partial_1^2\partial_t^2 + \frac{\alpha\rho^2}{GE} \partial_t^4)W^0 = 0, \quad (5)$$

где $F=2h, J=2h^3/3, \alpha=2/3$.

Дифференциальное уравнение, описывающее свободные поперечные колебания ортотропной балки с учетом сдвига и инерции вращательного движения сечений балки, имеет вид

$$[\partial_1^4 + \frac{3}{E_1} \frac{\rho}{h^2} \partial_t^2 - (\frac{3}{2} \frac{1}{G} + \frac{1-\nu_1}{E_1})\rho\partial_1^2\partial_t^2 + (\frac{3}{2} \frac{1}{E_1G} + \frac{1-\nu_1\nu_2}{2E_1E_2})\rho\partial_t^4]W^0 = 0. \quad (6)$$

Заметим также, что первые два члена уравнения (6) образуют левую часть уравнения Эйлера (1), а три члена уравнения Релея (2).

Используем полученные уравнения для исследования свободных поперечных колебаний ортотропных балок, условия закрепления которых соответствуют свободному подвесу торцов (интегрально-шарнирному опиранию).

Дифференциальные уравнение (6) будут удовлетворять, если принять

$$W^0(x,t) = A \sin \frac{\pi k}{l} x \sin p_k t. \quad (7)$$

Подставив (7) в уравнение Эйлера (1), получим выражение для классического спектра частот

$$p_{\text{эк}} = \alpha_k^2 \sqrt{\frac{E_1}{3\rho}} / h, \quad (8)$$

где $\alpha_k = \pi kh/l, k=1, 2, 3, \dots, h/l$ – отношение половины высоты балки к пролету.

Введем вместо частоты p_k безразмерную величину $p = \frac{p_k}{p_{\text{эк}}}$.

Подстановка (7) в уравнение (6) приведет к частотному уравнению ортотропной балки Тимошенко, рассмотренном в работе [7]:

$$p^4 + A_1 p^2 + A_2 = 0, \quad (9)$$

где

$$A_1 = -A_2 \left\{ 1 + \alpha_k^2 \left[\frac{3}{m} + 2(1 - \nu_{12}) \right] / G \right\}, \quad A_2 = 18 / \left[\delta_k^4 \left(\frac{1}{n} + \frac{3}{m} x_{12}^2 \right) \right].$$

Параметры $m = \frac{G}{E_1}$ и $n = \frac{E_2}{E_1}$ характеризуют степень анизотропии материала балки.

Для изучения спектров собственных частот, определяемых уравнением (9), были рассмотрены балки [7], изготовленные из разных материалов, отличающихся степенью анизотропии упругих свойств. Характеристики материала балок, приведенные в табл. 1, взяты из работ [8,9].

Частоты свободных колебаний балок определялись для десяти значений k при разных отношениях высоты балки к ее пролету (1/10, 1/5). Результаты вычислений полученные при помощи системы аналитических вычислений Maple, сведены в табл. 2 и табл. 3, где собственные частоты приведены в долях частоты основного фона $p_{\beta l}$ классического спектра частот, определяемого уравнением (8).

Таблица 1. – Характеристики материалов балок.

Тип балки	Материал	Упругие постоянные				Источник
		E_1 Н/м ²	E_2 Н/м ²	G Н/м ²	ν_{12}	
1	Углепластик	170×10^9	$8,0 \times 10^9$	$3,5 \times 10^9$	0,21	[8]
2	Стеклопластик	$50,4 \times 10^9$	$10,0 \times 10^9$	$3,65 \times 10^9$	0,20	[8]
3	Графен	$1,2 \times 10^{12}$	$7,8 \times 10^{11}$	$2,5 \times 10^{11}$	0,7	[9]

Таблица 2. – Частоты свободных колебаний балок при отношении высоты балки к ее пролету 1/10.

$2h/l$	k	$(p_k/p_{\beta l})_1$			$(p_k/p_{\beta l})_2$		
		Тип балки			Тип балки		
		1	2	3	1	2	3
1/10	1	0,79	0,92	3,12	16,8	27,4	13,1
	2	2,17	3,07	13,1	24,5	32,8	52,7
	3	3,56	5,64	29,6	33,6	40,2	72,2
	4	4,93	8,29	52,7	43,2	48,7	96,2
	5	6,27	10,9	82,4	53,1	57,7	118
	6	7,59	13,5	118	63,1	67,1	211
	7	8,91	16,1	161	73,1	76,8	329
	8	10,2	18,6	221	83,3	86,6	474
	9	11,5	21,2	267	93,4	96,5	646
	10	12,8	23,7	329	104	106	844

Таблица 3. – Частоты свободных колебаний балок при отношении высоты балки к ее пролету 1/5.

$2h/l$	k	$(p_k/p_{\beta k})_1$			$(p_k/p_{\beta k})_2$		
		Тип балки			Тип балки		
		1	2	3	1	2	3
1/5	1	0,53	0,76	0,76	6,13	8,21	5,51
	2	1,23	2,07	3,12	10,8	12,2	6,84
	3	1,90	3,38	7,36	15,8	16,8	8,69
	4	2,56	4,66	13,1	20,8	21,6	11,3
	5	3,21	5,92	20,5	25,9	26,6	15,5
	6	3,86	7,17	29,6	31,0	31,7	22,3
	7	4,51	8,42	40,3	36,1	36,7	35,1
	8	5,16	9,65	52,7	41,2	41,8	62,3
	9	5,81	10,9	66,7	45,4	46,9	140
	10	6,46	12,1	82,4	51,5	52,1	560

Как видно из табл. 2, 3 наблюдается две серии частот, соответствующие двум корням уравнения (9). Очевидно, колебаниями первой серии – низкочастотными – соответствуют совпадение фаз деформаций изгиба и сдвига, а колебаниями второй серии – высокочастотным – действие деформаций в противофазе. Известно, что наибольшую поправку в определение частот колебаний вносит

учет деформаций сдвига. Расчеты показывают совпадение частот первой серии, определяемых уравнением (9), и частот, найденных по формулам, учитывающей только явление сдвига [2].

Заключение

Дифференциальное уравнение колебаний с учетом сдвига приводит к частотному уравнению, определяющему одну серию частот – низкочастотную, и оставляет невыясненным вопрос о частотах второй серии.

Поскольку каждой серии отвечает счетное множество частот, то при увеличении k плотность сектора будет возрастать, так как частоты второй серии окажутся среди частот первой серии и это произойдет тем раньше, чем больше отношение $2h/l$.

Следует отметить еще один важный фактор. Главным препятствием на пути экспериментального исследования динамики нанообъектов является то, что их собственные частоты, как правило, лежат выше частотного диапазона измерительных приборов. Поэтому необходимы исследования с целью получения точных и различной степени приближенных уравнений, описывающих динамику ортотропных балок.

Библиографический список

1. *Губкина Е.А.* Физико-механические свойства моделей элементов конструкций из наноматериалов/Четвертые Уткинские чтения:Международной научн.технич. конф. Труды первой научн.-технич.конф.молодых специалистов./БГТУ, ОАО «КБСМ».-СПб.;2009. «Военмех.Вестник БГТУ», №7, с.61-65.
2. *Малмейстер А.К.* Методы интегрирования обыкновенных дифференциальных уравнений.изд.4-е.Изд. «Высшая школа»,Минск,1974.
3. *Дибуноский Ю.А.* Алгебра псевдодифференциальных операторов с аналитическими символами и ее приложения к математической физике.УМН.т.37,вып.5(224),1982,с.97-137.
4. *Релей.* Теория звука.-М.-Л.,1940г.
5. *Тимошенко С.П.* Колебания в инженерном деле. Физматгиз, М.,1959.
6. *Сорокин Е.С., Архипов А.С.* Исследование свободных поперечных колебаний балки как плоской задачи теории упругости.-В кн.:Строительная механика.Сб.статей,посвященных 80-летию И.М.Рабиновича, М.,Стройиздат,1966, с.154-164.
7. *Галилеев С.М.* Развитие и применение метода начальных функций для исследования динамики балок, плит и толстых оболочек : автореферат дис.канд.техн.наук: Киев. автомоб.-дор. ин-т. - Киев, 1983. - 190с.
8. *Образцов И.Ф. и др.* Оптимальное армирование оболочек вращения из композиционных материалов. М., «Машиностроение», 1977,с.124-127.
9. *Нагорный Ю.Е., Репченков В.И., Сыроежкин С.В., Чижик С.А.*// Расчёт механических свойств графена в модели валентно-силового поля //Теоретическая и прикладная механика: Сб. ст.-2007,вып.22,с.182-186.

УДК 629.7.01 + 004.94 (001.57)

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ РАСЧЕТА НА ПРОЧНОСТЬ СОСТАВНЫХ АНИЗОТРОПНЫХ ОБОЛОЧЕК В COSMOS WORKS

С.С. Рулев, С.М. Дудин

Балтийский государственный технический университет «Военмех» им. Д.Ф. Устинова
(БГТУ «Военмех»)

В настоящее время в инженерной практике для проведения прочностных расчетов машиностроительных конструкций широко используются пакеты прикладных программ, основанные на методе конечных элементов (МКЭ). Весьма широкое распространение, по причине своей универсальности, получили такие пакеты как «Ansys», «CosmosM», «Nastran» и тому подобные. В них реализована возможность выбора различных по форме конечных элементов в зависимости от геомет-

рии рассчитываемого объекта, они позволяют задавать свойства анизотропных материалов по направлениям связанным непосредственно с самим конечным элементом. Однако, использование этих пакетов для оперативных расчетов на стадии проектирования, оказывается не всегда удобным, по причине большого объема подготовительной работы. В первую очередь это связано с тем, эти пакеты являются автономными и не содержат средств графического редактирования рассчитываемого объекта, вследствие чего любое изменение его геометрии, которое может потребоваться по результатам расчета, заставляет разработчика вновь обращаться к графическим пакетам, в которых и создавался объект. С другой стороны, если объект создавался в каком-либо графическом пакете, то для расчета необходимо конвертирование его в формат расчетного пакета, что также может являться источником ошибок, особенно при расчете больших сборок, содержащих различные условия контакта между составляющими сборку деталями.

Этих вышеуказанных недостатков лишен расчетный пакет CosmosWorks, поскольку он интегрирован с графическим пакетом SolidWorks. Однако, по сравнению с Ansys и CosmosM, расчетные возможности этого пакета весьма ограничены. Для оценки возможности применения CosmosWorks для расчета сложных объектов, которыми и являются составные анизотропные оболочки, были проведены расчетные исследования, результаты которых сопоставлялись с экспериментально полученными данными.

Адекватность разрабатываемой расчетной модели проверялась в сравнении с результатами испытаний аналогичной конструкции. Условия проведения испытаний и экспериментальное оборудование описаны в статье: «Автономные испытания отсеков ЛА, выполненных в виде составных анизотропных оболочек», журнала «Военмех. Вестник БГТУ» Инновационные технологии и технические средства специального назначения, №10.

Анизотропная коническая оболочка, подвергавшаяся испытаниям, представляет собой коническую, с углом полураствора $14,5^\circ$, оболочку, выполненную из стеклоглестопласта. Оболочка выполнена в виде трехслойного пакета и состоит из 2-х несущих изотропных слоев (подобрано ориентированием волокон), выполненных из стеклоглестопластика, и одного ортотропного слоя, который представляет собой слой стеклопластика. Ортотропный слой заключен между изотропными несущими слоями. Слои скреплены между собой с помощью эпоксидной смолы. Суммарная толщина, как оболочки, так и фланцев составляет 10,8 мм. Толщина несущих слоев оболочки составляет 1,12 мм. Толщины несущих слоев составляют у нижнего (большого) фланца 1,74 мм и у верхнего (меньшего) фланца 2,36 мм.

Оболочка подвергалась комбинированному нагружению, однако, все действующие на нее нагрузки были приведены к трем составляющим, которые действовали в одной плоскости: осевая растягивающая сила, сила перпендикулярная оси оболочки и изгибающий момент в плоскости, проходящей через ось оболочки.

Силую нагрузку оболочки воспринимают два несущих слоя наружный и внутренний, а средний, заключенный между ними слой, работает на сжатие и не дает наружным слоям потерять устойчивость.

Оболочка крепилась за нижний фланец на жестком основании с помощью 48 болтов. Нагрузки передавались с помощью нагрузочного кольца через алюминиевый имитатор жесткости, который прикреплялся к верхнему (меньшему) фланцу оболочки с помощью 46 болтов.

Исходя из состава оболочки объект расчета может быть представлен в виде трехслойной конической оболочки с плоскими фланцами, которая изображена в «разнесенном» виде на рис. 1.



Рис. 1.

Она представляет собой три вложенных дуг в друга конических оболочки. Причем средняя оболочка (средний слой) разбит на два фланца и саму оболочку. Это обусловлено анизотропностью материала среднего слоя, и как следствие способом задания его физических свойств.

Материал внешнего и внутреннего слоев составной оболочки задавался изотропным. Физические свойства материала среднего ортотропного слоя задавались отдельно для конической части и фланцев. Для фланцев это производилось относительно декартовой глобальной системы координат, а для конической части анизотропия задавалась в цилиндрической системе координат, совпадающей с осью оболочки. Геометрические размеры и свойства материалов слоев оболочки представлены в таблице 1.

Таблица 1

Слой оболочки	Тип конструкции	Геометрические размеры, $H \times h \times d \times D^*$, мм	Материал	Свойства материала
Наружний	Несущая	990.32x1.12x1549x2160	Стеклоуглепластик	$E_x=34300$ МПа, $\nu_{xy}=0.1$ $G_{xy}=3900$ МПа.
Средний	Работает на сжатие	997.76x8.56x1549x2160	Стеклопластик	$E_x=15000$ МПа, $E_y=10000$ МПа, $\nu_{xy}=0.1$, $G_{xy}=2800$ МПа, $G_{yz}=1400$ МПа $G_{xz}=1400$ МПа.
Внутренний	Несущая	990.32x1.12x1549x2160	Стеклоуглепластик	$E_x=34300$ МПа, $\nu_{xy}=0.1$ $G_{xy}=3900$ МПа.
* H- высота слоя; h- толщина слоя; d- наибольший меньший диаметр; D- наибольший больший диаметр.		Суммарная толщина объекта расчета, на фланцах и конической части, составляет 10.8 мм.		

Свойства материала фланцев среднего слоя задавались относительно глобальной системы координат (можно относительно справочной системы координат), причем составляющая модуля упругости E_x направлена по образующей конуса, а E_y направлена перпендикулярно E_x и лежит в плоскости фланца, как показано на рис. 2.

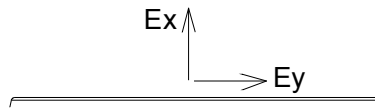


Рис. 2.

Задание физических свойств конического твердотельного среднего слоя осуществлялось в цилиндрической системе координат. При переходе от глобальной декартовой системы координат в цилиндрическую систему, в CosmosWorks, происходит изменение в обозначении направления осей, причем для объектов с твердотельной сеткой оси направлены в соответствии с рис. 3, а для объектов с оболочечной сеткой в соответствии с рис. 4.

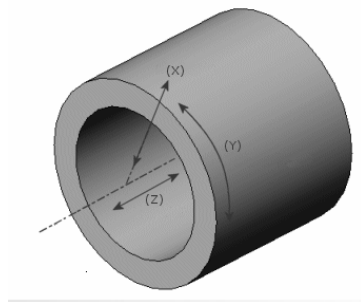


Рис. 3

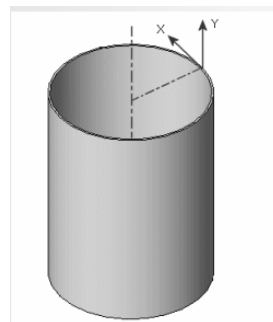


Рис. 4

В связи с этим, физические свойства конического твердотельного среднего слоя задавались в соответствии с рисунком 3 и таблицей 1, а модули упругости E_x и E_z пересчитывались в соответствии с формулой 2 для угла в 14,5 градусов.

В общем виде для плоской задачи формула для вычисления модуля упругости в произвольном направлении:

$$E_{\alpha} = \frac{E_0}{\cos^4 \alpha + b \sin^2 2\alpha + c \sin^4 \alpha}, \text{ где} \quad (1)$$

$$c = \frac{E_0}{E_{90}} \text{ и } b = \frac{E_0}{E_{45}} - \frac{1+c}{4};$$

Эта же формула в другом виде:

$$\frac{1}{E_{\alpha}} = \frac{1}{E_0} - \left(\frac{1}{E_0} - \frac{1}{E_{90}}\right) \sin^2 \alpha - \left(\frac{1}{2E_0} + \frac{1}{2E_{90}} - \frac{1}{E_{45}}\right) \sin^2 2\alpha; \quad (2)$$

Для расчета напряженно-деформированного состояния, смоделированной описанным выше образом составной оболочки, методом конечных элементов в CosmosWorks использовалась комбинированная расчетная сетка. Комбинированная сетка позволяет сочетать твердотельные элементы и элементы оболочки. Использование комбинированной сетки позволяет уменьшить размерность задачи, а также обеспечить «сшитость» (совместимость) сетки на трех разных оболочках и фланцах. Оболочечные сетки создавались на внутренней поверхности наружной несущей оболочки и на внешней поверхности внутренней несущей оболочки. Связь между ними осуществлялась через твердотельную сетку ортотропного среднего слоя составной оболочки.

Моделирование условий соединения слоев эпоксидной смолой обеспечивалось с помощью условия контакта между соприкасающимися поверхностями – «связанные», что наиболее соответствует реальной конструкции, так же параметр «связанные» гарантирует непрерывность передачи моделью нагрузок между двумя объектами.

Соединение оболочки среднего слоя с фланцами, то же было осуществлено с помощью параметра «связанные». Таким образом, получилось 8 условий контакта, которые связывают все слои в одну сборку и позволяют получить непрерывную расчетную сетку.

Степень адекватности граничных условий имеет большое значение для точности моделирования.

В данном случае фиксированное закрепление оболочки производилось за внешнюю поверхность нижнего фланца внутренней оболочки, а нагрузка прикладывалась к внутренней поверхности фланца внешней оболочки как дистанционная. Это позволило не учитывать в расчете характеристики нагрузочного кольца и имитатора жесткости, что существенно сократило размерность задачи и время расчета.

Нагружение описанной выше оболочки моделировалось с помощью параметра «дистанционные нагрузки - прямой перенос», а закрепление – параметром ограничения «зафиксировать». Параметр «зафиксировать», позволяющий исключить все перемещения и вращения выбранной поверхности, также наиболее соответствует реальным условиям работы оболочки, поскольку по проведенным расчетам и предварительным испытаниям видно, что напряжения на нижнем фланце практически постоянны. Это, в том числе, позволяет в расчетной модели не учитывать на нижнем фланце отверстия под болты, сокращая размерность задачи и время расчета.

Дистанционные (приложенные вне объекта) нагрузки могут передаваться на выбранную поверхность объекта расчета посредством двух опций: «жесткая связь» и «прямой перенос». В случае использования «жесткой связи» нагрузки передаются через абсолютно жесткое тело, которое виртуально формируется между точкой приложения и выбранной поверхностью объекта. Этот способ исключает возможность деформирования формы данной поверхности объекта в процессе нагружения и зачастую приводит к возникновению неоправданно высоких напряжений вблизи неё.

Поскольку дистанционные нагрузки использовались для исключения из рассмотрения имитатора жесткости с целью снижения размерности задачи, то возникла необходимость в оценке его жесткости.

Имитатор жесткости представляет собой сварную конструкцию, состоящую из цилиндрической обечайки, нижнего шпангоута и верхнего шпангоута. Обечайка изготовлена из алюминиевого сплава АМг6М ГОСТ 21631. Шпангоуты изготовлены из алюминиевого сплава 1561Б ОСТ 1.92073. Конструкция имитатора жесткости приведена на рис. 5.

Наименьшая жесткость у цилиндрической части (см. рис.5), жесткость фланцев можно посчитать аналогичным образом см. ниже.

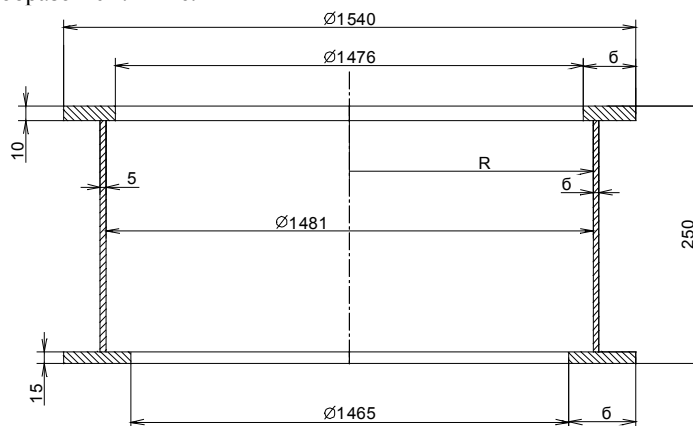


Рис. 5

Жесткостные характеристики сечения цилиндрической оболочки рассчитываются по формулам:

$$EF = E \times 2\pi \times R \times \delta_{nc} \quad EJ = E \times \pi \times R^3 \times \delta_{nc}$$

$$GF = G \times 2\pi \times R \times \delta_{nc} \quad GJ_{кр} = G \times \pi \times R^3 \times \delta_{nc}$$

где E – модуль упругости материала несущего слоя;
EF – жесткость на растяжение-сжатие;

EJ – изгибная жесткость (одинаковая в двух плоскостях изгиба);
 GF – сдвиговая жесткость;
 EF/L – относительная жесткость;
 $GJ_{кр}$ – жесткость на кручение;
 F – площадь сечения несущего слоя;
 R – радиус в соответствии с рис. м;
 $\delta_{нс}$ – толщина несущего слоя, м;
 J – момент инерции, M^4 ;
 G – модуль сдвига материала несущего слоя;
 $J_{кр}$ – момент инерции кручения, M^4 .

Так как δ - намного меньше R , пренебрегаем δ^2, δ^3 и δ^4 .

Геометрические размеры имитатора жесткости с физико-механическими свойствами материала (алюминий) представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Геометрические размеры с физико-механическими свойствами материала.

Части имитатора	δ , м	R , м	L , м	E_x , Па	ν	G , Па
Цилиндрическая оболочка	5×10^{-3}	740.5×10^{-3}	0.215	7×10^{10}	0.3	2.7×10^{10}
Верхний фланец	32×10^{-3}	738×10^{-3}	0.01	7×10^{10}	0.3	2.7×10^{10}
Нижний фланец	50×10^{-3}	732.5×10^{-3}	0.015	7×10^{10}	0.3	2.7×10^{10}

Результаты жесткостей для цилиндрической части и фланцев приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Жесткости имитатора жесткости.

Части имитатора/Жесткости	EF , Н	EJ , $H \times M^2$	GF , Н	GJ , $H \times M^2$	EF/L , $H / м$
Цилиндрическая оболочка	0.163×10^{10}	0.45×10^9	0.628×10^9	0.172×10^9	0.758×10^{10}
Верхний фланец	1.038×10^{10}	0.283×10^{10}	0.4×10^{10}	0.109×10^{10}	103.8×10^{10}
Нижний фланец	1.61×10^{10}	0.432×10^{10}	0.621×10^{10}	0.167×10^{10}	107.3×10^{10}

Расчет угла наклона при действии эквивалентной силы и момента:

$$M = 85.85 \times 10^3 \text{ Н} \times \text{м}$$

$$Q = 8.42 \times 10^3 \text{ Н}$$

$$N = 56.85 \times 10^3 \text{ Н}$$

$$Q_{\text{эке}} = \sqrt{Q^2 + N^2} = \sqrt{33.028 \times 10^8} = 57.47 \times 10^3 \text{ Н}$$

Из [1] теории балок:

$$\partial \alpha = \frac{M \times \partial x}{E \times J}, \text{ тогда} \quad \alpha = \frac{M \times L}{E \times J}, \text{ и}$$

при действии эквивалентной силы и момента, используя $E \times J = 0.45 \times 10^9$, получаем:

$$\alpha = \frac{(M + Q_{\text{эке}}) \times L}{E \times J} = 0.764 \times 10^{-4} \text{ рад} = 0.004 \text{ град};$$

Проведенная оценка показала, что, ввиду малых его деформаций имитатора жесткости, его можно считать «жестким» телом, но верхний фланец составной оболочки имеет много меньшую жесткость и при приложении изгибающего момента и сил будет изменять свою форму, из кольцевого может стать овальным. Следовательно, приложение сил и моментов с использованием параметра «дистанционные нагрузки - прямой перенос» является в данном случае более адекватным.

Еще более уменьшить размерность задачи, применяя условия симметрии, в данном случае не представляется возможным. Хотя сама составная оболочка осесимметрична, действующий на нее результирующий изгибающий момент в какой-либо плоскости осесимметричность нарушает. Не удастся также корректно применить условия симметрии относительно плоскости, в которой действует этот изгибающий момент, то есть просчитывать только геометрическую половину оболочки. В этом случае в плоскости симметрии возникают необъяснимо высокие напряжения, которые при испытаниях оболочки датчиками напряжений не регистрируются.

Для повышения точности расчета можно произвести уплотнение расчетной сетки в областях с повышенным градиентом напряжений. Таковыми являются области на верхнем фланце и на конической части оболочки вблизи верхнего фланца в плоскости действия изгибающего момента. Автоматическое уплотнение сетки в этих областях положительного эффекта не дает по причине того, что на составной оболочке вблизи кромки соединения верхнего фланца и конуса, вследствие различных типов сетки на несущих поверхностях и средней вставке, «сшитую» сетку получить не удастся. Выходом из создавшегося положения здесь является пользовательский контроль, когда глобальный размер элементов различных типов сетки, а также степень их уплотнения, задается пользователем вручную одинаковыми.

Для оценки возможности снижения размерности задачи были проведены численные исследования влияния числа слоев твердотельных элементов по толщине среднего конуса составной оболочки. Вблизи верхнего фланца, под действием изгибающего момента, оболочка испытывает изгибные деформации. Считается, что для достоверного описания изгиба твердотельными конечными элементами, имеющими в каждом узле три степени свободы, необходимо иметь по толщине объекта два-три слоя этих элементов. В данном случае, увеличение числа слоев элементов в среднем конусе приводило к резкому увеличению размерности задачи, а, следовательно, и времени расчета, но изменение величины напряжений в оболочке составляло не более 2,5%, что соответствовало погрешности датчиков в испытаниях. Изгиб образующей конуса достигал 0.001% от толщины оболочки и в этом случае, для практических расчетов, по толщине оболочки достаточно иметь один слой твердотельных элементов.

При просмотре результатов можно отображать необходимые компоненты напряжений и деформаций в зависимости от решаемой задачи. В данном случае интерес представляют касательные напряжения и напряжения по оси оболочки в цилиндрической системе координат. Напряжения по оси оболочки затем пересчитывались в направлении по образующей конуса, что соответствует ориентации наклейки тензорезисторов при испытаниях.

Цветовая эпора напряженно-деформированного состояния конической анизотропной оболочки, полученного в результате расчетов, показана на рис. 6. Здесь, на разнесенном виде сборки, представлены эквивалентные напряжения по Мизесу и их максимальные и минимальные значения.



Рис. 6

Такая же эпора напряженно-деформированного состояния оболочки в собранном виде показана на рис. 7. Здесь наглядно видна точка приложения нагрузок и схема их передачи на фланец оболочки.

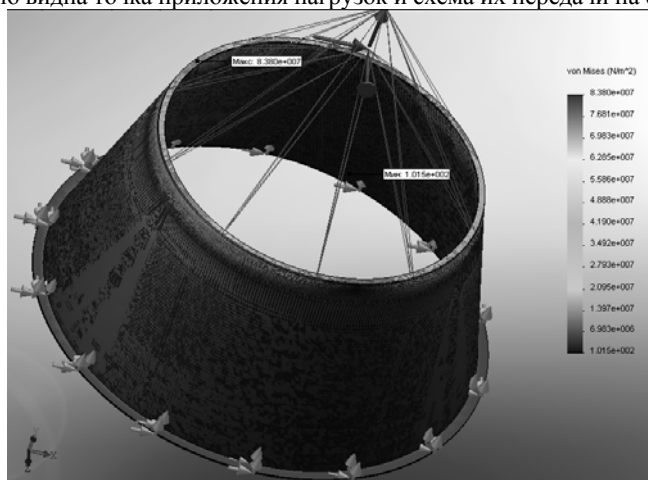
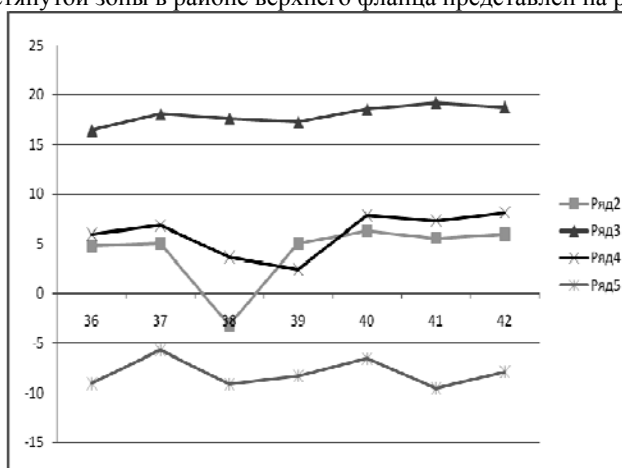


Рис. 7

Полученные результаты сопоставлялись с экспериментальными данными. Пример сопоставления результатов для растянутой зоны в районе верхнего фланца представлен на рис. 8.



- – экспериментальные значения напряжений вдоль образующей (вертикальные);
- ▲ - расчетные значения напряжений вдоль образующей;
- × - экспериментальные значения касательных напряжений (горизонтальные);
- * - расчетные значения касательных напряжений;

Рис. 8

Сопоставление результатов экспериментальных исследований и расчета составной анизотропной оболочки численными методами в различных прикладных программах дает основания для утверждения о возможности применения сравнительно «легкого» пакета CosmosWorks для решения подобных прочностных задач. Так, например, вышерассмотренная задача решалась также с применением «тяжелого» пакета CosmosM. Отличие по величине наибольших напряжений на оболочке от полученных экспериментально составило примерно 10%, но области возникновения растягивающих и сжимающих напряжений на оболочке экспериментальным данным не соответствовали. При расчете этой же задачи в CosmosWorks качественная картина распределения напряжений по оболочке практически соответствовала экспериментальной, однако величина наибольших напряжений отличалась от экспериментальной более чем на 15-20%.

Библиографический список

1. Алямовский А.А., «SolidWorks. Компьютерное моделирование в инженерной практике», Санкт-Петербург 2005г., 800с;
2. Алямовский А.А., «SolidWorks/CosmosWorks. Инженерный анализ методом конечных элементов», Москва 2004г., 432с.
3. Ашкенази Е.К., Э.В. Ганов, «Анизотропия конструкционных материалов», справочник, Ленинград 1980г., 247с.
4. Беляев Н.М., «Сопrotивление материалов», Москва 1959г.;

УДК 519.718.2

РАСЧЕТ НАДЕЖНОСТИ УСТРОЙСТВА И ЭКСПЛУАТАЦИИ ОСНОВАНИЙ И ФУНДАМЕНТОВ С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ ВРЕМЕННОГО ФАКТОРА

Д.П. Мандрица, Р.Б. Шмаков, Д.С. Старчуков

Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского
(ВКА им. А.Ф. Можайского)

В современных условиях развития ракетно-космической техники возникает проблема в обеспечении показателей надежности и безопасности стартового и технического комплексов.

При проектировании стартовых и технических комплексов ракет космического назначения большое внимание уделяется расчетам агрегатов и систем технологического оборудования на надежность. Расчетам надежности такой сложной системы «основания – фундамент – сооружение» практически не уделяется внимание.

Под *надежностью основания сооружения* понимается надежность одного из элементов системы «основание - фундамент - надземная часть сооружения». При отсутствии обеспеченной надежности основания вся система является также ненадежной. Более того, ненадежность основания вызывает, как правило, появление таких деформаций и напряжений в фундаментах и надземных конструкциях сооружения, при которых они становятся ненадежными даже в том случае, если их надежность сама по себе (без учета влияния основания) и была обеспечена. В то же время ненадежность фундаментов и надземных конструкций сооружения не оказывает обычно прямого влияния на надежность основания, если последняя была обеспечена в процессе проектирования с учетом всей совокупности действующих на нее нагрузок и других факторов.

Таким образом, обеспечение надежности работы основания следует рассматривать как способ обеспечения надежной работы всей системы «основание - фундамент - надземная часть сооружения». При этом критерий надежности двух элементов системы (фундамент - надземная часть сооружения) является главным критерием, удовлетворение которого обуславливает обеспечение надежности основания и всей системы в целом.

Надежность основания - это его способность воспринимать всю совокупность внешних воздействий (нагрузки, природно-климатические и технологические факторы) в течение заданного срока с обеспечением нормальной эксплуатации сооружения в целом и размещенного в нем оборудования.

Основными факторами, определяющими в общем случае надежность оснований сооружений, являются [1,2]:

1. Соответствие принятой схемы и метода расчета основания действительным условиям его работы в каждом конкретном случае.
2. Достоверность описания инженерно-геологических условий строительства сооружения, получаемого в процессе инженерных изысканий и обследований.
3. Достоверность исходных материалов о физико-механических характеристиках грунтов оснований, получаемых на основе полевых и лабораторных методов их испытания с учетом происхождения грунтов, условий их естественного залегания, структуры и сложения, а также возможности их изменения в процессе эксплуатации здания или сооружения, построенного на грунтах основания.

4. Достоверность материалов о нагрузках и воздействиях, которым подвергаются основания сооружений при их эксплуатации.

Количественное описание большей части из перечисленных факторов во всей сложности их взаимодействия во время фактической работы оснований сооружений должно производиться с учетом изменчивости, как строительных свойств грунтов оснований, так и нагрузок и воздействий, которым они подвергаются через фундаменты от надземных конструкций [1].

Чем выше качество исходных данных, тем с большей достоверностью проектная надежность основания сооружений приближается к эксплуатационной. В идеальном случае, при полной адекватности содержания проектных расчетов действительным условиям работы оснований, проектный уровень надежности совпадает с эксплуатационным. Понятие расчетной схемы системы "основание - фундамент-сооружение" включает в себя и совокупность всех исходных данных о грунтах, нагрузках и воздействиях, необходимых для ее использования в процессе проектирования.

Эксплуатация сооружения стартового комплекса происходит во времени, поэтому расчет надежности необходимо рассматривать как функцию времени.

В этом случае методика расчета на надежность основывается чаще всего на теории выбросов случайных функций, предложенная и развитая В. В. Болотиным [1].

Временные нагрузки и воздействия, действующие на «грунт – основание-фундамент-сооружение», являются случайными. Случайный характер нагрузок определяется случайными значениями параметров нагрузок, случайным распределением ее во времени и в различных точках системы, случайным сочетанием различных нагрузок и многими другими факторами. Нагрузки от технического и технологического оборудования, газодинамические пусковые нагрузки и др. являются примером нагрузок, для описания которых используются *методы теории случайных полей*.

Вероятностные свойства поведения системы «грунт – основание-фундамент-сооружение» определяются не только случайным характером внешних нагрузок, но и изменчивостью физико-механических и прочностных свойств грунтов оснований и фундаментов, а также изменением характера взаимодействия элементов в процессе эксплуатации и рядом других факторов.

Надежность системы «грунт – основание-фундамент-сооружение» определяется множеством факторов, важнейшими из которых являются: воздействие случайных внешних нагрузок, свойства самой системы и ее элементов, характер взаимодействия элементов, конструктивные и технологические особенности и т. п.

Оценка надежности «грунт – основание-фундамент-сооружение» складывается из следующих основных этапов [2,3].

1. С использованием методов механики сплошной среды, твердого тела или материальных точек выбирается расчетная схема реальной системы, строится ее математическая модель. Выбор расчетной схемы включает также аппроксимацию внешних нагрузок и их вероятностное описание.

2. Методами статистической динамики находят вероятностные характеристики параметров, определяющих поведение системы «грунт – основание-фундамент-сооружение» при случайных воздействиях.

3. Определяются параметры, характеризующие качество системы, и находится допустимая область, в которой параметры качества должны сохраняться в установленных пределах.

На заключительном этапе производится оценка показателей надежности грунтового основания.

Методика расчета надежности механической системы, взаимодействующую с окружающей средой рассматривается в работе [1].

Стохастическое поведение системы характеризуется элементами $u \in U$, при этом пространство U выбирается таким образом, чтобы с помощью его элементов можно было в рамках выбранной расчетной схемы достаточно полно описать состояние системы. Внешние воздействия q принимает значения из пространства Q . Свойства системы характеризуются оператором L , который каждой реализации элементов из пространства воздействий Q приводит в соответствие реализацию элементов в пространстве состояний U :

$$Lu = q.$$

Оператор L представляет собой дифференциальный оператор, который включает начальные и краевые условия. В теории надежности различных систем определяющим является пространство качества V . Это пространство выбирается таким образом, чтобы с помощью его элементов v можно

было достаточно полно характеризовать качество функционирования системы. Связь между элементами v и u дается операторным соотношением $v = Mu$.

При нормальной эксплуатации системы «основание-фундамент-сооружение» ее параметры качества должны сохраняться в установленных пределах в течение всего нормативного срока службы. Математически это соответствует нахождению элементов v в допустимой области Q пространства качества V . Граница Γ этой области, соответствующая наступлению предельных состояний в системе, называется предельной поверхностью. Выход траектории $v(t)$ из допустимой области Q соответствует отказу системы.

Таким образом, наступление отказа интерпретируется как случайное пересечение траекторией процесса $v(t)$ предельной поверхности Γ или как выброс случайного процесса $v(t)$ из допустимой области Ω .

Основной показатель надежности $P(t)$ вводится как *вероятность безотказной работы* на отрезке времени $[0, t]$, что соответствует вероятности нахождения вектора качества $v(t)$ в допустимой области Ω в течение этого отрезка времени:

$$P(t) = P\{v(\tau) \in \Omega; \tau \in [0, t]\}.$$

Данный показатель надежности вычисляется на основе теории выбросов случайных процессов и полей. Однако этот показатель не учитывает физико-механических свойств грунтов оснований и фундаментов, который имеет место, например, при переходе от одного элемента множества систем к другому, и разброс параметров нагрузок.

Тогда вероятность безотказной работы находится по формуле полной вероятности

$$P(t) = P\{v(\tau) \in \Omega; \tau \in [0, t]\}.$$

Здесь случайные свойства параметров системы характеризуются векторной случайной величиной r , а разброс параметров внешнего воздействия $q(t)$ определяется вектором s . Совместную плотность вероятности параметров r и s обозначается - $p(r, s)$.

Условная вероятность безотказной работы $P(t|r, s)$ вычисляется аналогично для системы с фиксированными параметрами r и s ; при этом вектор качества будет зависеть от r и s , а допустимая область - от параметра r .

Важным аспектом обеспечения надежности основания является учет в расчетной схеме возможности изменения свойств грунтов в процессе эксплуатации сооружения в результате длительности воздействия эксплуатационных нагрузок, а также с изменением влажности.

Для определения степени изменения деформационных и прочностных характеристик грунта выполнен расчет влияния этих характеристик на расчетное сопротивление грунтов основания и несущую способность грунтов оснований, взятых из работы [2,3].

В качестве грунтов приняты образцы тугопластичного суглинка, имеющего проектные влажность $W = 12\%$, плотность частиц $s = 2,7 \text{ т/м}^3$ и коэффициент пористости $e = 0.6$ [2,3]. Данные образцы изготавливались путем приготовления пасты из суглинистого порошка, имеющего влажность на пределе пластичности $W_p = 19\%$ и влажность на пределе текучести $W_L = 31\%$.

Затем образцы грунта замачивались до влажности $W=27\%$, которая соответствует полному водонасыщению грунта при поднятии УГВ. При увеличении влажности изменились физические характеристики грунта. Физические показатели до и после увлажнения показаны в таблице 1.

Таблица 1. – Сравнение физических характеристик глинистого грунта.

Плотность, т/м ³		Влажность, W, %		Плотность сухого грунта, ρ_d , т/м ³	
проектная	сущест.	проектная	сущест.	проектная	сущест.
1.89	1.86	12.0	27.4	1.69	1.46

С целью оценки влияния физико-механических и прочностных характеристик образца грунта определены расчетное сопротивление и несущая способность грунтов оснований, выполненных из тугопластичного суглинка. Результаты расчетов представлены в таблице 2.

Анализируя полученные результаты, можно сделать выводы, что физико-механические характеристики грунта при его увлажнении существенно изменяются, а также уменьшаются его прочностные и деформационные характеристики.

При изменившихся характеристиках грунта расчетные сопротивление и несущая способность грунтов основания уменьшается, что необходимо учитывать при реконструкции фундаментов, так как при этом увеличивается и нагрузка на них.

Таблица 2.

Грунт	Вертикальная нагрузка, Р, МПа	Коэффициент пористости e	Угол внутреннего трения, град	Удельное сцепление с, МПа	Расчетное сопротивление грунтов, МПа	Расчетная несущая способность на 1 м ² , МПа
При природной влажности	0.10	0.591	22	0.038	0.421	1.67
	0.20	0.584				
	0.30	0.578				
При увлажнении грунта	0.10	0.829	19	0.025	0.29	1.043
	0.20	0.815				
	0.30	0.804				

Библиографический список

1. Надежность технических систем. Справочник / Беляев Ю.К., Богатырев В.А., Болотин В.В. – М.: Радио и связь, 1985 г. – 608 с.

2. Слесарев В.А., Слесарев С.В. // Безопасность труда в промышленности, Москва, 2005г., №1, с. 55-56 // "Обеспечение надежности зданий и сооружений – важная составляющая промышленной безопасности ТЭС".

3. Слесарев В.А., Слесарев С.В. // Промышленное и гражданское строительство, Москва, 2005г., №7, с.60-61 // "Проблемы эксплуатационной надежности строительных конструкций открытых распределительных устройств и электроподстанций".

УДК 629.7.066

ПРИМЕНЕНИЕ ПЛАНАРНОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОМЕХОЭМИССИИ ИМПУЛЬСНЫХ СИСТЕМ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ЭМС

М.Ю. Пономарев, Д.Ю. Шикер

Федеральный научно-производственный центр ОАО «Ордена Трудового Красного Знамени Всероссийский научно-исследовательский институт радиоаппаратуры»
(ОАО «ВНИИРА»)

Рассматриваются методы определения в пространственно-временной области волновых и квазистационарных полей исследуемых на ЭМС устройств на основе планарных измерений.

При построении радиотехнических систем, как правило, возникает проблема обеспечения ЭМС входящих в их состав устройств в широком диапазоне частот. В последнее время создание широкополосных радиолокационных комплексов, антенные устройства которых возбуждаются короткими импульсами, существенно обострило эту проблему. Антенные устройства таких комплексов могут представлять собой источники помех для другой аппаратуры. В некоторых практических задачах область широкополосного зондирования совпадает с областью ближней зоны антенного устройства локатора. Таким образом, для обеспечения ЭМС исследуемых устройств (ИУ) в широком диапазоне, необходимо определять ближние и дальние электромагнитные поля ИУ в пространственно-временной области.

В декартовых координатах напряженности электрического и магнитного полей в частотной области для уединенных источников поля определяются следующими выражениями [1]

$$\begin{cases} \vec{E}(x, y, z, \omega) = \iint_{\eta^2 + \gamma^2 < c^{-2}} \omega^2 \vec{A}(\eta, \gamma, \omega) e^{-i\omega\zeta x - i\omega\eta y - i\omega\gamma z} d\eta d\gamma, \\ \vec{H}(x, y, z, \omega) = \frac{\omega^2}{\mu} \iint_{\eta^2 + \gamma^2 < c^{-2}} [\vec{\zeta}, \vec{A}(\eta, \gamma, \omega)] e^{-i\omega\zeta x - i\omega\eta y - i\omega\gamma z} d\eta d\gamma, \end{cases} \quad (1)$$

где ω - частота; μ - магнитная проницаемость среды; $\vec{A}(\eta, \gamma, \omega)$ - амплитудный спектр однородных плоских волн; $\zeta = \frac{1}{c} k_x$, $\eta = \frac{1}{c} k_y$ и $\gamma = \frac{1}{c} k_z$, причем $\zeta = \sqrt{\frac{1}{c^2} - \eta^2 - \gamma^2}$; $\vec{\zeta} = \zeta \vec{e}_x + \eta \vec{e}_y + \gamma \vec{e}_z$. В волновом диапазоне k_x , k_y и k_z определяют направление распространения элементарной плоской волны и, следовательно, $k_x = \sin \vartheta \cos \varphi$, $k_y = \sin \vartheta \sin \varphi$, $k_z = \cos \vartheta$, ϑ и φ - угол места и азимут в связанных с источником поля сферических координатах. Во временной области выражения для векторов поля могут быть получены с помощью интеграла Фурье

$$\begin{cases} \vec{E}(x, y, z, t) = \int_{\omega_q \leq |\omega| \leq \omega_{\max}} \vec{E}(x, y, z, \omega) e^{i\omega t} d\omega, \\ \vec{H}(x, y, z, t) = \int_{\omega_q \leq |\omega| \leq \omega_{\max}} \vec{H}(x, y, z, \omega) e^{i\omega t} d\omega, \end{cases} \quad (2)$$

где t - время, а ω_{\max} - наибольшее значение частоты; ω_q - наименьшее значение частоты, определяемое условием квазистационарности. Подставляя (1) в (2) и используя свойства преобразования Фурье, получим равенства [1]

$$\begin{cases} \vec{E}(x, y, z, t) = - \iint_{\eta^2 + \gamma^2 < c^{-2}} \frac{\partial^2}{\partial t^2} \vec{A}(\eta, \gamma, t - \vec{\zeta} \vec{r}) d\eta d\gamma, \\ \vec{H}(x, y, z, t) = - \frac{1}{\mu} \iint_{\eta^2 + \gamma^2 < c^{-2}} \frac{\partial^2}{\partial t^2} [\vec{\zeta}, \vec{A}(\eta, \gamma, t - \vec{\zeta} \vec{r})] d\eta d\gamma, \end{cases} \quad (3)$$

где $\vec{r} = x\vec{e}_x + y\vec{e}_y + z\vec{e}_z$. В свободной среде из условия $\text{div} \vec{E} = 0$ следует равенство

$$A_x(\eta, \gamma, \omega) = - \frac{1}{\zeta} (\eta A_y(\eta, \gamma, \omega) + \gamma A_z(\eta, \gamma, \omega)). \quad (4)$$

На основании (4) поле можно полностью определить через составляющие $A_y(\eta, \gamma, \omega)$ и $A_z(\eta, \gamma, \omega)$

$$\begin{cases} A_y(\eta, \gamma, \omega) = \frac{e^{i\omega\zeta x_0}}{\omega^2 8\pi^3} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} \int_{-\frac{Y}{2}}^{\frac{Y}{2}} \int_{-\frac{Z}{2}}^{\frac{Z}{2}} E_y(x_0, y, z, t) e^{i\omega\eta y + i\omega\gamma z} e^{-i\omega t} dy dz dt, \\ A_z(\eta, \gamma, \omega) = \frac{e^{i\omega\zeta x_0}}{\omega^2 8\pi^3} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} \int_{-\frac{Y}{2}}^{\frac{Y}{2}} \int_{-\frac{Z}{2}}^{\frac{Z}{2}} E_z(x_0, y, z, t) e^{i\omega\eta y + i\omega\gamma z} e^{-i\omega t} dy dz dt, \end{cases} \quad (5)$$

где T - период обработки, который, как правило, равен периоду генерируемых исследуемым устройством импульсов; Y и Z - соответственно ширина и высота плоскостей сканирования; $E_y(x_0, y, z, t)$ и $E_z(x_0, y, z, t)$ - пространственно-временное распределение составляющих напряженности электрического поля на плоскости $YOZ|_{x=x_0}$.

В свободной среде из условия $\text{div}\vec{E} = 0$ следуют равенства

$$\begin{cases} A_x(\eta, \gamma, \omega) = -\frac{1}{\zeta}(\eta A_y(\eta, \gamma, \omega) + \gamma A_z(\eta, \gamma, \omega)), \\ F_x(\eta, \gamma, \omega) = \frac{1}{\zeta}(\eta F_y(\eta, \gamma, \omega) + \gamma F_z(\eta, \gamma, \omega)). \end{cases} \quad (6)$$

Векторы напряженностей электрического и магнитного полей в пространственно-временной области могут быть определены в соответствии с (3) следующими выражениями

$$\begin{cases} \vec{E}(x, y, z, t) = \int_{\omega_q \leq |\omega| \leq \omega_{\max}} \iint_{\eta^2 + \gamma^2 < c^{-2}} \omega^2 \vec{A}(\eta, \gamma, \omega) e^{-i\omega\zeta x - i\omega\eta y - i\omega\gamma z} e^{i\omega t} d\eta d\gamma d\omega, \\ \vec{H}(x, y, z, t) = \frac{1}{\mu} \int_{\omega_q \leq |\omega| \leq \omega_{\max}} \iint_{\eta^2 + \gamma^2 < c^{-2}} [\vec{\zeta}, \vec{A}(\eta, \gamma, \omega)] e^{-i\omega\zeta x - i\omega\eta y - i\omega\gamma z} e^{i\omega t} d\eta d\gamma d\omega. \end{cases} \quad (7)$$

Более удобная форма записи решения в ближней и дальней зонах следующая

$$\vec{E}(x, y, z, t) = \frac{1}{c^2} \int_{\omega_q \leq |\omega| \leq \omega_{\max}} \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 \omega^2 \vec{A}(\bar{\zeta}, \bar{\eta}, \omega) e^{-i\frac{\omega}{c}(\bar{\zeta}x + \bar{\eta}y + \bar{\gamma}z)} e^{i\omega t} d\bar{\zeta} d\bar{\eta} d\omega, \quad (8)$$

$$\vec{E}(\vec{r}, t)|_{r \geq R} = i \frac{2\pi}{r} \frac{1}{c} \bar{\gamma} \int_{\omega_q \leq |\omega| \leq \omega_{\max}} \omega A(\bar{\zeta}, \bar{\eta}, \omega) e^{-i\frac{\omega}{c}(\bar{\zeta}x + \bar{\eta}y + \bar{\gamma}z)} e^{i\omega t} d\omega, \quad (9)$$

где $\bar{\zeta} = c\zeta$; $\bar{\eta} = c\eta$; $\bar{\gamma} = c\gamma$; $R \geq \frac{D^2 \omega_{\max}}{\pi c}$ - расстояние до дальней зоны от исследуемого

источника поля; D - наибольший линейный размер источника поля. Аналогичным путем можно получить выражения для \vec{H} .

При исследовании полей устройств, генерирующих короткие импульсы, для полного восстановления пространственно-временной картины поля необходимо рассматривать случаи нулевой и низкой частоты. При этом если выполняется условие $\omega = 0$, то рассматривается статическое поле,

а при условии $\frac{\omega D}{2\pi c} \ll 1$ (где D – наибольший линейный размер источника поля) – квазистационарное.

Из этого условия определяется ω_q . В прикладных задачах можно воспользоваться равенством

$$\omega_q = (1 \div 3) \cdot 10^{-3} 2\pi c / D. \quad (10)$$

Математические модели статических и квазистационарных полей строятся в области частот $0 \leq |\omega| \leq \omega_q$.

Обобщенная математическая модель квазистационарных магнитных полей уединенных источников в декартовых координатах может быть образована, следующим интегральными выражениями [2]

$$\begin{cases} H_x = \int_{0 \leq |\omega| \leq \omega_q} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \sqrt{k_y^2 + k_z^2} A^M(k_y, k_z, \omega) e^{-\sqrt{k_y^2 + k_z^2} x + ik_y y + ik_z z} e^{i\omega t} dk_y dk_z d\omega, \\ H_y = - \int_{0 \leq |\omega| \leq \omega_q} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} ik_y A^M(k_y, k_z, \omega) e^{-\sqrt{k_y^2 + k_z^2} x + ik_y y + ik_z z} e^{i\omega t} dk_y dk_z d\omega, \\ H_z = - \int_{0 \leq |\omega| \leq \omega_q} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} ik_z A^M(k_y, k_z, \omega) e^{-\sqrt{k_y^2 + k_z^2} z + ik_y y + ik_z z} e^{i\omega t} dk_y dk_z d\omega, \end{cases} \quad (11)$$

где $A^M(k_y, k_z, \omega)$ - подлежащий определению амплитудный спектр магнитного поля.

Если известно (например, определено экспериментальным путем) распределение составляющей H_x на плоскости $x = x_0$, то определить $A^M(k_y, k_z, \omega)$ можно из первого уравнения системы (11)

$$H_x(y, z, x_0, t) = \int_{0 \leq |\omega| \leq \omega_q} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \sqrt{k_y^2 + k_z^2} A^M(k_y, k_z, \omega) \times e^{-\sqrt{k_y^2 + k_z^2} x_0 + ik_y y + ik_z z} e^{i\omega t} dk_y dk_z d\omega. \quad (12)$$

Применение двумерного преобразования Фурье позволяет получить следующее равенство

$$A^M(k_y, k_z, \omega) = \frac{e^{\sqrt{k_y^2 + k_z^2} x_0}}{\sqrt{k_y^2 + k_z^2}} \varpi_{k_y, k_z}(x_0, \omega), \quad (13)$$

где

$$\varpi_{k_y, k_z}(x_0, \omega) = \frac{1}{8\pi^3} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} H_x(x_0, y, z, t) e^{-ik_y y - ik_z z} e^{i\omega t} dy dz dt. \quad (14)$$

Бесконечные пределы интегрирования по y и z в (14) при сканировании поля заменяются конечными, значения которых определяются относительными величинами напряженности измеряемого магнитного поля на краях плоской базовой поверхности.

Таким образом, приведенные выражения позволяют определять волновые и квазистационарные поля исследуемого устройства в пространственно-временной области по планарным измерениям.

Библиографический смысл

1. *Marti-Canales J., Ligthart L.P.* Time domain antenna holography // Electron. Lett. - 2000.- vol. 36. - №6. - P493-494.
2. *Кирпанев А.В., Лавров В.Я.* Электромагнитное поле: Теория идентификации и её применение. Учебное пособие. - М.: "Вузовская книга", 2002. - 208с.

ОСОБЕННОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК РАССЕЙНИЯ НА ОСНОВЕ МНОГОПОЗИЦИОННОГО ПЛАНАРНОГО ЗОНДИРОВАНИЯ В БЛИЖНЕЙ ЗОНЕ

С.В. Васендин, А.В. Кирпанев, М.Ю. Пономарев

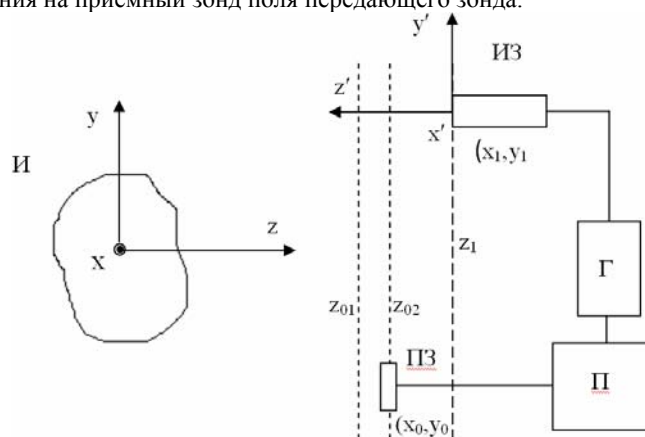
Федеральный научно-производственный центр ОАО «Ордена Трудового Красного Знамени Всероссийский научно-исследовательский институт радиоаппаратуры»
(ОАО «ВНИИРА»)

Рассматривается один из методов определения характеристик рассеяния исследуемого объекта на основе планарных измерений в ближней зоне. Приведены условия определения поляризационной матрицы рассеяния и способ выделения поля рассеяния на фоне поля, облучающего исследуемый объект.

Применение коллиматорного метода является, бесспорно, эффективным при определении таких радиолокационных характеристик объекта, как его ЭПР. Последнее обусловлено возможностью непосредственного определения ЭПР исследуемого объекта (ИО) по результатам измерений, а также возможностью исследования характера отраженных от объектов сигналов во временной области, как реакцию на сложный излучаемый радиолокационный сигнал. Вместе с тем коллиматорный метод имеет некоторые ограничения. Использование коллиматора позволяет определить только моностатические характеристики рассеяния ИО в дальней зоне. Кроме того, в большинстве случаев, коллиматор представляет собой зеркальную антенну с вынесенным облучателем. Амплитудный спектр однородных плоских волн такой антенны представляет собой не δ -функцию, а некоторую характеристику, модуль которой является диаграммой направленности коллиматора. На практике это приводит к принципиальной невозможности создания идеального плоского фронта в зоне размещения ИО. Другим недостатком коллиматорного метода является невозможность определения бистатических характеристик рассеяния ИО, а решение задач распознавания целей с достаточной для практики достоверностью требует разнесения в пространстве передатчика и приемника.

Полные характеристики рассеяния ИО могут быть определены на основе амплитазомерных измерений в ближней зоне. Теоретическая возможность такого подхода изложена в [1,2]. Более подробное изложение общих принципов определения характеристик рассеяния по измерениям в ближней зоне можно найти в [3].

Двухпозиционное сканирование предполагает возможность независимого перемещения приемного (ПЗ) и излучающего (ИЗ) зондов (рис. 1). Как уже упоминалось выше, обобщенные принципы такого подхода изложены в [3]. Ниже этот подход развивается для случая планарного зондирования и с учетом влияния на приемный зонд поля передающего зонда.



ИО – исследуемый объект; ИЗ – излучающий зонд; ПЗ – приемный зонд;
Г – генератор; ПУ – приемное устройство

Рис. 1.

Получим решение при следующих условиях: направленные свойства приемного зонда не учитываются, т.к. предполагается, что в качестве зонда используется электрический диполь; зонд, работающий на прием, измеряет результирующее поле, обусловленное рассеянным полем ИО и падающим на ИО полем передающего зонда; направленные свойства передающего зонда считаются известными. С передающим зондом связана правая система координат. Примем следующие обозначения (рис. 1): (x_0, y_0) – координаты приемного зонда в системе координат OXYZ, связанной с ИО, (x_1, y_1) – координаты передающего зонда в системе OXYZ.

В системе координат, связанной с ИО, напряженность электрического поля, измеряемого зондом, определяется равенством

$$\begin{aligned} \vec{E} = \vec{E}^s + \vec{E}^p = k^2 \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 \vec{B}^s(\vec{k}'_\tau, x_1, y_1) e^{-ikk'_x x - ikk'_y y - ikk'_z z} dk'_x dk'_y + \\ + k^2 \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 \vec{A}(\vec{k}'_\tau, x_1, y_1) e^{-ikk'_x x - ikk'_y y - ikk'_z z} dk'_x dk'_y, \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{cases} B_x^{s(1)}(\vec{k}'_\tau, \vec{r}) = \frac{k^2}{4\pi^2 \Delta'} (e^{-ikk'_z z_{01}} I_x^{(1)}(\vec{k}'_\tau, \vec{r}, z_{02}) - e^{-ikk'_z z_{02}} I_x^{(2)}(\vec{k}'_\tau, \vec{r}, z_{01})), \\ B_y^{s(1)}(\vec{k}'_\tau, \vec{r}) = \frac{k^2}{4\pi^2 \Delta'} (e^{-ikk'_z z_{01}} I_y^{(1)}(\vec{k}'_\tau, \vec{r}, z_{02}) - e^{-ikk'_z z_{02}} I_y^{(2)}(\vec{k}'_\tau, \vec{r}, z_{01})), \end{cases} \quad (2)$$

где

$$\begin{cases} I_x^{(1)}(\vec{k}'_\tau, \vec{r}_1, z_{01(02)}) = \int_{x_{\min}}^{x_{\max}} \int_{y_{\min}}^{y_{\max}} E_x^{(1)}(\vec{r}_0, \vec{r}_1, z_{01(02)}) e^{ikk'_x x_0 + ikk'_y y_0} dx_0 dy_0, \\ I_y^{(1)}(\vec{k}'_\tau, \vec{r}_1, z_{01(02)}) = \int_{x_{\min}}^{x_{\max}} \int_{y_{\min}}^{y_{\max}} E_y^{(1)}(\vec{r}_0, \vec{r}_1, z_{01(02)}) e^{ikk'_x x_0 + ikk'_y y_0} dx_0 dy_0, \\ I_x^{(2)}(\vec{k}'_\tau, \vec{r}_1, z_{01(02)}) = \int_{x_{\min}}^{x_{\max}} \int_{y_{\min}}^{y_{\max}} E_x^{(2)}(\vec{r}_0, \vec{r}_1, z_{01(02)}) e^{ikk'_x x_0 + ikk'_y y_0} dx_0 dy_0, \\ I_y^{(2)}(\vec{k}'_\tau, \vec{r}_1, z_{01(02)}) = \int_{x_{\min}}^{x_{\max}} \int_{y_{\min}}^{y_{\max}} E_y^{(2)}(\vec{r}_0, \vec{r}_1, z_{01(02)}) e^{ikk'_x x_0 + ikk'_y y_0} dx_0 dy_0, \end{cases} \quad (3)$$

$\vec{k}'_\tau = k'_x \vec{e}_x + k'_y \vec{e}_y$, $\vec{r}_0 = x_0 \vec{e}_x + y_0 \vec{e}_y$, $\vec{r}_1 = x_1 \vec{e}_x + y_1 \vec{e}_y$, $\Delta' = 2i \sin(k_z(z_{02} - z_{01}))$, k'_x и k'_y – пространственные частоты (направляющие косинусы) однородных плоских волн рассеянного поля, $k = 2\pi/\lambda$ – волновое число, λ – длина волны.

Амплитудный спектр однородных плоских волн рассеянного ИО поля зависит от искомой матрицы рассеяния и амплитудного спектра падающего на ИО поля и определяется для положений “(1)”-“(2)” ИЗ следующими системами

$$\begin{cases} B_x^{(1)}(\vec{k}'_\tau, \vec{r}_1) = k^2 \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 (S_x^x(\vec{k}'_\tau, \vec{k}_\tau) A_x^{(1)}(\vec{k}_\tau, \vec{r}_1) + S_y^x(\vec{k}'_\tau, \vec{k}_\tau) A_y^{(1)}(\vec{k}_\tau, \vec{r}_1)) dk_x dk_y, \\ B_x^{(2)}(\vec{k}'_\tau, \vec{r}_1) = k^2 \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 (S_x^x(\vec{k}'_\tau, \vec{k}_\tau) A_x^{(2)}(\vec{k}_\tau, \vec{r}_1) + S_y^x(\vec{k}'_\tau, \vec{k}_\tau) A_y^{(2)}(\vec{k}_\tau, \vec{r}_1)) dk_x dk_y, \end{cases} \quad (4)$$

$$\begin{cases} B_y^{(1)}(\vec{k}'_\tau, \vec{r}_1) = k^2 \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 (S_x^y(\vec{k}'_\tau, \vec{k}_\tau) A_x^{(1)}(\vec{k}_\tau, \vec{r}_1) + S_y^y(\vec{k}'_\tau, \vec{k}_\tau) A_y^{(1)}(\vec{k}_\tau, \vec{r}_1)) dk_x dk_y, \\ B_y^{(2)}(\vec{k}'_\tau, \vec{r}_1) = k^2 \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 (S_x^y(\vec{k}'_\tau, \vec{k}_\tau) A_x^{(2)}(\vec{k}_\tau, \vec{r}_1) + S_y^y(\vec{k}'_\tau, \vec{k}_\tau) A_y^{(2)}(\vec{k}_\tau, \vec{r}_1)) dk_x dk_y, \end{cases} \quad (5)$$

Подставляя в (4)-(5) $\vec{A}(\vec{k}_\tau, \vec{r}_1) = \vec{A}(\vec{k}_\tau) e^{-ikk_x x_1 - ikk_y y_1 + ikk_z z_1}$, где $\vec{A}(\vec{k}_\tau)$ - амплитудный спектр однородных плоских волн ИЗ, и применяя двумерное преобразование Фурье получим следующие системы

$$\begin{cases} S_x^x(\vec{k}'_\tau, \vec{k}_\tau) A_x^{(1)}(\vec{k}_\tau) + S_y^x(\vec{k}'_\tau, \vec{k}_\tau) A_y^{(1)}(\vec{k}_\tau) = J_x^{(1)}(\vec{k}'_\tau, \vec{k}_\tau), \\ S_x^x(\vec{k}'_\tau, \vec{k}_\tau) A_x^{(2)}(\vec{k}_\tau) + S_y^x(\vec{k}'_\tau, \vec{k}_\tau) A_y^{(2)}(\vec{k}_\tau) = J_x^{(2)}(\vec{k}'_\tau, \vec{k}_\tau), \end{cases} \quad (6)$$

$$\begin{cases} S_x^y(\vec{k}'_\tau, \vec{k}_\tau) A_x^{(1)}(\vec{k}_\tau) + S_y^y(\vec{k}'_\tau, \vec{k}_\tau) A_y^{(1)}(\vec{k}_\tau) = J_y^{(1)}(\vec{k}'_\tau, \vec{k}_\tau), \\ S_x^y(\vec{k}'_\tau, \vec{k}_\tau) A_x^{(2)}(\vec{k}_\tau) + S_y^y(\vec{k}'_\tau, \vec{k}_\tau) A_y^{(2)}(\vec{k}_\tau) = J_y^{(2)}(\vec{k}'_\tau, \vec{k}_\tau), \end{cases} \quad (7)$$

где

$$\begin{cases} J_x^{(1)}(\vec{k}'_\tau, \vec{k}_\tau) = \frac{e^{-ikk_z z_1}}{4k^2 \pi^2} \int_{x_{\min}}^{x_{\max}} \int_{y_{\min}}^{y_{\max}} B_x^{(1)}(\vec{k}'_\tau, \vec{r}_1) e^{ikk_x x_1 + ikk_y y_1} dx_1 dy_1, \\ J_x^{(2)}(\vec{k}'_\tau, \vec{k}_\tau) = \frac{e^{-ikk_z z_1}}{4k^2 \pi^2} \int_{x_{\min}}^{x_{\max}} \int_{y_{\min}}^{y_{\max}} B_x^{(2)}(\vec{k}'_\tau, \vec{r}_1) e^{ikk_x x_1 + ikk_y y_1} dx_1 dy_1, \\ J_y^{(1)}(\vec{k}'_\tau, \vec{k}_\tau) = \frac{e^{-ikk_z z_1}}{4k^2 \pi^2} \int_{x_{\min}}^{x_{\max}} \int_{y_{\min}}^{y_{\max}} B_y^{(1)}(\vec{k}'_\tau, \vec{r}_1) e^{ikk_x x_1 + ikk_y y_1} dx_1 dy_1, \\ J_y^{(2)}(\vec{k}'_\tau, \vec{k}_\tau) = \frac{e^{-ikk_z z_1}}{4k^2 \pi^2} \int_{x_{\min}}^{x_{\max}} \int_{y_{\min}}^{y_{\max}} B_y^{(2)}(\vec{k}'_\tau, \vec{r}_1) e^{ikk_x x_1 + ikk_y y_1} dx_1 dy_1. \end{cases} \quad (8)$$

Из систем (6)-(7) определяются независимые компоненты матрицы рассеяния

$$\begin{cases} S_x^x(\vec{k}'_\tau, \vec{k}_\tau) = (J_x^{(1)}(\vec{k}'_\tau, \vec{k}_\tau) A_y^{(2)}(\vec{k}_\tau) - J_x^{(2)}(\vec{k}'_\tau, \vec{k}_\tau) A_y^{(1)}(\vec{k}_\tau)) / \Delta, \\ S_y^x(\vec{k}'_\tau, \vec{k}_\tau) = (J_x^{(2)}(\vec{k}'_\tau, \vec{k}_\tau) A_x^{(2)}(\vec{k}_\tau) - J_x^{(1)}(\vec{k}'_\tau, \vec{k}_\tau) A_x^{(1)}(\vec{k}_\tau)) / \Delta, \\ S_x^y(\vec{k}'_\tau, \vec{k}_\tau) = (J_y^{(1)}(\vec{k}'_\tau, \vec{k}_\tau) A_y^{(2)}(\vec{k}_\tau) - J_y^{(2)}(\vec{k}'_\tau, \vec{k}_\tau) A_y^{(1)}(\vec{k}_\tau)) / \Delta, \\ S_y^y(\vec{k}'_\tau, \vec{k}_\tau) = (J_y^{(2)}(\vec{k}'_\tau, \vec{k}_\tau) A_x^{(1)}(\vec{k}_\tau) - J_y^{(1)}(\vec{k}'_\tau, \vec{k}_\tau) A_x^{(2)}(\vec{k}_\tau)) / \Delta, \end{cases} \quad (9)$$

где $\Delta = A_x^{(1)}(\vec{k}_\tau) A_y^{(2)}(\vec{k}_\tau) - A_y^{(1)}(\vec{k}_\tau) A_x^{(2)}(\vec{k}_\tau)$.

Таким образом, для определения независимых компонент матрицы рассеяния при использовании в качестве ПЗ антенны, близкой по направленным свойствам к электрическому диполю, необходимо для каждого положения ИЗ (x_1, y_1) при определенной ориентации его плоскости поляризации (1 или 2) выполнять 2 серии планарных измерений на плоскостях расстояние между которыми не должно быть кратным $\lambda/2$. Если предположить, что количество положений ПЗ и ИЗ в плоскости одинаково и равно N , то полное количество измерений, необходимое для определения характеристик рассеяния, составит $4N^2$. На практике такое количество измерений реализовывать очень

трудно [3]. Последнее побуждает в качестве инструмента реализации изложенной идеи использовать плоскую решетку или независимо перемещаемые по горизонтали линейные решетки.

Библиографический список

1. Геруни П.М., Иванян М.И. Определение эффективной поверхности рассеяния объектов с помощью планарных измерений в зоне раскрыва. / Тезисы докл. IV Всесоюз. конф. "Метрологическое обеспечение антенных измерений", г. Ереван. 1987 г. С.398-400.
2. Вилькоцкий М.А., Гринчук А.П., Громыко А.В., Михасенко А.Г. Разработка голографического метода измерения характеристик рассеяния объекта. / Тезисы докл. V Всесоюз. конф. "Метрологическое обеспечение антенных измерений", г. Ереван. 1990 г. С.277-280.
3. Barry J.C., Charles E. Ryan Jr. Near-field scattering measurements for determiniing complex target RCS // IEEE Trans. Ant. and Prop. 1989. vol. AP-37. N5. P.576-5.

УДК 625.09 + 629

УНИФИЦИРОВАННЫЙ КОМПЛЕКТ СРЕДСТВ ДОСТАВКИ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

А.В. Зыкун, М.В. Кульбеда, Л.С. Успанова

ОАО «Конструкторское бюро специального машиностроения»
(ОАО «КБСМ»)

Поставлена задача разработки унифицированного комплекта средств доставки космических аппаратов.

Развитие ракетно-космической отрасли, появление новых высокотехнологичных спутников выявило необходимость в средствах транспортировки для доставки космических аппаратов (КА) от завода-изготовителя до космодрома без повреждений. Различные внешние факторы – температура, влажность, перегрузки – могут вывести из строя сложные и чувствительные к воздействиям этих факторов системы спутника. Для ограничения внешних воздействий во время перевозки изделий было решено использовать специальный комплекс, разработанный в ОАО "КБСМ".

При проектировании комплекта средств доставки (КСД) были решены следующие задачи:

- создание сцепа из вагона изделия и вагона обеспечения;
- создание систем измерений, контроля и регулирования параметров температурно-влажностного режима (ТВР);
- обеспечение действующих перегрузок на космический аппарат в допустимых пределах.

КСД предназначен для транспортировки космического аппарата между заводом-изготовителем и эксплуатирующей организацией, перемещения в пределах эксплуатирующей организации с повышенными требованиями к комфортности условий при перевозке космического аппарата и обслуживающего персонала, а также для транспортировки с гарантией сохранения технических характеристик спутника, обеспеченных при сборке в заводских условиях.

КСД представляет собой железнодорожную секцию - сцепку из двух вагонов, состоящую из вагона обеспечения и вагона изделия, эксплуатация которой осуществляется в составе специальных поездов на магистральных путях железных дорог Российской Федерации.

КСД сохраняет работоспособность при следующих климатических условиях:

- Любое время года и суток при температуре воздуха от минус 40 °С до +40 °С при атмосферном давлении 700-800 мм.рт.ст. (91-108кПа) и относительной влажности воздуха до 98 % при 25°С.
- При воздействии атмосферных осадков, пыли, песка, солнечной радиации.
- При скорости ветра у поверхности земли до 25 м/с на стоянках.

В состав КСД входят вагон обеспечения, вагон изделия, межвагонное оборудование, системы автоматизированного управления и контроля, контроля и регистрации условий транспортировки, автоматического обнаружения пожара и тушения пожара вагонов обеспечения и изделия, поддержания чистотно-температурно-влажностного режима.

КСД оборудован двумя видами связи: межвагонной шлемофонной и радиосвязью с машинистом локомотива.

КСД обеспечивает требуемые условия для перевозки КА и обслуживающего персонала с помощью оборудования и систем, осуществляющих:

- Охлаждение, нагрев и осушку воздуха в грузовом помещении вагона изделия
- Очистку воздуха до заданных параметров;
- Поддержание требуемых параметров воздуха в вагоне изделия (автоматически, по сигналам датчиков температуры, давления, влажности);
- Непревышение заданных перегрузок изделия;
- Контроль и регистрацию параметров условий транспортирования;
- Пожаробезопасность;
- Непрерывную работу системы контроля и регистрации условий транспортирования, системы автоматизированного управления и контроля, системы электроснабжения в течение 14 суток;
- Заправку КА;
- Необходимую связь;
- Охрану;

Транспортировка КА с помощью КСД осуществляется локомотивом в составе эшелона. Эшелон для транспортировки состоит из вагона с комплектующими, вагонов охраны, и двух вагонов КСД. Эшелон движется по путям РЖД по категории КПЗ, предусматривающей выполнение следующих требований: скорость движения не должна превышать 70 км/ч, манёвры с вагонами КСД должны осуществляться плавно, без резких толчков и рывков.

Вагон обеспечения состоит из 13 помещений и предназначен для размещения в нём оборудования и систем, обеспечивающих: требуемые условия транспортировки, их контроль и регистрацию, поддержание требуемого технического состояния КА, жизнеобеспечение обслуживающего персонала и размещение запасных частей, инвентаря и принадлежностей (ЗИП).

Вагон обеспечения представляет собой цельнометаллический теплоизолированный железнодорожный вагон специальной конструкции, оснащенный двумя четырехосными тележками.

В вагоне обеспечения установлены оборудование и системы, создающие комфортные условия труда и отдыха обслуживающего персонала и обеспечение установленных требований при транспортировке КА, также обеспечивают водой, теплом, освещением, связью, хранение продуктов питания, подачу топлива для дизель-электрической установки, пополнение маслом работающих дизелей, подключение к внешнему источнику электроснабжения, пожаротушение.

Вагон изделия состоит из 4 помещений и предназначен для размещения КА, оборудован выдвинутой рамой и элементами технологических систем контроля и обеспечения условий транспортировки и обслуживания спутника в процессе заправки и кантования.

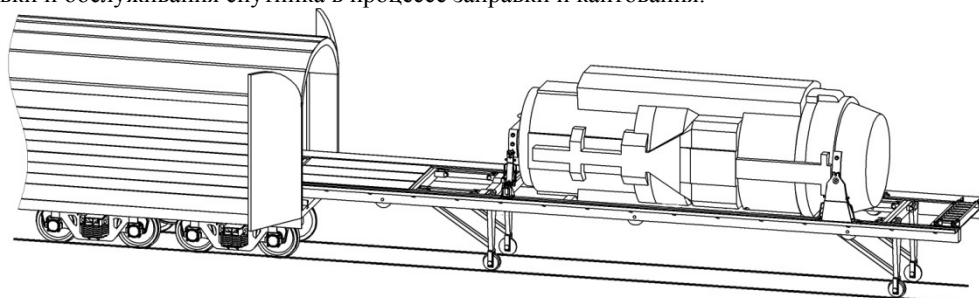


Рис. 1. Космический аппарат на выдвинутой раме.

Вагон изделия представляет собой цельнометаллический теплоизолированный железнодорожный вагон, в состав которого входят:

- экипажная часть;

- выдвижная рама;
- пульт управления рамой;
- оборудование для перемещения и крепления рамы (лебёдка, муфта, редуктор, натяжное устройство, сцепка-упор);
- электрооборудование;
- средства контроля;

Межвагонное оборудование предназначено для обеспечения сцепления вагона обеспечения и вагона изделия и осуществления электрических соединений оборудования систем, установленных в вагонах, а также поддержания чистотно-температурно-влажностного режима в вагоне изделия. Межвагонное оборудование включает в себя кабели межвагонной кабельной сети (МКС), автосцепное устройство, межвагонные воздуховоды и вспомогательное оборудование.

Таким образом, результатом ряда исследовательских и конструкторских разработок стало создание уникального комплекса, обеспечивающего комфортные условия транспортировки космических аппаратов.

Накопленный опыт и методы, применённые при создании КСД, могут быть использованы при создании унифицированного комплекса, предназначенного для транспортировки ряда КА, обладающих различными габаритами, массой и другими параметрами.

Для этого необходимо сформировать облик теоретического КА, имеющего габаритные, массовые и эксплуатационные параметры перекрывающие параметры каждого из КА, транспортировка которых предусматривается этим унифицированным КСД.

Для обеспечения работы КСД с семейством КА необходимо проведение следующих мероприятий:

- уменьшение толщины силового набора стенки вагона изделия, применение прогрессивных силовых конструкций, выполненных из высокопрочных материалов;
- уменьшение толщины теплоизоляции, повышение мощности систем обеспечения температурно-влажностного режима, применение прогрессивных теплоизоляционных материалов;
- применение универсальных опорных устройств для КА, имеющих специальные ложементы и поступающие на загрузку вместе с этими ложементами;
- создание универсальной выдвижной рамы и устройств её движения;
- создание универсальных опор с возможностью менять расположение точек крепления в зависимости от габаритов КА.

Заключение

Создание такого унифицированного КСД в интересах различных поставщиков КА возможно обеспечить солидарным финансированием этих работ, очевидна экономическая целесообразность такого подхода. Применение единообразной системы для транспортировки большого ряда различных КА позволит не только сократить расходы и время на предстартовые проверки, но и уменьшить затраты на создание новых или адаптацию имеющихся средств доставки.

ВЕКТОРНЫЙ АЛГОРИТМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УСИЛИЯ СРАБАТЫВАНИЯ В ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ПЛАСТИЧЕСКИХ ДЕМПФЕРАХ

Ю.Л. Рутман, Я.С. Солнцева

ОАО «Конструкторское бюро специального машиностроения»
(ОАО «КБСМ»)

Рассматривается работа пространственного пластического демпфера (ПД), действие которого основано на пластической деформации стержневых элементов. В статье предлагаются параметрические зависимости для определения усилия срабатывания при движении защищаемого объекта или в плоскости ПД, или в плоскости, перпендикулярной ПД.

Введение. Пластические демпферы являются распространенным средством снижения кратковременных динамических нагрузок на оборудование сооружений. Но без расчета динамических процессов применение ПД может быть неэффективным и даже ошибочным. Динамический расчет расположенного на ПД оборудования предполагает, в первую очередь, знание усилий пластического срабатывания ПД. Эти усилия определяются расчетом пластических элементов ПД, исходя из концепции жесткопластического тела, т.е. из решения задачи о предельном равновесии этих элементов [2].

Часто в качестве пластически демпфирующего элемента используют изогнутый по полуокружности прутки с круглым или с прямоугольным сечением [1] (рис. 1).



Рис. 1 Пластический демпфер с криволинейно-стержневыми элементами.

Для таких пластических элементов решение задачи предельного равновесия было получено [1] при условии, что конец B (рис. 2) этого элемента движется строго вдоль какой либо из осей X , Y , Z .

Целью настоящей статьи является определение предельных усилий для указанных пластических элементов при условиях:

- конец B движется в произвольном направлении в плоскости XZ ;
- конец B движется в произвольном направлении в плоскости XY .

Определение усилия срабатывания для случая движения конца упругопластического элемента в плоскости XZ . Рассмотрим движение сечения B в плоскости XZ . Геометрический анализ показывает, что при таком движении возникнут пластические шарниры в сечениях B и C . Если движение сечения B задается вектором \vec{U} , то вектор угловой скорости $\vec{\omega}$ элемента BC после достижения им предельного равновесия будет перпендикулярен \vec{U} (рис. 2).

Выразим угол θ , определяющий направление движение конца B , через компоненты угловых скоростей ω_{CX} и ω_{CZ} .

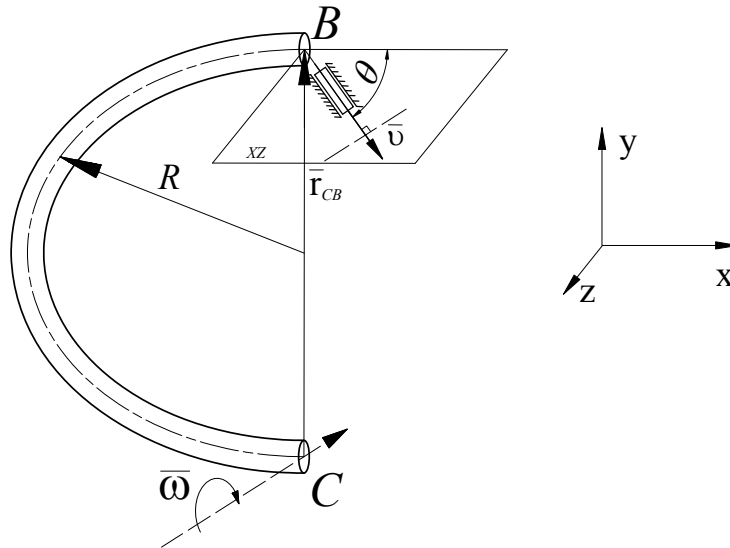


Рис. 2 Движение конца В в плоскости XZ.

Исходя из выше сказанного, имеем

$$\vec{v}_B = \vec{\omega}_C \times \vec{r}_{CB}; \quad (1 \text{ а})$$

$$\vec{\omega}_C = \mathbf{I} \cdot \omega_{CX} + \mathbf{K} \cdot \omega_{CZ}; \quad \vec{r}_{CB} = \mathbf{J} \cdot 2 \cdot R; \quad (1 \text{ б})$$

$$\vec{v}_B = |\vec{v}_B| \cdot (\mathbf{I} \cdot \cos \theta + \mathbf{J} \cdot \sin \theta); \quad (1 \text{ в})$$

$$|\vec{v}_B| = 2R \sqrt{\omega_{CX}^2 + \omega_{CZ}^2}; \quad (1 \text{ г})$$

где $\vec{v}_B, \vec{\omega}_C$ – определенные с точностью до множителя вектор скорости сечения В и вектор углового поворота сечения С (в пластическом шарнире) соответственно;

\vec{r}_{CB} – радиус-вектор;

θ – угол, определяющий направление движение конца В;

$\mathbf{I}, \mathbf{J}, \mathbf{K}$ – орты в координатной системе XYZ.

Подставляя (1б) и (1г) в (1а) в матричной записи получаем:

$$2R \sqrt{\omega_{CX}^2 + \omega_{CZ}^2} \cdot \begin{pmatrix} \cos \theta \\ 0 \\ \sin \theta \end{pmatrix} = 2R \begin{pmatrix} \omega_{CZ} \\ 0 \\ \omega_{CX} \end{pmatrix}. \quad (2 \text{ а})$$

Таким образом

$$\tan \theta = \frac{\omega_{CX}}{\omega_{CZ}}. \quad (2 \text{ б})$$

Теперь выразим компоненты угловых скоростей через моменты в сечении В и соответственно через θ .

В качестве критерия появления пластического шарнира в сечении примем квадратичное условие [3]:

$$\frac{M_{BX}^2}{M_{TX}^2} + \frac{M_{BZ}^2}{M_{TZ}^2} = 1, \quad (3)$$

где M_{TZ} – предельный момент сечения при изгибе;

M_{TX} – предельный момент сечения при кручении.

В соответствии с постулатом Друккера [3]:

$$\omega_{BK} = \lambda \frac{M_{BK}}{M_{TK}^2}; \quad \omega_{BZ} = \lambda \frac{M_{BZ}}{M_{TZ}^2}, \quad (4)$$

где λ – произвольный множитель.

Образование пластических шарниров в сечениях B и C превращает элемент BC в механизм, поэтому он поворачивается как твердое тело, значит

$$\omega_{BK} = \omega_{CK}, \quad \omega_{BZ} = \omega_{CZ}, \quad (5)$$

Подставляя (5) и (4) в (2), получим

$$\tan \theta = \frac{M_{TK}^2}{M_{TZ}^2} \cdot \frac{M_{BK}}{M_{BZ}}, \quad (6)$$

Чтобы получить искомые зависимости $P_{BK} = f_1(\theta)$, $P_{BZ} = f_2(\theta)$, необходимо M_{BK}, M_{BZ} выразить через P_{BK}, P_{BZ} .

Эти соотношения вытекают из уравнения равновесия узла C :

$$M_C + M_B + r_{CB} \times P_B = 0. \quad (7)$$

Учитывая (из антисимметрии задачи), что

$$M_C = M_B, \quad (8)$$

из (7) получаем

$$P_{BZ} = -\frac{M_{BK}}{R}; \quad P_{BK} = \frac{M_{BZ}}{R}. \quad (9)$$

Таким образом, из (6) и (9)

$$\tan \theta = -\frac{M_{TK}^2}{M_{TZ}^2} \cdot \frac{P_{BZ}}{P_{BK}}. \quad (10)$$

Из соотношений (10), (9) и (3) следует уравнение

$$\frac{M_{TK}^4 \cdot P_{BK}^2 \cdot R^2}{M_{TK}^6} \tan^2 \theta + \frac{P_{BK}^2 \cdot R^2}{M_{TZ}^2} = 1. \quad (11)$$

Обозначив

$$P_{TZ}^2 = \frac{M_{TZ}^2}{R^2}; \quad \frac{M_{TK}^6}{M_{TK}^2} = \beta; \quad \frac{M_{TK}^2}{M_{TZ}^2} = \alpha, \quad (12)$$

Из (11) получаем

$$\frac{P_{BK}}{P_{TZ}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \beta \tan^2 \theta}} \quad (13 a)$$

А из (10) и (13a) имеем

$$\frac{P_{BZ}}{P_{TZ}} = -\frac{1}{\alpha} \tan \theta \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + \beta \tan^2 \theta}} \quad (13 b)$$

Соотношения (13) являются искомыми. Они дают возможность определить силы сопротивления ПД в зависимости от направления движения, т.е. от угла θ . Эти же соотношения можно трактовать как параметрическое задание поверхности текучести ПД, соответствующее его жесткому нагружению – заданному движению конца B .

Если $\theta = 0$, то

$$P_{BK} = P_{TZ} = \frac{M_{TK}}{R}; \quad P_{BZ} = 0. \quad (14 a)$$

Если $\theta = \frac{\pi}{2}$, то

$$P_{Rx} = 0; P_{Rz} = -\frac{1}{\alpha\sqrt{\beta}} = -\frac{M_{Tx}}{R}. \quad (14 \text{ б})$$

Определение усилия срабатывания для случая движения конца упругопластического элемента в плоскости XY. Рассмотрим движение конца В в плоскости XY. Геометрический и статический анализ показывает, что такое движение есть результат превращения элемента ВС в механизм по одной из трех нижеперечисленных кинематических схем (рис. 3):

- пластические шарниры образуются в сечениях В и D (рис. 3а);
- пластические шарниры образуются в сечениях В и D' (рис. 3б);
- пластические шарниры образуются в сечениях А, В и С (рис. 3в).

Из геометрических соображений ясно, что точка D есть точка пересечения перпендикуляра к \vec{v} (к направлению движения В) с полуокружностью ВС. Точка D' антисимметрична по отношению к D. Она получается пересечением с ВС перпендикуляра, опущенного из С на \vec{v} .

Если шарниры образуются в В и D, то движение конца В может происходить в секторах 1-1' (рис. 4). Если шарниры образуются в В и D', то В может двигаться в секторах 2-2'. Если шарниры образуются в А, В и С, то движение В может происходить в любом направлении. Однако, из уравнений статического равновесия следует, что три шарнира образуются, если сила сопротивления пластического элемента направлена по оси Y, т.е.

$$\vec{P}_B = \begin{pmatrix} 0 \\ P_{Ymax} \end{pmatrix}, \quad (15)$$

где $P_{Ymax} = \frac{2M_{Tx}}{R}$ [1]

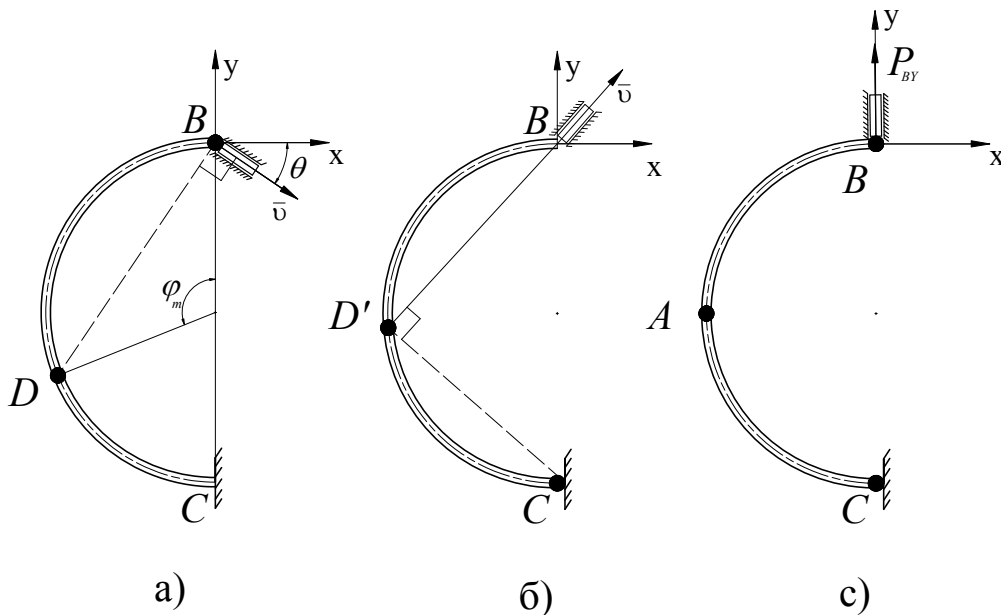


Рис. 3 Схемы образования пластических шарниров при движении конца В в плоскости XY

В этом случае уравнения равновесия выполняются, если углы поворотов сечений в пластических шарнирах В и С имеют противоположные знаки.

Это условие налагает следующее ограничение: движение конца В может происходить только в пределах сектора 3-3' (рис. 4).

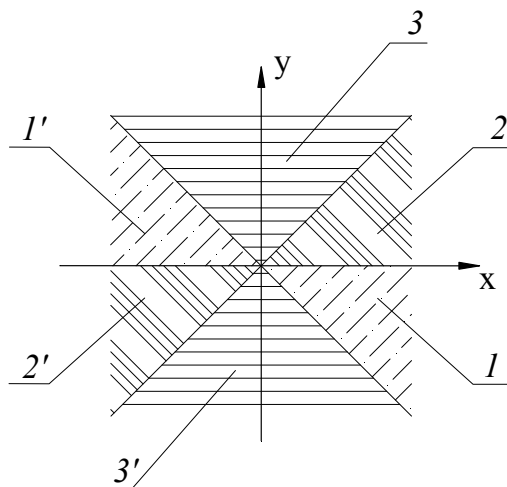


Рис. 4. Зоны перемещений, соответствующие различным кинематическим схемам.

Таким образом, указанный выше перечень кинематических схем охватывает все направления движения конца В.

При образовании шарниров в В и D или В и D' соотношение между P_{BX} и P_{BY} зависит от угла θ . Установим эту зависимость.

Обозначим угол между радиус-вектором, направленным в точку D, и осью Y (рис. 3) через φ_m и текущий угол через φ . Изгибающий момент в сечениях элемента BD изменяется от $+M_{TZ}$ до $-M_{TZ}$, где M_{TZ} – предельный момент сечения при изгибе относительно оси Z.

Таким образом

$$M_{DZ} = M_{TZ} - P_{BX}P(1 - \cos \varphi_m) - P_{BY}R \sin \varphi_m = -M_{TZ}. \quad (16)$$

Из (16) получаем

$$P_{BX}P(1 - \cos \varphi_m) - P_{BY}R \sin \varphi_m = 2M_{TZ}. \quad (17)$$

При этом

$$M_{DZ} = \max_{\varphi} |M_{DZ}| = \max_{\varphi} |M_T - P_{BX}R(1 - \cos \varphi) - P_{BY}R \sin \varphi|, \quad (18)$$

Следовательно

$$M'_{Z\varphi} = P_{BY}R \sin \varphi_m - P_{BY}R \cos \varphi_m = 0, \quad (19)$$

Из (17) и (19) следуют зависимости

$$P_{BY} = \frac{2M_{TZ}}{R} \cdot \frac{\sin \varphi_m}{1 - \cos \varphi_m}, \quad (20 \text{ a})$$

$$P_{BX} = -\frac{2M_{TZ}}{R} \cdot \frac{\cos \varphi_m}{1 - \cos \varphi_m}, \quad (20 \text{ б})$$

Как следует из рис. 3

$$\varphi_m = \pi - 2\theta, \quad \pi \leq \varphi_m \leq \frac{\pi}{2}. \quad (21)$$

Таким образом, уравнения (20), (21) аналогичны соотношениям (13), (14). Они описывают связь между усилиями сопротивления ПД и направлением движения конца В, если это движение происходит в плоскости XY в секторах 1-1', 2-2' (рис. 4). Если движение происходит в секторах 3-3', то усилие сопротивления ПД остается постоянным, направленным по оси Y и равно

$$P_{Ymax} = \frac{2M_{TK}}{R}.$$

Если $\varphi_m = \pi$, то

$$P_{BY} = 0; P_{BK} = -\frac{M_{TK}}{R}, \quad (22 a)$$

что совпадает с (14 б).

Если $\varphi_m = \frac{\pi}{2}$, то

$$P_{BK} = 0; P_{BY} = \frac{M_{TK}}{R}, \quad (22 б)$$

что совпадает с (15).

Производная от функции, описываемой параметрическими уравнениями (20), терпит разрыв при $\varphi_m = \frac{\pi}{2}$. Это значит, что в кривой текущей точки $(0, P_{Ymax})$ – «угловая». В этой точке нормалью к кривой, а, следовательно и направлением движения В, может считаться любая прямая, лежащая в секторе $3-3^\circ$.

Заключение

Предложенные выше аналитические зависимости позволяют устанавливать усилия сопротивления и, следовательно, выбирать конструктивные параметры рассмотренных пластических демпферов для двух наиболее важных случаев их использования – движение защищаемого объекта или в плоскости ПД, или в плоскости, перпендикулярной ПД.

Библиографический список

1. ОСТ 92-1312-87 Амортизаторы упругопластические для защиты аппаратуры.
2. Гуськов В.Д., Рутман Ю. Л. Пространственные пластические демпферы, методы их расчета и экспериментальные исследования. Труды Четвертой Международной научно-практической конференции «Окуневские чтения», 2004, СПб
3. Ерхов М. И. Теория идеально-пластических тел и конструкций. М.: Наука, 1978.

УДК 539.4+620.17

КОНЦЕНТРАЦИЯ НАПРЯЖЕНИЙ В ОСОБЫХ ТОЧКАХ

*Н.А. Зорнина, А.С. Федоров**

ОАО «Санкт-Петербургское Морское бюро машиностроения «Малахит»
(ОАО «СПМБМ «Малахит»)

*Санкт-Петербургский государственный морской технический университет
(СПбГМТУ)

Особыми точками в материале будем называть такие, в которых при исследовании напряженного состояния методами линейной теории упругости напряжения стремятся к бесконечности.

Вместе с напряжениями к бесконечности стремятся и деформации. Большие деформации сдвига принципиально меняют геометрию поверхности тела даже в тех случаях, когда они возникают в сколь угодно малой области. Показано, что в задаче о напряженно-деформированном состоянии тела эти изменения приводят к появлению качественно новых решений.

Рассматривается классическая задача о напряженном состоянии вблизи жестко закрепленного торца круглого растягиваемого стержня (Рис. 1). На рисунке изображен стержень нагруженный растягивающей силой F на торце и показаны координатные оси. Вдали от места приложения силы и места закрепления в стержне возникают нормальные напряжения равномерно распределенные по сечению: $\sigma_z = F/A$. Для численного моделирования напряженного состояния использована модель,

представляющая собой круглый образец радиусом 10 см, длиной 40 см. Приложенная сила вызывает в образце номинальные напряжения равные 200 Мпа. Задача решается как осесимметричная.

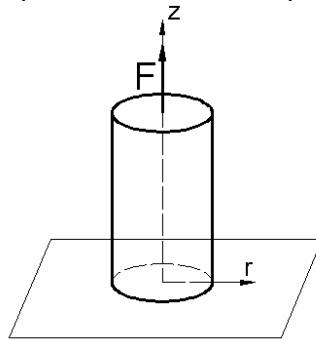


Рис. 1. Стержень.

Вблизи закрепления напряжения по сечению распределены неравномерно. На контуре в сечении закрепления возникает концентрация напряжений, причем при приближении к контуру к бесконечности стремятся не только напряжения σ_z , но и остальные компоненты, в частности касательные напряжения τ_{yz} . Боковая поверхность свободна от напряжений, на ней $\tau_{yz}=0$. Следовательно, в особых точках нарушается закон парности касательных напряжений.

Такого рода сингулярности встречаются в инженерной практике, например в задачах, где соединяются разнородные материалы с разными упругими характеристиками. Такие проблемы возникают при расчете паяных или клеевых соединений: материал припоя или клея существенно отличается от материала соединяемых элементов.

Напряженное состояние вблизи такого концентратора напряжения исследовалось методом конечных элементов. Был рассмотрен ряд типов конечных элементов и вариантов конечно-элементных сеток, отличающихся числом элементов и степенью сгущения сетки к углу, в котором исследуется напряженное состояние.

В результате была найдена сетка, при дроблении которой напряженное состояние значительно меняется только в нескольких конечных элементах, прилегающих к сингулярной точке.

Наилучшими признаны осесимметричные четырехугольные элементы с 8 степенями свободы. Сложная конечно-элементная сетка состоит из двух областей, малая область 1, с мелкой конечно-элементной сеткой, располагается вблизи концентратора напряжений.

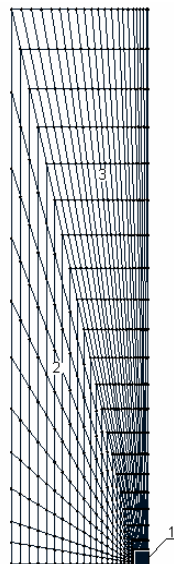
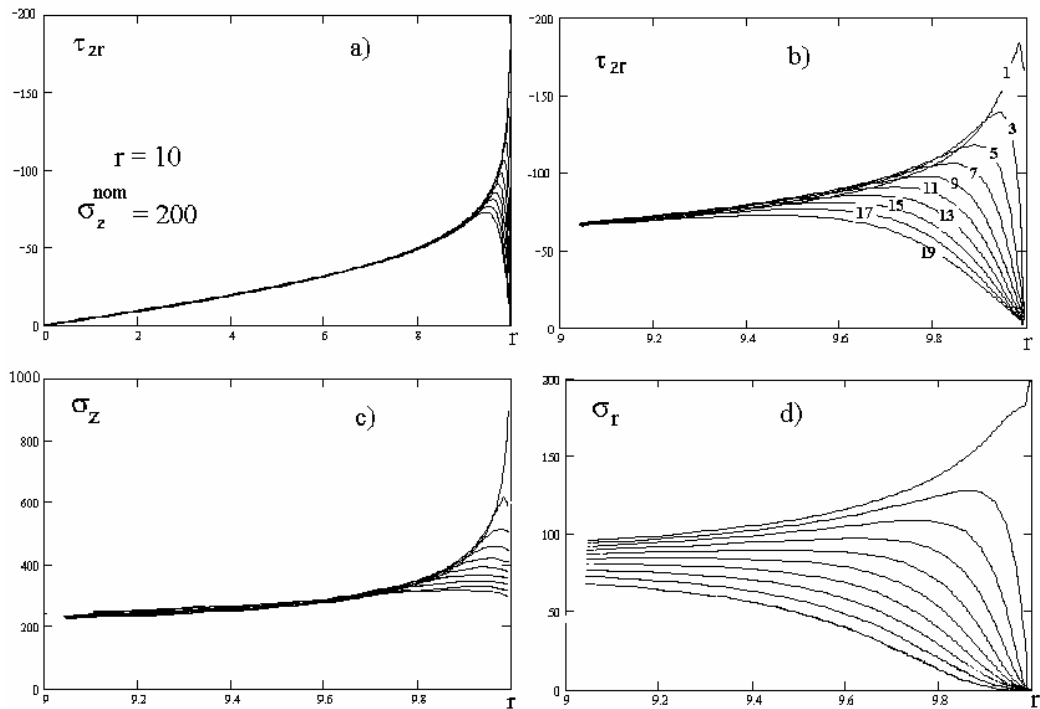


Рис. 2. Сложная сетка прямоугольных конечных элементов.

Результаты расчета показаны на рис. 3.

Показаны распределения по радиусу касательных и нормальных напряжений в сечениях прилегающих к заделке. На Рис.3б цифры около кривых соответствуют расстояниям от плоскости закрепления до сечения в тысячных долях радиуса стержня. На рисунках 3а и 3б показаны касательные напряжения по всему сечению и в области, прилегающей к концентратору. На Рис. 3с и Рис. 3д показаны нормальные напряжения σ_z и σ_r .



Цифрами на кривой обозначены расстояния от плоскости закрепления в тысячных долях радиуса.
Рис. 3. Распределение касательных и нормальных напряжений около особой точки.

Как видно из рисунка в слое, ближайшем к сечению закрепления, нарушаются граничные условия: касательные напряжения τ_{rz} и нормальные напряжения σ_r не стремятся к нулю. Во всех остальных сечениях граничные условия и закон парности выполняются практически точно. При дроблении конечно-элементной сетки область, в которой нарушаются граничные условия, может быть сделана сколь угодно малой.

Никакой материал бесконечных напряжений выдержать не может, решение проблемы следует искать на путях, позволяющих раскрыть сингулярность.

Рассмотрим вариант, в котором боковая поверхность стержня вблизи закрепления становится конической с образующей составляющей некоторый угол α к оси стержня (Рис. 4).

Покажем, что можно найти такое значение этого угла, при котором будут удовлетворены граничные условия в месте сопряжения с основанием. Граничные условия в сечении закрепления будут $\epsilon_x=0$, $\epsilon_y=0$, а на боковой поверхности $\sigma_\alpha=0$, $\tau_\alpha=0$. Для изотропного линейного упругого тела в осесимметричной задаче эти граничные условия одновременно выполняются при угле наклона обра-

зующей $\alpha = \text{Arctg} \sqrt{\frac{\mu}{1-\mu}}$, где μ - коэффициент Пуассона. При $\mu=0.3$ угол наклона образующей составляет 0.58 радиана или 33.2° . В условиях плоского напряженного состояния угол $\alpha = \text{Arctg} \sqrt{\frac{\mu}{1-\mu}}$. При $\mu=0.3$ угол наклона образующей составляет 0.501 радиана или 28.7° .

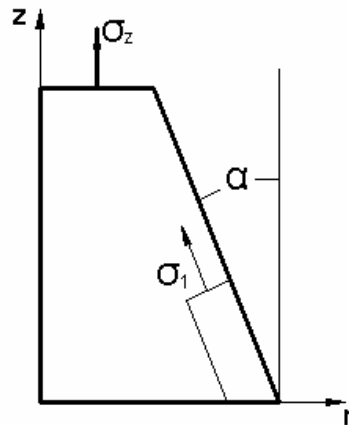


Рис. 4. Наклонная образующая.

Напряженное состояние при этих значениях углов теряет сингулярность.

Были выполнены конечно-элементные расчеты на сетке с образующей, наклоненной к оси под определенным углом. Элемент сетки и результаты расчета показаны на Рис. 5.

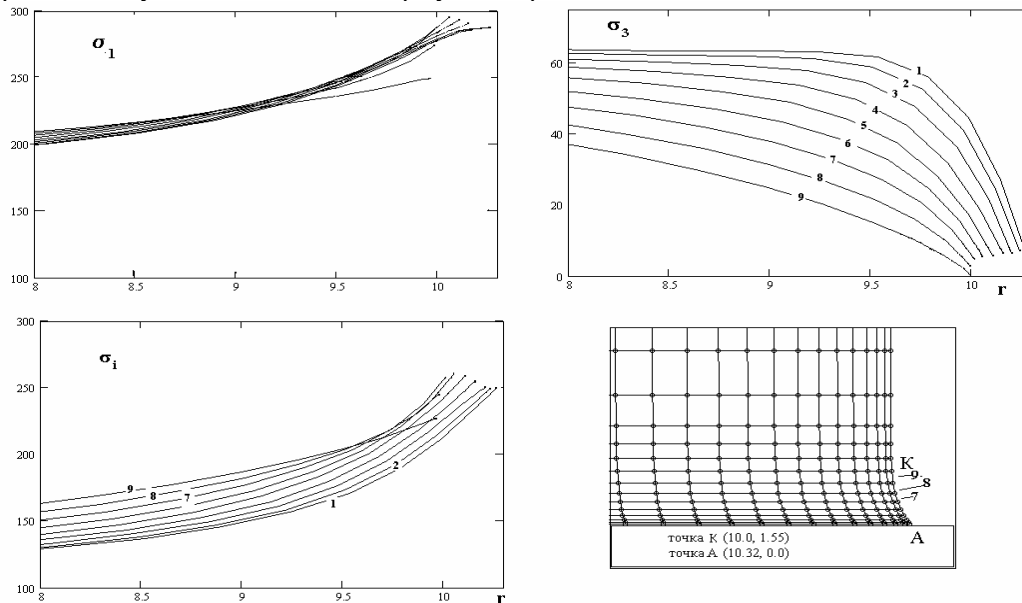


Рис. 5. Приведены главные напряжения, интенсивности напряжений. Фрагмент сетки.

Из рисунка видно, что сингулярность полностью исчезла. Коэффициент концентрации напряжений не сильно отличается от единицы. Предполагается, что образующая цилиндрического образца, которая в начальном состоянии перпендикулярна основанию, наклоняется вследствие больших, но конечных деформаций сдвига, вызванных касательными напряжениями. Полный и корректный анализ задачи требует ее решения в геометрически нелинейной постановке. В настоящее время такого решения еще не получено.

Можно предполагать, что предложенная схема решения может быть эффективна в задачах механики трещин в пластических материалах. Несомненно, что продуктивно ее использование при расчетах и проектировании эффективных соединений (клеевых, паяных и т.п.) разнородных изотропных и анизотропных материалов.

**ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ ДВИЖЕНИЯ КОНТЕЙНЕРА НА МОМЕНТ
ЕГО ВЫХОДА ИЗ ВЕРТИКАЛЬНОЙ ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ ПУСКОВОЙ
УСТАНОВКИ ДВИЖУЩЕГОСЯ ПОДВОДНОГО НОСИТЕЛЯ МЕТОДАМИ
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ГИДРОДИНАМИКИ**

А.В. Сумин

ОАО «Санкт-Петербургское Морское бюро машиностроения «Малахит»
(ОАО «СПМБМ «Малахит»)

Рассмотрим задачу выброса контейнера из вертикальной пусковой установки (ПУ) гидравлического типа. ПУ расположена на движущемся подводном носителе с заглублением в его корпус, вследствие чего контейнеру перед попаданием в сносящий горизонтальный поток необходимо преодолеть технологическую нишу. В целях уменьшения опрокидывающего момента контейнера на выходе из ниши, установлен щит со стороны действия потока.

Процесс использования контейнера можно условно разделить на несколько стадий. Первая – разгон в ПУ, осуществляемый, в данном случае, кольцевым поршнем (см. рис. 1 **Ошибка! Источник ссылки не найден.**). Техническими условиями (ТУ) либо техническим заданием (ТЗ) на ПУ регламентируется конечная скорость контейнера. При разгоне контейнер воспринимает различного рода нагрузки (ускорение, давление, опорные реакции), максимальные значения которых не должны превышать заявленных в его эксплуатационно-технических характеристиках (ЭТХ). На этой стадии движение контейнера можно считать одномерным, а выталкивающую жидкость идеальной. Наиболее оправданным является применение методов классической гидравлики, пневматики и механики. Результаты оценок – диапазоны изменения контролируемых параметров в зависимости от внешних условий и режимов работы ПУ, на которые, в случае невыполнения требований ЭТХ, накладываются ограничения.

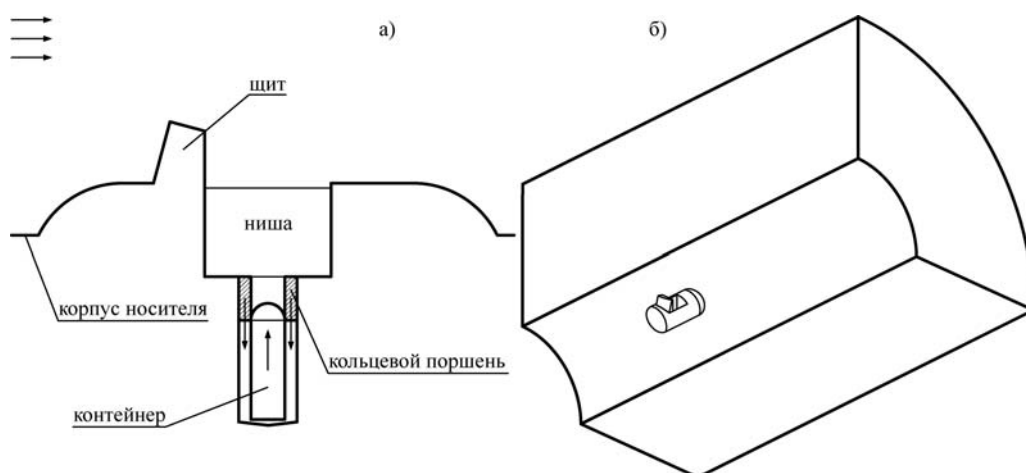


Рис. 1. Структура ПУ (а) и расчётная область для определения параметров движения контейнера (б).

Последняя стадия – выполнение поставленной задачи. Здесь в качестве исходных данных используются параметры движения, соответствующие допустимым внешним условиям и режимам работы ПУ исходя из воздействий на контейнер при разгоне, свободном движении через нишу и в поле действия щита. На достаточном удалении от водной поверхности, сделав поправку на поле действия носителя в непосредственной от него близости, можно принять допущение о движении контейнера в безграничной среде, а значит для оценки кинематических параметров целесообразно применение методов классической гидродинамики. Результат оценок – заключение о возможности и

эффективности выполнения контейнером поставленной задачи, по результатам которого также могут быть пересмотрены допустимые внешние условия и режимы работы ПУ.

Расчётная оценка процессов происходящих на промежуточных стадиях (расхождение с элементами конструкции ПУ и носителя) представляет трудности. Это связано со сравнительно небольшой массой контейнера и с тем, что он должен преодолеть значительный путь через область возмущённой среды. Ввиду сильной турбулизации потока за щитом, использование допущений, а значит и методов классической гидродинамики является недопустимым.

Эта задача может быть решена применением физического моделирования. Такой подход даёт наиболее достоверные результаты, но, учитывая необходимость длительной подготовки стенда и проведения большого количества испытаний, является самым затратным.

Сейчас широкое распространение для решения подобных нестационарных задач, характеризующихся слабой применимостью к ним методов классической гидродинамики, получили вычислительные методы. Учитывая значительные возможности современных ЭВМ, этот подход позволяет добиться более высокой точности, чем аналитические методики, при меньшей стоимости в сравнении с экспериментами. Особенностью применения является необходимость многократного перестроения сетки описывающей расчётную область, исходя из результатов получаемых в процессе расчёта.

В данной работе рассмотрен процесс определения параметров движения контейнера и проверка его безударного расхождения с элементами конструкции ПУ методом конечных объёмов, средствами коммерческого кода ANSYS FLUENT. Расчёт реализуется на тетраэдральной сетке, что связано с трудностями автоматического перестроения сеток других видов.

Упростим задачу, приняв следующие допущения:

- носитель является хорошо обтекаемым телом вращения и движется прямолинейно;
 - влияние надстроек и прочих, не относящиеся к ПУ, элементов конструкции носителя пренебрежимо мало;
 - во внимание не принимается наличие кольцевого поршня, при этом разгон контейнера осуществляется по предопределённому закону.
 - начальное положение контейнера в ПУ отличается от того которое имело бы место в действительности (для упрощения перестраивания сетки в начальные моменты движения);
- При решении необходимо учесть следующие характерные особенности:
- существенное изменение геометрии расчётной области с возможностью образования малых зазоров между её границами, описывающими ПУ и контейнер;
 - последовательный переход контейнера из зоны преобладания вертикальных течений в горизонтальный сносящий поток через область взаимодействия;
 - возможность появления и исчезновения отрывных зон течения;
 - влияние на движение контейнера возмущений потока, создаваемых конструкцией выше по потоку;
 - необходимость получения значений главного вектора и момента при движении контейнера на каждом расчетном шаге.

Расчётная область для решения задачи представлена на рис. 1 **Ошибка! Источник ссылки не найден.** На входной границе недопустимо задание произвольного распределения параметров потока (скорости, турбулизации), так как оно будет существенным образом зависеть от формы носителя и места расположения ПУ.

Рассмотрим основные этапы расчета перемещения контейнера (Рис. 2).

Итак, первый этап расчёта – получение распределений скорости и параметров турбулизации осесимметричного корпуса носителя в сечении, соответствующем входной границе целевой расчётной области. Расчёты проводятся применительно к различным скоростям хода.

Второй этап – получение картины стационарного обтекания ПУ. В качестве граничных условий используются результаты первого этапа.

Третий этап – разгон контейнера. Разгон осуществляется либо с постоянным ускорением, либо в соответствии с результатами расчёта работы ПУ, что в дальнейшем не столь важно. Окончание расчёта соответствует потере контейнером жёсткой связи с поршнем. Из предварительного расчёта режимов и условий работы ПУ должен быть получен интервал скоростей, которыми контейнер может обладать на этот момент.

Последний этап – свободное движение контейнера под действием внешних гидродинамических сил и набранной до этого скорости. Окончание расчёта – выход из поля действия щита ПУ, который можно определить, к примеру, вертикальным перемещением.



Рис. 2. Основные этапы расчёта перемещения контейнера.

Увеличение точности расчёта возможно более детальным учётом геометрии носителя и конструкции ПУ, что наиболее оправдано в рамках комплексной оценки характеристик работы носителя и его отдельных узлов методами вычислительной гидродинамики.

Пакет ANSYS FLUENT в полной мере реализует изложенный подход и позволяет автоматизировать выполнение множества вариантов расчёта применением пользовательского программирования и журналирования.

УДК 629.7.01: 624.044

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ БЕССЕТОЧНЫХ МЕТОДОВ ДЛЯ РАСЧЕТА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ

К.В. Мелихов

ОАО «Конструкторское бюро специального машиностроения»
(ОАО «КБСМ»)

Рассмотрен вопрос применения бессеточных методов при расчете аэрокосмических конструкций. Рассмотрены конкретные примеры расчетов, на которых показана эффективность этих методов по сравнению с методом конечных элементов.

Аэрокосмическая промышленность является отраслью, предъявляющей высочайшие требования к надежности конструкций. При этом ее существенным отличием от многих других отраслей машиностроения является требование массового совершенства конструкции.

В настоящее время основным численным методом расчета ответственных несущих конструкций является метод конечных элементов. Популярность этого метода в расчетной практике обусловлена целым рядом достоинств. От других численных методов расчета конструкций, таких как метод конечных разностей или метод Бубнова-Галеркина, метод конечных элементов выгодно отличается богатыми возможностями моделирования тел сложной геометрии возможностью полностью автоматизировать процесс расчета. Это сделало возможным появление пакетов конечноэлементных расчетов (таких как ANSYS, Nastran, Abaqus), благодаря которым расчеты по методу конечных элементов стали возможны для инженеров, не обладающих глубокими знаниями по теории и реализации метода.

Тем не менее, наряду с целым рядом достоинств, метод конечных элементов обладает определенными недостатками. Основным из них является необходимость построения сетки, т.е. опреде-

ленных отношений инцидентности между узловыми точками тела. В настоящее время, когда вычислительные мощности ЭВМ постоянно растут, расчетчик тратит большую часть своего времени именно на построение сетки.

Кроме того, недостатком метода конечных элементов является тот факт, что интерполяция искомых функций производится на каждом элементе отдельно, т.е. в глобальной системе получающиеся функции являются кусочно-непрерывными. Это существенно снижает точность определения напряжений, которые являются производными от перемещений.

Неудобства применения метода конечных элементов также возникают при нелинейном анализе. Так, при сильной геометрической нелинейности, элементы испытывают существенные деформации, что ставит под вопрос достоверность расчета. Также, использование алгоритмов адаптивного перестроения сетки требует существенных вычислительных ресурсов, так как требует не только перестроения координат узловых точек, но и соотношений инцидентности между ними.

Подробное рассмотрение проблем, связанных с использованием метода конечных элементов показывает, что ключевой проблемой в данном случае является использование элементов как основы метода. Для построения же элементов необходима сетка с определенными отношениями инцидентности между узлами. Таким образом, естественным путем возникает идея устранения элементов, а, следовательно, и сетки. Эта идея была взята за основу создания так называемых бессеточных методов, в которых геометрия задачи не разбивается на непересекающиеся элементы, а «представляется» набором произвольно распределенных узлов (см. рис. 1) [1].

Бессеточные методы обладают огромным потенциалом в решении проблемных задач, обозначенных выше. Отсутствие заранее определенной сетки позволяет легко добавлять или удалять узлы из области задачи, что позволяет с гораздо большей точностью определять напряжения в зонах концентрации. Также это позволяет полностью автоматизировать дискретизацию области и таким образом сохранить для расчетчика время, которое могло бы быть потрачено на создание удовлетворительной сетки.

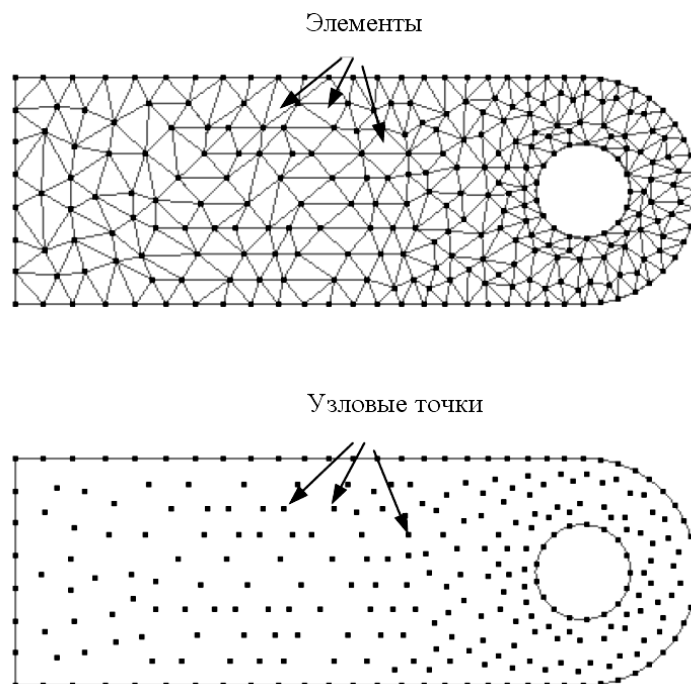


Рис. 1. Схема дискретизации области для МКЭ и для бессеточных методов.

Аналогично элементам в МКЭ, в бессеточных методах основой построения функций формы являются так называемые области влияния. (influence domain) или области поддержки (support domain). В отличие от элементов, эти области никоим образом не участвуют в дискретизации геометрии.

рии задачи, а лишь содержат в себе информацию о том, какие узлы используются при интерполяции геометрии или искомой функции в конкретной точке пространства (см. рис. 2).

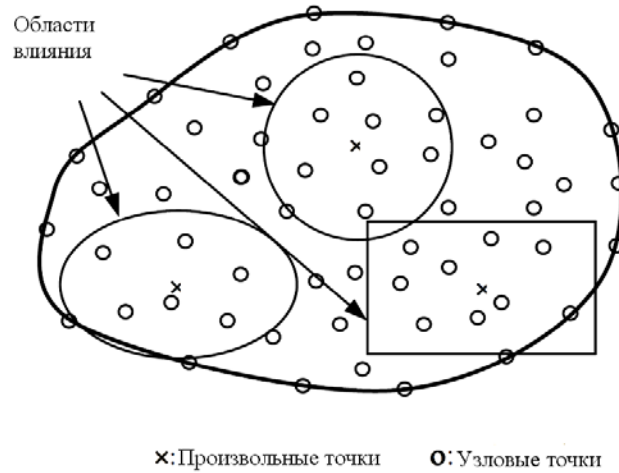


Рис 2. Построение функций формы для бессеточных методов.

В качестве примера, иллюстрирующего эффективность бессеточных методов, рассмотрим деформацию кронштейна, расчетная схема показана на рис. 3.

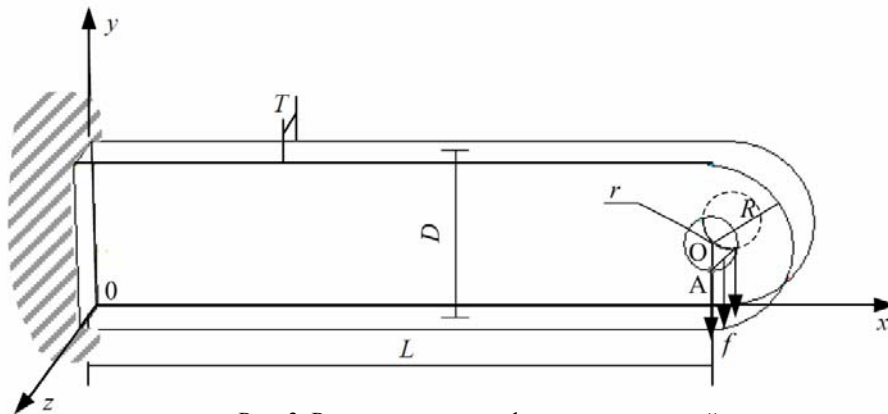


Рис. 3. Расчетная схема деформации кронштейна.

При решении этой задачи использовался пакет конечноэлементных расчетов ANSYS. Кроме того, аналогичная задача решалась бессеточным методом точечной интерполяции. В таблице 1 приведены зависимости погрешности метода от количества узлов для метода конечных элементов и метода точечной интерполяции. В качестве эталонного было принято решение данной задачи в пакете ANSYS с очень мелкой сеткой (11109 элементов).

Таблица 1.– Сравнение погрешности МКЭ и бессеточного метода.

Количество узлов	Погрешность (%)	
	МКЭ	Бессеточный метод
538	25,89	1,07
4685	6,63	1,06
6815	5,41	0,4

8771	4,78	0,38
------	------	------

Одним из важнейших типов конструкций, используемых в аэрокосмической промышленности, являются оболочечные конструкции. Для демонстрации эффективности расчета оболочечных конструкций бессеточными методами, была рассмотрена задача изгиба цилиндрической панели с жестко заделанными краями распределенной нагрузкой. Расчетная схема представлена на рис. 4.

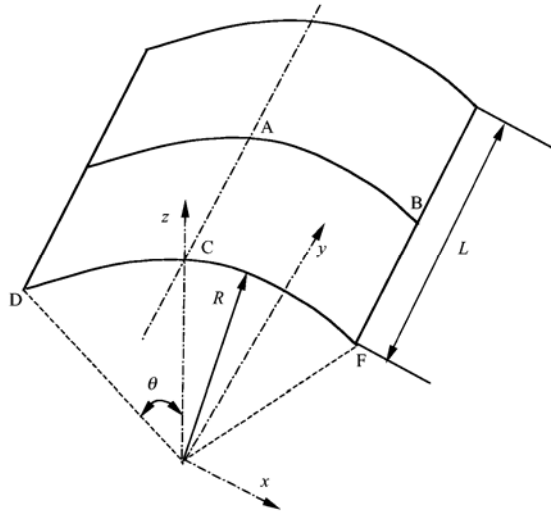


Рис. 4. Расчетная схема изгиба цилиндрической панели

На рис. 5а и 5б показаны зависимости безразмерного прогиба от угловой координаты θ и от продольной координаты y соответственно, вычисленные в пакете ANSYS и бессеточным методом, основанным на методе Галеркина [2].

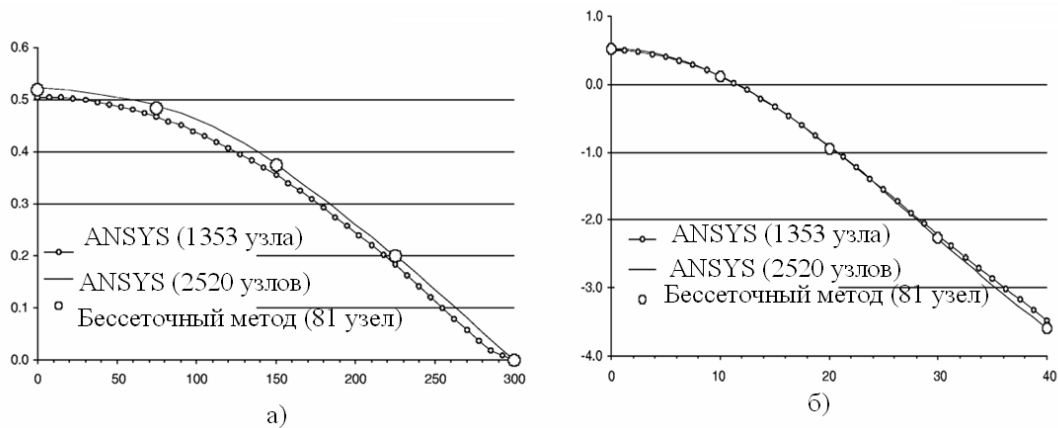


Рис. 5. Прогибы цилиндрической панели

Из рис. 5 видно, насколько перспективными являются бессеточные методы в применении к расчету оболочечных конструкций. Это объясняется, прежде всего, эффективными способами интерполяции геометрии оболочки – так, в основу построения функций формы безэлементного метода Галеркина (Element Free Galerkin Method) положен метод наименьших квадратов с подвижным базисом, который в течение нескольких десятилетий успешно используется во многих приложениях для аппроксимации поверхностей в пространстве. Кроме того, во многих конечноэлементных пакетах оболочки дискретизуются плоскими элементами, не способными смоделировать связанность изгибных и мембранных деформаций в оболочке. Также следует отметить широкие перспективы использования бес-

сеточных методов для реализации уточненных оболочечных теорий, в которых возникает необходимость интерполяции поля вторых производных от прогиба [3], так как появление вторых производных в формулировке метода конечных элементов приводит к существенным вычислительным трудностям в связи с кусочно-непрерывным характером интерполирующих функций.

Заключение

Таким образом, бессеточные методы представляют собой крайне эффективный инструмент расчета несущих конструкций, что делает их весьма актуальными для использования при проектировании аэрокосмических конструкций. Кроме того, представляется весьма перспективной реализация бессеточных методов в прикладных пакетах, так как на сегодняшний день не существует коммерческих расчетных пакетов, в полной мере реализующих все достоинства данных методов.

Библиографический список

1. *G. R. Liu*. Mesh free methods: moving beyond the finite element method. CRC Press, 2003, 693 p.
2. *T. Belytschko, Y. Y. Lu, L. Gu*. Element-free Galerkin methods. International journal of numerical methods in engineering, 1994, № 37, p. 229-256.
3. *Иванов В.К.*. Вариант линейной теории композитных оболочек, учитывающий деформации поперечного сдвига и обжатие. Механика композитных материалов, 1989, № 4, с. 682-687.

**СЕКЦИЯ «СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В
ПРОЕКТИРОВАНИИ, ПРОИЗВОДСТВЕ И УПРАВЛЕНИИ»**

УДК 681.518: 65.11

**ОБОБЩЕННЫЙ АЛГОРИТМ ВНЕДРЕНИЯ КОРПОРАТИВНОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ
СИСТЕМЫ НА ПРОМЫШЛЕННОМ ПРЕДПРИЯТИИ**

Д.К. Щеглов, В.А. Никитин, С.А. Горюнова

ОАО «Конструкторское бюро специального машиностроения»
(ОАО «КБСМ»)

Приведены основные факторы, затрудняющие внедрение корпоративных информационных систем (КИС) на промышленном предприятии, а также условия, необходимые для их внедрения. Рассматриваются этапы и основные методы внедрения КИС на предприятии. Предложен обобщенный алгоритм внедрения КИС.

*«Говорят, что между двумя противоположными
мнениями находится истина. Ни в коем случае!
Между ними находится проблема».*

Йоганн Вольфганг фон Гёте

Введение. Информационные технологии (ИТ) сегодня являются одним из наиболее эффективных способов сокращения сроков выпуска новых изделий на рынок, существенного повышения их качества, снижения производственных затрат и, как следствие, обеспечения конкурентоспособности промышленного предприятия. Поэтому многие предприятия активно ведут работы по внедрению КИС для автоматизации процессов своей производственной деятельности. Существуют различные классы КИС, начиная со справочно-правовых систем и заканчивая сложными системами управления проектно-конструкторскими данными или производством. Вне зависимости от класса КИС ее внедрение – задача непростая.

В данной работе рассмотрены примеры трудностей, возникающих при внедрении КИС на промышленном предприятии, этапы внедрения КИС и основные методы внедрения, применяемые на каждом из этих этапов.

Основные факторы, затрудняющие внедрение КИС на предприятии

КИС – это инструмент организации работы, обеспечивающий информационную поддержку производственных бизнес-процессов предприятия, поэтому недостаточно установить базовую версию КИС и научить сотрудников ее использовать. Нужна как адаптация (настройка/кастомизация) КИС под производственные процессы предприятия, так и реинжиниринг¹ всего предприятия.

Попытки внедрения КИС на некоторых отечественных предприятиях в ряде случаев не приносят ожидаемого результата по следующим причинам:

– отсутствует единая концепция автоматизации производства, когда различные подразделения одного и того же предприятия оснащаются разнородными средствами автоматизации. В рамках одного подразделения могут использоваться различные КИС, реализованные на разных программных платформах и выполняющие одни и те же функции. Взаимодействие этих систем, как правило, обеспечено не в полном объеме, что снижает эффективность поиска информации, увеличивает время ее прохождения, затрудняет согласование документов. Кроме того, из-за разнородности программного обеспечения велика вероятность появления сбоев, ошибок, искажения и потери информации;

– отсутствует системный подход к выбору программных продуктов. Программное обеспечение (ПО) выбирается на основании не всегда достоверной рекламной информации, при этом обычно не учитывается специфика предприятия, цели внедрения и перспективы развития.

¹ Реинжиниринг (англ. *reengineering*) – оптимизация производственных процессов предприятия с целью достижения максимального эффекта от его производственной деятельности.

На отечественных предприятиях сформировались два различных подхода к использованию КИС:

– Попытка быстрого необоснованного внедрения «мощной» КИС, функциональные возможности которой значительно выходят за рамки решаемых предприятием производственных задач. При этом затрачиваются большие материальные и интеллектуальные ресурсы, но предприятие впоследствии использует не более 15% [1] возможностей внедренной КИС.

– Задержка внедрения КИС (или попытка внедрить дешевую, но «слабую» по функционалу для данного предприятия) из-за опасения руководства инвестировать средства в технологии, эффективность которых заранее трудно оценить неспециалисту. В то же время предприятие обладает достаточным уровнем автоматизации, квалифицированными ИТ-специалистами, нуждается и готово к внедрению широкофункциональной КИС.

Адаптация КИС к особенностям конкретного предприятия требует профессионального подхода, что позволит избежать трудностей, которые могут возникнуть при ее внедрении. К этим трудностям относятся [2, 3]:

- *Отсутствие единой терминологии.* Часть компаний, занимающихся разработкой и внедрением КИС, используют зарубежный опыт и методологию, что приводит как к проблемам с переводом и восприятием новых терминов, так и их адаптации к российским понятиям. Другая часть вынуждена заполнять пробелы в терминологии вводом собственных терминов;

- *Отсутствие полной нормативной документации.* Разработчики КИС не предоставляют потребителю качественного описания внедряемой системы, так как заинтересованы в собственном сопровождении (технической поддержке) программного продукта;

- *Отсутствие кадров высокой квалификации.* Самостоятельно освоить конфигурирование КИС трудно. Для прохождения авторизованных курсов необходимы навыки администрирования ЛВС и БД, знание современных технологий программирования;

- *Аппаратная монетарность.*² Производители аппаратных средств заинтересованы в регулярном их обновлении у покупателей, а не к повышению их качества (апгрейду/модернизации);

- *Программная нестабильность.* Частые случаи несовместимости с предыдущими версиями ПО, закрытость ПО для интеграции с программными приложениями других разработчиков;

- *Быстрое старение аппаратно-программных средств.* Новое ПО предъявляет все более высокие требования к конфигурации ПЭВМ.

Профессиональный подход к внедрению КИС на предприятии подразумевает проведение подготовительных работ с целью создания условий, необходимых для оперативного запуска проекта.

Условия, необходимые для внедрения КИС на предприятии

Исследование опыта внедрения КИС на промышленных предприятиях показывает, что для внедрения необходимо выполнение следующих условий [1, 4, 5]:

1. Наличие на предприятии надежной ЛВС, допускающей быстрое расширение и изменение ее топологии.
2. Обеспечение ПЭВМ всех участников производственного процесса.
3. Наличие серверов хранения и резервного копирования информации.
4. Освоение специалистами предприятия требуемого прикладного ПО.
5. Наличие высококвалифицированных специалистов в области автоматизации, способных осуществлять сопровождение программного обеспечения (техническую поддержку).
6. Обеспечение финансирования проекта в необходимом объеме.

Способствует внедрению КИС на предприятии наличие эффективной системы менеджмента качества, охватывающей как управление предприятием в целом, так и процессами выпуска продукции.

Внедрение КИС на предприятии целесообразно проводить в несколько этапов.

Этапы и алгоритм внедрения КИС на предприятии

Формализованное описание процесса внедрения КИС на предприятии показано на рис. 1.

² Аппаратная монетарность – это параметр, отражающий денежное выражение аппаратного обеспечения через связь его рыночной стоимости, стоимости внедрения/интеграции, технического обслуживания и возможности модернизации.

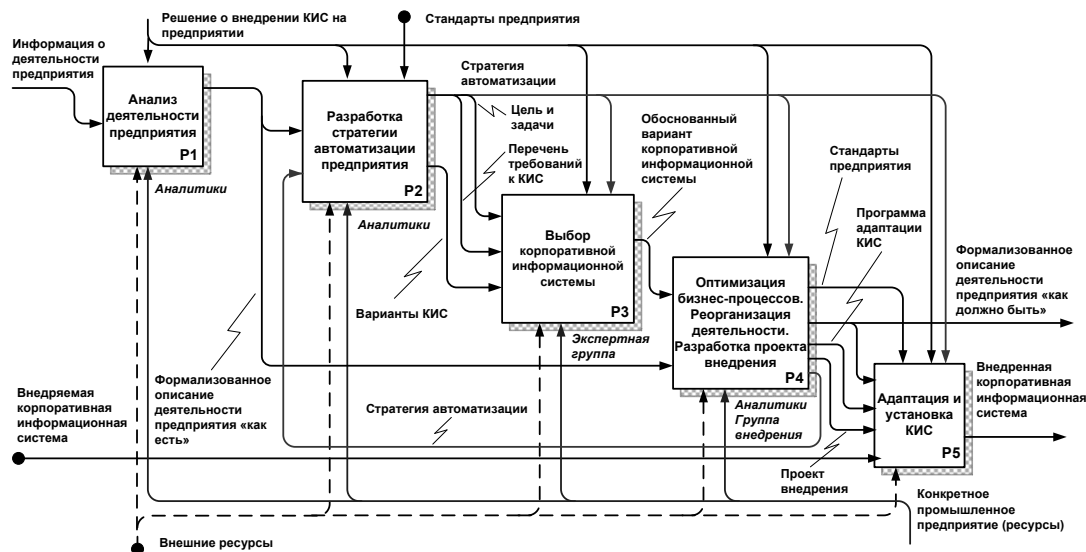


Рис. 1. Формализованное описание процесса внедрения КИС на предприятии.

Как видно из рис.1, процесс внедрения состоит из пяти этапов.

Анализ деятельности предприятия [P1]. Под анализом деятельности предприятия понимается сбор, систематизация и представление информации о деятельности предприятия «как есть» в формализованном виде, необходимом для выбора и внедрения КИС [6]. Для формализации производственных процессов принято использовать нотации IDEFx, UML, ePC и соответствующие им CASE-средства BPWin, ARIS и другие.

Разработка стратегии автоматизации [P2]. Понятие «стратегия автоматизации» подразумевает постановку задач, определение объектов, способов и этапов автоматизации на основе существующих на предприятии стандартов, ограничений (временных, финансовых и прочих) и принятой системы планирования работ [7]. КИС может внедряться как с первоначальным ее концептуальным проектированием, так и без него.

Внедрение с первоначальным концептуальным проектированием подразумевает возможность проведения отдельных этапов работ (таких как запуск модулей, оптимизация производственных процессов) параллельно, основываясь на принятой модели КИС.

Концептуальный подход используется, если: в результате проекта планируется внедрить несколько программных модулей (например, электронный архив, проектирование, электронный документооборот); производственные процессы и организационная структура предприятия достаточно стабильны и поддаются формализации; в ближайшее время (1-2 года) не планируется реорганизация или реинжиниринг предприятия; существуют жесткие ограничения (требуется обоснование) на сроки и бюджет проекта.

К достоинствам концептуального подхода относится прогнозируемость результатов всего проекта внедрения, высокая гарантия достижения задекларированных результатов, точная смета и план-график работ, снижение рисков проекта в целом, снижение объема работ по корректировке уже внедренных программных модулей на предыдущих этапах проекта.

Недостатками данного подхода являются увеличение начальных расходов на выполнение проекта и задержка запуска первых функциональных модулей (за счет затрат времени на разработку концепции системы).

Внедрение без первоначального концептуального проектирования подразумевает ввод в эксплуатацию функциональных модулей после обследования участка автоматизации, без анализа КИС в целом, учета взаимосвязей между модулями и последовательности их внедрения.

Данный подход применяется, если: имеется нестабильность/ неформализованность производственных процессов или организационной структуры предприятия; планируется реорганизация или реинжиниринг предприятия; требуется быстрый результат на локальном участке автоматизации;

отсутствует возможность/необходимость заранее определить круг функциональных задач КИС; на проект не могут стабильно выделяться ресурсы (персонал, финансовые средства).

Основное достоинство подхода – быстрый локальный результат.

К недостатку данного подхода относится невозможность определения четких сроков, стоимости и функционала будущей КИС.

Выбор программного продукта [P3]. Выбор КИС является ключевым этапом процесса ее внедрения, влияющим на все другие этапы. Система выбирается на основе предъявляемых к ней требований, которые определяются, исходя из целей и задач внедрения, особенностей и финансовых возможностей конкретного предприятия [8]. Рациональный выбор КИС – это достижение компромисса между предъявляемыми к ней противоречивыми требованиями.

Оптимизация производственных процессов, реорганизация деятельности, разработка проекта внедрения [P4]. Реорганизация деятельности (реинжиниринг) проводится с целью оптимизации производственных процессов предприятия (повышения скорости реализации проектов, снижения затрат) и выполняется с учетом выбранной системы [6, 9, 10].

Из наиболее распространенных подходов к реорганизации деятельности предприятия можно выделить следующие:

- Подход *BSP* (Business System Planning), предложенный компанией IBM, основан на структурировании информации с использованием матриц пересечения бизнес-процессов³, функциональных подразделений, функций систем обработки данных, информационных объектов, документов и баз данных. Важнейшими шагами *BSP* являются получение поддержки высшего руководства, описание бизнес-процессов предприятия, классов данных, интервьюирование, обработка и организация данных интервью.

- Подходы *CPI* (Continuous Process Improvement) и *TQM* (Total Quality Management) направлены на достижение результата в области повышения качества продукции через обеспечение качества бизнес-процессов предприятия и, в отличие от *BSP*, в них заложена идея «эволюционного реинжиниринга», то есть информационной поддержки всего ЖЦ бизнес-процесса.

- Подход *BPR* (Business Process Reengineering) по Хаммеру и Чампи призван фундаментально переосмыслить и радикально перепланировать бизнес-процессы с целью улучшения их качества [10]. *BPR* отличается тем, что бизнес-процесс в нем не связан с организационной структурой предприятия.

Одновременно с реорганизацией деятельности предприятия разрабатывается проект внедрения КИС.

Адаптация и установка КИС [P5]. При внедрении КИС можно использовать следующие основные стратегии:

- Параллельная стратегия – когда одновременно существует старая (ручная) и новая технологии.

- «Скачок» – это широкомасштабное внедрение в рамках всего предприятия [11].

- «Пилотный проект» – это тактика «скачка», но в рамках одного подразделения предприятия (отдела или сектора) [5]. Самая распространенная в настоящее время стратегия.

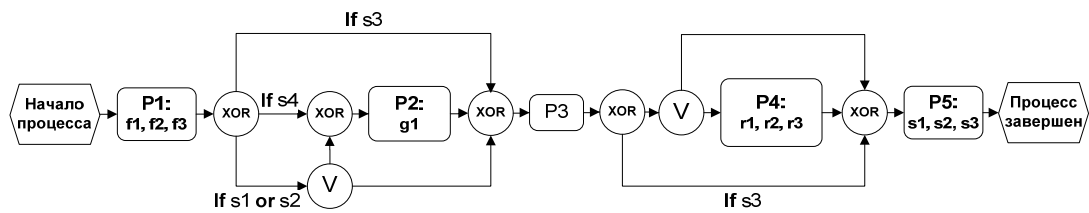
- «Узкое место» – это автоматизация малой части производственного процесса. План установки ПО выполняется только для «узкого места» и сотрудников, работающих в нем.

Выбор стратегии преимущественно определяется постановкой задачи.

Нетрудно заметить, что методы и средства, применяемые промышленными предприятиями в процессе внедрения КИС, классифицированы по принадлежности к этапу внедрения. С учетом изложенного составим обобщенный алгоритм внедрения КИС (рис.2).

На рис.2 представлены возможные средства для проведения анализа деятельности предприятия (*BPWin* [f1], *ARIS* [f2], *UML* [f3]), подходы к разработке стратегии автоматизации (с первоначальным концептуальным проектированием КИС [g1] и без него), к реорганизации деятельности предприятия в соответствии с требованиями внедряемой КИС (*BSP* [r1], *CPI/TQM* [r2] и *BPR* [r3]) и без нее, стратегии адаптации КИС на предприятии (параллельная стратегия [s1], «Пилотный проект» [s2], «Узкое место» [s3], «Скачок» [s4]). Основой представленного алгоритма является выбранная стратегия адаптации КИС.

³ Под бизнес-процессом – в контексте настоящей работы – понимается устойчивый информационный процесс (последовательность работ), относящийся к производственной деятельности предприятия.



XOR – исключающее «ИЛИ», выбор по критерию,
V – дизъюнкция (логическое «ИЛИ»).

Рис.2. Обобщенный алгоритм внедрения КИС на предприятии.

Заключение

В данной работе сделана попытка обобщения опыта отечественных промышленных предприятий по внедрению КИС различных классов, поэтому предложенный обобщенный алгоритм внедрения КИС в некоторой степени идеализирован. В зависимости от особенностей конкретного класса внедряемой КИС он может дополняться новыми методами, применяемыми в процессе внедрения, и даже новыми этапами.

Библиографический список

1. Воробьев А.М., Пивоваров В.М., Щеглов Д.К. и др. Опыт создания единой среды проектирования в ОАО «КБСМ»// CALS-технологии в образовании, науке и производстве: материалы второй науч.-метод. конф./ Балт. гос. тех. ун-т. – СПб: 2008. – С. 139 – 145.
2. Стамировски Е.Т. Разработка интегрированной информационной платформы для обеспечения функционирования машиностроительного производства: Дис. ... д-ра техн. наук. – М., 2004. – 338 с.
3. Уваров Н.И. Разработка информационно-математической модели функционирования предприятия на основе PLM-системы: Дис. ... канд. техн. наук. – Комсомольск-на-Амуре, 2004. – 150 с.
4. Воробьев А.М., Щеглов Д.К. Создание единого информационного пространства предприятия // Материалы семинара «Развитие информационной инфраструктуры Концерна». – М.: ОАО «Концерн ПВО «Алмаз-Антей», 2007. – С. 93 – 104.
5. Данилова Л.Г., Щеглов Д.К. Разработка интегрированной информационной системы технического документооборота для ОАО «КБСМ» (первая очередь системы) // НТО ОАО «КБСМ» – СПб., 2006. – 22 с.
6. Данилова Л.Г., Щеглов Д.К. Формализованное описание рабочих процессов «КАК ЕСТЬ», действующих в ОАО «КБСМ» // НТО ОАО «КБСМ» – СПб., 2007. – 45 с.
7. Гнатуш А. ERP-системы: "за", "против" или воздержаться// Журнал «IT Manager», #02/2005
8. Щеглов Д.К. Выбор системы управления проектно-конструкторскими данными с учетом особенностей конкретного предприятия // Журнал «Военмех., Вестник БГТУ» №3/ Балт. гос. тех. ун-т. СПб: 2008. –С. 52 – 57.
9. Робсон М., Уллах Ф. Практическое руководство по реинжинирингу бизнес-процессов/Пер. с англ. под ред. Н.Д. Эриашвили. – М.: Аудит, ЮНИТИ, 1997. – 224 с.
10. Хаммер М., Чампи Дж. Реинжиниринг корпорации: Манифест революции в бизнесе / Пер. с англ. СПб.: Изд-во СПб ун-та, 1997. 332 с.
11. Суханова А. Выполнить проект в срок. CAD/CAM/CAE Observer № 3 (39)/2008 –С. 8-17.

ВНЕДРЕНИЕ CALS-ТЕХНОЛОГИИ НА ЭТАПАХ РАЗРАБОТКИ И ВЫПУСКА ИЭТР ПО КСП ДЛЯ НК ПР. 22350

А. В. Киюц, Е. В. Курапова

ОАО «Конструкторское бюро специального машиностроения»
(ОАО «КБСМ»)

Рассматриваются особенности подхода создания ИЭТР по КСП, разработанного в ОАО «КБСМ», для НК пр. 22350 с применением SolidWorks 2009 и SolidWork Group PDM.

Введение. CALS-технологии (Continious Acquisition and Life-cycle Support) - это стратегия систематического повышения эффективности, производительности и рентабельности процессов хозяйственной деятельности корпораций за счет внедрения современных методов информационного взаимодействия участников жизненного цикла продукта.

Реализация CALS - технологий в практическом плане предполагает организацию единого информационного пространства (ЕИП), объединяющего автоматизированные системы, предназначенные как для эффективного решения задач инженерной деятельности, так и для планирования и управления производством и ресурсами предприятия (рис. 1).

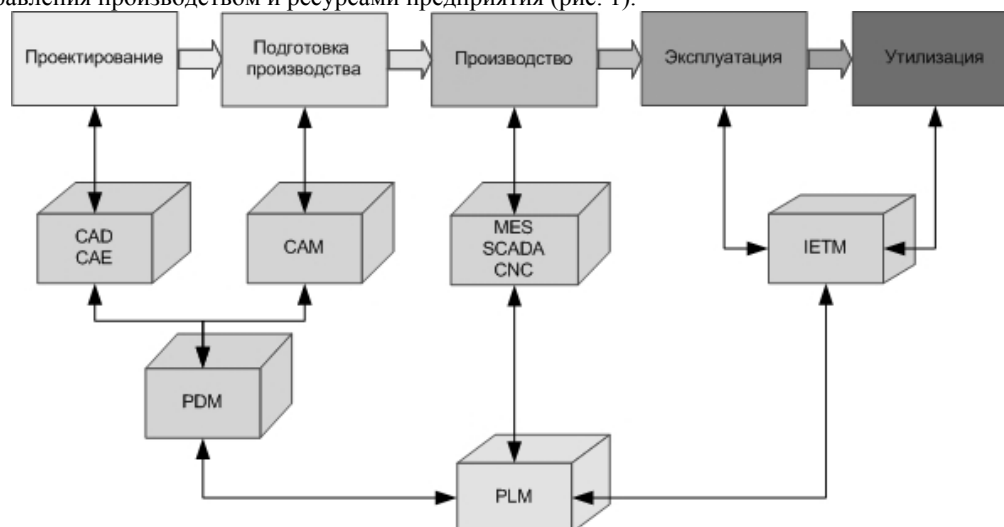


Рис. 1. Этапы жизненного цикла промышленной продукции и используемые автоматизированные системы.

ЕИП представляет собой совокупность распределенных баз данных, в которой действуют единые, стандартные правила хранения, обновления, поиска и передачи информации, через которую осуществляется безбумажное информационное взаимодействие между всеми участниками жизненного цикла изделия. При этом однажды созданная информация хранится в интегрированной информационной среде, не дублируется, не требует каких-либо перекодировок в процессе обмена, сохраняет актуальность и целостность.

Рассмотрим содержание основных этапов жизненного цикла изделий (ЖЦИ) для изделий.

Проектирование. Одним из наиболее важных этапов является этап проектирования. К числу систем конструкторского проектирования CAD (Computer Aided Design) или программных комплексов, которые позволяют создать 3-мерную геометрическую модель, можно отнести программный комплекс SolidWorks 2009.

Для решения проблем совместного функционирования компонентов систем автоматического проектирования (САПР) различного назначения, координации работы систем CAD/CAM/CAE, управления проектными данными и проектированием разрабатываются системы, получившие на-

звание систем управления проектными данными на всех этапах PDM (Product Data Management System). Системы PDM либо входят в состав модулей конкретной САПР, либо имеют самостоятельное значение и могут работать совместно с разными САПР.

Эксплуатация. Понятие ЕИП является ключевым понятием CALS-технологий. Потребитель является полноправным участником ЖЦИ на этапе эксплуатации изделия и ему необходимо обеспечить доступ в ЕИП. Потребителю необходимы эксплуатационные данные об изделии, в качестве средства доступа к ЕИП он будет использовать не PDM-систему, а интерактивные электронные технические руководства (ИЭТР). Аналог ИЕТМ (Interactive Electronic Technical Manuals).

Интерактивное электронное техническое руководство

В настоящей статье представлен первый опыт совместной работы коллектива КК-2 и отдела ЗИП над созданием ИЭТР по комплексу средств погрузки (КСП) для НК пр. 22350.

ИЭТР дополняет комплект традиционной эксплуатационной и ремонтной документации в бумажном виде и представляет собой комплекс программно-технических средств, обеспечивающий хранение, поиск и отображение технической информации.

Для создания ИЭТР необходимо было состыковать несколько документов КД: руководство по эксплуатации (РЭ) и Приложение А к РЭ (21 отдел), каталог деталей и сборочных единиц (КДС), ведомость ЗИП (ЗИ) (отдел ЗИП) и электронные таблицы ЗИП (совместно с отделом ЗИП) в один ИЭТР в редакторе Seamatica-ED, который прописал в ТЗ заказчик работы. РЭ, приложение А к РЭ и ЗИ на момент создания ИЭТР были выпущены и сданы в архив. КДС и электронные таблицы ЗИП - это новые документы, которые ранее не выпускались в КК-2.

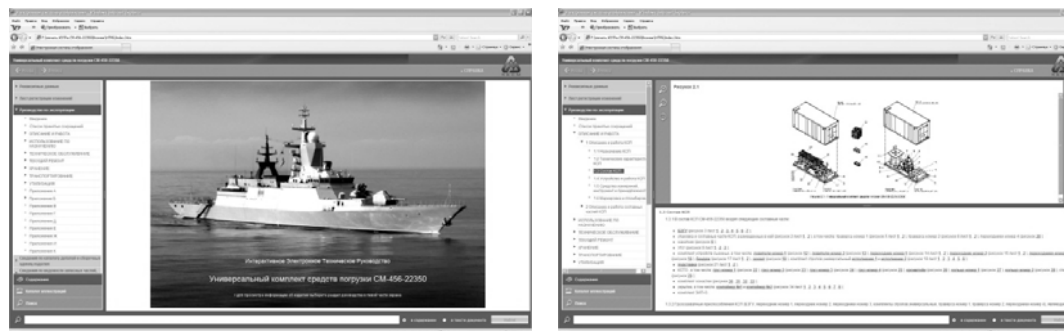


Рис. 2. Снимки ИЭТР по КСП для НК пр. 22350, в качестве примера представлен внешний вид редактора Seamatica-ED.

Для создания КДС необходимо было создать 3D-модели по КСП для НК пр. 11661К и пр. 22350. Программой для создания 3D-моделей был выбран САПР SolidWorks 2009. САПР SolidWorks 2009 позволяет переводить в форматы TIFF, JPEG, PDF, Microsoft Office, VRML, AVI. Фотореалистические изображения могут быть встроены в ИЭТР или использованы для создания рекламных материалов и мультимедийных презентаций.

Данные проекты представляют собой комплекты средств погрузки, в состав которых входят различные агрегаты и устройства, применяемые для погрузки изделий на носитель (корабль). В отдельные сборки устройств входит более 1800 компонентов. Конечная сборка комплекта создавалась с применением упрощенного представления отдельных устройств, для более быстрой работы SolidWorks 2009, количество компонентов превысило 4000.

Для эффективной работы коллектива над одним изделием необходимо тесно взаимодействовать между собой, необходим обмен и отслеживание информации в цифровом виде. Для решения данной задачи была использована PDM-система (Product Data Management). PDM-система позволяет отслеживать выполнение задач процесса, управление правами доступа и передачу управления от одного этапа к другому и от одного исполнителя к другому. Централизованное хранение данных позволяет иметь доступ к этим актуальным данным в любой момент времени. Права на получение информации могут быть разделены между пользователями PDM-системы, что обеспечивает защиту от несанкционированного доступа к данным. PDM-система SolidWork Group PDM может хранить и работать с файлами различных форматов (SolidWorks, Pro/Engineer, AutoCAD, Компас, MS Word и др.), что позволяет хранить и отслеживать все документы, с которыми работает разработчик, в од-

ном месте и иметь к ним оперативный доступ. Для начала совместной работы в ЕИП, которым является PDM-система, необходимо было выполнить ряд мероприятий, а именно создать правила присвоения имен файлам деталей и сборкам, сформировать схему деления изделия, определить и назначить права доступа к информации участникам ЕИП.

3D-модели создавались по ранее выпущенным чертежам. Таким способом был реализован принцип “контрольного прочерчивания”. В результате проделанной работы по созданию электронного прототипа КСП был выявлен ряд недоработок в конструкторских чертежах. Это позволило внести исправления в конструкцию до процесса начала изготовления КСП. Выявление недоработок на стадиях, предшествующих изготовлению, позволяет сократить издержки на исправление ошибок в документации при изготовлении изделия.

По созданным 3D-моделям были выпущены ассоциативные с моделями рисунки для КДС в SolidWorks 2009. КДС состоит из:

- схемы деления изделия на составные части (рис. 3);
- иллюстраций и перечня сборочных единиц и деталей (рис. 4);
- алфавитного указателя.

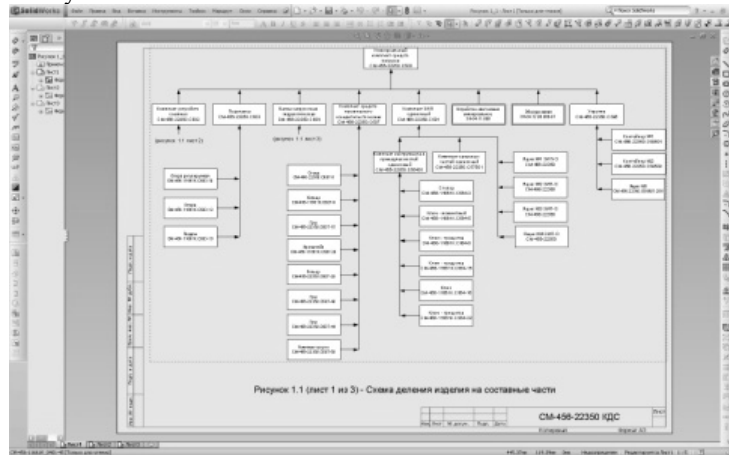


Рис. 3. Схема деления на составные части.

Схема деления на составные части для КДС была разработана и выпущена в программе Microsoft Visio.

Иллюстрации представляют собой сборочную единицу, представленную в разобранном (разнесенном) виде с линиями разнесения и указанием всех входящих по спецификации в эту сборочную единицу компонентов. Перечень сборочных единиц и деталей представляет собой таблицу с позициями сборочных единиц и деталей, их обозначений, наименований, количеством в данной сборке и возможной замене. Перечень сборочных единиц и деталей выпускается на каждую иллюстрацию и является ее неотъемлемой частью. Полностью созданная, «до болта с шайбой», 3D-модель в SolidWorks 2009 позволила уменьшить время разработки перечней сборочных единиц и деталей, так как создание перечней осуществлялось через функцию создания спецификаций с доработанным шаблоном спецификации.

Алфавитный указатель представляет собой таблицу с перечнем наименований по алфавиту всех составных частей. Алфавитный указатель создавался в программе Microsoft Word, с переносом исходных данных из SolidWorks 2009.

КДС был выпущен отдельным печатным документом формата А3, он также вошел полностью в ИЭТР.

ИЭТР выполняют функции обучения пользователя или обслуживающего персонала правилам эксплуатации, обслуживания и ремонта изделия. С их помощью выполняются диагностические операции, поиск отказавших компонентов, заказ дополнительных запасных деталей и некоторые другие операции на этапе эксплуатации систем.

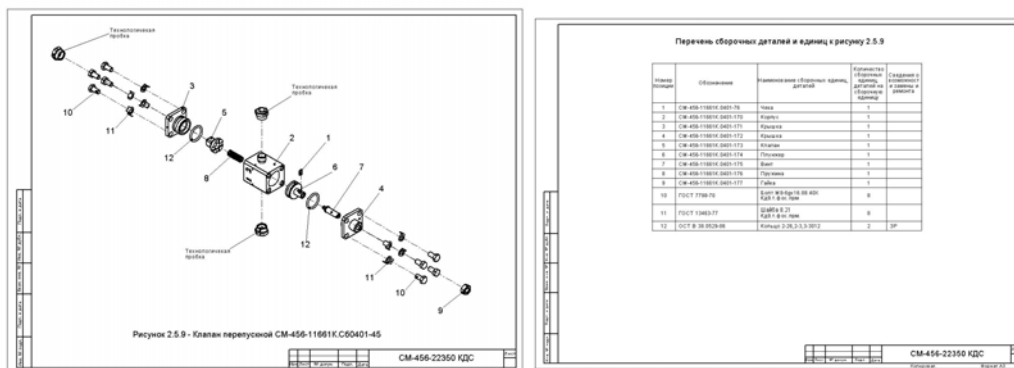


Рис. 4. Иллюстрации и перечень сборочных единиц и деталей

Конкретизация задач ИЭТР представлена следующим списком:

- обеспечение пользователя справочным материалом об устройстве и принципах работы изделия;
- обучение пользователя правилам эксплуатации, обслуживания и ремонта изделия;
- обеспечение пользователя справочными материалами, необходимыми для эксплуатации изделия, выполнения регламентных работ и ремонта изделия;
- обеспечение пользователя информацией о технологии выполнения операций с изделием, потребности в необходимых инструментах и материалах, о количестве и квалификации персонала;
- диагностика состояния оборудования и поиск неисправностей;
- подготовка и реализация автоматизированного заказа материалов и запасных частей;
- планирование и учет проведения регламентных работ;
- обмен данными между потребителем и поставщиком и др.

Согласно ГОСТ РВ Д 2.601-96 ИЭТР состоит из 7 модулей данных: реквизитные данные; сведения об устройстве и принципах действия; сведения об использовании изделия по назначению; сведения о техническом обслуживании и регламентных работах изделия и его составных частей; сведения о возможных отказах и неисправностях и методах их устранения; сведения по каталогу деталей и сборочных единиц изделия; сведения о ведомости запасных частей, инструментов и материалов для изделия.

ИЭТР включает в себя всю необходимую информацию об изделии для Потребителя. Применение интерактивного способа обучения Потребителя навыкам работы, обслуживания и ремонта изделия позволяет повысить квалификацию его работы с изделием и снизить его затраты времени и материальных потребностей (энергоресурсов и запасных частей), исключив или уменьшив практические занятия с изделием. Разработчик ИЭТР может предусмотреть и включить в состав ИЭТР графические, видео, аудио и мультимедийные материалы, которые невозможно применить в документах, выпускаемых на бумаге, например РЭ и приложение А к РЭ. ИЭТР позволяет отобразить 3D-модель изделия, что является неоспоримым плюсом в понимании конструкции изделия.

Использование электронных таблиц ЗИП в ИЭТР позволяет Потребителю быстро получать информацию об имеющихся запасных частях, запасных частях, требующих пополнения, и об организациях, осуществляющих поставку этих запасных частей.

Выводы

Применение ЕИП в виде PDM-системы позволяет организовать на высоком уровне работу коллектива над одним проектом и обеспечить взаимный обмен актуальными данными в различных системах конструкторского проектирования CAD (SolidWorks, Pro/Engineer, AutoCAD, Компас). Применение PDM-системы особо актуально при разработке, выпуске и работе над однотипными проектами или проектами с большим количеством заимствованных компонентов, например создание ПУ и КСП для НК пр. 1135.6 и фрегат пр. 17 (ВМС Индии), пр. 11661К и пр. 22350 (ВМФ РФ).

Создание 3D-моделей по ранее созданным чертежам (контрольное прочерчивание) позволило выявить ряд недоработок в КД перед началом изготовления. Устранение ошибок на стадии электронной модели в несколько раз дешевле и проще, чем устранение этих ошибок в процессе производства.

ИЭТР являются наиболее современным способом представления эксплуатационной документации и обучающих материалов. Возрастающая сложность технических изделий определяет новые требования к представлению эксплуатационной документации и уровню подготовки обслуживающего персонала. Постоянная борьба за конкурентоспособность предприятия, за качество выпускаемой продукции, её экспорт на внешний рынок определяют новые – инновационные пути развития. На сегодняшний день одним из таких путей является снабжение выпускаемой продукции электронной документацией – Интерактивными Электронными Техническими Руководствами.

УДК 004.4'242

СИСТЕМЫ СБОРКИ: ВЕРИФИКАЦИЯ КОДА И УПРАВЛЕНИЕ КОНФИГУРАЦИЯМИ

Э.Ш. Абусалимов

Санкт-Петербургский государственный университет
(СПбГУ)

Рассмотрены основные подходы к автоматизации сборки приложения из исходных кодов и недостатки существующих систем сборки. Описаны возможности системы сборки Embuild, а также технологии Code Slicing.

Введение. Одним из неизбежных этапов разработки программного обеспечения является сборка результирующего продукта, готового к эксплуатации или отладке, из исходных кодов (рис.1). Как правило, для этого используются специальные системы, автоматизирующие этот процесс.

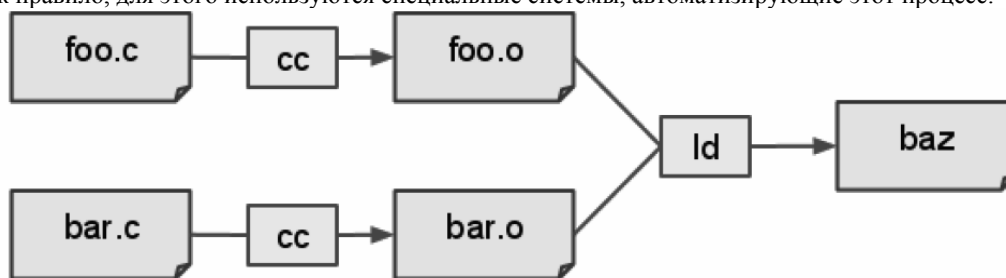


Рис.1. Классическая модель зависимостей используемая системой сборки Make.

Как видно из рис.1 приложение baz это результат компоновки foo.o и bar.o, которые в свою очередь получают при компиляции foo.c и bar.c соответственно.

Из существующих на сегодняшний день средств наиболее распространена система сборки Make, которая является стандартом де-факто в мире Unix-подобных систем. Make автоматизирует процесс сборки, используя специальные Make-файлы, описывающие зависимости между файлами и способы удовлетворения этих зависимостей.

Постановка задачи. При создании программного обеспечения с высокой степенью конфигурируемости необходимо учитывать семантическую связь между различными частями системы, которую не отслеживает Make. Например, одна часть системы может не функционировать без другой (рис.2).

На рис.2 показано, что модуль foo не может функционировать без модуль bar.

Кроме того, при использовании классического подхода возникают следующие трудности:

1. Сложно составить вручную такую конфигурацию системы, которая бы обладала непротиворечивостью, обеспечивая успешную компиляцию и корректное функционирование приложения.

2. Поскольку Makefile'ы создаются разработчиком вручную, необходимо поддерживать их в актуальном состоянии при добавлении новых исходных кодов или изменении существующих.

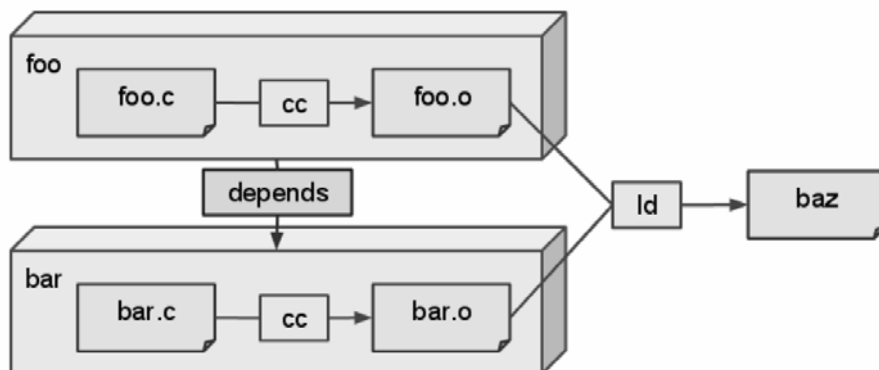


Рис.2. Модель, учитывающая семантические зависимости между компонентами приложения.

Существующие средства

Как правило, при разработке средних и крупных проектов используются системы более высокого уровня, чем Make, например, средства генерации Makefile'ов из высокоуровневых описаний (такие как GNU Automake). К недостаткам этих систем следует отнести:

- Большинство из них требуют установки на персональный компьютер (ПК) разработчика дополнительного программного обеспечения (ПО), что в случае использования в процессе разработки ПК под управлением разных операционных систем может приводить к различным программным сбоям.
- Сложность управления конфигурациями. Зачастую эти системы ограничиваются возможностью установки констант вида CONFIG_XXX, задающих набор файлов исходных кодов и правила условной компиляции. Все это приводит к т.н. “ifdef nightmare” и влечет ухудшение читабельности исходного кода, создавая проблемы при сертификации

Предлагаемое решение

В рамках одного из проектов ЗАО «Ланит-Терком» нами была спроектирована и реализована система сборки Embuild, которая нашла свое применение в проекте с открытым кодом по разработке ОСРВ Embox [1]. Этот проект разрабатывается силами сотрудников ЗАО «Ланит-Терком» и позиционируется как высококонфигурируемая инструментальная система для применения на всех этапах разработки встраиваемых систем. Embuild обладает следующими преимуществами:

Кросс-платформенность. Embuild реализован на языке GNU Make – наиболее распространенном диалекте Make. Это означает, что от разработчика, использующего систему сборки Embuild при создании приложения, равно как и от пользователя этого приложения, не требуется установки дополнительного ПО, поскольку GNU Make по умолчанию входит в поставку большинства систем семейства GNU/Linux и в Unix-окружения разработки для Microsoft Windows (такие как Cygwin и MinGW).

Высокий уровень описаний. Вся система, использующая инфраструктуру Embuild, рассматривается как набор взаимосвязанных модулей, что дает возможность строить систему «из кубиков». Каждый модуль является самостоятельной сущностью со своим набором файлов исходных кодов, документацией и зависимостями от других модулей. Поскольку при конфигурировании конечной системы разработчик мыслит в терминах целостных модулей, а не отдельных файлов, это упрощает понимание всей системы и снижает порог вхождения.

Ориентированность на модульную структуру. Модульная структура позволяет собирать систему, нацеленную на решение конкретной задачи, будь то система для низкоуровневого тестирования оборудования или прикладное ПО с поддержкой плагинов. Особенно это актуально в сфере встроенных систем, где большое значение имеют аппаратные ограничения. Как уже говорилось, в проектировании подобных систем важную роль имеют семантические межмодульные зависимости. Система сборки позволяет автоматически разрешать эти зависимости:

- на этапе компиляции при включении в сборку одного модуля вместе с ним подключается весь подграф его зависимостей, гарантируя успешную компоновку итогового образа;
- во время исполнения гарантируется правильный порядок запуска и останова модулей приложения опять же за счет отслеживания зависимостей между ними.

Верифицируемость образа. В процессе сборки образа строится граф зависимостей и проверяются ограничения для каждого из модулей, это позволяет создавать верифицируемое ПО, которое гарантирует включение нужных модулей в систему с требуемыми версиями этих модулей и заданными параметрами. Для упрощения процесса граф зависимостей может быть представлен в графическом виде с помощью утилиты `graphviz`.

Облегчение сертификации. Система сборки позволяет получить дистрибутив (срез), содержащий только те исходные коды, которые участвуют в сборке. Наличие такого дистрибутива является необходимым условием для прохождения сертификации.

Альтернативный подход

Все сказанное выше справедливо лишь для систем, изначально спроектированных по модульному принципу и использующих инфраструктуру `Embuild`. Для тех же систем сборки, которые не позволяют извлекать знания из набора исходных кодов (например, `Kbuild`, используемый ядром `Linux`), но тем не менее поддерживают множественные конфигурации, возможен иной подход для получения среза участвующих в сборке исходных кодов, готового к сертификации. В ходе сертификации исходных кодов ядра `Linux` нами была разработана технология `Code Slicing`. `Code Slicing` представляет из себя набор скриптов, обеспечивающих трансформацию исходного кода приложения в урезанный, сохраняющую при этом только требуемую функциональность. Это требуется для:

- уменьшения размера громоздких исходных кодов;
- устранения неиспользуемого кода;
- понимания сложной системы (`code understanding`);
- облегчения процесса сертификации.

В процессе урезания используется:

- конфигурационным анализом;
- анализ программных кодов до выполнения.

Основной подход заключается в:

- подмене `gcc` оберткой и дальнейший анализ передаваемых ей параметров;
- анализе отладочного вывода «`make – debug = j`».

Заключение

Разработанные нами средства дают возможность создавать гибкие системы, надежные во всех возможных конфигурациях, готовые к сертификации исходного кода. Кроме того, описанные технологии позволяют извлекать и структурировать знания о приложении, тем самым облегчая понимание сложных систем.

Библиографический список

1. *What is Embox?* Интернет. <http://code.google.com/p/embox>

ПОСТРОЕНИЕ СИСТЕМЫ ТЕСТИРОВАНИЯ ВСТРАИВАЕМЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ОСРВ EMBOX

А.М. Батюков

Санкт-Петербургский государственный университет
(СПбГУ)

Сформулированы требования, предъявляемые к системам тестирования встраиваемых систем. Приведен краткий обзор этих систем. Описана реализация, основные возможности и преимущества системы тестирования на основе ОСРВ Embox.

Введение. При разработке встраиваемых систем работа инженеров и программистов ведется параллельно. Естественно, что в процессе разработки и с той и с другой стороны возникают ошибки. Со стороны инженеров это могут быть ошибки в аппаратном обеспечении (АО), программисты могут ошибаться в программной части.

Цена каждой такой ошибки очень высока, так как зачастую с ней приходится сталкиваться людям, далеким от той области, где она возникла. Так, например, инженер не обязан разбираться в коде программы, а программист — в причинах некорректной работы процессора.

Таким образом, возникает потребность в некоем инструментальном средстве для удобного поиска и устранения ошибок, возникающих в процессе разработки встраиваемых систем. Будем называть это инструментальное средство (тестовая система).

Сформулируем некоторые требования, которым должна удовлетворять тестовая система:

- всеобъемлемость — тесты, представленные в системе, должны полностью тестировать и аппаратуру, и программный код;
- универсальность — система не должна быть привязана ни к какому АО или программному коду;
- удобство — несмотря на всеобъемлемость, система не должна быть громоздкой, ею должно быть удобно пользоваться;
- гибкость — система должна быть приспособлена к тестам разного характера, как к тестам АО, так и к тестам программному обеспечению (ПО);

Обзор существующих решений

Рассмотрим типичные примеры тестовых систем, подходящих под данное выше определение:

- тестовая подсистема OS eCos;
- тестовая подсистема OS RTEMs;
- система самотестирования Linux.

Опишем основные трудности, возникающие при работе с каждой из представленных выше тестовых подсистем, что позволит четче сформулировать требования, предъявляемые к подобному инструментальному средству.

Тестовая система OS eCos

- недостаточно всеобъемлюща, нет удобного интерфейса для тестов аппаратуры и архитектурно-зависимых частей системы;
- мало приспособлена для организации автоматического тестирования;
- достаточно громоздка (файлы конфигурации /home/ecos/config/ecos.ess порядка 400 килобайт).

Тестовая система OS RTEMs

- достаточно сложна в настройке, требует вмешательства в исходные коды системы для включения новых тестов;
- мало приспособлена для разработки, лишь информирует о неполадке, не давая возможности ее исследования;
- запуск тестов возможен только после инициализации всего оборудования (то есть тест по сути не отличается от обычной функции).

Система самотестирования Linux

- мало приспособлена для разработки по тем же причинам;
- громоздка.

Кроме того Linux — слишком сложная система для того, чтобы постоянно контролировать ее поведение, как тестовая система она малоприспособлена. Следует отметить, что Linux изначально не ориентирован на встраиваемые системы.

Обзор существующих решений позволяет выделить дополнительные требования, которым должна удовлетворять приемлемая для разработки встраиваемого ПО тестовая система:

- простота в настройке, добавление теста должно быть достаточно просто для не слишком опытного человека;
- должна предоставлять удобный интерфейс для тестирования аппаратуры и архитектурно-зависимых частей системы;
- должна быть приспособлена для организации автоматического тестирования;
- должна предоставлять возможность детального тестирования системы на разных уровнях инициализации оборудования;
- кроме того, должна быть в достаточной степени конфигурируема и по возможности не громоздка.

Описание решения

В рамках одного из проектов ЗАО «Ланит-Терком» была спроектирована и реализована система тестирования встраиваемых решений. Она базируется на проекте с открытым кодом по разработке ОСРВ Embox [1]. Этот проект разрабатывается силами сотрудников ЗАО «Ланит-Терком» и позиционируется как высококонфигурируемая инструментальная система для применения на всех этапах разработки встраиваемых систем. В одном из возможных вариантов конфигурации Embox выступает как полноценная тестовая система.

Данная тестовая система изначально ориентирована на разработку встраиваемых систем и обладает следующими важными особенностями:

Наличие единой системы тестов. Зачастую проект разработки встраиваемой системы длится достаточно долго. За время разработки накапливается достаточно много разнообразных тестов, таких как:

- тесты аппаратуры (например, тесты памяти);
- тесты на функциональность (при добавлении новой функциональности разрабатывают тесты на нее);
- тесты, направленные на выявление и устранение разного рода ошибок.

Все это множество тестов необходимо хранить на протяжении всего проекта. Более того, это множество тестов следует хранить и после окончания проекта с целью повторного использования кода в дальнейших разработках.

В исходные коды Embox включен набор основных тестов для различных архитектур, таких как тесты памяти, тесты на прерывания, тесты работы процессора, тесты работоспособности таймера и некоторые другие. Код тестов располагается в /src/tests/.

В процессе разработки при появлении нового теста его можно включить в базу. Процесс добавления в базу нового теста обладает следующими особенностями:

- не требует вмешательства в исходные коды системы, не относящиеся к реализации теста. От программиста требуется только реализовать функциональность теста и оформить функции в соответствии с стандартизированным интерфейсом;
- позволяет указать уровень выполнения теста (то есть момент инициализации системы, в который будет выполнен конкретно этот тест). Например, тесты памяти можно выполнять при старте системы, еще до инициализации драйверов устройств.

Модульность. Каждый тест в системе представлен как отдельно подключаемый и конфигурируемый модуль. Это означает, что любой тест можно включить в текущую сборку системы независимо от других тестов. Такой подход позволяет создавать как тестовые образы, направленные на тестирование одной конкретной части системы (например, тесты памяти), так и полноценные тестирующие все части системы и взаимодействие между ними.

При создании тестового образа часто критичен размер получаемого для исполнения файла. Это может быть важно, например, при тестировании оперативной памяти, когда нет возможности записать код программы в оперативную память, а остальные ресурсы памяти сильно ограничены. Принцип модульности позволил ограничить размер образа 40Кб в случае тестирования памяти.

Кроме того, для запуска тестов на потактовом симуляторе, где скорость выполнения инструкции крайне невелика, важно, чтобы требуемые тесты начинали выполнение как можно быстрее после старта системы. Например, тесты памяти можно проводить практически сразу после начальной инициализации процессора и основных драйверов. В реализованной тестовой системе удастся запустить тесты памяти не более чем через 20 минут после старта симуляции. Для сравнения, в аналогичных системах это время составляет несколько часов, а загрузки Linux дождаться не представляется возможным.

Легко представить себе ситуацию, когда для выполнения теста требуется наличие в системе определенного драйвера. Для этого все остальные части системы, например, драйвера устройств, тоже представлены в системе как модули. Можно указать зависимость теста от требуемого для его выполнения модуля и система гарантирует, что нужный модуль будет проинициализирован до начала выполнения теста.

Интерфейс тестирования архитектурно-зависимых частей. При разработке встраиваемых систем возникают проблемы тестирования архитектурно-зависимых частей системы. Часть функциональности таких тестов должна быть реализована на ассемблере.

Кроме того имеет значение, что после завершения теста система должна вернуться в состояние, полностью идентичное тому, которое было до проведения теста (ведь тест по определению не может никак влиять на систему, он ее только проверяет). Но, например, тестирование прерываний неминуемо без установки тестовых обработчиков прерываний, что означает необходимость изменения таблицы прерываний на время теста. Похожие рассуждения верны и для других архитектурно-зависимых частей, например, MMU. Как итог, нужен некоторый механизм, обеспечивающий возврат системы из теста в рабочее состояние.

Ассемблерный код и механизм восстановления рабочего окружения скрыты в интерфейсе тестирования архитектурно-зависимых частей системы.

Функции тестирования имеют общую сигнатуру для всех архитектур. Архитектурно зависимая реализация функций располагается отдельно от общего интерфейса.

Механизм сохранения/восстановления рабочего окружения представляет интерфейс структуры, содержащей информацию о системе. Для каждой архитектуры эта структура переопределена по-своему и содержит всю необходимую информацию для восстановления рабочего окружения.

Практическое использование

Пример использования. На практике реализация простейшего теста выглядит так.

Реализация кода теста:

```
#include <embox/test.h>
```

```
EMBOX_TEST(run);
```

```
static int run(void) {  
    int result = 0;  
    /* The test itself */  
    return result;  
}
```

Включение теста в образ системы

```
$ _MODS += test  
$ _SRCS-test += test.c  
$ _DEPS-test += embox.hal.mm
```

Работа с MMU

```
mmu_save_env(&prev_mmu_env);  
cur_mmu_env = testmmu_env();  
mmu_set_env(cur_mmu_env);  
/* The test itself */  
mmu_on();  
mmu_off();  
mmu_restore_env(&prev_mmu_env);
```

Организация регрессионного тестирования. В нашем случае под регрессионным тестированием мы будем понимать повторные прогоны тестов, созданных после исправления той или иной ошибки, и хранящихся в базе тестов.

В рамках проекта Embox реализована возможность множественной генерации образов для загрузки. Это возможно за счет использования механизма шаблонов конфигураций. Этот механизм, например, позволяет выполнением одной команды собрать автоматически все конфигурации для тестирования всех частей аппаратуры системы.

Заключение

Представленная в работе тестовая система на основе проекта Embox успешно применяется при разработке проектов компании ЗАО “Ланит-Терком” для тестирования аппаратуры и алгоритмов управления встраиваемых систем различного уровня.

Код системы распространяется на основе свободной лицензии, что позволяет использовать ее другим компаниям.

Библиографический список

1. What is Embox? Интернет. <http://code.google.com/p/embox>

УДК 004.2

ПОСТРОЕНИЕ ОТКАЗОУСТОЙЧИВЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ ПО ПРИНЦИПУ ТРОИРОВАНИЯ

А.В. Бондарев, Н.В. Короткий, Б.Н. Кривошеин

Санкт-Петербургский государственный университет
(СПбГУ)

Описаны основные принципы повышения времени безотказной работы систем и архитектура вычислительного комплекса на базе троирования. Рассмотрены алгоритмы диагностики сбоев и отказов системы, а также их устранения в процессе работы комплекса.

Введение. Сегодня спрос на широкую функциональность ИТ-систем уходит на второй план, уступая место требованиям максимальной надежности. Отказы систем в таких областях как ядерная энергетика, военная и авиационная промышленность представляют собой большую потенциальную угрозу человеческой жизни и окружающей среде. По этой причине эти области особенно нуждаются в наличии максимально надежных и безотказных систем, исключающих в работе сбои по вине человеческого фактора. Такие решения не только возможны, но и уже активно используются. При разработке систем, приоритетом при эксплуатации которых является надежность, необходимо наличие решений, повышающих вероятность того, что система в каждый момент времени будет находиться в работоспособном состоянии. Такая вероятность называется доступностью системы. Создание отказоустойчивых систем всегда связано с избыточностью некоторого рода. Избыточность – это наличие в структуре устройства возможностей сверх тех, которые могли бы обеспечить его нормальное функционирование. Избыточность вводится для повышения надёжности работы и для исключения влияния помех и сбоев на достоверность передаваемой информации (в телекоммуникационных устройствах).

Структура комплекса

Троированный комплекс ОВК представляет из себя одноядерный вычислитель с восемью портами Ethernet. Он предназначен для построения на его основе надежных вычислительных сетей или распределенных вычислительных комплексов. Комплекс ОВК состоит из трех типов модулей:

- **CPU** – модуль вычислителя. Плата модуля содержит процессорное ядро, синхроконтроллер, flash и DDR память.

- **IO** – коммуникационный модуль ввода вывода. Плата модуля содержит мажоритар, 4 MAC-ethernet модуля и 8 модулей phy-Ethernet.

- **EPORТ** – троированный ethernet порт. Плата модуля содержит 3 внутренних модуля phy-ethernet, один внешний и модуль коммутатора.

Комплекс включает в себя 3 модуля CPU, 3 модуля IO, и восемь троированных модулей EPORТ. Поскольку каждый модуль комплекса ОВК троируется, как и все межмодульные соединения, сбой любого элемента не только не приводит к отказу всей системы, но и позволяет диагностировать и устранять сбои в реальном времени.

Аппаратное обеспечение

Модуль CPU. Модуль вычислителя построен на основе ПЛИС xc5v1x50t. Содержит 128 МВ flash-памяти и 1 GB оперативной памяти DDR2. В ПЛИС реализовано процессорное ядро с необходимой периферией (контроллеры памяти, контроллер прерываний, таймер, отладочный блок). Также присутствует синхроконтроллер, который обеспечивает аппаратную диагностику и классификацию сбоев. Синхроконтроллер содержит коммуникационный блок высокоскоростного межмодульного интерфейса, мажоритар, контроллер состояний и синхрогенератор. На данный момент процессорное ядро, реализованное в ПЛИС, может быть двух типов:

- на базе процессора с открытым исходным кодом Leon3 (SPARC v8) [4];
- на базе собственной реализации процессорной архитектуры microblaze [3].

Собственная реализация процессорного ядра, а также некоторые модули в ПЛИС реализованы с помощью технологии HaSCoL [2]. Процессорные ядра полностью заменяемые, поскольку имеют доступ к периферии через шину AMBA [1].

Модуль IO. Коммуникационный модуль также построен на базе ПЛИС xc5v1x50t. В нем реализованы модуль MAC, а также собственный синхроконтроллер. Синхроконтроллер на данном модуле содержит коммуникационный блок, мажоритар и синхрогенератор.

Модуль EPORТ. Троированный порт ethernet представляет собой коммутатор между тремя модулями IO и внешним ethernet портом.

Программное обеспечение

Программное обеспечение комплекса содержит три части:

- системный загрузчик;
- основная ОС;
- процедуры диагностики и восстановления.

Системный загрузчик. Код системного загрузчика заработан на основании проекта с открытым исходным кодом «Embox» [5].

Системный загрузчик обеспечивает:

- инициализацию оборудования;
- начальную самодиагностику модуля CPU;
- ввод платы в состав комплекса;
- передачу управления основной ОС.

Код загрузчика исполняется из flash памяти и защищен контрольной суммой.

Основная ОС. Основной ОС является собственный дистрибутив на основе ядра Linux 2.6.33. Данный дистрибутив обеспечивает все необходимые службы ОС, в том числе совместимость со стандартом POSIX, а также сетевыми службами. Это позволяет легко разрабатывать и отлаживать ФПО системы. Код основной ОС выполняется из оперативной памяти. Альтернативной ОС может являться OCPB «Embox», которая была разработана для данного комплекса. Она имеет существенно меньший объем кода и позволяет не использовать пользовательский режим процессора и виртуальную память. Код альтернативной ОС может исполняться из flash-памяти, что упрощает диагностику сбоев оперативной памяти.

Процедуры диагностики сбоев и восстановления. Процедуры восстановления обеспечивают классификацию событий в системе, ведут статистику и принимают решения о выводе модуля из работы или ввода модуля в состав комплекса. Код процедур располагается во flash-памяти, а сегмент данных и стека находится во внутренней памяти ПЛИС, что минимизирует вероятность повторного сбоя в момент процедуры восстановления. Существуют два типа возможных событий в системе: введение новой платы в состав комплекса и обнаружение расхождения в работе модулей.

Алгоритмы

Синхронизация модулей. Алгоритмы синхронизации модулей в системе построены на основании того, что все три модуля CPU выполняют одну и ту же программу, а следовательно одинаковый набор инструкций процессора. Для устранения погрешности кварцевых генераторов, присутствующих на каждом модуле CPU, служит синхрогенератор. Синхрогенератор обеспечивает синхронизацию всех клоков, которые должны быть синхронными на различных модулях CPU. Достигается это за счет того, что все время в системе делится на синхроциклы. Синхроцикл - это время передачи одного фрейма по высокоскоростному межмодульному интерфейсу AURORA. К началу этого фрейма привязаны все клоки на каждом модуле CPU. Интерфейс AURORA содержит сигналы начала и конца фрейма. Ими можно управлять, тем самым подстраивая частоту в каждом канале.

Ввод нового модуля в состав комплекса. После подачи питания на плату модуля CPU управление передается системному загрузчику, который осуществляет начальную инициализацию оборудования, проводит самодиагностику, и затем сообщает аппаратуре модуля о готовности к работе. Ввод платы в состав комплекса осуществляется аппаратно. В каждом синхроцикле передается состояние (режим работы) всех модулей CPU. Таким образом синхроконтроллер контролирует режим работы собственного модуля и состояние комплекса в целом. Может быть две ситуации: 1. Когда на предыдущем синхроцикле не было ни одного работающего модуля, и на текущем шаге существуют два модуля готовых к введению в состав комплекса 2. Когда на предыдущем синхроцикле было два работающих модуля, и на текущем к ним прибавился модуль, готовый к введению в состав комплекса В первом случае синхроконтроллер просто размораживает тактовый клок процессорных ядер готовых модулей. Во втором синхроконтроллер сообщает о возникшей ситуации программному обеспечению процедуры синхронизации и передает ей управление на всех трех модулях CPU комплекса. Процедура выравнивания сохраняет весь контекст процессора и периферии на всех трех модулях CPU, в том числе и состояние кэша, виртуальной памяти, специальных регистров и так далее. Таким образом, данное состояние, так же как и содержимое динамической памяти, одинаково на двух из трех модулей. Процедура синхронизации запускает аппаратное DMA на весь необходимый объем памяти, этот DMA проходит через мажоритар, и тем самым синхронизирует состояние памяти и процессора вновь введенного модуля с ранее работающими. После этого процедура синхронизации продолжает работу основной ОС.

Обнаружение сбоев и восстановление системы. В рабочем состоянии комплекса синхроконтроллеры всех плат CPU собирают трассу обращений к шинам адреса и данных. При этом на каждом синхроцикле эти данные сворачиваются и передаются на остальные синхроконтроллеры. Мажоритар проверяет одинаковость передаваемых данных, и в случае расхождения свертки на одном из модулей CPU, он передает управление процедуре восстановления системы. Процедура восстановления системы, как и в случае с процедурой синхронизации, сохраняет все состояние процессорных модулей (регистры, периферию и так далее). После этого происходит передача всех трасс на каждый модуль CPU. Процедура восстановления ищет расхождения по трассам и синхронизирует данный кусок памяти. Впоследствии данный кусок памяти будет протестирован процедурой самодиагностики. Если обнаруживается, что сбой повторяется несколько раз на одном модуле, то модуль выводится из состава комплекса. Оператору сообщается лог его диагностики.

Заключение

Описанная в работе реализация отказоустойчивого программно-аппаратного комплекса позволяет существенно повысить время безотказной работы одинарного вычислительного комплекса. Алгоритмы, приведенные в работе, позволяют диагностировать и устранять сбои на ранних этапах их возникновения. Причем этот процесс не требует отключения комплекса, а следовательно не приводит к его простоям. Введение и вывод модулей из комплекса, например в случае профилактики или ремонта, так же не требует простоя всего комплекса. Алгоритмы синхронизации и восстановления работы основной ОС позволяют применять в подобных системах современные операционные системы и процессорные архитектуры, в том числе с виртуальной памятью и кэшем. К тому же позволяют применять в модулях процессорные ядра и память на частоте, превышающей 100 МГц.

Библиографический список

1. SPARC V8 Manual // <http://www.gaisler.com/doc/sparcv8.pdf>

2. *MicroBlaze Processor Reference Guide* // http://www.xilinx.com/support/documentation/sw_manuals/mb_ref_guide.pdf
3. Boulytchev D., Medvedev O. Hardware Description Language Based on Message Passing and Implicit Pipelining // East-West Design and Test (EWDTS), 2009. Pp. 279-*282.
4. AMBA-2.0 specification // http://polimage.polito.it/~lavagno/esd/IHI0011A_AMBA_SPEC.pdf
5. <http://code.google.com/p/embox/>

УДК 004.4'22

ТЕХНОЛОГИЯ ВИЗУАЛЬНОГО ПРЕДМЕТНО-ОРИЕНТИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ И РАЗРАБОТКИ ПО QREAL

Т.А. Брыксин, Ю.В. Литвинов

Санкт-Петербургский государственный университет
(СПбГУ)

Описывается инструментальная среда QReal, являющаяся как CASE-средством, так и позволяющая быстро создавать визуальные предметно-ориентированные языки, редакторы и генераторы исходных кодов для них. Дается описание общей архитектуры системы, основных функциональных особенностей.

Введение. Модельно-ориентированная разработка ПО основывается на представлении программы в виде набора моделей, описывающих ее с различных точек зрения. При этом обычно используются визуальные языки моделирования, с их помощью создаются разного уровня абстракции описания предметной области, разрабатываемой системы и взаимодействующего с ней окружения. Считается, что в целом данный подход упрощает процесс разработки и понимания системы, делает его более наглядным, снижает вероятность появления ошибок, повышает продуктивность разработчиков. К концу 90-х годов был разработан набор методологий разработки ПО (и поддерживающих их инструментариев), в том или ином виде предполагающих активное использование визуального проектирования. Вполне закономерно желание иметь полную автоматическую генерацию исполняемого кода по диаграммам, однако, это неизбежно приводит к жесткой формализации соответствующих графических языков. При этом использование языков общего назначения (например, Executable UML) чаще всего приводит к тому, что диаграммы теряют наглядность и простоту, становятся громоздкими и сложными для восприятия. Парадигма предметно-ориентированного моделирования основывается на том факте, что чаще создание нового специального языка и решение с его помощью поставленной практической задачи можно осуществить быстрее, чем решать ту же задачу с помощью языков общего назначения (подробнее про преимущества и ограничения, появляющиеся при использовании DSM-подхода, см. в (Kelly, 2008)). Имея соответствующую инструментальную поддержку, данный подход позволяет значительно повысить уровень абстракции, на котором работают проектировщики, и увеличить производительность их труда в несколько раз (Kelly, 2000).

QReal

Разработкой технологии QReal занимается научно-исследовательская группа изучения технологий визуального моделирования кафедры системного программирования Санкт-Петербургского Государственного Университета под руководством проф. А.Н. Терехова. QReal (А.Н. Терехов, 2009) изначально задумывалась как развитие технологии REAL (А.Н. Терехов, 1999), основывающееся на использовании более современной версии языка UML – 2.0. При этом на разрабатываемые средства накладывались требования многоплатформенности (возможность работы на наиболее популярных операционных системах MS Windows и Linux), поддержка многопользовательской разработки, возможность удаленного доступа к репозиторию системы и другая актуальная для современных сред визуальной разработки ПО функциональность. Однако, стало быстро очевидно, что создание большого числа редакторов диаграмм вручную является довольно утомительным занятием, к

тому же получаемая система оказывается плохо масштабируемой. В результате в QReal были добавлены средства метамоделирования, которые позволяют быстро создавать новые редакторы, задавая описание метамоделей разрабатываемого языка и визуальное представление его элементов.

Архитектура

Инфраструктуру QReal можно представить следующим образом (Рис.1).

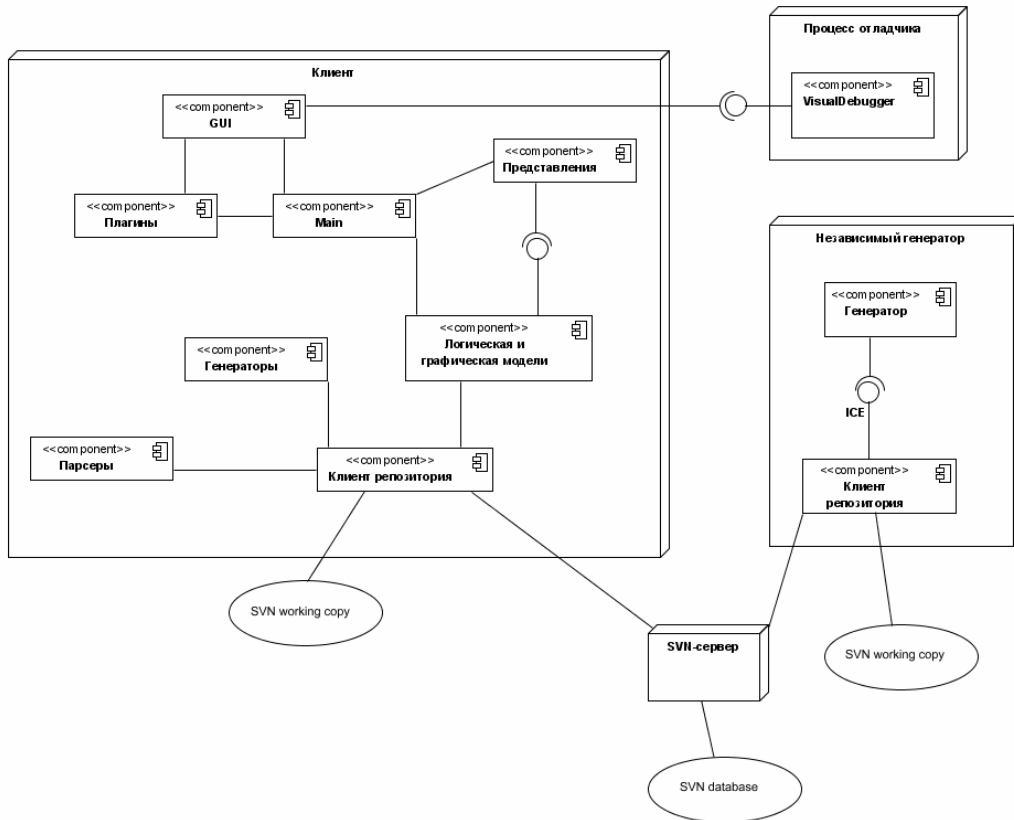


Рис. 1. Архитектура Qreal.

- Ввиду того, что набор графических редакторов QReal не фиксирован, каждый визуальный редактор является подключаемым модулем. Инфраструктура CASE-системы включает в себя абстрактное ядро, реализующее общую для всех редакторов и элементов диаграмм функциональность, и подключаемые модули, реализующие специфику конкретных редакторов. Каждый такой модуль инкапсулирует в себе информацию о наборе объектов, допустимых на диаграммах данного типа, позволяет правильно интерпретировать хранящиеся в репозитории значения атрибутов элементов и предоставляет информацию о логических правилах размещения элементов на соответствующих типах диаграмм.

- Для обеспечения версионирования и многопользовательской работы используется сервер Subversion. Доступ к нему осуществляется посредством клиентов репозитория, которые хранят свои модели в виде текстовых файлов, организованных в рабочую копию системы контроля версий.

- В QReal представление и хранение данных основано на разделении графических и логических моделей. Элемент модели и его визуальное представление – по сути разные вещи. Некоторые элементы модели могут вовсе не иметь визуального представления (например, значения перечислимых типов), некоторые наоборот, имеют только визуальное представление и на логику никак не влияют (например, просто линия или прямоугольник на диаграмме), некоторые могут иметь несколько представлений. В CASE-пакете реализованы необходимые средства, позволяющие разработчикам создавать различные представления одних и тех же логических моделей.

Средства метамоделирования

В QReal реализованы два подхода, позволяющие любому заинтересованному пользователю системы, не обладающему навыками программирования и не знакомому с внутренним устройством системы, создать новый редактор диаграмм, встраиваемый в QReal.

- Мета модель разрабатываемого языка описывается в виде XML-формата довольно простой структуры. Графические изображения элементов задаются с помощью языка SDF (Stencil Description Format), являющегося расширением языка описания векторной графики SVG.
- Мета модель языка задается графически в метаредакторе QReal посредством простого визуального языка, являющегося аналогом MOF. Для описания представлений элементов языка на диаграммах используется графический редактор форм, позволяющий создавать из набора примитивов векторные изображения или загружать уже готовые растровые.

В дополнение к метаредактору для быстрого создания трансляторов визуальных диаграмм в исходный код на некотором текстовом языке в QReal используется специальный язык описания генераторов. Так, для каждого разрабатываемого визуального языка можно задать правила обхода созданных с его помощью диаграмм и генерации кода по ним. В дальнейшем эти правила интерпретируются для конкретных диаграмм, порождая соответствующий им код на выбранном целевом языке.

Отладчик

Для редактора блок-схем и некоторых других поведенческих диаграмм, основывающихся на сетях Петри, в QReal реализован визуальный интерпретатор, который позволяет разработчику пошагово выполнять созданные диаграммы. При этом среда на каждом шаге автоматически проверяет синтаксическую и семантическую корректность созданной диаграммы, текущий элемент или связь подсвечиваются. Стоит отметить, что разработчик может менять диаграмму прямо в процессе интерпретации, что дает дополнительные удобства для отладки созданных алгоритмов.

Повышение удобства использования и производительности труда

Большое значение в QReal уделяется удобству и простоте использования инструментальных средств (usability). Так, был реализован подход, при котором создание объектов на диаграммах и связей между ними ассоциируется с определенными жестами мышью, выполненными с зажатой правой кнопкой мыши (М.С. Осечкина, 2010). При выполнении жеста в указанном месте диаграммы создается соответствующий объект. На наш взгляд данный механизм позволяет автоматизировать и ускорить наиболее часто выполняемую при проектировании диаграмм операцию – создание элементов. Также в процессе моделирования важным является удобство работы о связях между элементами.

- В QReal связь между элементами можно создать, сделав жест мышью, начинающийся и заканчивающийся на нужных элементах. При этом если между типами этих элементов может существовать несколько ассоциаций, среда предложит выбрать нужную связь во всплывающем меню.
- Точки излома ассоциаций можно добавить, просто потащив за какой-либо участок ломаной.
- При выделении объекта на диаграмме вокруг него появляются несколько кружков, каждый из которых ассоциирован с видами связей, которые из данного элемента могут исходить. При нажатии на них из элемента можно “вытащить” связь.

Заключение

Описанный в статье metaCASE инструментарий QReal был использован для создания ряда визуальных редакторов и генераторов исходного кода по ним: набор редакторов UML 2.1 (с генерацией в Java и C#.NET), редактор бизнес-процессов на языке BPEL, редактор требований, ряд предметно-ориентированных решений для описания схем FPGA, интернет-сервисов для платформы Android, программ управления роботом Lego Mindstorms NXT, программ, распараллеливаемых с помощью MPI и др.

На основе полученного опыта мы полагаем, что при наличии мощной инструментальной поддержки использование предметно-ориентированных визуальных языков реализует принципиально новый подход к созданию сложных систем с довольно низким порогом вхождения для новичков и многократным увеличением производительности профессионалов. Проект QReal ставит своей целью исследование, реализацию и апробацию таких инструментов и основанных на них технологий.

Библиографический список

1. Kelly S., Tolvanen, J.-P. Domain-Specific Modeling: Enabling Full Code Generation [Книга]. - [б.м.] : Wiley-IEEE Computer Society Press, 2008. - стр. 448.

2. Kelly S., Tolvanen, J.-P. Visual domain-specific modeling: benefits and experiences of using metaCASE tools [Конференция] // Proceedings of International workshop on Model Engineering, ECOOP. - 2000.

3. Терехов А.Н., Романовский К.Ю., Кознов Д.В. и др. REAL: методология и CASE-средство для разработки систем реального времени и информационных систем [Статья] // Программирование. - 1999 г. - 5. - стр. 44-52.

4. Терехов А.Н., Брыксин Т.А., Литвинов Ю.В. и др. Архитектура среды визуального моделирования QReal [Статья] // Системное программирование. - СПб : Изд-во СПбГУ, 2009 г. - 4. - стр. 171-196.

5. Осечкина М.С., Брыксин Т.А., Литвинов Ю.В. и др. Поддержка жестов мышью в мета-CASE-системах [Статья] // Системное программирование. - [б.м.] : Изд-во СПбГУ, 2010 г. - 5.

УДК 004.4'22 + 004.43

СПОСОБЫ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ТРУДА В СРЕДАХ ВИЗУАЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Я.А. Кириленко, М.С. Осечкина

Санкт-Петербургский государственный университет
(СПбГУ)

Рассматриваются вопросы эргономического обеспечения процесса взаимного редактирования моделей. Предложены способы усовершенствования визуального редактора, в том числе, не основанные на анализе эволюции текстовых сред. Приводится пример использования комбинированного интерфейса

Современное прикладное программное обеспечение (ПО) систем автоматизации проектирования всецело построено на технологиях визуального редактирования модели объекта проектирования. Процесс редактирования остаётся практически неизменным уже много лет, в то время как механизмы моделирования (в том числе визуализации) непрерывно развиваются.

Если в сфере производства редактирование на этапе проектирования составляет лишь незначительную часть процесса, то в случае процесса разработки ПО можно говорить о том, что проектирование (в общем понимании, т.е. как создание нематериальной модели объекта) идёт постоянно. А в случае языков предметно-ориентированного визуального программирования этап разработки, известный в программировании как стадия проектирования, вообще неотделим от реализации.

В мировой практике накоплен значительный положительный опыт применения предметно-ориентированных визуальных технологий для решения задач промышленной разработки программного обеспечения. В среднем, в сравнении с традиционным подходом «ручного» кодирования [1], наблюдается повышение производительности в 3-10 раз.

Аналогичный опыт использования систем визуального программирования был приобретён и кафедрой системного программирования СПбГУ при создании систем реального времени с помощью инструментария собственной разработки [2, 3].

Современная система визуального программирования — это уже не просто ПО, а программно-аппаратный комплекс, неотъемлемой частью которого являются средства взаимодействия проектировщика и программного обеспечения. Однако в проводившихся до сих пор исследованиях остается неизученным вопрос о влиянии эргономического обеспечения используемого средства проектирования вообще и программного обеспечения в частности. Возможно, на разброс показателей в статистике обследования влияет, среди прочего, и эргономика ПО.

Можно предположить, что во всех случаях использовались общедоступные широко распространённые интерфейсные средства: клавиатура, мышь, цветной монитор. При работе в современных средах визуального программирования, моделирования и проектирования большинство операций сводятся к манипуляциям над элементами графических языков и над связями между элементами. Рациональное использование современных человеко-машинных интерфейсов может значительно повысить производительность труда на этапе визуального проектирования.

К сожалению, рассмотренные системы автоматизированного проектирования в части, относящейся именно к процессу рисования, зачастую автоматизируют лишь формальную сторону оформления диаграммы (схемы, чертежа) — правила изображения объектов и связей. В свою очередь, производители программного обеспечения за последнее десятилетие разработали и внедрили в различные программные продукты, являющиеся основными средствами производства в своих областях, множество усовершенствований, направленных на повышение качества условий труда. Так, например, к стандартным *de facto* возможностям редакторов интегрированных сред разработки уже давно относятся обнаружение грубых синтаксических и семантических ошибок без компиляции кода, контекстно-чувствительное автоматическое завершение синтаксических фраз, простейшие преобразования с сохранением функциональности (рефакторинг) и т.п. Многие из этих функций могли бы быть применены и в системах визуального проектирования.

Современные реалии позволяют оснастить системы проектирования удобным пользовательским интерфейсом, основанным, в том числе, и на нестандартных способах человеко-машинного взаимодействия. «Рисовать» на экране должно быть удобнее, проще и быстрее, чем рукой на бумаге. Следует эффективнее использовать «абстракцию компьютерного экрана», которая, в отличие от «абстракции листа бумаги», предполагает высокую степень активности среды во взаимодействии с пользователем.

Вообще говоря, формальные нотации представления информации об объектах реального мира зародились задолго до эры автоматизации и использовались для упрощения взаимодействия между различными участниками процесса производства. В течение многих десятилетий инженеры передавали на производство чертежи и получали назад образцы для опытных испытаний. Благодаря средствам автоматизации проектирования, снабженным механизмами моделирования, инженер без изготовления пробного образца может в некотором приближении исследовать свойства создаваемого изделия, но наследственная «бумажная» составляющая абстракции до сих пор явно доминирует.

Современные вычислительные мощности дают возможность моделировать всё более и более сложные системы, а новые человеко-машинные интерфейсы скоро позволят стереть грань между реальным конструированием и программным. Например, в основу новых систем проектирования могут быть положены исследования по имитации осязания английского профессора кибернетики Кейвина Ворвика (Kevin Warwick, University of Reading, England), совмещенные со средствами создания объемного изображения.

Но даже использование имеющихся в свободном доступе недорогих современных человеко-машинных интерфейсов обеспечивает значительное повышение производительности в различных сферах применения ПО, поскольку уменьшает разрыв между естественным и формализованным процессом. Например, художники-оформители активно используют планшеты со стилусами, а не мыши, так как планшет способен достаточно точно распознавать силу нажатия и угол наклона пера-стилуса, что делает пользование планшетом похожим на рисование карандашом.

К тому же не полностью раскрыт в системах визуального проектирования и потенциал таких простых интерфейсов, имеющихся в распоряжении каждого пользователя ПК, как клавиатура, мышь, цветной дисплей и аудиогарнитура (наушники с микрофоном). Активнее должны применяться комбинированные интерфейсы. В том числе заслуживает внимания голосовое управление, которое вряд ли пока может заменить иные интерфейсы, но служит к ним прекрасным дополнением. Например, выбор свойств линии при рисовании вполне можно осуществлять при помощи голосовых команд. Более того, команды могут соответствовать семантике («реализует», «относится к компоненте А»), а не только синтаксису («пунктир», «красный»). Такой подход видится достаточно результативным, особенно в случае, когда пользователь ещё не полностью овладел синтаксисом конкретного языка.

Учитывая, что значительное повышение производительности труда, в первую очередь, обусловлено правильным выбором инструмента, были проанализированы подходы, общие для всех средств визуального проектирования и программирования.

Эффективность любого используемого инструмента определяется тем, насколько удобно и быстро он позволяет выполнять операции, для которых предназначен. В процессе разработки моделей одними из наиболее часто выполняемых действий над объектами и связями на диаграммах являются их создание и удаление. В большинстве CASE-средств для создания нужного объекта на диаграмме необходимо сначала либо найти его на панели инструментов, либо выбрать в меню, а затем указать

то место на диаграмме, где мы хотели бы этот объект разместить. В большинстве инструментариев возможно также создание объектов «перетаскиванием» (drag and drop) из палитры.

При этом надо учитывать, что количество видов диаграмм и объектов в палитре каждой диаграммы может быть довольно большим (например, 13 видов диаграмм в UML 2.2). Не всегда можно оставить в палитре только элементы, специфичные для данного типа диаграмм, поскольку иногда встаёт задача быстрого прототипирования с использованием смешанных диаграмм. Даже в случае такой базовой операции, как создание нового элемента, разработчику нужно не только совершить набор чисто механических действий, но ещё и вспомнить, на какой вкладке палитры или в каком меню находится нужный ему элемент, постоянно переключаясь с продумывания иерархии создаваемых моделей на особенности использования выбранного инструмента. Мы полагаем необходимым и возможным автоматизировать, например, данную операцию, сделав её максимально удобной для пользователей CASE-средств.

Оптимизация интерфейса под использование жестов особенно актуальна в контексте применения CASE-средств на компьютерах с сенсорными экранами или на электронных досках. Такие устройства активно развиваются и уже вошли в повседневную жизнь, например Microsoft (r) Surface. Примерами использования CASE-средств на подобных устройствах может быть их применение в процессе обучения или активного обсуждения на совещаниях. В качестве примера по оптимизации интерфейса рассматривается подход, основанный на манипуляциях с мышью. Предлагается с каждым элементом ассоциировать определённое движение мышью, выполненное с каким-либо модификатором (допустим, с зажатой правой кнопкой мыши), и при выполнении этого действия создавать в указанном месте соответствующий объект. Например, если пользователь на диаграмме случаев использования UML рисует круг, у него создаётся прецедент использования системы (use case), если рисует актёра — создаётся элемент «актёр» (actor).

Но такие жесты не в полной мере соответствуют целям «натурализации» процесса редактирования визуальной модели, поскольку требуют безотрывного рисования фигуры, пусть даже её части в улучшенном варианте алгоритма. Для большей схожести с естественным процессом рисования необходимо использовать распознавание составных (анг. multi-stroke, дословно «многоштриховых») жестов, которые не накладывают строгих ограничений на порядок рисования линий контура фигур.

Обобщая сказанное, можно сказать, что важную роль в совершенствовании инструментария редактирования визуальных моделей может сыграть активное применение наработок по распознаванию изображений и контуров, имеющихся в других областях информатики. Например, распознавание набросанных от руки схем, как обобщенный вариант распознавания фигур, обязательно найдёт своего потребителя.

Лишь некоторые из упомянутых приёмов уже реализованы в тех или иных инструментах. Дальнейшие исследования по данной теме необходимо сосредоточить на внедрении описанных методов в средства визуального проектирования и на проведении соответствующих экспериментов. Реализацию предполагается осуществить на основе QReal [4] — платформенезависимого средства визуального предметно-ориентированного программирования, разрабатываемого на кафедре системного программирования СПбГУ под руководством проф. А.Н. Терехова. Часть идей уже реализована в прототипе и результаты экспериментов опубликованы [5].

Библиографический список

1. Kelly, S., Tolvanen, J.-P., Visual domain-specific modeling: benefits and experiences of using metaCASE tools, in: Bezivin, J., Ernst, J. (Eds.), Proceedings of International workshop on Model Engineering, ECOOP 2000.
2. Парфенов В.В., Терехов А.Н. RTST - технология программирования встроенных систем реального времени. // Системная информатика, Новосибирск, 1997, N5. С.228-256.
3. Терехов А.Н., Романовский К.Ю., Кознов Д.В., Долгов П.С., Иванов А.Н. Real: методология и CASE-средство для разработки систем реального времени и информационных систем. // Программирование, 1999, N.5. С.44-52.
4. Терехов А.Н., Брыкин Т.А., Литвинов Ю.В. и др., Архитектура среды визуального моделирования QReal. // Системное программирование. Вып. 4: Сб. статей / Под ред. А.Н. Терехова, Д.Ю. Булычева. — СПб.: 2009, с. 171-196.
5. Осечкина М.С., Брыкин Т. А, Литвинов Ю. В. и др. Поддержка тестов мышью в мета-CASE-системах// Системное программирование. Вы. 5: Сб. статей/ под ред. А. Н. Терехова, Д. Ю. Булычева – СПб.: 2010.

МЕТАМОДЕЛИРОВАНИЕ: СОВРЕМЕННЫЙ ПОДХОД К СОЗДАНИЮ СРЕДСТВ ВИЗУАЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

А.С. Кузенкова, Ю.В. Литвинов, Т.А. Брыксин

Санкт-Петербургский государственный университет
(СПбГУ)

Описывается реализация поддержки метапрограммирования в системе QReal. Приводится краткое описание архитектуры системы, процесса создания нового визуального языка метасредствами системы, в том числе приводится описание визуального метаредактора и механизмов интеграции метаредактора в среду.

Введение. В настоящее время средства визуального моделирования активно используются для разработки программного обеспечения. Некоторые инструментарии не ориентированы на конкретную предметную область и имеют заранее определенный набор редакторов визуальных языков для создания новых систем. Такие инструментарии называются CASE-пакетами. Их использование само по себе может значительно упростить проектирование сложных систем по сравнению с подходами, основанными на использовании текстовых языков. Но иногда процесс разработки можно упростить ещё более – к примеру, если система проектируется для узкоспециализированной предметной области, её создание с применением описанного подхода может стать неоправданно трудоёмким. В этом случае уместен другой способ разработки новых систем – предметно-ориентированное моделирование (Kelly, 2008). Суть его состоит в том, что вместо использования уже имеющихся визуальных языков создается новый язык, специализированный для рассматриваемой предметной области, и система проектируется уже с помощью разработанного языка. Как показывает практика, такой подход является более гибким и удобным (Kieburz, 1996).

Примерами средств для создания новых предметно-ориентированных языков, или DSL (Domain Specific Languages), являются Microsoft DSL Tools, Eclipse GMF, MetaEdit+.

Инструментарий Microsoft DSL Tools используется для создания редакторов визуальных языков, встроенных в среду Visual Studio, и хорошо применим для создания несложных графических редакторов. Создание нового графического редактора состоит в описании его метамодели с возможностью дополнения требуемой функциональности на C#. Но с помощью него нельзя создать редактор визуального языка, независимый от среды Microsoft Visual Studio.

Технология Eclipse GMF разрабатывается на базе среды разработки Eclipse и также предназначена для создания новых предметно-ориентированных языков, в основном встроенных в эту среду. Но для создания метамодели языка, в свою очередь, требуется описание нескольких моделей (доменной, графической модели, моделей инструментов, соответствия и генератора), поэтому процесс создания нового языка оказывается довольно длительным и трудоёмким.

MetaEdit+ является развитым инструментарием для создания DSM-решений, имеет большое число промышленных внедрений, но цена лицензии на него весьма высока.

Нашей целью была разработка инструментария, сочетающего в себе преимущества существующих и, по возможности, лишённого их недостатков.

QReal

На кафедре системного программирования СПбГУ в течение нескольких лет разрабатывается среда визуального программирования QReal (А.Н. Терехов, 2009). Изначально ставилась задача поддержки языка UML 2, и уже на самых ранних этапах разработки стало ясно, что реализация всех 13 видов диаграмм UML ручным кодированием потребует неоправданно больших усилий. Была разработана следующая схема для упрощения труда программистов: каждая диаграмма языка описывалась на специальном метаязыке (аналогичном языку MOF, который используется для задания метамодели UML), по XML-файлам с такими описаниями генерировался код на C++, который потом собирался в динамическую библиотеку и подключался к основной части системы как плагин. Такая схема показала себя довольно удобной и позволила задавать не только диаграммы UML, но и описывать другие существующие визуальные языки с графовой структурой, например, VPEL. Также

оказалось возможным создавать новые визуальные языки и генерировать для них инструментальную поддержку.

Общая архитектура системы показана на рисунке рис.1. Вся информация о синтаксисе языка хранится в плагине, а основная часть системы работает в терминах, общих для всех языков. Создаваемые в QReal модели хранятся в репозитории, который также не использует информацию о синтаксисе конкретных языков, с помощью которых эти модели были разработаны.

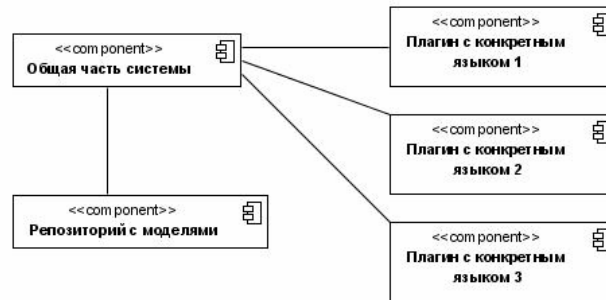


Рис.1. Общая архитектура QReal.

Добавление нового визуального языка в QReal состоит из следующих этапов: абстрактный и конкретный синтаксис языка описывается с помощью метаязыка в XML файле. Из него автоматически генерируется код на C++, реализующий специфику конкретных редакторов и использующий интерфейсы, объявленные в основной части системы. Сгенерированный код компилируется в динамическую библиотеку, которая при запуске грузится основной частью.

Такой способ создания новых редакторов, хотя и оказался удобным в работе и более эффективным по сравнению с ручным кодированием, но всё же имеет ряд принципиальных недостатков, связанных с необходимостью работы с большим объёмом текстовых данных.

Метаредактор

Заметим, что XML-описания редакторов можно генерировать по визуальным моделям, тем самым применив технологию предметно-ориентированной разработки саму к себе.

В связи с этим в QReal были добавлены визуальные инструменты поддержки метамоделирования. Для этих целей был разработан специальный визуальный язык для создания других визуальных языков (или метаязык), базовыми абстракциями которого являются сущности и отношения. Был создан реализующий его графический редактор (или метаредактор). Рассмотрим метаязык и метаредактор подробнее.

Подключаемый модуль может содержать несколько визуальных языков. Каждый язык определяется набором своих элементов и связей между ними. Основные абстракции делятся на графические и неграфические (соответственно имеющие и не имеющие графического представления в редакторе). В метаредакторе графическими являются такие сущности, как «Элемент» и «Связь», обозначающие, соответственно, элемент визуального языка и связь между элементами. Примером неграфической сущности является «Перечислимый тип данных» (enum), обозначающей перечень значений, которые могут использоваться для указания свойств элементов. Также с помощью метаредактора можно задавать отношения наследования между элементами на диаграмме и отношения допустимой вложенности одних элементов в другие. Эти отношения на диаграмме указываются стрелками. Помимо этого имеется возможность задавать некоторые дополнительные свойства, поддержка которых осуществлена в QReal (способность «вытягивать» из элементов определенные связи, сортировать вложенные элементы и уметь их скрывать для элементов-контейнеров, и другое).

В QReal для разработанного метаязыка была создана инструментальная поддержка и соответствующая инфраструктура. После построения метамодели (или нескольких метамodelей) языка пользователь имеет возможность конвертировать его в используемый XML-формат. Инфраструктура обеспечивает поддержку сквозного процесса создания графических редакторов. С ее помощью разработчик может спроектировать новый визуальный язык, скомпилировать подключаемый модуль соответствующего графического редактора и подключить его к QReal, не выходя из системы. Кроме этого реализован разбор существующих XML-файлов и их визуализация с помощью метаредактора, тем самым помимо создания новых визуальных языков пользователь может редактировать уже

имеющиеся. Таким образом, парсер XML-файлов совместно с генератором в XML-формат обеспечивают совместимость двух используемых в QReal способов задания метамodelей – в текстовом и графическом виде.

Процесс сборки нового языка в QReal схематически изображён на рис.2.

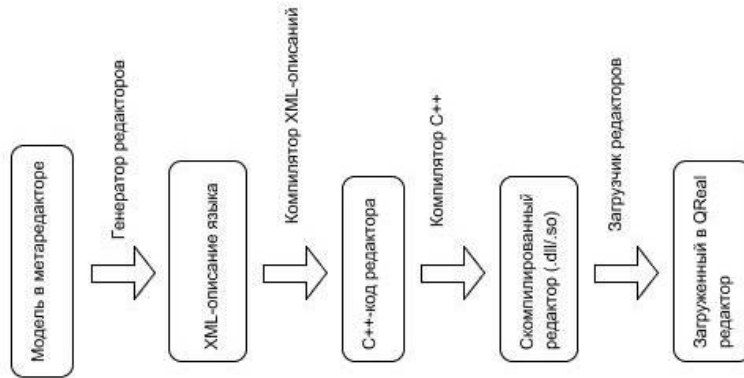


Рис. 2. Процесс генерации редактора.

Разработка графического редактора начинается с создания элемента, обозначающего сам редактор. В свойствах элемента указывается его название и имя директории, в которой будет сохранен код сгенерированного редактора. Далее создаются диаграммы языков, внутри каждой диаграммы задается метамодель соответствующего языка. Для элементов указываются логические свойства, которые потом можно редактировать в процессе разработки моделей на этом языке, и они используются для генерации или интерпретации моделей. Задаются отношения наследования и вложенности, указываются дополнительные свойства, которыми обладают элементы. Когда проектирование редактора завершено, пользователь может сразу сгенерировать редактор. Если имеются некоторые ошибки в задании метамодели (к примеру, не указаны необходимые свойства элементов), то сообщения о них появятся в специальном окне, и имеется возможность их исправить. Если же всё сделано правильно, пользователю предлагается сразу подключить редактор к среде.

Заключение

Описанный в статье метаредактор реализован и используется в системе QReal для создания новых визуальных языков. Один из примеров языка, разработанного с помощью метаредактора – язык программирования роботов Lego Mindstorms NXT. Этот визуальный язык позволяет задавать логику поведения робота в виде последовательности управляющих блоков и исполнить программу на роботе, интерпретируя диаграмму и посылая команды роботу через Bluetooth. Пример диаграммы на этом языке изображён на рис.3.

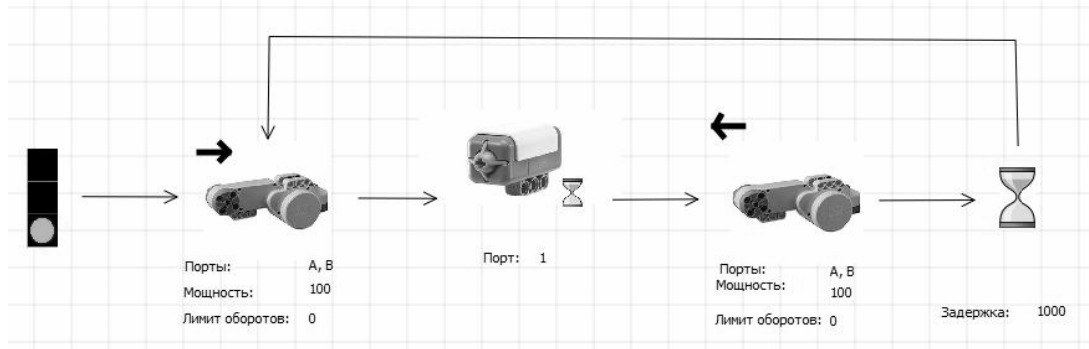


Рис.3. Диаграмма поведения робота.

Создание редактора этого языка с помощью метаредактора заняло порядка нескольких часов, причем большую часть заняло создание изображений элементов на диаграммах. Для сравнения,

ручное кодирование такого редактора даже при наличии соответствующей инфраструктуры, оценивается в несколько человеко-месяцев.

Библиографический список

1. Kelly S., Tolvanen, J. Domain-Specific Modeling: Enabling Full Code Generation [Книга]. - [б.м.] : Wiley-IEEE Computer Society Press, 2008.
2. Kieburtz R., et al A software engineering experiment in software component generation [Журнал] // Proceedings of 18th International Conference on Software Engineering. - 1996 г.
3. Терехов А.Н., Брыксин Т.А., Литвинов Ю.В. и др. Архитектура среды визуального моделирования QReal [Журнал] // Системное программирование. Вып. 4. - 2009 г. - стр. 171-196.
4. <http://www.metacase.com>
5. <http://uml.org/>
6. <http://www.ibm.com/developerworks/library/specification/ws-bpel/>
7. <http://mindstorms.lego.com>

УДК 004.432

ОБЗОР ВЫСОКОУРОВНЕВОГО ЯЗЫКА РАЗРАБОТКИ АППАРАТУРЫ HaSCoL НА ПРИМЕРЕ КЛОНА ПРОЦЕССОРА XILINX MICROBLAZE

О.В. Медведев

Санкт-Петербургский государственный университет
(СПбГУ)

В работе рассмотрен высокоуровневый язык описания аппаратуры HaSCoL в контексте разработки на нем клона процессора Xilinx Microblaze. Вкратце описана архитектура процессора, а также показаны некоторые особенности языка, облегчающие разработку аппаратуры на HaSCoL по сравнению с VHDL/Verilog.

Введение. Эмпирический закон Мура гласит, что каждые полтора-два года количество транзисторов, уместяющихся на заданной площади интегральной схемы (ИС), удваивается за счет изменений в технологии изготовления. В последние годы это открыло возможность создавать сложные системы на кристалле, содержащие абсолютно разные компоненты, такие как процессоры общего назначения, специальные процессоры (сетевые, цифровой обработки сигналов), полностью аппаратные реализации алгоритмов. Подобные системы позволяют создавать новые поколения электронных устройств. Однако, закон Мура говорит лишь о том, что фабричное изготовление серии ИС с определенным числом транзисторов дешевеет со временем. Стоимость же разработки, наоборот, лишь растёт, вслед за сложностью и разнородностью устройств.

Самым распространённым сегодня способом реализации синхронной цифровой ИС является ее описание на языке уровня RTL («уровень регистровых пересылок», англ.«Register Transfer Level»), к которым относятся такие языки, как VHDL, Verilog. Широко распространено мнение (например, оно выражено в предисловиях большинства статей из сборника [1]), что такие описания являются слишком низкоуровневыми. Создаётся множество систем, призванных поднять уровень абстракции разработки аппаратуры, несильно проиграв в качестве (и, таким образом, снизив стоимость разработки ИС за счет повышения производительности труда инженеров). Среди них пока нет доминирующей.

Автор хотел бы поблагодарить коллег из компании ЗАО «Ланит-Терком» за помощь в реализации как средств технологии HaSCoL, так и процессора.

Краткое описание процессора

Процессор является клоном конфигурируемого RISC процессора Xilinx Microblaze для встраиваемых систем и реализует наиболее производительную его версию — с пятистадийным конвейером, MMU (Memory Management Unit), кешем инструкций.

Обязанности между стадиями конвейера распределены примерно следующим образом:

- Fetch — спекулятивная загрузка инструкций через интерфейс MMU, изменение адреса загрузки по команде перехода от Ex1, пропуск загруженных зря инструкций;
- Decode — проверка на исполнение некорректных и запрещенных инструкций; задержка инструкций, которые читают из регистров, значение которых еще неизвестно (то есть, часть механизма обработки конфликтов по данным); загрузка значений операндов;
- Ex0 — исполнение всех необходимых логических и арифметических операций, кроме сдвигов на произвольную длину и умножений; посылка команд в конвейер сдвигов-умножений; вычисление условий переходов; отправка команды на работу с шиной данных в MMU, команды на переход в Fetcher; пропуск инструкций, идущих после исполнившегося перехода;
- Ex1 — часть конвейера умножений и сдвигов на переменное число битов;
- Write-Back — запись результатов вычислений в регистры общего назначения; возбуждение прерываний, исключений;

Параллельно стадиям Ex0, Ex1, Write-Back, расположен конвейер умножений и сдвигов на произвольное число битов.

Общая идея разработки процессора заключалась в том, что часто случающиеся операции (исполнение обычных инструкций, загрузка из кеша, из ITLB/DTLB) исполняются конвейерно, допуская производительность в одну инструкцию за такт. Более редкие операции (чтение регистров MMU, поиск в UTLB) могут приостанавливать конвейер. При этом, пока конвейер заблокирован, все недоисполненные инструкции доисполняются настолько это возможно (что обеспечивается семантикой соответствующих конструкций языка).

Информация о языке и реализующих его инструментах

ИС на HaSCoL представляется в виде набора каналов для передачи сообщений и обработчиков, которые могут ожидать сообщения из канала (каналов) и посылать результаты работы в каналы. Время в языке дискретно и измеряется в тактах. Доставка сообщений не занимает времени. Поддержана блокирующая доставка сообщений — сообщение считается переданным только в том такте, в котором получатель сигнализирует о готовности принять сообщение. До этого момента посылающий обработчик частично блокируется.

Каждый обработчик является конвейером. Причем, если в нем более одной стадии, то данные, после обработки в 1-ой стадии, попадают во 2-ую только на следующем такте. При этом блокировка распространяется автоматически, так что приостановка одной стадии конвейера на ожидание готовности получателя сообщения влечет приостановку предыдущих стадий в случае, когда это необходимо, чтобы избежать потери данных. Также, автоматически генерируются конвейерные регистры для распространения параметров сообщений и локальных переменных. Данная возможность особенно наглядно видна на следующем примере, реализующем трехстадийный конвейер для вычисления квадратного многочлена:

```

poly(a, b, c, x : integer(32)) { — конвейер получает данные из канала poly
  x2 = x * x | bx = b * x; -- символ ';' обозначает конец такта
  ax2 = a * x2 | bxc = bx + c; -- '|' — параллельное исполнение операторов
  send result(ax2 + bxc) — «send» означает блокирующую посылку сообщения
}

```

В этом конвейере заводятся локальные переменные x2, bx, ax2, bxc, позволяющие донести результаты промежуточных вычислений до следующих стадий конвейера. Для данного примера автоматически генерируются 6 регистров для передачи параметров и переменных по стадиям. В оптимальном режиме работы обработчик принимает новый многочлен и точку на каждом такте и выдает на каждом такте значение многочлена, принятого два такта назад. Если канал «result» становится неготов принимать сообщения, то в конвейере накапливаются промежуточные результаты для двух последних точек и канал «poly» также становится неготов принимать сообщения.

Несколько обработчиков могут слушать один и тот же канал или посылать сообщения в один и тот же канал. Язык поддерживает возможность указания того, как следует разрешать возникающие при этом конфликты.

Также, язык поддерживает возможность декомпозиции устройства на несколько блоков — аналогично механизму «entity/architecture» в VHDL. Эта же возможность позволяет легко интегрировать существующие блоки, реализованные на VHDL, в устройство на HaSCoL.

Инструментальные средства поддерживают генерацию описания ИС на HaSCoL в *синтезируемый* VHDL, совместимый с такими средствами симуляции и синтеза, как Modelsim, Xilinx XST, Synplify.

Также в процессе разработки находится генерация в SystemC, совместимый с компилятором gcc и открытой реализацией SystemC.

Несмотря на наличие в языке высокоуровневых конструкций (таких, как блокирующая посылка сообщения), их семантика подобрана так, что позволяет точно разобраться, что в каком такте происходит, если это необходимо в целях ручной оптимизации ИС.

Некоторые конструкции на примере их применения в процессоре

В данном разделе обсуждаются некоторые конструкции языка, оказавшиеся полезными в реализации процессора.

Порты каналов, приоритеты портов. Синтаксически допустимо написать несколько операторов посылки сообщения в один и тот же канал. Для того, чтобы указывать желаемое поведение в случае, когда начинается посылка нескольких сообщений в одном и том же такте в один и тот же канал, можно объявить, что у канала есть несколько «портов». Если в одном такте приходят сообщения на разные порты, то сообщение с самого высокоприоритетного из них канал начинает принимать, а остальные сообщения он принять не готов.

Пример таков: формально, у процессора Microblaze гарвардская архитектура — есть отдельная шина для чтения инструкций и для работы с данными. В нашей реализации это выражается в наличии двухканального MMU и отдельного кеша инструкций. Однако, внешняя шина одна, и мастер шины тоже один. Таким образом, на каждом такте, мастер может принять не больше одного запроса — либо по инструкциям, либо по данным. Синтаксически, описание канала, принимающего очередную команду, которую надо выставить на шину, выглядит как

```
in toBus(isForInstruction : 1, cmd : busCommand)[DataPort, InstructionPort] ...
```

Имена портов указаны в квадратных скобках в порядке убывания приоритета. Так выглядит посылка в порт канала: «... send toBus'DataPort(0b0, cmd) ...»

Таким образом, команды чтения-записи данных имеют более высокий приоритет и могут приостанавливать деятельность блока загрузки инструкций.

Синхронизация нескольких каналов в заголовке обработчика. Иногда обработчик ждет появления сообщений из нескольких каналов одновременно. В том такте, в котором в каждом канале есть по сообщению, они начинают обрабатываться и одновременно сохраняются в локальных регистрах на случай, если обработка займет несколько тактов. Дальнейшее изменение содержимого каналов не влияет на обрабатываемые данные (своеобразная атомарность транзакции по обработке сообщения). Если локальные регистры можно убрать, не нарушая семантики, оптимизатор это делает.

Примером подобной синхронизации может послужить стадия Write-Back процессора. Она получает номер регистра, в который нужно сохранить данные от Ex1, а сами данные для некоторых инструкций приходят с шины с задержкой на несколько тактов. Сообщения с номером регистра и данными синхронизируются и происходит запись данных в регистр.

Синтаксически такая синхронизация выглядит как перечисление нескольких каналов в заголовке обработчика через запятую:

```
fromMMU(readResult), -- в этот канал приходит ответ шины
local WaitMMU(rNum : integer(5)) -- сюда приходит сообщение с номером регистра
{ в теле, если ответ шины – не исключение, происходит запись нового значения регистра}
```

Поток управления. Язык поддерживает знакомые всем конструкции потока управления --- «if-then-else», «while». Например, инструкции в кеш читаются с шины строчками по 8 слов в режиме «burst». Так выглядит обработчик с циклом, отправляющий запросы на чтение:

```
readBurst(cacheLineAddr) when toBus'InstructionPort {
inBurst := 0b1 | inBurstAddr := 0; -- присвоение в глобальные регистры
while inBurstAddr != 8 do -- пока счетчик не 8
-- блокирующая посылка запроса на чтение очередного слова с шины
send toBus'B(0b1, 0b0, HSIZE_WORD,
-- адрес чтения состоит из адреса строки кеша, 3 битов счетчика и двух нулей
cacheLineAddr || inBurstAddr{0:2} || 0b00,
0x00000000)
| inBurstAddr := inBurstAddr + 1
```

```
done
}
```

Сам цикл не является конвейером, поэтому следующее пришедшее в канал readBurst сообщение ждет, пока предыдущее выйдет из цикла.

В отличие от «while», «if-then-else» является полностью конвейерным оператором.

Параллельное исполнение операторов посылки. Предположим, что мы хотим послать сообщения в каналы а и b параллельно. Это можно сделать двумя способами — «энергичным» и «ленивым».

В первом случае, если канал а готов принимать сообщение, посылка в него произойдет даже если b не готов. Оператор запомнит, что в а сообщение уже послано и будет ждать готовности b. Пример, когда такой вариант желателен — обработка инструкции «branch-and-link» в модуле Ex0. Данная инструкция переходит по заданному адресу, сохраняя собственный адрес в регистр (чтобы потом можно было вернуться — фактически, это вызов функции). Если перед ней шла инструкция работы с шиной данных, то стадия Write-Back может оказаться занята этой инструкцией на много тактов (пока шина не ответит). Значит, и канал, идущий в Write-Back, будет занят. Однако, это не мешает послать команду перехода в Fetcher, который начнет загружать инструкции с нового адреса и проталкивать их в конвейер. Таким образом, часть времени ожидания шины данных может быть не потеряна зря.

Синтаксически, это выглядит как параллельная композиция («|») операторов посылки.

«Ленивый» способ посылает сообщения одновременно, когда оба получателя готовы.

Заключение

Описанная в работе реализация архитектуры Microblaze была отсинтезирована и разведена (при помощи Xilinx ISE 12.2) для FPGA xc5vlx50t и протестирована на отладочной плате ML505 в окружении GRLIB от Gaisler. Тестирование заключалось в запуске ОС Linux Spargear с ядром 2.6, исполнении нагрузочного тестового скрипта, а также интерактивной работе в редакторе joe через терминал (UART).

Также, по результатам разводки, было произведено сравнение нашего клона с оригиналом от Xilinx. Наша реализация занимает примерно на 30% больше ресурсов (LUT, FF), чем оригинал, и работает на такой же частоте. Однако, исходные коды процессора на HaSCoL занимают 2920 строк. К примеру, реализация арифметико-логического устройства (Integer Unit) в Sparg-совместимом процессоре Leon3 от Gaisler занимает больше (на VHDL).

Исходя из этого, можно заметить, что HaSCoL предоставляет возможность реализации цифровых синхронных ИС на более высоком уровне абстракции по сравнению с RTL описаниями (например, VHDL). Описания получаются в разы более компактными, что упрощает их создание, отладку и сопровождение. При этом VHDL, сгенерированный из HaSCoL, может, по качеству результатов синтеза, конкурировать с написанным вручную.

Библиографический список

1. *Coussy P., Morawiec A.* High-Level Synthesis: from Algorithm to Digital Circuit. 1st edition. Springer Publishing Company, Incorporated, 2008.
2. *Boulytchev D., Medvedev O.* Hardware Description Language Based on Message Passing and Implicit Pipelining // East-West Design and Test (EWDTS), 2009. Pp. 279-282.
3. *Medvedev O., Posov I.* Using hardware-software codesign language to implement CANSCID // Formal Methods and Models for Codesign (MEMOCODE), 2010. Pp. 85-88.
4. *MicroBlaze Processor Reference Guide* // http://www.xilinx.com/support/documentation/sw_manuals/mb_ref_guide.pdf
5. <http://oops.math.spbu.ru/projects/coolkit>

ОБУЧЕНИЕ РАСПОЗНАВАНИЮ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

В.В. Мышко, Е.Б. Самойлов, А.Н. Кравцов, В.В. Ткаченко

Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского
(ВКА им. А.Ф. Можайского)

Представлена общая последовательность действий, позволяющая осуществлять обучение распознаванию новых технических состояний сложных технических систем. Применение обучения позволяет увеличить адаптивность сложных систем к новым, ранее не определенным, техническим состояниям и повысить эффективность их применения.

Для качественного выполнения задач, стоящих перед различными сложными техническими системами, необходимо осуществление постоянного контроля их технического состояния (ТС). Целью контроля ТС является обеспечение обнаружения изменений происходящих в объекте наблюдения для принятия решений о его дальнейшем применении. При проявлении неисправностей возникает задача распознавания вида ТС объекта, заключающаяся в выявлении неисправного блока системы для определения ТС объекта и предупреждения аварийных ситуаций.

Решение указанной выше задачи, может основываться на теории распознавания образов. Под образом понимается определенное ТС объекта для распознавания, которого необходимо обучение. Рассматриваемый алгоритм описывает общий алгоритм обучения системы распознаванию новых видов ТС объекта.

Определение видов ТС объекта заключается в классификации в соответствии с определенными требованиями. Множество возможных ТС может быть разбито на ряд классов:

$$A = \{A_0, A_1, \dots, A_i, \dots, A_m\}, \quad (1)$$

где A_0 – класс работоспособных состояний объекта;

A_i – класс неработоспособных состояний, вызванных отказом i -го функционального элемента (блока, прибора, модуля и т. п.).

Каждому из классов ставится в соответствие определенный образ распознаваемых ТС. При распознавании в первую очередь устанавливаются характерные свойства образа, затем определяется, с каким из них распознаваемое ТС имеет наибольшее сходство [1]. Каждое конкретное ТС объекта можно описать вектором

$$Y^T = (y_1, y_2, \dots, y_j, \dots, y_l). \quad (2)$$

Элементы y_j вектора (2) называются признаками распознаваемого ТС, а сам вектор – его изображением. В качестве признаков обычно используются значения контролируемых параметров или некоторые функции от них. Широкое использование получили бинарные признаки z_j , где $[j = 1(l)]$, определяемые по правилу:

$$z_j = \begin{cases} 1, & \text{если } x_j \in \{x_{j\text{дон}}\} \\ -1, & \text{если } x_j \notin \{x_{j\text{дон}}\} \end{cases}, \quad (3)$$

где $\{x_j\}$ – значение j -го контролируемого параметра;

$\{x_{j\text{дон}}\}$ – область допустимых значений j -го параметра.

Задача распознавания ТС объекта заключается в отнесении его изображения (2) к одному из классов (1) в соответствии с правилом

$$Y \in A_i, \text{ если } L\{A_i, Y\} = \max_i L\{A_i, Y\},$$

где $L\{A_i, Y\}$ – некоторая мера сходства изображения с образом i -го класса $A_i [i = 0(1)m]$.

В качестве меры сходства могут быть выбраны различные показатели в зависимости от того, в какой форме представляется образ i -го класса. Формирование образа, т.е. определение характеристик изображений i -го класса, составляет задачу обучения. Замысел обучения заключается в установлении общих свойств изображений, принадлежащих одному и тому же классу, при использовании ограниченного числа обучающих примеров [2].

В результате обучения формируются некоторые числовые характеристики, отражающие свойства всех ТС, включенных в данный класс. По этим характеристикам можно различить классы между собой. Естественно, что чем больше используется реализаций данного класса, тем точнее будут эти характеристики. Но обучение ставит своей целью построение некоторой разделяющей функции R по «показам» ограниченного числа r обучающих примеров, поскольку возможности получения сколь угодно большого числа этих примеров в большинстве случаев отсутствуют. С помощью функции R можно построить гиперповерхность, разделяющую области, соответствующие разным классам ТС объекта. Обозначим разделяющую функцию $R = f(Y^T)$, где Y – l -мерный вектор изображения, т.е. объект распознавания.

Если условиться, что разделяющая функция обладает свойствами:

$$\text{sign } f(Y^T) = \begin{cases} 1, & \text{если } Y \in A_i, \\ -1, & \text{если } Y \in A_k, \end{cases} \quad [i, k = 0(1)m, \quad i \neq k] \quad (4)$$

то можно принимать решение о принадлежности изображения Y к одному из классов в зависимости от знака построенной разделяющей функции. Если области классов не пересекаются, то, как видно из выражения (4), существует множество разделяющих функций. В случае, если области классов пересекаются (а именно этот случай, как правило, имеет место при распознавании состояний объекта), то существует одна наилучшая разделяющая функция $f(Y^T)$, которая характеризует только вероятность принадлежности изображения Y к тому или иному классу. В этом случае задача обучения заключается в получении по ограниченному числу «показов» вектора Y аппроксимирующей функции, близкой в некотором смысле к функции $f(Y^T)$. Обозначим искомую функцию через $\bar{f}(G^T, Y^T)$, где G – неизвестный пока вектор коэффициентов. Поскольку в общем случае «показы» вектора Y могут быть случайными, то для оценки точности аппроксимации будем использовать функционал вида

$$I(G^T) = M \{F[f(Y^T) - \bar{f}(G^T, Y^T)]\}, \quad (5)$$

где M – символ математического ожидания.

Наиболее точная аппроксимация соответствует получению такого вектора $G = G^0$, при котором значение $I(G^T)$ достигает минимума.

Для большинства задач обучения аппроксимирующая функция может быть выражена в виде

$$\bar{f}(G^T, Y^T) = \sum_{j=1}^l g_j \varphi_j(Y^T) \quad (6)$$

или в векторной форме

$$\bar{f}(G^T, Y^T) = G^T \Phi(Y^T), \quad (7)$$

где G – l -мерный вектор искомых коэффициентов;

$\Phi(Y^T)$ – l -мерный вектор линейно-независимых функций от контролируемых признаков;

T – знак транспонирования.

С учетом выражения (7) функционал (5) можно записать в виде

$$I(G^T) = M \{F[f(Y^T) - G^T \Phi(Y^T)]\}. \quad (8)$$

В общем случае вероятность появления признаков неизвестна, а значит и математическое ожидание (8) неизвестно. В этом случае единственная возможность определения вектора $G = G^0$ состоит в том, чтобы воспользоваться отдельными реализациями, получаемыми при «показе» вектора Y . Следо-

вательно, процесс обучения можно рассматривать, как итеративный процесс. Так как функционал (8) не известен в явной форме, то минимум $I(G)$ следует искать с учётом степени изменения признаков на каждом шаге обучения. Обучение можно представить в следующей форме:

$$G(r) = G(r-1) + \gamma(r)F\{f[Y^T(r)] - G^T(r-1)\Phi[Y^T(r)]\}\Phi[Y^T(r)], \quad (9)$$

где r – число шагов, т.е. число «показов» вектора;
 $\gamma(r)$ – величина очередного шага, $\gamma(r) = a/r$;
 a – некоторая константа.

При $r \rightarrow \infty$ можно определить оптимальный вектор $G = G^0$ и оптимальную разделяющую функцию (7).

Таким образом, задача обучения заключается в определении вектора коэффициентов $G^T = (g_1, g_2, \dots, g_l)$, который оценивает свойства данного класса. Так как замысел обучения заключается в установлении общих свойств изображений, включенных в один класс, то каждый искомый коэффициент g_j можно считать весовым коэффициентом. Он показывает вклад признака y_j в общую меру сходства изображений данного класса. Весовые коэффициенты получаются последовательным предъявлением ряда изображений Y о которых известно, что они принадлежат данному классу. Такие изображения называются обучающими, а сам процесс предъявления («показа») – процессом обучения.

Практически при использовании алгоритма (9) требуется определить такое значение $r = r_0$, при превышении которого не происходит заметного изменения полученного вектора весовых коэффициентов. При использовании итеративных методов обучения определение достаточного числа обучающих изображений основано на сравнении двух последующих значений $G(r-1)$, $G(r)$ и вычисления разности

$$\Delta G(r-1) = G(r) - G(r-1) = \gamma(r)F\{f[Y^T(r) - G^T(r-1)\Phi[Y^T(r)]]\}\Phi[Y^T(r)]. \quad (10)$$

Из многочисленных опытов установлено, что требуемое число шагов обучения r_0 обычно не превышает числа контролируемых признаков [2]. При бинарной форме признаков z_j , получаемых по правилу (3), вместо функции $f(Y^T)$ имеем $Z^T = (z_1, z_2, \dots, z_l)$, а вместо выражения (6) можно записать

$$R = \bar{f}(G^T, Z^T) = \sum_{j=1}^l g_j z_j \quad (11)$$

или

$$R = G^T Z. \quad (12)$$

Величина шага при бинарных признаках $\gamma(r) = \Delta g = \frac{2}{r}$, где r – число обучающих изображений.

С учетом приведенных выражений можно записать дискретный аналог алгоритма (10) при бинарной форме представления изображений Z :

$$\Delta G(r-1) = G(r) - G(r-1) = \frac{2}{r} [G_0^T Z(r) - G^T(r-1)Z(r)]Z(r), \quad (13)$$

где G_0 – l -мерный вектор коэффициентов, равных единице.

На основе данного алгоритма можно создать самообучающуюся систему диагностирования, что позволит более оперативно определять ТС системы и принимать решение о дальнейшем его применении. Системы диагностирования такого типа применимы на всех этапах эксплуатации сложных технических систем.

Библиографический список

1. Ломако Г.И., Дмитриев А.К., Мальцев В.Б. Методы обработки и анализа информации / Учебное пособие. – Л.: МО, 1979. – 134 с.
2. Цыпкин Я.З. Адаптация и обучение в автоматических системах. М., «Наука», 1968.

УДК 623.467.018

МЕТОДИКА ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ПОДГОТОВКОЙ И ПУСКОМ РАКЕТ-НОСИТЕЛЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АППАРАТА АЛГЕБРАИЧЕСКИХ БАЙЕСОВСКИХ СЕТЕЙ

И.В. Дорожко, А.О. Иванов, Н.А. Осипов

Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского
(ВКА им. А.Ф. Можайского)

Задача диагностирования современных автоматизированных систем управления подготовкой и пуском ракет-носителей (АСУ ПП РН) является весьма актуальной в настоящее время, так как низкое качество диагностирования может привести к принятию ошибочных решений на восстановление АСУ ПП либо к запуску РН с неисправной бортовой аппаратурой, что означает срыв поставленной задачи. Принятие решения о виде технического состояния происходит в условиях значительной неопределенности, связанной с неточностью измерительной аппаратуры, ошибками задания допусков на контролируемые параметры, невозможностью полного описания исследуемых процессов. Вследствие этого, средства диагностирования АСУ ПП (в особенности перспективных РН) должны быть построены на современных достижениях в области искусственного интеллекта, касающихся обработки и моделирования знаний с неопределенностью [1].

Задачу диагностирования сформулируем в рамках модели, согласно которой полагаем заданными следующие элементы:

- $S = \{S_i \mid i = \overline{0, m}\}$ - множество видов технических состояний АСУ ПП РН;
- множество непрерывных или дискретных диагностических признаков $Pr = \{\pi_j \mid j = \overline{1, n}\} = \{\pi_{j_{-k_j}} \mid j = \overline{1, n}; k_j = \overline{1, \alpha_j}\}$, где π_j - j-й диагностический признак, состоящий из α_j подпризнаков. Например, π_1 - непрерывный диагностический признак «температура», состоящий из подпризнаков $\pi_{1_{-1}} = (5^\circ\text{C}; 35^\circ\text{C})$, $\pi_{1_{-2}} = (45^\circ\text{C}; 55^\circ\text{C})$ и т.п.;

- множество $\Pi = \{\pi_j \mid j = \overline{1, n}\}$ проверок диагностических признаков;
- множество $R = \{R_i \mid i = \overline{0, m}\}$ принятых решений о техническом состоянии.

Требуется: определить техническое состояние системы в условиях неопределенности и недостаточности информации.

Для решения задачи был выбран аппарат байесовских сетей, а именно, алгебраических байесовских сетей. Байесовские сети – это графические структуры для представления вероятностных отношений между большим количеством переменных и для осуществления вероятностного вывода на основе этих переменных [2].

Существует два вида байесовских сетей: байесовские сети доверия (БСД) и алгебраические байесовские сети (АБС). Байесовские сети доверия получили свое развитие в исследованиях Дж.Пиэрла, Н.Нильссона, Ф.Дженсена и др. Алгебраические байесовские сети были введены как новая парадигма экспертных систем В.И.Городецким. В настоящее время развитие аппарата алгебраических байесовских сетей осуществляется Тулупьевым А.Л., Сироткиным А.В., Николенко

С.И. и др. БСД и АБС имеют общие теоретические основания, существуют подходы к трансформации БСД в АБС. Основное их идеологическое отличие – это то, что в БСД применяются условные вероятности, а в АБС – совместные.

Основными преимуществами алгебраических байесовских сетей по сравнению с остальными подходами к моделированию неопределенности в искусственном интеллекте являются:

1. Возможность использования как точечных, так и интервальных оценок. Например, в БСД попытки внести интервальные оценки пока безуспешны.
2. Постоянный учет новых данных, поступающих в сеть (апостериорный вывод).
3. Поддержание непротиворечивости принимаемых решений.
4. Высокая эффективность решения задач диагностирования для сложных систем, в которых много наблюдаемых переменных, связи всех со всеми неопределимые и неопределимые, но небольшие наборы можно охарактеризовать.

Следует отметить, что возможность использования интервальных оценок играет важную роль из следующих соображений:

1. Трудно получить точечную оценку от эксперта при большом количестве делений оценочной шкалы.
2. Возможность учета варианта незнания и неуверенности эксперта.
3. При точечном оценивании могут возникать противоречия – один и тот же эксперт будет давать противоречивые ответы.
4. Интервальные оценки позволяют учесть неопределенность о взаимной зависимости (независимости) событий при вычислении совместной вероятности. Например, если даны вероятности $p(\pi_1)$, $p(\pi_2)$ и ничего не известно о степени зависимости или независимости π_1 и π_2 друг относительно друга, то их совместная вероятность может быть лишь интервальной:

$$p(\pi_1 \pi_2) \in [\max\{0; p(\pi_1) + p(\pi_2) - 1\}; \min\{p(\pi_1); p(\pi_2)\}].$$

5. Возможность учета пропущенных наблюдений. Например, в результате проверки дискретного диагностического признака информация по некоторым его разрядам может отсутствовать из-за воздействия возмущений, шумов и т.д. (таблица 1). Полностью отказываться от результата проверки в этом случае выглядит нецелесообразным, особенно в условиях недостатка информации, так как все же некоторая информация имеется.

Таблица 1 – Пример дискретного диагностического признака с пропущенными разрядами.

π_1	0	0	1	-	1	0	1	0	1	1
π_2	0	1	0	1	0	-	0	-	1	1
π_3	1	-	-	0	0	1	1	0	0	-

$$p(\pi_1 \pi_2) = [0.2; 0.3],$$

$$p(\pi_1 \pi_3) = [0.1; 0.3],$$

$$p(\pi_2 \pi_3) = [0; 0.3],$$

$$p(\pi_1 \pi_2 \pi_3) = [0; 0.1].$$

Основные понятия, используемые при построении алгебраических байесовских сетей, представлены в таблице 2.

Фрагменты знаний связываются общими элементами, входящими в них, и образуют алгебраическую байесовскую сеть, представленную на рис. 1.

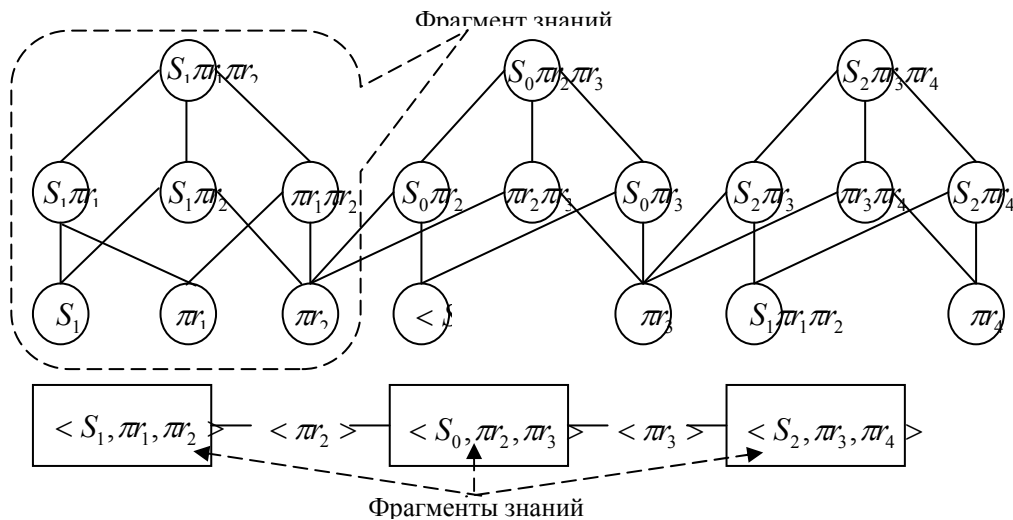


Рис 1. Алгебраическая байесовская сеть, представленная в виде диаграмм Хассе и в упрощенном виде.

Методику построения интеллектуальной системы диагностирования на основе алгебраических байесовских сетей можно представить в виде следующих этапов:

1. Построение алгебраической байесовской сети:
 - формирование фрагментов знаний на основе высказываний экспертов и статистических данных (при их наличии);
 - формирование алгебраической байесовской сети из фрагментов знаний.
2. Проверка непротиворечивости (априорный вывод). При поддержании непротиворечивости может также заметно сократиться неопределенность за счет согласования оценок экспертов.

В случае интервальных оценок требуется решить задачу линейного программирования. Если задача линейного программирования не имеет решений, необходимо сделать вывод о противоречивости сведений, полученных от экспертов, и необходимости повторного уточняющего опроса экспертов.

3. Выбор и проведение проверки. Выбор проверок может осуществляться в зависимости от условий и задач диагностирования по критериям максимума достоверности, максимума информативности, минимума средних затрат и т.д. [3].

4. Распространение полученного результата проверки на всю байесовскую сеть - апостериорный вывод. При поступлении свидетельства во фрагменты знаний с точечными оценками решение задачи апостериорного вывода представляет собой вычисления по определению условной вероятности. В случае интервальных оценок необходимо решать задачи гиперболического программирования, которые, в конечном счете, сводятся к задачам линейного программирования.

5. Проверка непротиворечивости алгебраической байесовской сети (п.2).

$$6. \text{Выбор } P(S_i / \pi_{1-k_1}^*, \dots, \pi_{\lambda-k_\lambda}^*) = \max_{i \in m} P(S_i / \pi_{1-k_1}^*, \dots, \pi_{\lambda-k_\lambda}^*),$$

где $P(S_i / \pi_{1-k_1}^*, \dots, \pi_{\lambda-k_\lambda}^*)$ - вероятность технического состояния при поступлении набора свидетельств (апостериорная вероятность).

7. Сравнение $P(S_i / \pi_{1-k_1}^*, \dots, \pi_{\lambda-k_\lambda}^*)$ с $P_{доп}$, где $P_{доп}$ - допустимое значение апостериорной вероятности.

8. Если $P(S_i / \pi_{1-k_1}^*, \dots, \pi_{\lambda-k_\lambda}^*) \geq P_{доп}$, то делается вывод о виде технического состояния $R = S_i = \arg \max_{S_i \in S} (P(S_i / \pi_{1-k_1}^*, \dots, \pi_{\lambda-k_\lambda}^*))$, в противном случае производится выбор очередной проверки п.3 и далее остальные п.4-п.8.

Таким образом, использование алгебраических байесовских сетей в задачах диагностирования АСУ ПП РН позволит в условиях значительной неопределенности повысить качество принимаемых решений о виде технического состояния.

Таблица 2. – Основные понятия и определения, используемые в алгебраических байесовских сетях.

Название	Определение	Пример для набора $\{S_1, \pi_1, \pi_2\}$
Аргументное место (литерал)	обозначение означивания (скользящий индекс)	$\tilde{S}_1 = \{S_1, \overline{S}_1\}, \tilde{\pi}_2 = \{\pi_2, \overline{\pi}_2\}$
Квант	конъюнкция, в которую входят все элементы из множества с одним из означиваний	$Q(\{S_1, \pi_1, \pi_2\}) = \{S_1\pi_1\pi_2, \overline{S}_1\pi_1\pi_2, S_1\overline{\pi}_1\pi_2, S_1\pi_1\overline{\pi}_2, \overline{S}_1\overline{\pi}_1\pi_2, \overline{S}_1\pi_1\overline{\pi}_2, S_1\overline{\pi}_1\overline{\pi}_2, \overline{S}_1\overline{\pi}_1\overline{\pi}_2\}$
Конъюнкт	конъюнкция положительно означенных элементов из множества	$S_1, \pi_1, \pi_2, S_1\pi_1, S_1\pi_2$ и т.п.
Идеал конъюнктов	множество всевозможных положительно означенных конъюнкций (множество всех возможных подцепочек самой длинной цепочки)	$\delta^\Delta(\{S_1, \pi_1, \pi_2\}) = \{S_1, \pi_1, \pi_2, S_1\pi_1, S_1\pi_2, \pi_1\pi_2, S_1\pi_1\pi_2\}$
Фрагмент знаний	структура вида (δ^Δ, p) , где p – мера истинности (вероятностная, нечеткая мера (по Лотфи Заде), псевдовероятностная нечеткая мера, нечеткая мера (по Лукасевичу)), которая может задаваться в виде точечной и интервальной оценки	
Свидетельство	результат проверки диагностического признака или информация о виде технического состояния.	Существуют несколько видов свидетельств. Свидетельство может быть: – детерминированным, например, $\langle \pi_1 \rangle, \langle \overline{S}_0 \rangle, \langle \overline{\pi}_2 \overline{\pi}_3 \rangle$ и т.п.; – недетерминированным, например, $\langle p(S_2) \rangle, \langle p(\overline{\pi}_2 \overline{\pi}_3) \rangle$ и т.п.; – недетерминированным с неопределенностью, например, $\langle [p^-(\pi_2); p^+(\pi_2)] \rangle$.

Библиографический список

1. Поспелов Д.А. Искусственный интеллект. – М.: Радио и связь, 1990. – Кн.2 Модели и методы: Справочник. -304 с.
2. Тулупьев А.Л., Николенко С.И., Сироткин А.В. Байесовские сети: логико-вероятностный подход. – СПб.,Наука, 2006.- 607с.
3. Дмитриев А.К., Юсупов Р.М. Идентификация и техническая диагностика. МО СССР, 1987.-521 с.

**ЭКСПЕРТНАЯ СИСТЕМА ДИАГНОСТИРОВАНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ
УПРАВЛЕНИЯ ПОДГОТОВКОЙ И ПУСКОМ РАКЕТ-НОСИТЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ
БАЙЕСОВСКИХ СЕТЕЙ ДОВЕРИЯ**

И.В. Дорожко, Н.А. Осипов, Р.М. Тюрин

Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского
(ВКА им. А.Ф. Можайского)

Современные автоматизированные системы управления подготовкой и пуском ракет-носителей (АСУ ПП РН) являются сложными динамическими системами, для которых характерен ряд особенностей:

- наличие в составе АСУ ПП блоков и систем, на которые объём статистических данных мал или отсутствует, особенно при создании нового комплекса;
- ограниченные возможности модернизации структуры АСУ ПП;
- большое количество наблюдаемых параметров, при этом связи всех со всеми трудно описуемы.

Учитывая эти особенности, средства диагностирования АСУ ПП должны быть построены на современных достижениях в области искусственного интеллекта, касающихся обработки и моделирования знаний с неопределенностью. Эта неопределенность может возникать вследствие: неполных знаний, неполного понимания предметной области, наличия случайных процессов.

При диагностировании сложных технических систем проблема оперативного и достоверного определения вида технического состояния является актуальной, особенно для дифференциальной диагностики технических состояний, у которых сходны проявления диагностических признаков.

Задачу диагностирования сформулируем в рамках модели, согласно которой полагаем заданными следующие элементы:

- $S = \{S_i \mid i = \overline{0, m}\}$ - множество видов технических состояний;
- множество непрерывных или дискретных диагностических признаков $Pr = \{\pi_j \mid j = \overline{1, n}\} = \{\pi_{j_{-k_j}} \mid j = \overline{1, n}; k_j = \overline{1, \alpha_j}\}$, где π_j - j-й диагностический признак, состоящий из α_j подпризнаков. Например, π_1 - непрерывный диагностический признак «температура», состоящий из подпризнаков $\pi_{1_{-1}} = (5^\circ\text{C}; 35^\circ\text{C})$, $\pi_{1_{-2}} = (45^\circ\text{C}; 55^\circ\text{C})$ и т.п.

- множество $\Pi = \{\pi_j \mid j = \overline{1, n}\}$ проверок диагностических признаков,
- множество $R = \{R_i \mid i = \overline{0, m}\}$ принятых решений о техническом состоянии.

Требуется: определить техническое состояние системы в реальном времени в условиях неопределенности и недостаточности информации.

$$R = S_i = \arg \max_{S_i \in S} (P(S_i / \pi_{1_{-k_1}}^*, \dots, \pi_{\lambda_{-k_\lambda}}^*)), \text{ при условии } P(S_i / \pi_{1_{-k_1}}^*, \dots, \pi_{\lambda_{-k_\lambda}}^*) \geq P_{\text{доп}},$$

- где
- $\pi_{1_{-k_1}}^*, \dots, \pi_{\lambda_{-k_\lambda}}^*$ - диагностические подпризнаки, которые проявились в результате проводимых проверок (индекс «*» означает реализацию признака, например, в результате проверки диагностического признака «температура» выявилось повышение температуры - $\pi_{1_{-2}} = (45^\circ\text{C}; 55^\circ\text{C})$);
 - $P_{\text{доп}}$ - допустимое значение апостериорной вероятности;
 - $P(S_i / \pi_{1_{-k_1}}^*, \dots, \pi_{\lambda_{-k_\lambda}}^*)$ - апостериорная вероятность (вероятность того, что система находится в состоянии S_i , если в результате проверок зафиксированы $\pi_{1_{-k_1}}^*, \dots, \pi_{\lambda_{-k_\lambda}}^*$).

Для решения задачи диагностирования были выбраны байесовские сети доверия. Байесовские сети – это графические структуры для представления вероятностных отношений между большим количеством переменных и для осуществления вероятностного вывода на основе этих переменных [1].

Основными преимуществами байесовских сетей доверия по сравнению с остальными подходами к моделированию неопределенности в искусственном интеллекте являются:

1. Высокая эффективность решения задач для сложных систем, в которых много наблюдаемых переменных, связи всех со всеми неопределимые и неопределимые, но небольшие наборы можно охарактеризовать.

2. В случае поступления свидетельства - новых данных о результатах проверок диагностических признаков или информация о видах технического состояния - производится пересчет всей байесовской сети, то есть влияние свидетельства распространяется на все элементы, что позволяет более эффективно принимать решения.

3. Байесовские сети доверия опираются на доступные программные технологии (Hugin Expert, Microsoft Bayesian Network Editor, Bayes Net Toolbox for Matlab).

Современные программные средства, такие как HUGIN (программный продукт компании Hugin Expert (Дания), реализующий системы принятия решений), обеспечивают инструментарий для построения байесовских сетей доверия, а также возможность введения новых свидетельств и получения решения за счет пересчета вероятностей во всех вершинах, соответствующих этим свидетельствам. Байесовская сеть доверия – это направленный ациклический граф с тензорами условных вероятностей, вершины которого представляют переменные, а ребра кодируют условные зависимости между переменными [2].

Рассмотрим практическое применение байесовских сетей в задачах диагностирования на примере стойки управления электропитания УЭП1, входящей в состав технологического оборудования АСУ ПП РН. Стойка УЭП1 предназначена для подачи стабилизированного гарантированного питания на устройства сопряжения с объектом (УСО), сбора и обработки диагностической информации со стоек УСО и смежных систем.

В состав стойки УЭП1 входят: устройство ввода, защиты и резервирования питания - УВЗРП8-01; устройство питания - УП FPS (состоит из двух источников питания FPS100024/P); устройство нормирования электрических сигналов диагностики и управления УП FPS - УН1; пульт местного управления подачи питающего напряжения на устройства сопряжения с объектом - ПУ УЭП1; вентилятор; контроллер УЭП; устройство сопряжения с объектом - УСО47; терминатор CAN1; устройство питания вентилятора - УПВ.

Соответственно, в качестве видов технических состояний определим технические состояния, представленные в таблице 1:

Таблица 1 – Виды технических состояний стойки УЭП1.

Вид технического состояния:	
Работоспособное - S_0	Отказ устройства УН1 - S_5
Отказ устройства УВЗРП8-01 - S_1	Отказ контроллера УЭП - S_6
Отказ вентилятора - S_2	Отказ терминаторов CAN1 - S_7
Отказ устройства питания вентилятора - S_3	Отказ панели ПУ УЭП1 - S_8
Отказ устройств УП FPS - S_4	Отказ устройства УСО47 - S_9

Выберем два непрерывных диагностических признака (π_1 - температура и π_2 - напряжение) и дискретный восьмиразрядный диагностический признак - π_3 (таблица 2):

Байесовская сеть доверия представлена на рис. 1.

В качестве априорной информации выступают вероятности безотказной работы блоков УЭП1 - p_i . Отказ любого блока приводит к отказу всей стойки УЭП1, что, по сути, на структурно-логической схеме надежности может быть изображено в виде последовательного соединения элементов.

Таблица 2. – Модельные значения признаков диагностируемой стойки УЭП1.

S_i	π_j									
	$\pi_1, ^\circ\text{C}$	$\pi_2, \text{В}$	π_3							
			π_{38}	π_{37}	π_{36}	π_{35}	π_{34}	π_{33}	π_{32}	π_{31}
S_0	(5; 35)	(20; 25)	0	0	0	0	0	0	0	0
S_1	(5; 35)	(0; 2.5)	0	0	1	0	0	0	0	0
S_2	(35; 55)	(20; 25)	0	0	0	0	0	0	0	0
S_3	(35; 55)	(0; 2.5)	0	0	0	0	0	0	0	0
S_4	(5; 35)	(0; 2.5)	0	0	0	1	0	0	0	0
S_5	(5; 35)	(0; 2.5)	1	1	0	0	0	0	0	0
S_6	(5; 35)	(0; 2.5)	0	0	0	0	1	0	0	0
S_7	(5; 35)	(0; 2.5)	1	0	0	0	0	0	1	0
S_8	(5; 35)	(0; 2.5)	0	0	0	0	0	0	0	1
S_9	(5; 35)	(0; 2.5)	1	0	0	0	0	1	0	0

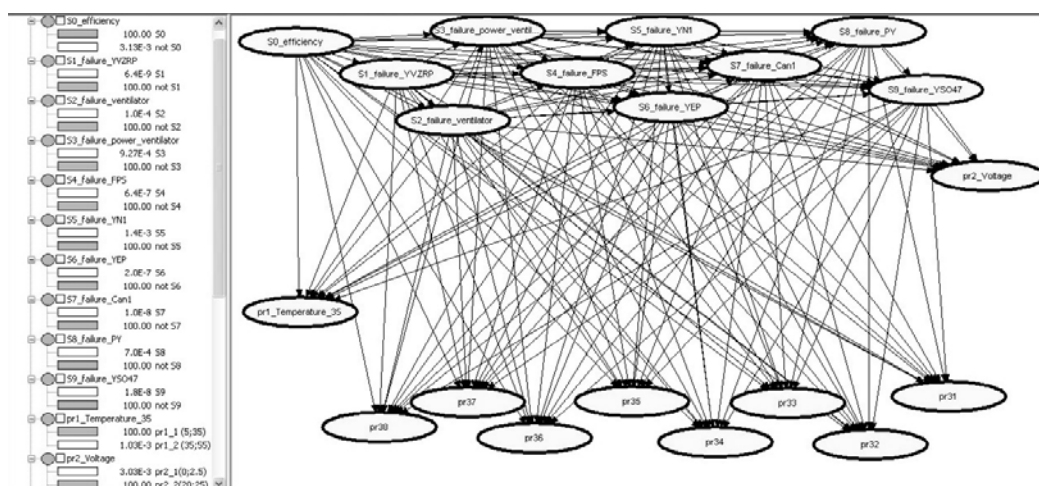


Рис. 1. Байесовская сеть доверия стойки УЭП1.

Вероятности технических состояний стойки УЭП1 определяются по формулам (1) [3].

$$P(S_0) = \frac{1}{1 + \sum_{i=1}^9 \frac{1-p_i}{p_i}}, \quad P(S_i) = \frac{\frac{1-p_i}{p_i}}{1 + \sum_{i=1}^9 \frac{1-p_i}{p_i}}, \quad (i = \overline{1,9}). \quad (1)$$

Допустим, что в определенный момент времени происходит повышение температуры выше 35°C, данное свидетельство отмечено на байесовской сети доверия (рис.2). Распространение данного свидетельства позволяет сделать вывод, что система находится в одном из двух технических состояний: $P(S_2) = 0.0973$ и $P(S_3) = 0.9027$. Если $P(S_3) \geq P_{\text{доп}}$, то $R = S_3$. Однако,

если $P(S_3) \leq P_{\text{доп}}$, то необходимо проверить ещё хотя бы один диагностический признак. Следует отметить, что поступившее свидетельство влияет не только на вероятности технических состояний, но и на вероятности диагностических признаков.

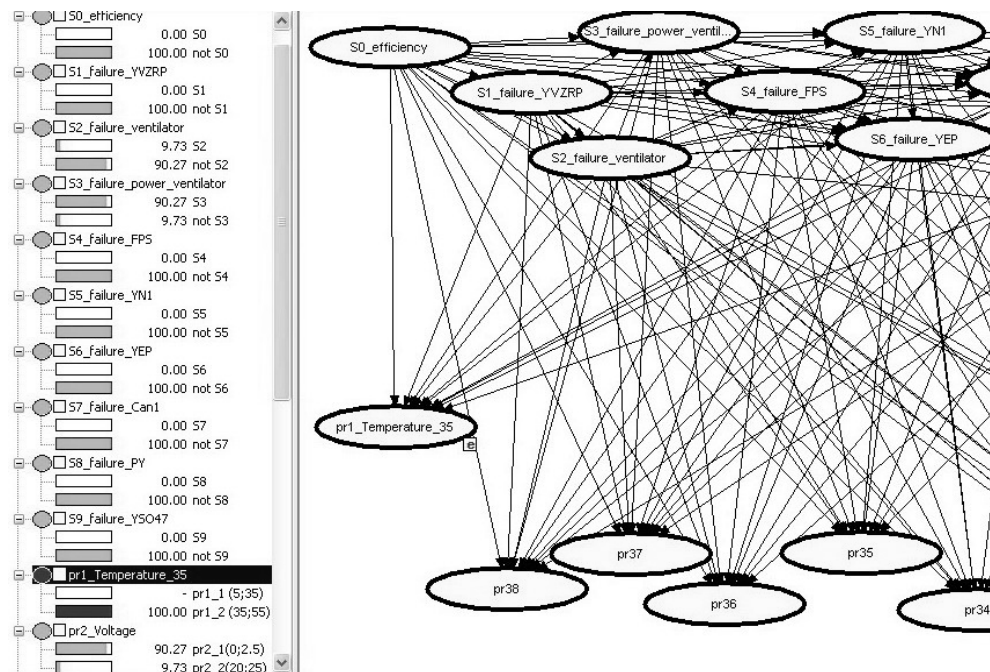


Рис. 2. Пример апостериорного вывода в байесовской сети доверия.

Таким образом, за счет привлечения априорной информации, а также используя распространение вероятностей при поступлении свидетельств в байесовской сети доверия, можно повысить качество диагностирования сложных систем, которыми являются автоматизированные системы управления подготовкой и пуском ракет-носителей, имеющие достаточно большое количество наблюдаемых диагностических признаков и вероятностных отношений между большим количеством переменных.

Библиографический список

1. Тулупьев А.Л., Николенко С.И., Сироткин А.В. Байесовские сети: логико-вероятностный подход. – СПб., Наука, 2006.- 607с.
2. Jensen F.V. Bayesian Networks and Decision Graphs. Springer – Verlag, 2002. – 464 с.
3. Дмитриев А.К., Юсупов Р.М. Идентификация и техническая диагностика. МО СССР, 1987.-521 с.

**СТРУКТУРА ГОМОМОРФНОЙ НЕЧЕТКОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА
ДИАГНОСТИРОВАНИЯ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

А.О. Иванов, Э.И. Тихонов, Р.М. Тюрин

Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского
(ВКА им. А.Ф. Можайского)

Предложен вариант структуры гомоморфной нечеткой модели решения задач диагностирования сложных технических систем, позволяющий описать все возможные альтернативы разбиения на непересекающиеся смежные классы толерантности состояний объекта.

В рамках агрегированной нечеткой диагностической модели сложной технической системы может быть построена модель процесса диагностирования такого объекта, как разбиения множества всех возможных технических состояний объекта на непересекающиеся смежные классы толерантности. Для решения этой задачи прежде всего следует рассмотреть функции переходов и выходов, связывающие в единое целое входные воздействия, подаваемые на объект диагностирования (ОД), его внутренние состояния и выходы, а также моменты времени, в которые осуществляется наблюдение объекта.

Объект диагностирования как динамическая система полностью описывается операторами переходов и выходов, которые реализуются в следующем виде:

$$\begin{cases} \psi : T \times X \times Z \rightarrow Z \\ \varphi : T \times X \times Z \rightarrow Y \end{cases}$$

где T – множество моментов времени, в которые подается воздействие на ОД;
 X – множество входных воздействий, подаваемых на ОД;
 Z – множество внутренних состояний ОД;
 Y – множество значений на выходах ОД.

В условиях неопределенности ОД описывается следующими нечеткими отношениями, соответственно:

$$\begin{cases} \psi' : T \times X \times C \rightarrow C \times M \\ \varphi' : T \times X \times C \rightarrow B \times M \end{cases}$$

$$M = \{\mu_i \in [0,1]\}$$

$$C = \{z, \mu_C(z)\}, \forall z \in Z$$

$$B = \{y, \mu_B(y)\}, \forall y \in Y$$

В общем случае декартово произведение $T \times X \times C$ представляет собой произведение подмножеств моментов времени $T = \{t_k\}, k \in N$, входных воздействий $X = \{x_i\}, i \in N$, и внутренних состояний $C = \{z, \mu_C(z)\}, \forall z \in Z$.

Полагаем подаваемые на входы системы воздействия и моменты времени, в которые наблюдается объект, четкими множествами, а про текущие внутренние состояния системы и выходные реакции мы можем сказать лишь с некоей степенью уверенности $\mu_C(z)$ и $\mu_B(y)$ $z \in Z, y \in Y$. В общем случае

При этом каждому элементу множества $T \times X \times C$ должен соответствовать и для оператора переходов ψ' , и для оператора выходов φ' один элемент множества C и B , соответственно, с определенной степенью уверенности, выраженной значением функции принадлежности.

Это означает полную наблюдаемость состояния ОД.

$$\mu_C(z) = \sup \min \{\mu_C(z), \mu_{\psi'}(t, x, z)\};$$

$$\mu_B(y) = \sup \min \{\mu_B(y), \mu_{\varphi'}(t, x, y)\},$$

где $\mu_\psi(t,x,z)$, $\mu_\varphi(t,x,y)$ – функция принадлежности элементов подмножества C' : $C' = \{t_k, x_n, z \mid k, n \in N\}$, $C' \subset C$ и B' : $B' = \{t_k, x_n, y \mid k, n \in N\}$, $B' \subset B$ при фиксированных t_k, x_n .

Здесь под выражениями $\mu_\psi(t,x,z)$, $\mu_\varphi(t,x,y)$ следует понимать нечеткое описание реакции диагностируемой системы на входное воздействие x_n , поданное в момент времени t_k .

Следовательно, операторы переходов ψ' и выходов φ' являются нечеткими инъективными отображениями, т.е. нечеткими мономорфизмами.

Для описания процесса диагностирования удобно воспользоваться алгебраическими структурами, предложенными Полянским В.И. (рис. 1, 2).

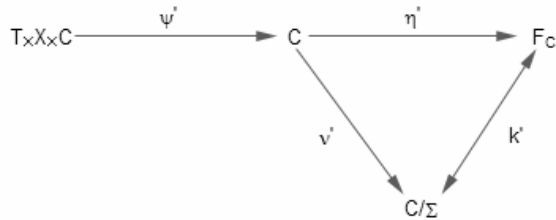


Рис. 1. Диаграмма алгебраической структуры на множестве состояний.

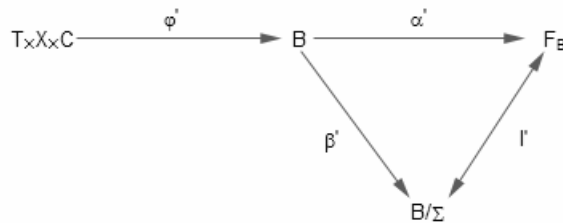


Рис. 2 - Диаграмма алгебраической структуры на множестве выходов

- Где C – нечеткое множество состояний;
 B – нечеткое множество выходных сигналов;
 C/Σ и B/Σ – пересекающиеся классы множеств состояний и выходов;
 F_C и F_B – модельные состояния на C и B ;
 v' – нечеткое отображение, разбивающее нечеткое пространство состояний C на пересекающиеся классы фактор-множества C/Σ ;
 k' – взаимно-однозначный нечеткий изоморфизм, ставящий в соответствие каждому вектору F_i , соответствующий ему смежный класс C_i .

Процедура идентификации (распознавания) наблюдаемого состояния C с одним из модельных ТС F_i производится по некоторой нечеткой мере μ на основании следующих соотношений:

$$\eta' : C \rightarrow F_C \times M,$$

$$\eta' = (F_C, \mu_{\eta'}(C, F_C)),$$

$$\mu_F(F_i) = \sup \min \{ \mu_C(C_i), \mu_{\eta'}(C_i, F_C) \},$$

β' : - нечеткое отображение, разбивающее нечеткое пространство состояний B на пересекающиеся классы фактор-множества B/Σ ;

l' - взаимно-однозначный нечеткий изоморфизм, ставящий в соответствие каждому вектору F_i , соответствующий ему смежный класс B_i ;

$\alpha' : B \rightarrow F_B \times M$ - нечеткий гомоморфизм, вытекающий из отображений β' и l' .

Состояние ОД, его техническое состояние наблюдается только на множестве Y выходных сигналов, поэтому для описания процесса диагностирования предполагается использовать алгебраическую структуру на множестве выходов.

Диагностические признаки объекта диагностирования в условиях нечеткости, неопределенности технического состояния (ТС) при отсутствии статистической информации, задаются экспертами. При этом диагностическим признакам экспертами могут быть даны количественные и качественные оценки, которые, в свою очередь, могут быть точечными и интервальными (непрерывными). Степень уверенности эксперта в модельном значении нечетких диагностических признаков (ДП) выражается нечетким распределением или функцией принадлежности $\mu_{F_i}(s_{ij})$.

Таким образом, для каждого ТС эксперты определили, в каких пределах находится каждое модельное значение s_{ij} ДП $\pi_j \in \Pi$ и функцию принадлежности этого ДП $\mu_{F_i}(s_{ij})$ на указанном интервале.

При сопоставлении измеренных значений y_j ДП с модельными значениями s_{ij} при неопределенности знаний о ТС определяются значения $\mu_{F_i}(y_j)$ функций принадлежности измеренных ДП для каждого ТС. Если измеренное значение y_j ДП не точечное, а интервальное, то определяют $\sup_{y_j \in F_{ij}} \mu_{F_i}(y_j)$.

Далее по критерию:

$$\mu_{F_i}(B_n) = \max \sup \mu_{F_i}(y_j)$$

оценивают, к какому классу технических состояний принадлежит определяемое ТС.

При этом можно ввести следующее условие:

$$\sup \mu_{F_i}(y_j) \geq \alpha,$$

где α - допустимый индекс (порог) значения функции принадлежности, при котором можно принимать решения по данному ДП о ТС объекта диагностирования.

В случае, когда измеряются все ДП, и ТС определяется по сопоставлению всех их измеренных и модельных значений, вычисляется значение функции принадлежности наблюдаемого состояния к каждому классу ТС

$$\mu_{F_i}(B_n^l) = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m \mu_{F_i}(y_j),$$

и по критерию максимального значения $\mu_{F_i}(B_n^l)$ определяется класс технического состояния, к которому принадлежат искомые состояния объекта.

Степень близости наблюдаемого состояния B_n^l с классами ТС $F_i \in F$ можно оценивать по относительному расстоянию между этими нечеткими множествами $d(B_n^l, F_i)$. В качестве меры этой близости можно взять расстояние Хэмминга (линейное)

$$\delta(B_n^l, F_i) = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m |\mu_{F_i}(y_j) - \mu_{F_i}(s_{ij})|,$$

либо евклидово расстояние (квадратичное)

$$e(B_n^l, F_i) = \frac{1}{m} \sqrt{\sum_{j=1}^m (\mu_{F_i}(y_j) - \mu_{F_i}(s_{ij}))^2}.$$

Тогда уровень достижения цели, степень истинности принятия решения $R_i \in \mathfrak{R}$ об определении технического состояния $F_i \in \mathcal{F}$ по наблюдаемому состоянию B_n^l описывается в форме

$$\mu_{\mathfrak{R}}(R_i) = 1 - d(B_n^l, F_i),$$

где в качестве относительного расстояния d между $\mu_{F_i}(y)$ и $\mu_{F_i}(s_{ij})$ можно взять как δ , так и e .

В рассмотренных выше методах ДП рассматривались как (равноправные) равнозначные, однако в реальных условиях оценивание ТС происходит по ДП неодинаковой значимости.

Тогда, если имеется множество нечетких модельных значений диагностических признаков $S = \{s_{ij}, \mu_{F_i}(s_{ij})\}$ и множество весов этих признаков $c = \{\mu_{F_i}(\lambda_{ij})\}$, то при принятии решения $R_i \in \mathfrak{R}$ о техническом состоянии $F_i \in \mathcal{F}$ объекта диагностирования по наблюдаемому состоянию $B_n^l = (y_1, \mu_B(y_1), y_2, \mu_B(y_2), \dots, y_m, \mu_B(y_m))$, определяется по выражению:

$$\mu_{F_i}(B_n^l) = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m \mu_{F_i}(y_j) \mu_{F_i}(\lambda_j)$$

и по критерию:

$$\mu_R(F_i) = \max \{\mu_{F_i}(B_n^l)\}$$

принимается решение о виде технического состояния $F_i \in \mathcal{F}$ объекта. При этом

$$\sum_{j=1}^m \mu_{F_i}(\lambda_j) = 1.$$

Если стоит задача определения стратегии поиска отказа в объекте диагностирования, необходимо определить приоритетность диагностических признаков для всех технических состояний. Для этого подсчитываются веса каждого ДП для всех ТС по следующему выражению:

$$\mu_{\pi_j}(\lambda_j) = \sum_{i=1}^n \mu_{F_i}(\lambda_{ij}).$$

Для достоверности распознавания ТС условие должно быть дополнено условием $\mu_{F_i}(B_n^l) \geq \gamma_i$, где γ_i – заранее выбранный допустимый уровень (порог) распознавания для технических состояний F_i . Далее выстраивается очередность выбора ДП при оценивании ТС объекта, начиная с максимального значения $\mu_{\pi_j}(\lambda_j)$ в порядке уменьшения значимости.

Таким образом, в случае учета значимости диагностических признаков при оценивании ТС ОД, сокращается число проверок при построении стратегии поиска отказов в объекте диагностирования.

Библиографический список

1. Полянский В.И. Техническое диагностирование автоматизированных систем управления подготовкой и пуском ракет космического назначения. – СПб: ВИКУ, 2002. – 303 с.
2. Дмитриев А.К., Юсупов Р.М. Идентификация и техническая диагностика. МО СССР, 1987. – 521 с.
3. Шрейдер Ю.А. Равенство, сходство, порядок. – М: «Наука», 1971. – 253 с.

УДК 681.3.069: 004.054

ВСТРАИВАЕМОЕ ТЕСТИРОВАНИЕ В ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЫСОКОУРОВНЕВЫХ СПЕЦИФИКАЦИЙ

А.А. Антонов

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
(СПбГПУ)

Введение. Одним из основных этапов проектирования аппаратных средств является их тестирование. Надежность цифрового устройства зависит от качества его тестирования. Особые требования предъявляются к качеству тестирования высоконадежных цифровых устройств, применяемых в критических системах. Для самотестирования цифровых устройств используется подход, называемый BIST (Built-In Self Test)[5]. Такой подход подразумевает интеграцию в состав цифрового устройства специализированных встраиваемых средств, осуществляющих тестирование устройства.

Тестирование любого устройства подразумевает подачу на его входы тестовых последовательностей, получение его реакций на поданные тестовые последовательности и сравнение полученных реакций с эталонными. Эталонные реакции определяются спецификацией на тестируемое устройство, они могут быть получены либо вручную тестером, исходя из анализа функционально-логической спецификации на устройство, либо от реализованной до процесса тестирования эталонной модели (ЭМ) тестируемого устройства. В данной работе предлагается методика встраиваемого тестирования, позволяющая повысить качество тестирования современных отечественных высоконадежных цифровых устройств. Разработанная методика использует механизм распределенного сигнатурного анализа с применением эталонной модели, полученной из высокоуровневых спецификаций.

1. Built-In Self Test

Встраиваемое тестирование является удобным механизмом, имеющим ряд преимуществ: высокая скорость и качество тестирования, возможность тестирования цифрового устройства методом белого или серого ящика (так как BIST позволяет проникать внутрь тестируемого устройства, мы имеем информацию о его структуре). Недостатки: затраты на проектирование встраиваемых средств тестирования, увеличение аппаратных затрат, возможное снижение производительности устройства. Средства встраиваемого тестирования содержат в своем составе блоки формирования тестовых последовательностей и/или блоки анализа результата. Систему можно назвать BIST-системой, если она содержит хотя бы один из указанных блоков. Технология BIST предполагает минимизацию объема средств тестирования, находящихся вне кристалла тестируемого устройства. В BIST-системах могут применяться разные виды тестовых векторов: функционально осмысленные пользовательские векторы; векторы, обеспечивающие полное тестовое покрытие; случайные тестовые векторы; псевдослучайные тестовые векторы. Наиболее популярно использование псевдослучайных тестовых векторов, так как их генерацию достаточно легко реализовать в составе устройства, для подачи остальных типов тестовых векторов необходимы внешние средства тестирования, либо вмешательство пользователя.

2. Сигнатурный анализ

Сигнатурный анализ – это метод тестирования, позволяющий значительно сократить объем тестовых данных, при этом обеспечивающий требуемую полноту тестирования. При сигнатурном анализе каждой последовательности сигналов на каком-либо выходе тестируемого устройства ставится в соответствие некое слово фиксированной разрядности (обычно не меньше 16), называемое сигнатурой. Сигнатура практически однозначно идентифицирует тестовую последовательность, что позволяет, зная верную сигнатуру, определять правильность работы тестируемого устройства.

Процесс формирования сигнатуры представляет собой циклическое кодирование последовательности значений тестируемого сигнала или тестируемых сигналов путем деления входного потока на характеристический полином [3]. Схемотехнически кодирование реализуется на сдвигающем регистре с обратными связями. Разрядность сдвигающего регистра соответствует разрядности сигнатуры, а номера выводов, входящие в цепи обратной связи, определяют коэффициенты полинома. В случае, если тестируется один сигнал, такой сигнатурный анализ называют последовательным (SSA – Serial Signature Analysis) [5], если тестируется параллельно несколько сигналов, сигнатурный анализ называется параллельным (PSA – Parallel Signature Analysis) [5,6]. Последовательный сигнатурный анализ реализуется на базе LFSR – Linear Feedback Shift Register – сдвигающий регистр с обратными связями. Параллельный сигнатурный анализ реализуется на базе MISR – Multiple Input Shift Register – многовходовой сдвигающий регистр.

Использование PSA повышает скорость тестирования и уменьшает объем тестовых данных без существенного увеличения аппаратных затрат, однако понижает тестовое покрытие. Кроме того, PSA не позволяет локализовать ошибки с такой же высокой точностью как SSA, так как в PSA невозможно определить, по которой из входных цепей сигнал пришел с ошибкой. Также при использовании MISR возникают дополнительные проблемы в виде маскирования входов: так как осуществляется сложение входных сигналов MISR по модулю 2, два ошибочных входных бита могут наложиться друг на друга, и создается впечатление, что ошибки не произошло. Эту проблему увеличением размера сигнатуры не устранить. Для минимизации вероятности маскирования необходимо уменьшать количество входов MISR. Также возможно применение других методов борьбы с маскированием входов, например, наравне с вычислением сигнатуры осуществлять вычисление контрольной суммы. Также ограничением сигнатурного анализа является необходимость наличия опорного синхросигнала для синхронизации LFSR или MISR, в связи с этим тестирование полно-

стью асинхронных схем методом сигнатурного анализа затруднительно. Простота реализации, низкие аппаратные затраты вкуче с сокращенным объемом тестовой информации позволяют применять средства сигнатурного анализа в самотестирующихся устройствах в качестве средств встраиваемого тестирования. Однако низкая скорость SSA с одной стороны и низкое покрытие PSA с другой заставляют разработчика искать компромиссные решения для достижения максимальной эффективности тестирования. Одним из таких решений является распределенный сигнатурный анализ (РСА).

3. Распределенный сигнатурный анализ

Данный подход предполагает интегрирование в состав тестируемого устройства системы сигнатурных анализаторов (как последовательных, так и параллельных) с гибкой коммутационной средой между ними. Коммутационная среда должна обеспечивать переключение сигнатурных анализаторов между тестируемыми сигналами. Это позволит углубляться внутрь тестируемого устройства и локализовывать ошибку с большой точностью. За счет варьирования количества LFSR/MISR и коммутаторов можно добиться необходимого баланса аппаратные затраты/быстродействие/тестовое покрытие. Кроме указанных выше средств, распределенный сигнатурный анализ также должен иметь блок конфигурирования, обеспечивающий оптимальную конфигурацию системы в зависимости от тестируемого устройства и требований тестировщика. Например, если известно заранее, что некоторая группа сигналов может быть протестирована при помощи MISR, конфигуратор должен настроить систему коммутации так, чтобы эти сигналы пришли на вход MISR. Если известно, что для необходимого тестового покрытия некоторого функционального блока, достаточно последовательности относительно небольшой длины N (например тестируемый блок – небольшой конечный автомат с малым числом состояний и переходов), то на выход этого блока конфигуратор должен поставить анализатор формирующий сигнатуру размера $n = \log_2 N$. Конфигуратор должен осуществлять варьирование параметров системы распределенного сигнатурного анализа, как в автоматическом режиме, так и получая команды от пользователя. Логически можно разбить распределенный сигнатурный анализатор на три взаимосвязанных составляющих: средства сигнатурного анализа, средства коммутации и средства конфигурации. Ядром РСА являются блоки сигнатурного анализа, и вокруг них строится все остальное. Можно выделить два основных подхода к формированию этого ядра РСА.

1) Использование набора детерминированных LFSR и MISR в качестве средств сигнатурного анализа. Такой подход можно сравнить с расстановкой кораблей в игре «морской бой». Набор сигнатурных анализаторов различной конфигурации, изначально заложенный в тестируемое устройство, распределяется конфигурационным устройством между тестируемыми блоками. Конфигурационное устройство решает задачу оптимального распределения оставшихся свободных блоков анализа между оставшимися свободными тестируемыми блоками. Данный подход не предъявляет серьезных требований к конфигурационному устройству, соответственно занимаемая им площадь на кристалле относительно мала. Сэкономленные аппаратные ресурсы можно использовать для увеличения объема блока анализа. Кроме того, задачу распределения анализаторов можно возложить на пользователя. Он будет решать ее в ручном или автоматизированном режиме. К недостаткам данного подхода следует отнести ограниченность набора детерминированных сигнатурных анализаторов: в имеющемся наборе может не оказаться анализатора с необходимой конфигурацией (количество входов, размер сигнатуры). Кроме того, составленный набор анализаторов может не оптимально расходовать аппаратные ресурсы системы. Поэтому основной проблемой в данном подходе является грамотное составление набора анализаторов. В очередной раз встает вопрос о необходимости и целесообразности автоматизации процесса формирования набора, равно как и распределения элементов сформированного набора между тестируемыми блоками. Возможно целесообразно автоматизировать процесс распределения, а процесс формирования отдать на откуп разработчику тестируемого устройства, снабдив его соответствующими рекомендациями.

2) Формирование системы из примитивных сигнатурных анализаторов (ПСА). Определяется некий примитивный сигнатурный анализатор – скорее всего LFSR с малым размером сигнатуры, на базе которых можно построить блок сигнатурного анализа любой сложности. Составляя ПСА в последовательные цепочки можно наращивать разрядность сигнатуры, а составляя их параллельно можно увеличивать количество входов анализатора. При формировании таких блоков требуется дополнительная связующая логика (glue logic). Конфигурационное устройство при таком подходе должно обеспечивать формирование необходимых блоков анализа из множества ПСА и связующей логики. Связующую логику следует отнести к средствам коммутации. Сложность конфигурационного устройства при

данном подходе можно оценить как среднюю, а сложность средств коммутации как высокую. Одной из важных задач является выбор размера сигнатуры ПСА. Вероятно, ее следует выбирать из диапазона [2,8], возможно ее следует сделать величиной, параметризуемой пользователем.

При формировании сигнатурных анализаторов с использованием второго подхода необходимо учитывать сложности, сопряженные с формированием характеристического полинома для анализатора с сигнатурой произвольной разрядности. Этот момент также должен быть учтен в конфигурирующем устройстве. Для обоих рассмотренных подходов необходимо учитывать возможность переключения сигнатурных анализаторов между тестируемыми блоками. Эта возможность добавляет гибкости системе, позволяя с незначительным увеличением области, занимаемой на кристалле, существенно увеличить тестовое покрытие, правда, ценой понижения быстродействия. Наличие этой возможности усложняет конфигурационное устройство и средства коммутации.

4. Высокоуровневые спецификации. Эталонная модель

Спецификация проектируемой системы является первичным и главным источником информации для разработчика конечных модулей системы. Современный подход предполагает задание подобных спецификаций в том числе и на высокоуровневых языках программирования класса C и C++, что позволяет реализовывать систему программно, а с привлечением современных компиляторов и аппаратно. Одним из путей оптимизации процесса перехода от высокоуровневой спецификации на языке программирования высокого уровня к аппаратной реализации на заданной элементной базе является использование C-подобных языков для проектирования аппаратных средств. Такие языки являются подмножествами SystemC – языка проектирования и верификации моделей системного уровня. Используемый в данной работе язык CatapultC [4] фирмы Mentor Graphics является одним из самых популярных SystemC-подобных языков, так как поддержан необходимыми инструментальными средствами (среда разработки CatapultC Synthesis). Использование высокоуровневых спецификаций и средств синтеза из данных спецификаций в маршруте проектирования позволяет исключить ошибки перехода от спецификации к реализации и ускорить процесс проектирования, при сравнимых аппаратных затратах. На примере кодера Голея [2] был осуществлен синтез цифрового устройства из спецификации на языке C средствами CatapultC Synthesis. Сравнительный анализ характеристик устройства, синтезированного из высокоуровневой спецификации и характеристик устройства, изначально описанного на языке VHDL, показал, что устройство такого класса, синтезированное из высокоуровневой спецификации средствами языка CatapultC, уступает реализации на VHDL незначительно как по быстродействию, так и по аппаратным затратам.

Основной идеей данной работы является тестирование с ЭМ, синтезированной из высокоуровневой спецификации средствами CatapultC [1]. Данный подход позволяет быстро реализовать алгоритмически верную ЭМ, из которой можно получить не только набор верных сигнатур, но и информацию для формирования ПСА.

Заключение

Рассмотренные в данной работе подходы, при совместном их применении, позволят разработчику целевого устройства быстро и качественно сформировать встраиваемые средства тестирования для этого устройства. В результате данной работы была разработана методика встраиваемого тестирования с использованием ПСА и ЭМ, синтезированной из высокоуровневой спецификации. В соответствии с разработанной методикой реализованы аппаратные средства поддержки встраиваемого тестирования. В дальнейшем планируется совершенствование данной методики: определение класса устройств, для которых целесообразно ее применение; разработка методов декомпозиции устройств для ПСА; разработка методов извлечения информации для ПСА из ЭМ на CatapultC; разработка методов, позволяющих осуществлять тестирование с ПСА и ЭМ в режиме реального времени.

Библиографический список

1. Антонов А.А., Федотов А.А. Высокоуровневые спецификации в маршруте проектирования высоконадежных аппаратных средств. XXXVIII Неделя науки СПбГПУ : материалы международной научно-практической конференции. Ч. VIII. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2009. – 195 с.
2. Антонов А.А., Федотов А.А. Высокоуровневые спецификации в маршруте проектирования аппаратных средств на примере кодера-декодера кода Голея. Фундаментальные исследования и инновации в технических университетах: Материалы XIII Всероссийской конференции по проблемам науки и высшей школы. 18 мая 2009 года, Санкт-Петербург. Том 1. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2009. – 296 с.

3. *Кирьянов К.Г.* Сигнатурный анализ (1): Методическое пособие. - Нижний Новгород: ННГУ им. Н.И. Лобачевского, 1999. - 29 с.
4. *Catapult C Synthesis User's and Reference Manual: Release 2004b*, Mentor Graphics Corporation, 2004.
5. *Edward J. McCluskey.* Design for Testability, 2004.
6. *Edward J. McCluskey, Nirmal R. Saxena.* Parallel Signature Analysis Design with Bounds on Aliasing, IEEE transactions on computers, vol. 46, no. 4, april 1997.

УДК 004.2

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОГРАМНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА ТЕСТИРОВАНИЯ ЦИФРОВЫХ УСТРОЙСТВ

Р.С. Романовский

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
(СПбГПУ)

Создание высоконадежных устройств требует комплексного тестирования цифровых устройств на расширенных тестах в широком диапазоне изменения условий. Такие проверки должны быть выполнены системами входного контроля, которые в настоящее время являются громоздкими и неэффективными, либо в них не определяется запас параметрической устойчивости, то есть дополнительные уровни напряжения, температуры и т. д.

Таким образом, разработка компактной системы тестирования с управлением логическими уровнями сигналов важна и имеет практическую значимость. В работе описана система тестирования БМК в реальном времени, с управлением логическими уровнями сигналов, которая позволяет оценить не только функциональную надежность и исправность устройств, но и оценить запас параметрической устойчивости.

На кафедре КСПТ ведутся работы по верификации и тестированию цифровых устройств и систем в рамках гранта Министерства Образования РФ. В рамках этих работ разрабатывается инновационная система тестирования цифровых устройств. Система позволяет осуществлять функциональное и параметрическое тестирование цифровых устройств, в частности микросхем БМК ОАО "Ангстрем" и "ОАО НИИМЭ и Микрон" на рабочих частотах и имеет преимущества перед аналогами по функциональности и мобильности.

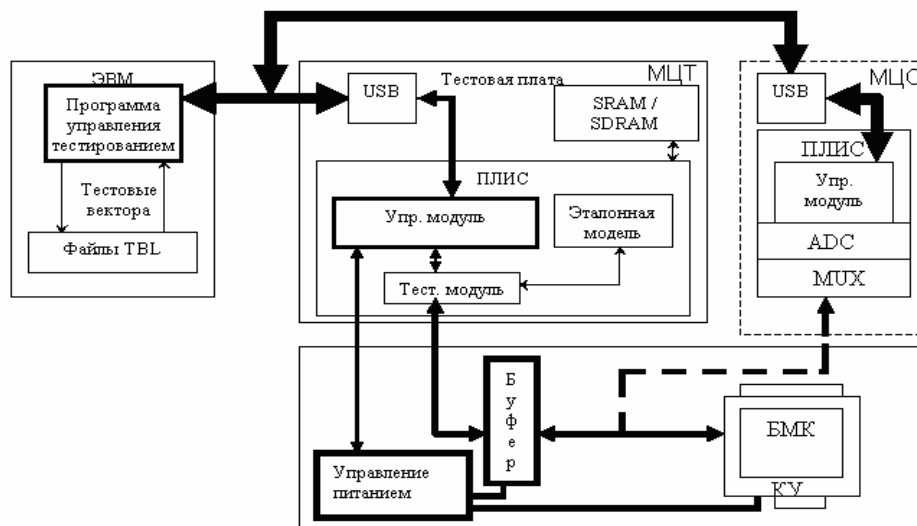


Рис. 1. Архитектура системы.

- В систему заложены следующие основные принципы:
- непосредственная выдача логических сигналов с одной микросхемы;
 - использование управляемых двунаправленных ПУ для согласования с объектом тестирования;
 - тестирование в реальном времени на рабочих частотах;
 - расширяемость;
 - мобильность.

На архитектурном уровне система представляет собой набор из двух плат (МЦО и МЦТ), размещенных на материнской плате, содержащей модуль управления питанием, двунаправленный буфер с отдельным питанием портов и контактирующее устройство. Управление логическими уровнями сигналов осуществляется путем управления питанием буферов, включенных между источником тестирующих сигналов и испытуемой микросхемой.

В системе предусмотрена возможность компенсации задержек прохождения сигнала до тестируемой микросхемы отдельно для каждого канала. В тестирующем модуле системы имеется матрица задержек, компенсирующая время прохождения сигнала до микросхемы и обратно. Значения конкретных элементов матрицы задаются, исходя из проведенной процедуры калибровки системы.

Конструктивно основой системы тестирования служит материнская плата тестирующего устройства (Рис.2). Она содержит контактирующее устройство 4 для микросхемы определенного типа (CFP, 4-й тип по ГОСТ 17467-88), а также два разъема, предназначенных для тестирующих плат. 1 - для платы цифрового тестера, осуществляющей функциональное тестирование, 2 - для платы цифрового осциллографа, осуществляющей параметрический контроль.

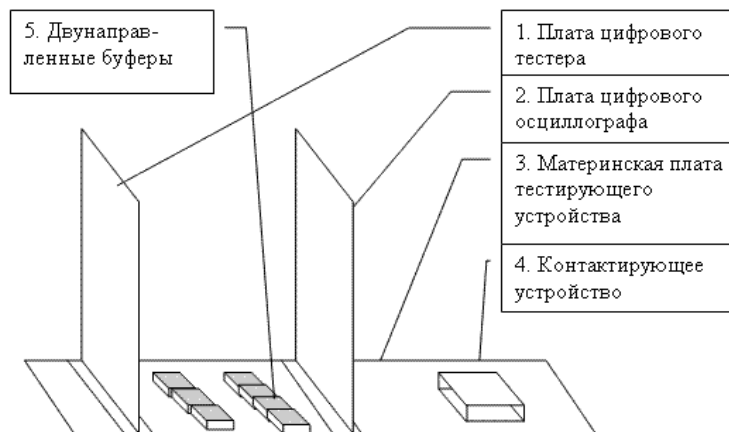


Рис. 2. Конструктив системы.

Двунаправленные буферы, включенные между источниками сигналов, имеют два напряжения питания – фиксированное, со стороны ПЛИС, и варьируемое, со стороны тестируемой микросхемы. Изменение напряжений питания осуществляется ШИМ-сигналом с цифрового тестера. Управление питанием буферов и тестируемой микросхемы - раздельное.

Модуль цифрового осциллографа обеспечивает систему тестирования возможностями параметрического контроля в реальном времени. МЦО позволяет проводить контроль уровней, передаваемых при тестировании сигналов, по 172 каналам. Встроенные средства на базе ПЛИС позволяют хранить и обрабатывать большой объем данных. Расчетная точность измерительного тракта порядка 1%. Архитектура МЦО представлена на рис.3.

Согласование входных сигналов с АЦП осуществляется согласующими буферами. Для измерения используется четырехканальный АЦП AD928. Сигнал в виде цифрового последовательного кода передается в ПЛИС по интерфейсу LVDS. В ПЛИС происходит мультиплексирование/объединение каналов и информация записывается в ОЗУ, построенное на модуле DDRII SDRAM. Для платы с 172 каналами используются две микросхемы ПЛИС, соединенные специальным параллельным интерфейсом. Связь с управляющей программой осуществляется по каналу USB только одной микросхемой ПЛИС. Синхронизация платы происходит от МЦТ.

Заключение

Разработанная система в полной мере удовлетворяет поставленным требованиям и показывает эффективность применения двунаправленных буферов с отдельным питанием как средств управления логическими уровнями сигналов, сохраняя такой важный параметр как компактность системы. В настоящее время направление работы связано с разработкой форматов параметрического тестирования и разработкой ПО.

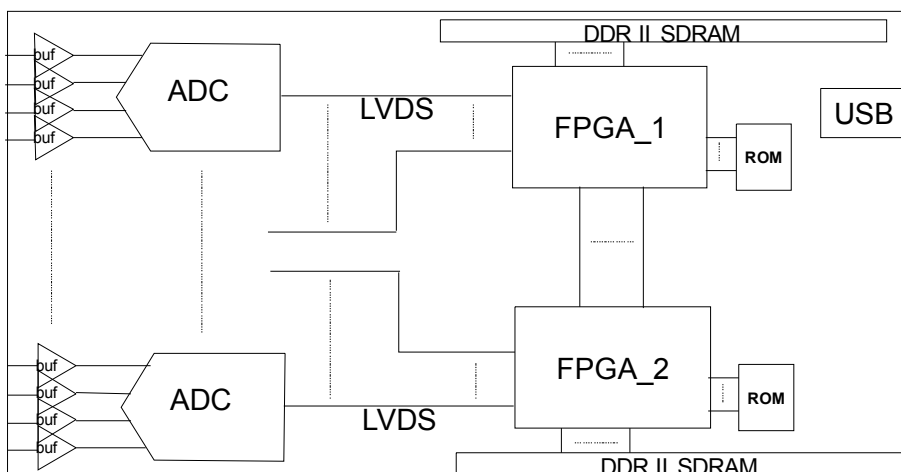


Рис. 3 Структура МЦО.

УДК 004.7 + 004.056.5

РЕАЛИЗАЦИЯ СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ ДАННЫХ В КОРПОРАТИВНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СЕТЯХ

К.О. Ильмаст, Е.Н. Карташев

Государственный научный центр Российской Федерации ОАО «Концерн
«Центральный научно-исследовательский институт «Электроприбор»
(ГНЦ РФ ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор»)

Рассматривается реализация системы защиты персональных данных (ПДн) на предприятии, где существует развитая информационная структура с интегрированными между собой ресурсами (ИР) в корпоративной вычислительной сети (КВС).

Введение. Казалось бы, технический прогресс в области информационных технологий предполагает все большее объединение данных в едином представлении, чтобы обеспечить оперативность решаемых производственных задач, а защита личных (персональных) данных в этой среде осложняет процесс автоматизации кадровых экономических и юридических задач. При этом необходимость защиты ПДн от различного рода физических и информационных угроз в среде ИР является одной из первоочередных задач.

Общая архитектура Системы защиты ИР

При построении модели угроз ЕИП необходимо учесть особенности архитектуры единого информационного пространства (ЕИП) предприятия.

В работе [1] представлена общая архитектура Системы защиты ИР.

Как видно из Рис. 1, можно выделить 4 основных уровня защиты ПДн:

1. организационный,

2. физический (или аппаратно-программный),
3. уровень операционных систем и системных приложений,
4. уровень бизнес-приложений.

Как отмечено в работе [1], система защиты состоит из следующих основных компонентов (или подсистем), назначение которых подробно описано в [2]:

- подсистема управления доступом;
- подсистема регистрации и учета;
- подсистема обеспечения целостности;
- подсистема антивирусной защиты;
- подсистема анализа защищенности.

Одним из эффективных механизмов защиты ИР на физическом (аппаратно-программном) уровне является сегментация КВС.



Рис. 1. Общая архитектура Системы защиты ИР.

Разбиение КВС на подсети

В силу необходимости использования ПДн в различных системах ИР (необходимости обеспечения доступа к базе данных как с рабочих мест информационной системы персональных данных (ИСПДн), так и с других рабочих мест КВС одновременно) невозможно организовать выделенный участок обработки ПДн путем физического выделения ИСПДн из состава КВС.

Для решения задачи контроля доступа и выделения ИСПДн следует разделить КВС на отдельные сегменты по типу обрабатываемой информации и обеспечить их контроль.

КВС ОАО «Концерн ЦНИИ «Электроприбор» построена с применением сетевого оборудования, поддерживающего технологию VLAN (стандарт IEEE 802.1Q), поэтому было произведено разделение существующей сети на отдельные сегменты логическим способом без изменения структуры кабельной сети (см. рис.2). Такое решение обеспечивает масштабирование и гибкость в изменениях организационной структуры предприятия, так как при логическом выделении может быть обеспечена возможность перемещения ПЭВМ между логическими сегментами без изменения структуры КВС.

В роли межсетевых экранов (МЭ) в КВС использовались коммутаторы CISCO Switch 3750, обрабатывающие сетевой трафик на 3-м уровне модели OSI, удовлетворяющие требованиям, предъявляемым ФСТЭК к МЭ 4-го класса согласно [5].

Условием возможности получения положительного заключения по результатам аттестационных испытаний является сертификация тех экземпляров оборудования, которые задействованы в выделении серверного оборудования и ПЭВМ ИСПДн.

Выводы

При создании комплексной системы защиты ИР предприятия целесообразно использовать хорошо проработанные на сегодняшний день, имеющие правовую основу и проверенные временем технологии защиты персональных данных, сертифицированные ФСТЭК.

Для физического (аппаратно-программного) уровня ИР была использована технология сегментации КВС предприятия с выделением контуров повышенной защищенности и использованием межсетевых экранов.

Обеспечение безопасности подключения удаленных ПЭВМ (стационарных или мобильных) к ресурсам КВС предприятия следует осуществлять на базе алгоритмов шифрования, сертифицированных ФСБ.

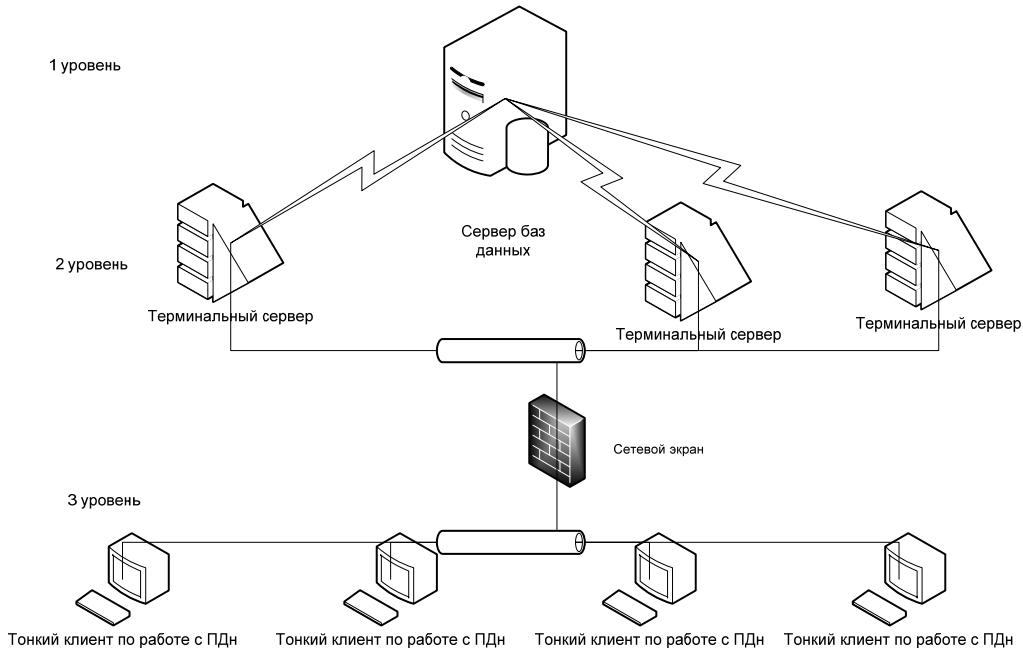


Рис. 2. Способ организации защиты на базе разделения по трехуровневой архитектуре.

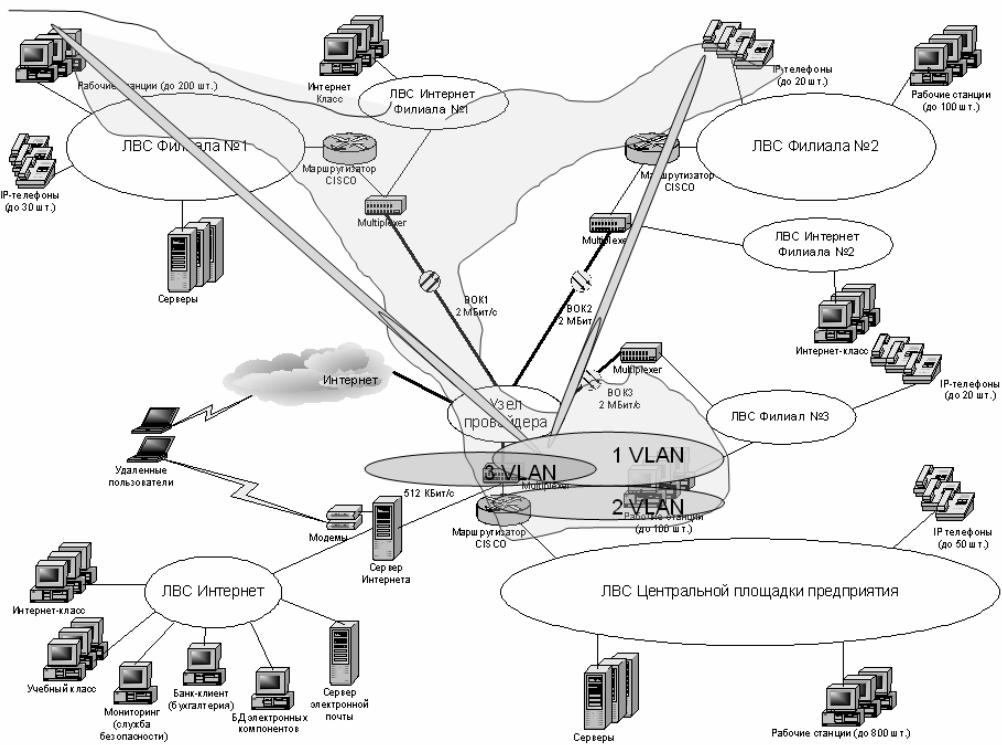


Рис. 3. Способ сегментации КВС на основе виртуальных сетей.

Библиографический список

1. Данилова Л.Г., Карташев Е.Н., Охочинский М.Н., Щеглов Д.К. Особенности создания системы защиты данных в корпоративных информационных сетях. // В сб. «Инновационные технологии и технические средства специального назначения. Материалы третьей НПК». СПб: БГТУ «Военмех», 2010. –С. 92 – 96.
2. Защита персональных данных. <http://www.iso27000.ru/chitalnyi-zal/zaschita-personalnyh-dannyh/zaschita-personalnyh-dannyh>
3. Базовая модель угроз безопасности персональных данных при их обработке в информационных системах персональных данных, ФСТЭК России, 2008 г.
4. Приказ ФСТЭК России № 58, раздел 1.4.
5. РД СВТ. МЭ Защита от несанкционированного доступа к информации. Показатели защищенности от несанкционированного доступа к информации.

УДК 623.428.2: 004.052.34

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПРЕДОТКАЗНОГО СОСТОЯНИЯ СТАРТОВЫХ КОМПЛЕКСОВ

Д.Ю. Громов

ОАО «Конструкторское бюро специального машиностроения»
(ОАО «КБСМ»)

Предлагается методика прогнозирования предотказного состояния стартовых комплексов.

Введение. Одной из важнейших проблем при эксплуатации стартовых комплексов является продление срока их эксплуатации, что может достигаться с помощью управления жизненным циклом технических систем. Одним из показателей состояния технических систем является надежность как систем в целом, так и подсистем (элементов). Надежностью системы называют совокупность технических свойств, обеспечивающих выполнение системой поставленной задачи при условии выполнения правил эксплуатации. Основными свойствами, обеспечивающими надежность технической системы, являются безотказность, долговечность, ремонтпригодность и сохранность. За пределами гарантийных сроков эксплуатации стартовых комплексов очень важно иметь методику прогнозирования отказов элементов и своевременное проведение профилактических работ, которые включают проведение необходимых ремонтных работ или замену элементов. Основным источником показателей надежности элементов и изменения надежности во времени этих элементов являются статистические данные, которые получают в результате длительных наблюдений за состоянием технических систем (мониторинг). На базе этих данных определяется основной критерий надежности $P(t)$ – вероятность безотказной работы. Вероятность безотказной работы – вероятность того, что при определенных условиях эксплуатации в заданном интервале времени не произойдет ни одного отказа.

$$P(t) = P(T > t),$$

где t – время, в течение которого необходимо определить надежность системы;
 T – время работы системы до первого отказа.

Из определения вероятности безотказной работы следует, что она является убывающей функцией во времени и имеет типичную зависимость, приведенную на рис. 1.

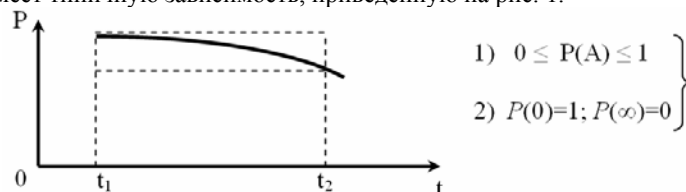


Рис. 1. Характер изменения вероятности безотказной работы технических систем во времени.

Технической системой принято называть совокупность элементов (узлов, агрегатов, приборов – подсистем) со связями между ними, образующих некоторую целостность и подчиненных определенному руководящему принципу (целенаправленному действию).

Из изложенного следует, что необходимо сформулировать критерии и подход к определению критического периода времени, требующего проведения мероприятий по восстановлению показателя надежности системы.

Вероятность безотказной работы $P(t)$ в течение определенного времени может быть определена на базе статистических данных об отказах элементов технической системы с помощью формулы:

$$\bar{P}(t) = \frac{N_0 - n(t)}{N_0},$$

где N_0 – число элементов в начальный момент времени;

$n(t)$ – число отказавших элементов за время t ;

$\bar{P}(t)$ – статистическая оценка вероятности безотказной работы (по результатам экспериментов или эксплуатации систем).

При больших значениях N_0 статистическая оценка $\bar{P}(t)$ практически совпадает с теоретическим:

$$P(t) \approx \bar{P}(t) = \frac{N_0 - n(t)}{N_0}$$

Также вероятность безотказной работы можно определить через интенсивность отказов $\lambda(t)$, где интенсивностью отказов называют отношение числа отказавших систем к среднему числу исправно работающих элементов в единицу времени, т.е.

$$\lambda(t) = \frac{n(t)}{N_{cp} \cdot \Delta t} \left[\frac{1}{\text{час}} \right], \quad (1)$$

где $n(t)$ – число отказавших элементов в интервале $\left[t - \frac{\Delta t}{2}, t + \frac{\Delta t}{2} \right]$;

N_{cp} – среднее количество элементов в исправном состоянии в момент времени t выразим формулой:

$$N_{cp} = N_0 \cdot P(t)$$

Количество элементов, вышедших из строя за время Δt , выразим формулой

$$n(t) = N_0 \cdot P(t) - N_0 \cdot P(t + \Delta t)$$

и тогда (1) примет вид

$$\lambda(t) = - \frac{N_0 [P(t + \Delta t) - P(t)]}{N_0 P(t) \cdot \Delta t}$$

При переходе к пределу в формуле (2), т.е. при $\Delta t \rightarrow 0$, получим

$$\lambda(t) = - \frac{P'(t)}{P(t)},$$

откуда получим

$$P(t) = e_0^{-\int_0^t \lambda(t) dt}$$

Интенсивность отказов $\lambda(t)$ технических систем за весь период эксплуатации показана на рис. 2.

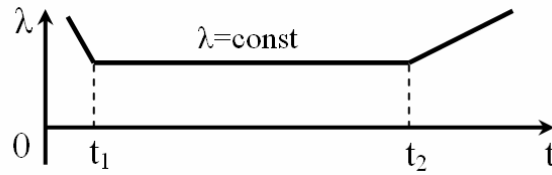


Рис. 2. Характер изменения интенсивности отказов технических систем во времени.

На основном эксплуатационном периоде функционирования элемента системы, т.е. на временном отрезке $[t_1, t_2]$, на основании статистических данных принимается $\lambda = \text{const}$.

В случае, если система состоит из n элементов, то вероятность безотказной работы системы, согласно теореме умножения, будет иметь вид

$$P_c = \prod_{i=1}^n P_i(t) = e^{-\sum_{i=1}^n \int_0^t \lambda_i(t) dt}.$$

Так как на участке основного периода функционирования системы принято $\lambda = \text{const}$, то вероятность безотказной работы системы будет иметь вид

$$P_c = e^{-\sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot t} \quad (2)$$

Формулу (2) можно упростить путем разложения ее в ряд, тогда для P_c будем иметь приближенную формулу

$$P_c \approx 1 - \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot t$$

В процессе эксплуатации технической системы входящие в нее элементы расходуют свой ресурс и требуют с каждым годом все больше времени и средств на ремонт и профилактику (регламентные работы). По истечении нормативного срока эксплуатации технической системы расходы на ремонтные работы существенно увеличиваются, что требует проведения работ по продлению сроков эксплуатации технической системы, т.е. увеличения ресурса.

Для продления сроков эксплуатации технической системы, проработавшей в течение заданных нормативных сроков, необходимо принятие мер (замена отдельных элементов, ремонт элементов и др.) для увеличения времени функционирования технической системы, т.е. увеличения ресурса.

В качестве меры для характеристики ресурса технической системы может быть принято время исправного ее функционирования, определяемое как интеграл от вероятности безотказного функционирования по времени

$$W_{\text{ПП}} = \int_0^{\infty} P(t) dt,$$

где $P(t)$ – вероятность безотказной работы системы.
Заданный ресурс по ТЗ выразим формулой

$$W_{\text{ПЗ}} = \int_0^{T_H} P(t) dt,$$

где T_H – нормативный срок эксплуатации.
Остаточный ресурс можно записать в виде

$$W_{\text{ПО}} = \int_{T_H}^{\infty} P(t) dt$$

В заданном ресурсе обязательным условием является

$$P(t) \geq P_{\vartheta}(t);$$

$P_{\varrho}(t)$ – заданный уровень надежности технической системы, который обеспечивается соответствующим уровнем значений $\lambda_i, i = \overline{1, n}$ (λ_i – интенсивность отказов i -го элемента технической системы), т.е. $\lambda_i, i = \overline{1, n}$ не должны превышать соответствующих допустимых интенсивностей отказов элементов технической системы:

$$\lambda_i \leq \lambda_{\varrho i}, i = \overline{1, n}$$

(значения $\lambda_{\varrho i}, i = \overline{1, n}$ обеспечивают необходимый уровень надежности технической системы).

С момента времени t_2 (рис. 3) (начало периода старения элементов) начинается увеличение $\lambda_i, i = \overline{1, n}$, что соответствует снижению вероятности безотказного функционирования технической системы. В период времени $t > t_2$ необходимо установить предотказный период, который количественно будем характеризовать как

$$0,90\lambda_{i\varrho} \leq \lambda_i(t) \leq 0,98\lambda_{i\varrho}$$

Величина $\lambda_i(t), i = \overline{1, n}$, определяется методом экстраполяции по трем временным точкам $t_2, t_2 + \Delta t, t_2 - \Delta t$.

На основании статистических данных для трех моментов времени определяются значения

$$\lambda_i \Big|_{t=t_2-\Delta t} \text{ – известно; } \lambda_i \Big|_{t=t_2} \text{ – известно; } \lambda_i \Big|_{t=t_2+\Delta t} \text{ – определяется экспериментально.}$$

В результате аппроксимации по трем точкам получим зависимость для λ_i на интервале $[t_2 - \Delta t, t_2 + \Delta t]$, которую можно распространить на интервал $[t_2 + \Delta t, t_{\text{по}}]$, тем самым прогнозируя значения интенсивности отказов λ_i . Моменту времени $t_{\text{по}}$ соответствует неравенство $\lambda_i \leq 0,98\lambda_{i\varrho}$.

$$\lambda_i = \bar{f}_i(t) = a_{i1}t^2 + a_{i2}t + a_{i3} \quad i = \overline{1, n} \quad (3)$$

Введем функцию $f(t) = \sum_{i=1}^n \lambda_i(t)$. Функция $f(t)$ должна быть не более $\lambda_{\varrho} = \sum_{i=1}^n \lambda_{\varrho i}$

($f(t) \leq \lambda_{\varrho}$), которая соответствует допустимому значению надежности технической системы, заданной в ТЗ.

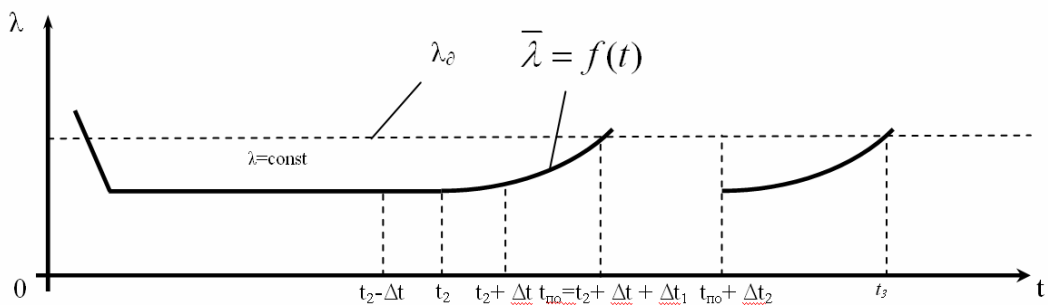


Рис. 3. Изменение интенсивности отказа на границе предотказного состояния.

Используя полученную зависимость (3) можно найти время предотказного состояния из условия, что при $t_{\text{по}} = t_2 + \Delta t + \Delta t_1$ интенсивность отказов технической системы $\lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i$ не должна превышать величину $0,98 \lambda_0$

$$\lambda \leq 0,98 \lambda_0 \quad (4)$$

где λ_0 - допустимое значение суммарной интенсивности отказов, которая соответствует величине заданной надежности технической системы (см. рис. 3).

Момент времени $t = t_2 + \Delta t + \Delta t_1$ находим из условия (4), который является временем начала предотказного состояния.

В течение времени Δt_2 проводятся восстановительные работы, которые обеспечат увеличение ресурса технической системы. Дополнительный ресурс можно выразить формулой

$$P_{\text{доп}} = \int_{t_{\text{по}} + \Delta t_2}^{t_3} P(t) dt$$

Момент времени t_3 можно определить, используя (3), т.е. удовлетворяя условию $\lambda \leq 0,98 \lambda_0$

Заключение

С помощью методики прогнозирования предотказного состояния технических систем возможно продлить работоспособность стартовых комплексов, работающих за пределами гарантийных сроков, проводя своевременно профилактические работы, включающие в себя как ремонт комплектующих элементов, так и их замену.

Библиографический список

1. *Половко А.М.* Основы теории надежности. М. Наука. 1964.
2. *Маликов И.М., Половко А.М., Романов Н.А., Чукареев П.А.* Основы теории и расчета надежности.
3. *Воробьев А.М.* «Ресурс технической системы и оценка стоимости его увеличения. Известия РАРАН. 1 (38). М. 2004.
4. *Критерии, методы анализа и пути* повышения надежности изделий. Инструктивно-методическое пособие. Центральное бюро технической информации. Л. 1965.

УДК 004.9: 621.31

ПРОГРАММНАЯ ПОДДЕРЖКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ СХЕМ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ОБЩИХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКИМИ СРЕДСТВАМИ

Я.С. Вологодина, Д.В. Егоров

ОАО «Концерн «Научно-производственное объединение «Аврора»
(ОАО «Концерн «НПО «Аврора»)

Представлены принципы формирования местных межприборных кабельных связей, основанные на идее объединения в соединительных ящиках маложильных кабелей от ИИ (ИО) в многожильные кабели к приборам системы по средствам анализа жилности кабелей.

На многих отечественных приборостроительных предприятиях проектирование электрических схем ведется вручную без специализированных программных пакетов, что затрудняет разработку документации и увеличивает время, затрачиваемое на ее выпуск. Между тем, использование программных средств может существенно повысить качество электрических схем и снизить количество ошибок из-за человеческого фактора.

Авторы предлагают не совершать дополнительных денежных инвестиций в дорогой программный продукт, а использовать возможности MS Access. В настоящем докладе приведен процесс

автоматизированного проектирования схемы электрической общей корабельной системы управления в части формирования местных кабельных связей и подключение их к приборам.

Корабельные системы управления могут состоять из множества приборов, которые обеспечивают управление несколькими тысячами исполнительных органов (ИО) и предоставляют информацию от огромного количества источников информации (ИИ). Таким образом, схема электрическая общая может насчитывать несколько десятков тысяч кабельных связей, соединяющих оборудование между собой.

На структурной схеме корабельной системы управления (рис.1) показаны:

1. связи между ИИ (ИО) и соединительными ящиками;
2. связи между соединительными ящиками и приборами системы;
3. интерфейсные межприборные связи.

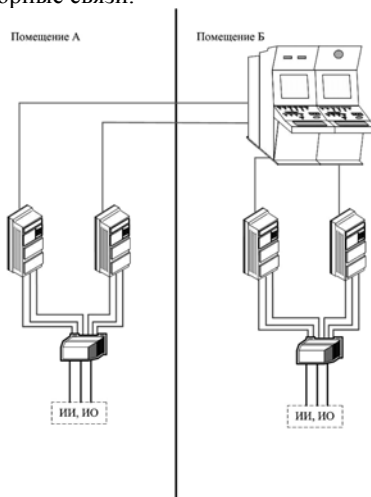


Рис. 1 Структурная схема корабельной системы управления

Соединительные ящики (СЯ) предназначены для объединения маложильных кабелей от ИИ (ИО) в многожильные кабели, подключаемые к приборам. Приборы системы предназначены для реализации управления ИО и сбора информации от ИИ. Аппаратуру (приборы, СЯ и т.п.), входящую в состав системы будем индексировать в диапазоне от 1000 до 1999. Кабели будем обозначать в формате – [Пом]–[Система]–[шифр][№каб],

где [Пом] – номер помещения, [Система] – шифр системы, [шифр] - индекс аппаратуры системы (присваивается больший индекс подключаемой кабелем аппаратуры), [№каб] – порядковый номер кабеля (например, 1-УК1-17000). В [1] представлены преимущества такого подхода.

Автоматизация формирования кабельных связей между ИИ (ИО) и СЯ рассмотрена в [1], результаты которой (Табл.1) являются исходными данными для формирования межприборных кабельных связей. Отметим, что в графе "Тип" указаны множества объектов, объединенных по общим характеристикам (схема подключения, тип кабеля, характер сигнала и т.п.)

Таблица 1 – Исходные данные.

Тип	Помещение	Номер	Кабель	Жилы	Сечение	СЯ	КабельП	Прибор
С	1	2000	1-УК1-20000	4	0.75	1700		
...		
С	1	2010	1-УК1-20100	4	0.75	1702		
С	2	2011	2-УК1-20110	4	0.75	1703		
...		
Э	2	2020	2-УК1-20200	2	1	1706		
...		
Э	2	2035	2-УК1-20350	2	1	1709		
...		

Межприборные кабельные связи в зависимости от типа ИИ (ИО) ("С", "Э") формируют, например:

- в случае множества дискретных ИИ ("С", при их однопроводной схеме) количество жил межприборных кабелей определяется суммой ИИ в множестве плюс одна жила питания ($kk = \sum \text{ИИ} + 1$).

- в случае множества ИО ("Э", двухпроводная схема) количество жил межприборных кабелей определяется двойной суммой ИО ($kk = 2 \cdot \sum \text{ИО}$).

Критериями завершения формирования кабельной связи является достижение показателя максимальной жилности (Kk_{\max}) или переход к работе с кабелями следующего СЯ. При этом "КабельП" регистрируется в таблице 2, ему присваивается соответствующая типу ("С", "Э") марка, количество жил (kk) и сечение (для "С" – 0,5 мм², для "Э" – 0,75 мм²), прибор (для "Э" - управления или для "С" - сигнализации). В случае достижения Kk_{\max} , номер кабеля [$N_{\text{каб}}$] инкрементируется, а при переходе к работе с кабелями следующего СЯ [$N_{\text{каб}}$] обнуляется. На рис.2 представлены принципы формирования местных межприборных кабельных связей.

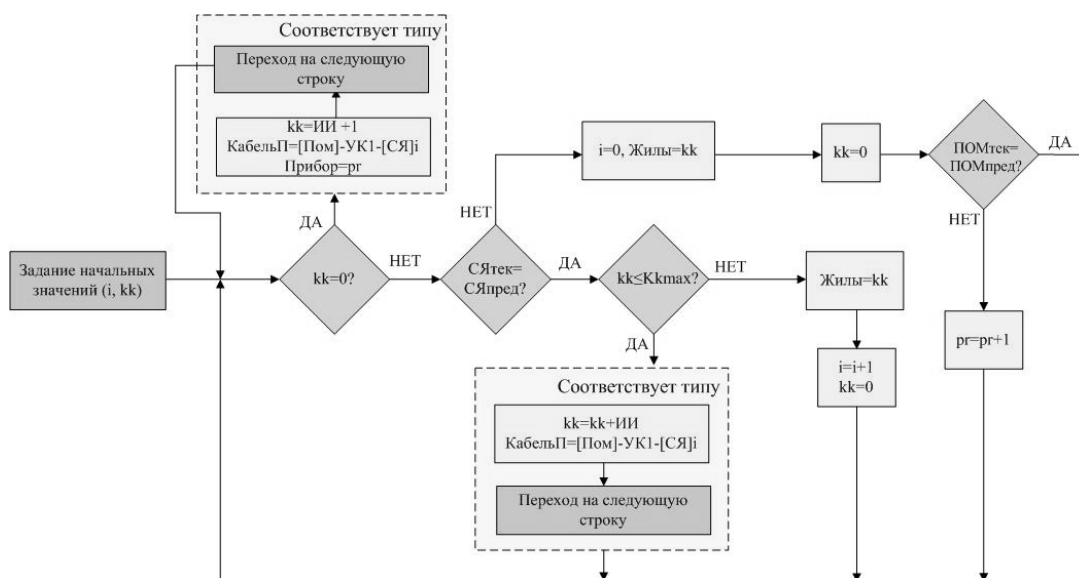


Рис. 2. Принципы формирования местных межприборных кабельных связей.

Результаты формирования местных межприборных кабельных связей приведены в табл.2 и табл.3.

Таблица 2. – Принципы формирования местных межприборных кабельных связей.

Тип	Пом.	Номер	Кабель	Жилы	Сечение	СЯ	КабельП	Прибор
С	1	2000	1-УК1-20000	4	0.75	1700	1-УК1-17000	1200
...
С	1	2010	1-УК1-20100	4	0.75	1702	1-УК1-17020	1200
С	2	2011	2-УК1-20110	4	0.75	1703	2-УК1-17030	1201
...
Э	2	2020	2-УК1-20200	2	1	1706	2-УК1-17061	1500
...
Э	2	2035	2-УК1-20350	2	1	1709	2-УК1-17091	1500
...

Таблица 3. – Межприборные кабели.

Тип	СЯ	КабельП	Марка	Жилы	Сечение	Прибор	Пом.
С	1700	1-УК1-17000	КМПВЭ-500	14	0.5	1200	1
...
С	1702	1-УК1-17020	КМПВЭ-500	14	0.5	1200	1
С	1703	2-УК1-17030	КМПВЭ-500	19	0.5	1201	2
...
Э	1706	2-УК1-17061	КМПВЭ-500	10	0.75	1500	2
...
Э	1709	2-УК1-17091	КМПВЭ-500	8	0.75	1500	2
...

В настоящем докладе были представлены принципы формирования местных межприборных кабельных связей, основанные на идее объединения в соединительных ящиках маложильных кабелей от ИИ (ИО) в многожильные кабели к приборам системы посредством анализа жилности кабелей. Преимуществами данного подхода является интеллектуальность, простота в обращении.

В дальнейшем планируется продолжить работу над автоматизацией проектирования схем электрических, добавив новые возможности:

- анализ насыщенности приборов системы;
- формирование интерфейсных межприборных кабельных связей;
- формирование магистральных межприборных кабельных связей;
- пользовательский интерфейс.

Библиографический список

1. Егоров Д.В., Савчук О.А. «Алгоритм автоматизации разработки схем общих систем управления»//В сборнике докладов 3-ей международной конференции «Автоматизация в промышленности», Москва, 2009.

УДК 004.89

МЕТОД ФОРМИРОВАНИЯ ТРЕБОВАНИЙ К СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОННЫМ АРХИВОМ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ ПРЕДПРИЯТИЯ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Д.К. Щеглов, М.С. Гунько, Д.Ю. Лысенко

ОАО «Конструкторское бюро специального машиностроения»
(ОАО «КБСМ»)

Рассмотрена обобщенная модель автоматизированной системы электронного архива технической документации (АС «Архив»). Определено место подсистемы управления требованиями в этой модели. Предложены метод формирования требований, предъявляемых к АС «Архив» и показатель качества процесса управления требованиями.

*Метод – это перекресток, на котором
встречаются искусство и наука.
Эдуард Булвер-Литтон*

Введение. В марте 2010 г. Федеральным космическим агентством (Роскосмос) была принята концепция информатизации отечественной ракетно-космической промышленности (РКП) на период 2010 – 2015 годов, направленная на обеспечение конкурентных преимуществ в области разработки и последующей эксплуатации современных ракетно-космических комплексов и систем. Реализация принятой концепции подразумевает проведение ряда мероприятий, направленных на создание еди-

ного информационного пространства (ЕИП) отрасли. Предполагается, что основу ЕИП составят базы данных и знаний с унифицированными интерфейсами доступа, в которых будут храниться сведения о созданных и создаваемых изделиях [1]. Это выдвигает на первое место задачу разработки и внедрения на предприятиях РКП автоматизированных систем управления электронными архивами технической документации (далее АС «Архив»), которые являются основой для построения ЕИП предприятия РКП [2]. В связи с этим функциональные возможности АС «Архив» должны быть значительно шире, чем у простой архивной поисковой базы данных [2, 3].

На каждом этапе процесса разработки и внедрения АС «Архив» (как и любого другого сложного программного продукта) возникает ряд организационно-технических задач, связанных с управлением требованиями. Управление требованиями (*requirements management*) – это процесс, включающий идентификацию, выявление/формирование, документацию, анализ, отслеживание, приоритезацию требований, достижение соглашения по требованиям и затем управление изменениями и уведомление соответствующих заинтересованных лиц [4]. Особо сложной задачей является формирование требований к автоматизированной системе (в данном случае к АС «Архив»). В силу сложности и многоплановости этой задачи в настоящее время не существует единой универсальной методики формирования требований к АС «Архив». В данной работе предлагается общий принцип формирования требований к АС «Архив» проектно-конструкторского предприятия (ПКП) РКП.

Суть понятия «требование к программному продукту»

Внедрение АС «Архив» на ПКП подразумевает, как минимум, изменение структуры (реинжиниринг) бизнес-процесс¹ обращения технической документации (ТД) [5, 6, 7]. То есть переход от бумажно-ориентированного бизнес-процесса к более эффективному – электронному [2]. Известно, что количество интеллектуальных ресурсов (персонал) $\Delta\eta$, требуемых для решения конкретной производственной задачи, обратно пропорционально времени $\Delta\tau$, которое требуется на ее решение. Следовательно, эффективность бизнес-процесса можно описать характеристической функцией $\Psi(\tau, \eta)$, где η – интеллектуальные ресурсы, а τ – время.

Введем множество требований $T_{\Sigma} = \{T_1, T_2, \dots, T_j, \dots, T_m\}$, предъявляемых к АС «Архив».

Под множеством T_{Σ} будем понимать совокупность утверждений относительно атрибутов, свойств или качеств программной системы, подлежащей реализации [8].

Очевидно, что для получения максимального эффекта от автоматизации бизнес-процесса обращения ТД требования, предъявляемые к АС «Архив», должны обеспечивать минимизацию характеристической функции этого бизнес-процесса, то есть:

$$T_{\Sigma} : \Psi(\tau, \eta) \rightarrow \min_{\tau, \eta}.$$

С целью определения места подсистемы управления требованиями в структуре электронного архива ТД рассмотрим обобщенную модель АС «Архив».

Обобщенная модель АС «Архив»

В общем случае АС «Архив» представляет собой организационно-техническую систему.

С учетом этого модель АС «Архив» можно описать следующим кортежем

$$S = (F, K, \xi),$$

где F – функциональная модель объекта автоматизации,

K – компонентная модель АС «Архив»,

$\xi : F \otimes K \xrightarrow{\xi} \{0, 1\}$ – матрица взаимосвязей между функциональными задачами объекта автоматизации и компонентами АС «Архив».

Рассмотрим функциональную модель объекта автоматизации и компонентную модель АС «Архив» более подробно.

1. **Функциональную модель** объекта автоматизации можно описать кортежем

$$F = (U, W, M_{\Sigma}),$$

¹ Бизнес-процесс – в данном контексте – это совокупность взаимосвязанных мероприятий или задач, направленных на решение конкретной производственной задачи.

где $U = \{u_1, u_2, \dots, u_g\}$ – множество бизнес-процессов предприятия (функциональных задач),

$W = \{w_1, w_2, \dots, w_h\}$ – множество участников этих бизнес-процессов (персонал),

$M_\Sigma = \{M_1, M_2, \dots, M_i, \dots, M_n\}$ – множество информационных моделей разрабатываемых изделий.

Информационная модель i -го изделия представляет собой кортеж

$$M_i = (E, R),$$

где $E = (A, P)$ – кортеж информационных объектов АС «Архив», включающий:

$A = \{a_1, a_2, \dots, a_q\}$ – множество векторов свойств (атрибутов) информационных объектов;

$P = \{p_1, p_2, \dots, p_t\}$ – множество файлов содержимого информационного объекта.

$R: E \otimes E \rightarrow \{0, 1\}$ – матрица отношений/взаимосвязей между информационными объектами.

Совокупность всех данных, хранящихся в АС «Архив», представляет собой множество информационных моделей разрабатываемых предприятием изделий

$$D = \bigcup_{i=1}^n M_i.$$

2. **Компонентную модель** АС «Архив» можно описать кортежем

$$K = (V, C, \beta),$$

где $V = \{v_1, v_2, \dots, v_k\}$ – множество функционально-логических компонентов АС «Архив», которое обычно состоит из следующих основных компонентов (или подсистем) [2, 6, 9, 10]:

v_1 – подсистема ввода информации;

v_2 – подсистема долгосрочного хранения;

v_3 – подсистема оперативного электронного архива;

v_4 – подсистема пользовательских приложений;

v_5 – подсистема тиражирования ТД;

v_6 – подсистема технологических решений (API-интерфейс);

v_7 – **подсистема управления требованиями.**

$C = \{c_1, c_2, \dots, c_k\}$ – множество программных компонентов АС «Архив». Для трехуровневой архитектуры² АС «Архив» будет включать в себя совокупность компонентов всех этих трех уровней. Например, для системы TDMS (Technical Data Management System), применяемой в ОАО «КБСМ», это [9, 10]:

c_1 – компонент СУБД;

c_2 – компонент «Распределенное файловое хранилище»;

c_3 – компонент «АРМ администратора»;

c_4 – компонент «АРМ пользователя»;

c_5 – компонент «Web-клиент».

$\beta: V \otimes C \xrightarrow{\beta} \{0, 1\}$ – матрица взаимосвязей между модулями АС «Архив» и программными компонентами в контексте выполняемых функций.

² Уровень пользователя – уровень приложений – уровень данных.

Легко заметить, что подсистема управления требованиями в рамках рассмотренной обобщенной модели является неотъемлемой частью компонентной модели АС «Архив».

Требования, предъявляемые к АС «Архив» ПКП РКП

Требования к АС «Архив» ПКП РКП определяются рядом особенностей, которые можно условно разделить на три класса: собственно ракетно-космической промышленности, конкретного предприятия РКП, автоматизируемых производственных процессов (ПП). С точки зрения разработки универсальных требований эти классы соответствуют высокому (100%), среднему (70%) и низкому уровням формализации [11]. С учетом этого целесообразно выделить две группы требований, предъявляемых к АС «Архив» ПКП РКП. Первая группа требований формируется на основе особенностей первого класса, а вторая на основе второго и третьего классов.

Первую группу составляют общие требования, предъявляемые к АС «Архив» любого ПКП РКП.

Как уже отмечалось ранее, АС «Архив» должна рассматриваться несколько шире, чем просто система архивного хранения ТД в электронном виде. Поэтому среди наиболее значимых особенностей первого класса, влияющих на эти требования, можно выделить: сложность инфраструктуры и кооперирования отрасли; уникальность объектов проектирования (низкая стандартизация элементной базы); итерационный характер проектирования; совместное применение методологий нисходящего и восходящего проектирования в САПР; разнородность применяемых АС; повышенные требования к защите информации; нестабильность финансирования ИТ-проектов.

На основании анализа полученных особенностей сформулированы следующие требования к АС «Архив» ПКП РКП: высокая масштабируемость, функциональная достаточность, низкая совокупная стоимость владения, глубокая проработанность интерфейсов интеграции (с САД, ЕРР и другими АС), поддержка отраслевых справочников, поддержка полного жизненного цикла ТД, надежность поставщика, обеспечение требуемого уровня защиты информации.

Вторую группу составляют универсальные детализированные требования к АС «Архив», которые могут использоваться конкретными ПКП РКП.

Рассмотрим метод формирования требований этой группы, основанный на построении матрицы консолидированных узлов. В основе этого метода лежит методология UML [12] и проведенные авторами исследования:

- особенностей применения отечественных и зарубежных систем электронного архива и документооборота, а также САПР на ПКП РКП;
- процесса ведения проектно-конструкторской деятельности на ПКП РКП;
- принципов создания информационной модели изделия;
- существующей нормативной базы, регламентирующей обмен информацией между разнородными автоматизированными системами в процессе информационной поддержки ЖЦ изделий.

Графическое представление предлагаемого метода приведено на рис. 1.

Как видно из рис. 1, вертикальными стрелками обозначены основные ПП ПКП, автоматизируемые средствами АС «Архив», а горизонтальными прямоугольными блоками показаны уровни равных ролей³ (УРР) потенциальных пользователей АС «Архив». Места пересечений рассматриваемых процессов с УРР, отмеченные пронумерованными кругами, являются **узлами консолидации** (УК) требований. Для каждого УК необходимо описать набор требований, реализация которых обеспечивает работу пользователя в АС «Архив», при выполнении им определенной роли в рамках конкретного ПП.

Каждый элемент T_j множества T_Σ , в рамках предлагаемого метода формирования требований, можно интерпретировать как вектор частных требований, то есть $T_j = (t_1^{(j)}, t_2^{(j)}, \dots, t_q^{(j)}, \dots, t_k^{(j)})$, где k – количество требований, характеризующих j -й ПП.

³ Один и тот же пользователь может выполнять в АС «Архив» несколько различных ролей. Например, в одном проекте – руководитель, а в другом – исполнитель.

		1. Предпроектный анализ исходных данных		3. Планирование проектно-конструкторских работ		5. Согласование и утверждение ТД		7. Отправка ТД заказчику	
		2. Заключение договора		4. Проектирование и конструирование изделия		6. Выпуск ТД и сдача ее в архив		8. Проведение изменений в ТД по извещениям	
Узел консолидации требований									
Уровни равной роли АС «Архив»	1. Руководитель предприятия>>	1-1	1-2	1-3	1-4	1-5	1-6	1-7	1-8
	2. Руководитель проекта>>	2-1	2-2	2-3	2-4	2-5	2-6	2-7	2-8
	3. Руководитель контролирующей службы>>	3-1	3-2	3-3	3-4	3-5	3-6	3-7	3-8
	4. Руководитель структурного подразделения>>	4-1	4-2	4-3	4-4	4-5	4-6	4-7	4-8
	5. Руководитель службы архива>>	5-1	5-2	5-3	5-4	5-5	5-6	5-7	5-8
	6. Ведущий специалист структурного подразделения>>	6-1	6-2	6-3	6-4	6-5	6-6	6-7	6-8
	7.1. Сотрудник структурного подразделения (исполнитель) >>	7.1-1	7.1-2	7.1-3	7.1-4	7.1-5	7.1-6	7.1-7	7.1-8
	7.2. Сотрудник контролирующей службы (исполнитель) >>	7.2-1	7.2-2	7.2-3	7.2-4	7.2-5	7.2-6	7.2-7	7.2-8
7.3. Сотрудник службы архива (исполнитель) >>	7.3-1	7.3-2	7.3-3	7.3-4	7.3-5	7.3-6	7.3-7	7.3-8	
8. Системный администратор>>	8-1	8-2	8-3	8-4	8-5	8-6	8-7	8-8	

Рис. 1. Матрица консолидированных узлов.

Пусть $H = (h_1, h_2, \dots, h_p, \dots, h_w)$ – вектор УУР, w – количество⁴ УУР. Тогда каждый j -й ПП можно охарактеризовать матрицей $Z^{(j)}$ с элементами $z_{pq}^{(j)}$, при этом $T_j \otimes H \rightarrow z_{pq}^{(j)}$, $z_{pq}^{(j)} \in \{0, 1\}$. На основе матрицы $Z^{(j)}$ можно судить о приоритетах каждого из требований в рамках рассматриваемого ПП. Иначе говоря требования $t_i^{(j)} \in T_j$ можно отсортировать от требования, имеющего максимальный приоритет $t_i^{(j)} : \max_q \sum_{p=1}^w z_{pq}^{(j)}$, до требования с минимальным приоритетом

$$t_s^{(j)} : \min_q \sum_{p=1}^w z_{pq}^{(j)}.$$

Описанный подход позволяет получить необходимый и достаточный набор требований к АС «Архив», а также управлять требованиями в процессе полного ЖЦ АС «Архив».

С целью упорядочения требований, полученных в результате применения описанного подхода, выполнено их подразделение на организационные, аппаратно-программные и функциональные. Функциональные требования, в свою очередь, разделены на следующие подгруппы: поддержка справочников и классификаторов; создание документов и работа с ними; управление проектно-конструкторскими работами [13]; управление конструкторскими данными; коллективная работа с документами; организация архивного хранения документов; поиск и отчетность; требования к организации администрирования системы и безопасности.

Анализ качества процесса управления требованиями, предъявляемыми к АС «Архив» промышленного предприятия

Отслеживать необходимость усовершенствования и доработки АС «Архив» предлагается с помощью опросных листов и письменных заявлений пользователей. Опросные листы должны учитывать все потребности, возникающие у пользователей всех УРР на всех стадиях ЖЦ АС «Архив» в рамках конкретных ПП.

⁴ В рассматриваемом примере их десять.

Не останавливаясь на опросных формах для каждого бизнес-процесса, реализуемого средствами АС «Архив», рассмотрим, как оценить качество непосредственно самого бизнес-процесса управление требованиями. С точки зрения УУР в этом процессе принимает непосредственное участие администратор АС «Архив», а также специалисты отдела информационных технологий предприятия. Множество специалистов, задействованных в процессе управления требованиями представим в виде вектора $Y = (y_1, y_2, \dots, y_l, \dots, y_q)$, где $l = \overline{1, q}$ – количество специалистов

Пример опросного листа по направлению «Управление требованиями» и оценка уровня достижимости целей по данному направлению приведен в Таблице 1.

Таблица 1. – Опросный лист по направлению «Управление требованиями».

Управление требованиями	Почти всегда	Часто	Иногда	Редко	Никогда
1. Используются ли разработанные требования к АС «Архив», в качестве основы для выполнения разработки и управления процессом разработки?					
2. Выполняется ли корректировка планов разработки АС «Архив», а так же плана ее внедрения при изменении системных требований?					
3. Руководствуется ли проект по внедрению АС «Архив» принятой в организации политикой в части управления системными требованиями?					
4. Прошли ли лица, которым поручено управление требованиями, обучение приемам управления требованиями?					
5. Проводятся ли измерения с целью определения адекватности действий, выполняемых по управлению требованиями (например, есть ли учет общего числа предложенных изменений в требованиях, числа принятых предложений по изменениям, числа произведенных корректировок в базовой версии и так далее)?					
6. Подвергаются ли действия по управлению требованиями в проекте ревизиям с целью обеспечения качества АС «Архив»?					

Как видно из таблицы опросный лист содержит *шесть* вопросов и *пять* вариантов ответа.

Варианты ответов на поставленные вопросы, даваемые каждым из специалистов y_l , представим в виде вектора $X_l = (x_1^{(l)}, x_2^{(l)}, \dots, x_i^{(l)}, \dots, x_5^{(l)})$. Каждому x_i варианту ответа присвоим эквивалентный числовой коэффициент: «почти всегда» = 1, «часто» = 0.75, «иногда» = 0.5, «редко» = 0.25, «никогда» = 0. Теперь обработка опросного листа каждого специалиста $y_l \in Y$, задействованного в бизнес-процессе управления требованиями, сводится к формированию комплексной оценки исследуемого процесса. При формировании комплексной оценки можно ввести коэффициенты $k_i: \sum_i k_i = 1$, характеризующие приоритет («весовые» коэффициенты) задаваемого вопроса.

Для определения «весовых» коэффициентов можно воспользоваться методом парных сравнений [14, 15]. Суммарную оценку I_l качества процесса управления требованиями, отражающую мнение каждого специалиста y_l можно определить методом линейной свертки: $I_l = 100 \cdot \sum_i x_i^{(l)} \cdot k_i$ (%). Легко проверить, что $0 \leq I_l \leq 100$ % .

Окончательную оценку качества рассматриваемого бизнес-процесса I (с учетом мнений всех специалистов) можно найти методом медианы, например, методом медианы Кемени, описанным в

работе [16]. Определяется расстояние Кемени между мнениями специалистов $y_l \in Y$:

$$D(X_i, X_j) = \sum_{k=1}^q |x_k^{(i)} - x_k^{(j)}|, \text{ тогда } I = I_m : \sum_{j=1}^l D(X_m, X_j) = \min_{i=1, \dots, l} \sum_{j=1}^l D(X_i, X_j), \text{ где } I_l \text{ соот-}$$

ветствует оценке специалиста Y_l .

Заключение

1. На основании проведенного в работе анализа можно выделить две сложные организационно-технические задачи, требующие решения в процессе внедрения АС «Архив» на промышленном предприятии. К этим задачам относятся:
 - формирование перечня требований, предъявляемых к АС «Архив»;
 - организация процесса управления этими требованиями в процессе ЖЦ АС «Архив».
2. С целью решения поставленных задач были предложены:
 - обобщенная математическая модель АС «Архив», включающая в себя функциональную и компонентную модели системы. Определено место подсистемы управления требованиями в этой модели;
 - систематизированный подход к формированию требований, предъявляемых к АС «Архив» предприятия РКП;
 - метод оценки качества бизнес-процесса управления требованиями.

Библиографический список

1. *Нормативные документы Роскосмоса*. Концепция информатизации Роскосмоса и РКП (2010–2015 г.г.). Первая редакция. Москва, 2010. Интернет. <http://www.federalospace.ru/main.php?id=13&did=928>.
2. *Воробьев А.М., Уткин А.Ф., Щеглов Д.К., Игнатов Б.А., Данилова Л.Г., Рындин А.А., Тучков А.А., Фертман И.Б.* Сценарий и механизмы создания ЕИП ракетно-космической промышленности. Электронный архив технической документации как основа ЕИП. // Журнал Rational Enterprise Management № 4, – СПб.: 2010 – С. 16–20.
3. *Воробьев А.М., Пивоваров В.М., Щеглов Д.К., Данилова Л.Г., и др.* Концепция создания единой среды проектирования, как первый этап обеспечения жизненного цикла изделий. Опыт ОАО «КБСМ» // Журнал CADmaster, № 2(42). М.: Нанософт, 2008. С. 16 – 20.
4. *Leffingwell D., Widrig D.* Managing software requirements approach — 2nd ed. Boston: Addison Wesley, 2003.
5. *Данилова Л.Г., Щеглов Д.К.* Формализованное описание рабочих процессов «КАК ЕСТЬ», действующих в ОАО «КБСМ» // НТО ОАО «КБСМ» – СПб., 2007. – 45 с.
6. *Данилова Л.Г., Щеглов Д.К.* Функциональная спецификация на создание автоматизированной системы электронного архива технической документации ОАО «КБСМ» // 2008-1-038 ФС – СПб., 2008. – 111 с.
7. *Хаммер М., Чампи Дж.* Реинжиниринг корпорации: Манифест революции в бизнесе / Пер. с англ. СПб.: Изд-во СПб ун-та, 1997. 332 с.
8. Электронная энциклопедия Википедия. Требования к программному обеспечению. Интернет. http://ru.wikipedia.org/wiki/Требования_к_программному_обеспечению
9. Официальный сайт группы компаний Csoft. TDMS 3.0. <http://www.csoft.ru/catalog/soft/tdms/tdms-3.html>.
10. *Малинин А.А.* Разработка методов и алгоритмов безбумажного документооборота электронных архивов технической документации САПР: Дис. ... канд. Техн. Наук. – СПб., 2008. – 158 с.
11. *Погорелов В.И., Щеглов Д.К.* Методические основы выбора системы поддержки жизненного цикла наукоемких изделий // В сб. Актуальные вопросы ракетостроения. Выпуск 4. / Балт. Гос. Тех. Ун-т. СПб.: 2007. – С.102 –106.
12. *Буч Г., Якобсон А., Рамбо Дж.* UML / 2-е издание, – СПб., ЗАО Издательский дом «Питер», 2006. – 735 с.
13. *Гулько М.С., Егоров В.В., Щеглов Д.К.* Практика внедрения электронного архива технической документации в проектных организациях // Молодежь. Техника. Космос: труды II Общероссийской молодежной науч.-техн. Конф./ Балт. Гос. Техн. Ун.-т – СПб., 2010. – С. 216 – 217.
14. *Саати Т.* Принятие решений. Метод анализа иерархий. – М.: Радио и связь, 1993. – 320 с.
15. *Saaty T.L.* The Analytical hierarchy Process. N.Y.; 1980.
16. *Орлов А.И.* Высокие статистические технологии: Экспертные оценки: Учебник. – М.: ИВСТЭ, 2002. – 372 с.

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОТОКОЛОВ СЛУЧАЙНОГО МНОЖЕСТВЕННОГО ДОСТУПА В СПУТНИКОВЫХ СИСТЕМАХ СВЯЗИ

Е.А. Викторов

Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского
(ВКА им. А.Ф. Можайского)

Анализ существующих систем спутниковой связи (ССС) показывает, что применяемые в них протоколы не позволяют достаточно эффективно использовать пропускную способность выделенного диапазона частот. В частности, известный протокол случайного множественного доступа P-ALOHA характеризуется наличием взаимоискажающих конфликтов пакетов, вследствие чего предельный коэффициент использования моноканала имеет достаточно низкое значение $\rho = 0,18$. В свою очередь протокол случайного множественного доступа S-ALOHA характеризуется более высокой сложностью реализации, поскольку его применение предполагает решение задачи системной синхронизации при передаче пакетов, а его предельный коэффициент использования $\rho = 0,36$.

Рассмотрим спутниковую систему связи (ССС), в состав которой входят спутники-ретрансляторы (СР) с непосредственной ретрансляцией сигналов, находящиеся на геостационарной орбите и земные станции (ЗС) космической связи, осуществляющие информационный обмен согласно протокола случайного множественного доступа (СМД).

Примем допущение о том, что все ЗС равномерно распределены по зонам обслуживания и осуществляют передачу сигналов с одинаковой мощностью. СР содержит многолучевую приемную антенну с количеством лучей по числу зон обслуживания и глобальную передающую антенну, обеспечивающим покрытие всех приёмных зон СР.

В настоящее время весьма актуальным представляется использование на борту перспективных спутников-ретрансляторов многолучевых антенн (МЛА). В частности наличие приёмной МЛА на борту СР обеспечит высокую пространственную селекцию принимаемых сигналов из зоны обслуживания и существенным образом снизит эффективность воздействие внешних помех [2].

Земные станции (ЗС), входящие в рассматриваемую ССС, передают пакеты в соответствии с протоколом СМД P-ALOHA в произвольные моменты времени. Пакеты, переданные разными ЗС в восходящую радиолинию, поступают на вход приемной МЛА СР с числом лучей N , где могут накладываться друг на друга, в результате чего возникают ошибки передачи. Когда происходит наложение или конфликт пакетов, ЗС повторно передают пакеты до тех пор, пока они не будут успешно переданы в нисходящей радиолинии. Чтобы избежать повторного наложения, промежутки времени до повторной передачи в каждой ЗС выбирается случайным образом [1].

Каждая ЗС передает пакеты в восходящую радиолинию со средней интенсивностью λ_1 . На каждую удачную попытку передачи пакета приходится в среднем всего K попыток в том числе одна удачная. В результате в открытом окне j имеем простейший поток попыток передачи пакета с интенсивностью $\lambda = K\lambda_1$.

Выходной поток λ_2 в нисходящей радиолинии (моноканале) состоит из потока λ_{2y} удачно прошедших пакетов и потока λ_{2k} пакетов, вступивших в конфликты в открытом окне.

Вероятность того, что длительность интервала времени между началом выделенной попытки (выделенного пакета) p и началом следующего пакета в этом случайном потоке окажется больше длительности пакета τ и того, что длительность τ предыдущего пакета закончится ранее начала выделенной попытки p , при принятой модели случайного потока определяется формулой распределения Пуассона при $k = 0$ для длительности 2τ

$$P_{\text{ок}} = e^{-2\lambda\tau} . \quad (1)$$

Данная формула определяет вероятность того, что попытка p передачи пакета в открытом окне окажется удачной.

Вероятность того, что выделенная попытка p не завершится удачно из-за конфликта с другой попыткой из того же случайного потока, выражается как [1]

$$P_{\text{к}} = 1 - e^{-2\lambda\tau} . \quad (2)$$

Данная формула определяет вероятность того, что попытка p передачи пакета в открытом окне окажется неудачной из-за конфликта с попыткой передачи пакета какой-то другой ЗС.

Вероятность того, что окно j не заблокировано другим конкретным окном i ($i=1...N, i \neq j$) в момент начала попытки p в окне j равно вероятности того, что случайное начало попытки p между двумя соседними началами попыток в окне i произойдет спустя время не менее τ от момента начала последней попытки в окне i определяется выражением

$$P_{\text{бл}(i)} = e^{-\lambda \tau} . \quad (3)$$

Так как потоки в окнах независимы, вероятность того, что окно j не заблокировано никаким другим окном $i = 1...N, i \neq j$ в момент начала попытки p в окне j определяется выражением

$$P_{\text{бл}} = e^{-(N-1)\lambda \tau} . \quad (4)$$

Вероятность того, что попытка p окажется удачной с учетом возможной блокировки определяется простым произведением вероятностей отсутствия блокировки окна $P_{\text{бл}}$ и отсутствия конфликта в открытом окне $P_{\text{ок}}$ [3]

$$P_p = P_{\text{бл}} \cdot P_{\text{ок}} = e^{-(N+1)\lambda \tau} . \quad (5)$$

Так как рано или поздно каждый переданный пакет из потоков λ_1 пройдет устройство и окажется в составе потока λ_{2y} , то

$$\lambda_{2y} = N \cdot \lambda_1 . \quad (6)$$

Поток λ_{2k} конфликтных попыток в открытом окне для принятой модели простейшего потока равен

$$\lambda_{2k} = P_k \cdot \lambda . \quad (7)$$

В то же время, суммарный поток λ_2 в моноканале после коммутатора равен суммарному потоку $N \cdot K \cdot \lambda_1$ до коммутатора, умноженному на вероятность $P_{\text{бл}}$ отсутствия блокировки:

$$\lambda_2 = P_{\text{бл}} \cdot N \cdot \lambda . \quad (8)$$

Так как коэффициент полезной загрузки каждого окна равен произведению интенсивности потока на длительность пакета

$$\rho_1 = \lambda_1 \cdot \tau , \quad (9)$$

а коэффициент полезной загрузки спутникового моноканала равен произведению

$$\rho_2 = N \cdot \lambda_1 \cdot \tau , \quad (10)$$

с учетом изложенного можно записать уравнения, связывающие коэффициент полезной загрузки, среднее число K попыток для каждого пакета и число окон N

$$K \cdot N \cdot e^{-(N-1)K \cdot \rho_1} = N + K - K \cdot e^{-2K \cdot \rho_1} , \quad (11)$$

и

$$K \cdot N \cdot e^{-\left(\frac{N-1}{N}\right)K \cdot \rho_2} = N + K - K \cdot e^{-2\frac{K \cdot \rho_2}{N}} . \quad (12)$$

Анализ уравнений (11) и (12) показывает, что при любом $N = 1...10$ коэффициент полезной загрузки достигает максимума при значении $K \approx e$.

Таким образом, количественно эффективность протоколов СМД в ССС принято оценивать коэффициентом использования пропускной способности спутниковой радиолинии или, другими словами, коэффициентом полезной загрузки моноканала ρ_2 .

Анализ проведенного математического моделирования, позволяет сделать вывод, о том, что значение коэффициента полезной загрузки моноканала ρ_2 при $N=1$ соответствует известному значению протокола СМД P-ALOHA $\rho \approx 0.18$, а при увеличении числа лучей N многолучевой приемной антенны СР, значение ρ_2 стремится к величине 0.4, что превышает значение коэффициента полезной загрузки протокола СМД S-ALOHA $\rho \approx 0.36$.

Предлагается модернизировать данный протокол СМД P-ALOHA путём перехода к коммутируемому спутниковому моноканалу на основе приёмной многолучевой антенны (МЛА) и одной передающей антенны с широким лучом, обеспечивающим покрытие всех приёмных зон спутника-ретранслятора (СР) с непосредственной ретрансляцией пакетов. В результате реализации алгоритма работы предлагаемого СР доступ к передающему лучу получает пакет, поступивший первым по

одному из лучей приёмной МЛА. Последнее обеспечивает исключение взаимоискажающих конфликтов между пакетами, поступившими из различных лучей приёмной МЛА. При наличии взаимоискажающего конфликта между пакетами в одном луче освобождение моноканала для передачи других пакетов обеспечивается путём блокировки проконфликтовавших пакетов в луче.

Библиографический список

1. *Иносе Х.* Интегральные цифровые сети связи: Пер. с англ. / Под ред. В.И. Неймана. – М.: Мир, 1982. – С. 286-287.
2. *Камнев В.Е., Черкасов В.В., Чечин Г.В.* Спутниковые сети связи: Учебное пособие / В.Е. Камнев, В.В. Черкасов, Г.В. Чечин. – М.: «Альпина Паблишер», 2004. – 536 с.
3. *Цветков К.Ю., Родионов А.В., Акмоллов А.Ф.* Динамическое перераспределение пропускной способности коммутируемого спутникового моноканала при использовании протоколов множественного доступа. // Информационно-управляющие системы, 2006, №5. – С. 47-50.

УДК 623.618:004.421

АЛГОРИТМ ОПТИМИЗАЦИИ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПОТОКОВ В КОНТУРЕ СИСТЕМЫ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ АСУ АКТИВНЫМИ ПОДВИЖНЫМИ ОБЪЕКТАМИ

А.С. Пономарев

Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского
(ВКА им. А.Ф. Можайского)

Введение. Под активными подвижными объектами (в дальнейшем АПО) будем понимать сложные подвижные системы, оснащенные приборами, посредством которых осуществляются процессы информационного, вещественного или энергетического обмена с окружающей средой [1].

Для успешного применения подобных систем необходим целый комплекс разнородной информации. Для выполнения задач по обеспечению информацией системы управления АПО существует система информационного обеспечения (система ИО). Функционально она представлена средствами сбора (наземными, авиационными, космическими) и средствами обработки и доведения результатов до потребителя. В настоящее время существующая система ИО не в полной мере отвечает предъявляемым требованиям по ряду показателей. В данной работе будет рассмотрен один из возможных путей повышения важнейшей характеристики системы – оперативности ее функционирования с учетом фактора ресурсоемкости.

Для математического описания систему ИО удобно представить определенным классом систем массового обслуживания, который носит название линейных стохастических сетей. Информационные сообщения проходят последовательно через несколько элементов системы управления, каждый из которых описывается определенной системой массового обслуживания

Примем следующие допущения:

- 1) Все элементы сети и вся сеть работают в установившемся режиме;
- 2) Перед входом в каждый элемент сети может образовываться очередь неограниченной длины, и каждое сообщение может ожидать обработки в течение неограниченного времени;
- 3) Последовательность прохождения элементов сети образует переходы марковского типа.

Линейная стохастическая сеть состоит из конечного числа элементов или фаз $i=1, N$. Внешний источник примем за нулевой элемент (фазу $i=0$). Элементы сети соединены между собой так, что сообщения, выходящие из i -го элемента ($i=0, N$) отправляются в j -ый элемент организационной структуры с вероятностью P_{ij} . При $j=0$ сообщения покидают сеть.

Сообщения могут поступать извне в любой элемент сети с вероятностью P_{0j} . Очевидно, что набор элементов $j=0, N$, в которые может поступать информация из элемента ... составляет полную группу, и поэтому

$$\sum_{j=0}^N P_{ij} = 1 \text{ для всех } i=0,N$$

При этом обычно $P_{00} = 0^1$

Структура линейной стохастической сети представляется графом. Пример графа системы информационного обеспечения АПО представлен на рис.1

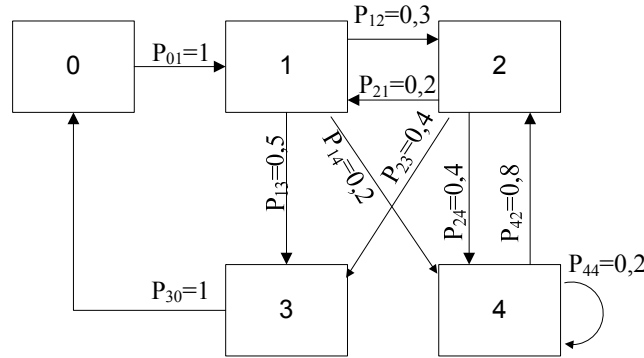


Рис.1. Граф переходов информации.

Из описания сети следует, что последовательность прохождения элементов сети сообщением образует некоторую реализацию цепи Маркова со стохастической матрицей переходов.

$$n = \begin{bmatrix} 0 & P_{01} & P_{02} & \dots & P_{0N} \\ P_{10} & P_{11} & P_{12} & \dots & P_{1N} \\ P_{20} & P_{21} & P_{22} & \dots & P_{2N} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{N0} & P_{N1} & P_{N2} & \dots & P_{NN} \end{bmatrix}, \quad i=0,N; j=0,N; 0 \leq P_{ij} \leq 1.$$

Элемент матрицы P_{ij} представляет вероятность перехода сообщения из элемента i в элемент j .

Пусть λ_i есть суммарная интенсивность входящего потока элемента i . Под интенсивностью подразумевается среднее число запросов, поступающих в элемент системы за единицу времени в установившемся режиме, а длина очереди и длительность ожидания не ограничены, то интенсивность выходящего потока i -го элемента также равна λ_i . Мы приняли, что вероятности передачи информации из каждого i -го в другой элемент сети соответственно равны $P_{i0} P_{i1} P_{i2} \dots P_{iN}$. Отсюда следует, что интенсивность передачи информации из i -го элемента равна $\lambda_i P_{ij}$. Следовательно, суммарный поток любого j -го элемента λ_j можно представить выражением:

$$\lambda_j = \sum_{i=0}^N \lambda_i P_{ij} \quad (1)$$

Совокупность входящих потоков для всех элементов системы определяется, если составить выражения (1) для всех j :

$$\lambda_j = \sum_{i=0}^N \lambda_i P_{ij}, \quad j = 0, N \quad (2)$$

Совокупность выражений (1), (2) представляет собой систему $N+1$ линейных однородных уравнений относительно неизвестных λ_i . При этом λ_0 - поток информации, поступающей в систему из внешней среды, считается известным. Решив систему уравнений (1), (2), получим величины интенсивностей входящего λ_j для каждого элемента сети.

Из решения (1), (2) следует, что для любой линейной стохастической сети

$$\lambda_i = \alpha_i \lambda_0 \quad (3)$$

α_i – коэффициент усиления интенсивности входящего потока i -го элемента относительно входящего потока системы. Он показывает в среднем, сколько раз каждая заявка, прошедшая в систему, проходит через i -й элемент.

Для обеспечения работы системы каждый ее элемент j должен располагать некоторой суммой средств S_j , от величины которой зависит продолжительность времени обработки информации данным элементом - $\tau_j(S_j)$. S - абстрактное понятие, представляющее материальные ресурсы, необходимые и достаточные для функционирования сети. В распоряжении всей системы управления имеется сумма средств S^* , которую необходимо распределить между элементами таким образом, чтобы суммарное время пребывания сообщения в системе было минимальным.

Положим, что сумма средств S_j , выделяемая элементу j для обеспечения его функционирования, может принимать только дискретные значения, причем каждое k -е значение получается из предыдущего приращением на постоянную величину ΔS :

$$\begin{aligned} i=1, & S_0 \\ i=2, & S_0+\Delta S \\ i=3, & S_0+2\Delta S \\ & \dots\dots\dots \\ i=k^*, & S_0+(k^*-1)\Delta S=S^* \end{aligned}$$

Таким образом, имеется k^* вариантов выделения ресурсов каждому элементу сети. Значения $\tau_i(S_l)$ можно представить в виде матрицы $[\tau_{il}]$ ($i=1, N; l=1, k^*$), где i (номер строки) соответствует номеру элемента системы управления; l (номер столбца) - номеру варианта распределения ресурсов.

$$(\tau_{il}) = \begin{bmatrix} \tau_{11} & \tau_{12} & \tau_{13} & \dots\dots\dots & \tau_{1k^*} \\ \tau_{21} & \tau_{22} & \tau_{23} & \dots\dots\dots & \tau_{2k^*} \\ \tau_{N1} & \tau_{N2} & \tau_{N3} & \dots\dots\dots & \tau_{Nk^*} \end{bmatrix}$$

Матрица $[\tau_i(S_l)]$ рассчитывается исходя из имеющихся вариантов распределения ресурсов. Каждый вариант-столбец матрицы.

Учтем возможность неоднократного прохождения сообщения через каждый элемент системы управления путем введения «коэффициента усиления» $\alpha_j = \lambda_j / \lambda_0$ ($j=1, N$). Для любой стохастической сети справедливо равенство $\lambda_j = \alpha_j \lambda_0$, где λ_j - интенсивность выходящего потока i -го элемента,

λ_0 - интенсивность потока извне, а α_j - коэффициент усиления j -го элемента.

Тогда время многократной обработки сообщения элементом j при выделении ему суммы средств S_j примет значение $\tau_j(S_j) = \alpha_j \tau_j(S_j)$,

где $\tau_j(S_j)$ - среднее время однократной обработки информации элементом j . Оптимальному распределению подлежит не сумма средств S^* , а сумма средств $S^{**} = S^* - \sum_{j=1}^N v_j S_j$, где

v_j - минимально необходимое число преобразователей j -го элемента, обеспечивающих стационарный режим. Величина v_j определяется для j -го элемента по условию: $\lambda_j < \sum_{v_j=1}^{v_j} \mu_{v_j}$, $j = 1, N$,

где μ_{v_j} - интенсивность обслуживания v -го преобразователя в j -м элементе.

Таким образом, оптимизация распределения затрат на совершенствование организационной структуры сводится к решению следующей задачи:

$$T = \sum_{j=1}^N \tau_j(S_j) \rightarrow \min$$

при ограничениях $\sum_{j=1}^N S_j \leq S^*$

Решение задачи реализуется методом динамического программирования. При этом для каждого шага процесса функциональное рекуррентное уравнение (уравнение Беллмана) будет иметь следующий вид:

$$T_{r,N}(S_{rs}) = \min_{(S_r)} \{ \alpha_r \tau_r(S_r) + \tau_{r+1,N}(S_{rs} - S_r) \},$$

где r - минимальный номер элемента в цепи элементов $r, r+1, r+2, \dots, N$;
 S_r - сумма средств, выделяемая для обеспечения работы r -го элемента;
 S_{rs} - сумма средств, выделяемая для обеспечения работы цепи элементов;
 $\tau_r(S_r)$ - время однократной обработки информации в r -м элементе при условии выделения ему суммы средств S_r ;

$\tau_{r,N}(S_{rs})$ - суммарное условное минимальное время прохождения информации в цепи элементов $r, r+1, r+2, \dots, N$, которое можно достичь при условии затрат средств S_{rs} .

Все значения S_r и S_{rs} можно брать из заданной сетки дискретности с заданным шагом ΔS .

С помощью описанной модели и алгоритма можно решить ряд весьма важных вопросов анализа и оптимизации систем управления (таких, например, как оценка эффективности функционирования различных их вариантов), провести расчеты и оценить те или иные варианты структуры, решить вопросы оптимизации организационной структуры системы управления.

Библиографический список

1. *Калинин Н.В.* Теоретические основы управления активными подвижными объектами и операциями их обслуживания – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 1989. – 224 с.
2. *Абчук В.А., Лифишиц А.Л.* Автоматизация управления.-М.: Радио и связь, 1984. - 261с.

УДК 004.7

АТМ – ТЕХНОЛОГИЯ КАК УНИВЕРСАЛЬНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ СОВРЕМЕННЫХ МУЛЬТИСЕРВИСНЫХ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СЕТЕЙ

Р.В. Бородинов

Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского
 (ВКА им. А.Ф. Можайского)

Как показывают многочисленные исследования одним из основных и перспективных направлений развития и совершенствования телекоммуникационной сети (ТКС) АСУ войсками (АСУВ) является переход на универсальную так называемую мультисервисную сеть связи (МСС). Одной из возможных технологий, на которой может строиться МСС, является АТМ - технология (АТМ - Asynchronous Transfer Mode - асинхронный режим передачи). Используя единый формат данных, абоненты на обоих концах соединения могут посредством АТМ обмениваться информацией любого типа. Сеть, построенная по технологии асинхронного режима передачи, способна обеспечить функционирование самых различных приложений в общей сетевой среде.

Переход на ТКС, представляющую собой мультисервисную сеть связи, позволит обеспечить высокую скорость передачи информации – от десятков Мбит/с до сотен Гбит/с, обеспечит высокое качество обслуживания пользователей, позволит сократить расходы на создание и эксплуатацию телекоммуникационной сети АСУ КВ и управления в целом.

Асинхронный режим передачи данных разрабатывался для замены старой технологии сетей, поддерживающей в основном раздельную передачу аудио и данных. До появления технологии АТМ выбор пользователем типа сети и алгоритмов передачи определялся спецификой передаваемой информации. Например, сети с коммутацией каналов, которые включают телефонные коммутируемые линии общественного пользования и в которых используются высокоскоростные средства передачи данных, применялись в основном для пересылки аудио и видеоинформации, при передаче которой задержки незначительны. В сетях с коммутацией пакетов, таких как X.25 и Frame Relay пересылка-

мая информация допускает некоторые задержки при передаче. Такой подход к построению ТКС ведет к снижению эффективности использования пропускной способности каналов связи, к разнородности сетевого оборудования и используемых алгоритмов передачи информации, росту стоимости эксплуатации ТКС в целом. Технология ATM разработана для передачи цифровых, голосовых и мультимедийных данных по одним и тем же каналам как в локальных, так и в глобальных сетях. Передача информации в ATM – сетях осуществляется ячейками (пакетами) длиной 53 байта. Эта длина ячейки остается постоянной независимо от вида передаваемой информации, скорости передачи и способа кадрирования в отличие от других сетевых технологий, например технологий Ethernet и IP, которые используют при передаче кадры переменной длины. Каждая ячейка в ATM – сети имеет фиксированную длину с 5-байтовым заголовком и 48 байтовым информационным полем. Такая длина ячейки в ATM – сети позволяет заметно сократить задержки при передаче данных, осуществлять обнаружение и коррекцию ошибок, коммутацию и маршрутизацию на аппаратном уровне. Заголовок включает в себя идентификаторы пути и канала передачи, типа информации, указатель приоритета доставки, а также контрольную сумму заголовка.

ATM – технология использует виртуальные соединения при обмене информацией.

Достоинствами виртуальных соединений является их гибкость – они легко добавляются, удаляются и изменяются, что очень трудно сделать с физическим каналом; их возможность динамического распределения трафика по нескольким виртуальным соединениям, что приводит к более эффективному использованию каналов связи, нежели при статическом распределении в случае выделенных каналов связи. Помимо этого, виртуальные соединения могут быть расширены для удовлетворения специальных запросов приложений. Это позволяет сети справляться с пиковыми увеличениями объема передаваемого трафика. При этом оставшаяся ширина полосы может быть активно использована для обслуживания запросов на открытие других активных соединений. Технологией ATM определяется два типа соединений между устройствами в сети ATM: постоянное виртуальное соединение (PVC) и коммутируемое виртуальное соединение (SVC). Каждый тип соединения предоставляет различные сервисные и конфигурационные возможности.

Постоянное виртуальное соединение устанавливается один раз (вручную) и поддерживается длительное время, организуется между устройствами, обмен данными между которыми происходит на постоянной или регулярной основе. После установления соединения для него резервируется определенная пропускная способность сети и в случае возникновения сбоев или ошибок может автоматически восстанавливаться, так как его параметры известны.

Коммутируемое виртуальное соединение устанавливается на определенный период времени и закрывается по его завершении. Соединение устанавливается автоматически средствами самой сети ATM и занимает пропускную способность сети, только когда это необходимо. Также такие соединения хорошо защищены от сбоев и отказов, так как в случае выхода из строя коммутаторов, другие коммутаторы могут выбрать обходной путь.

В ATM предусмотрено два типа сетевых интерфейсов:

- интерфейс пользователь-сеть (User-Network Interface, UNI);
- межсетевой интерфейс (Network-Network Interface, NNI).

Так как частные и общие ATM – сети должны взаимодействовать между собой, спецификации UNI и NNI также делятся на частные и общие. Интерфейс для общих сетей определяет способ подключения пользователя к коммутатору поставщика услуг ATM. Аналогичным образом, интерфейс UNI для частных сетей задает способ подключения пользователя к частному ATM – коммутатору. Интерфейс UNI, предназначенный для частных сетей и сетей общего пользования, показан на рис.1.

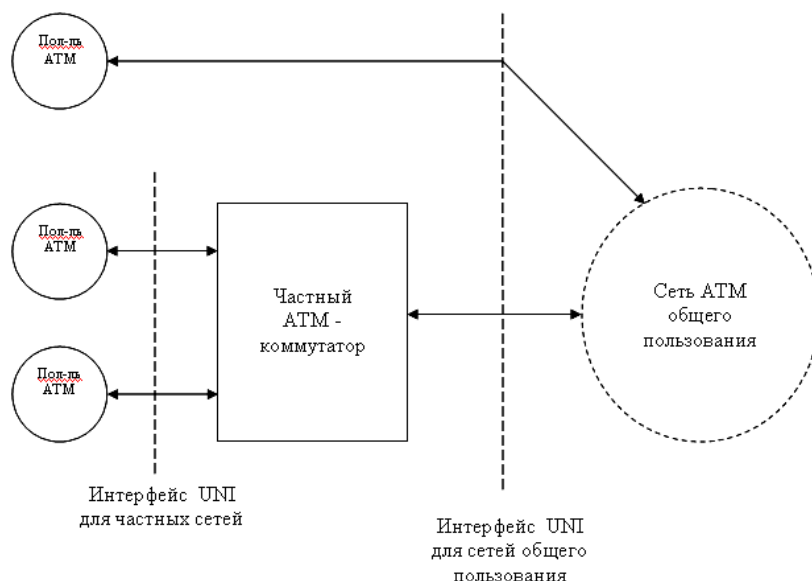


Рис. 1. Применение интерфейса UNI.

Реализованные алгоритмы приоритетного обслуживания сетевого трафика в ATM – технологии позволяют наиболее рационально использовать имеющийся каналный ресурс в сети ATM и обеспечить заданный уровень качества обслуживания (QoS). Механизм приоритетного обслуживания основан на разделении сетевого трафика на пять классов А, В, С, D и X. Под каждый вид трафика предоставляется свой вид сервиса (табл.1)

Таблица 1. – Классы трафика.

Класс трафика	Характеристики трафика
А	Постоянная битовая скорость, чувствительность к задержкам, передача с установлением соединения (например, голосовой трафик, трафик телевизионного изображения). Параметры QoS: пиковая скорость передачи данных, задержка, джиттер.
В	Переменная битовая скорость, чувствительность к задержкам, передача с установлением соединения (например, сжатый голос, сжатое видеозображение). Параметры QoS: пиковая скорость передачи данных, пульсация, средняя скорость передачи данных, задержка, джиттер.
С	Переменная битовая скорость, эластичность, передача с установлением соединения (например, трафик компьютерных сетей, в которых конечные узлы работают по протоколам с установлением соединений – frame relay, X.25, TCP). Параметры QoS: пиковая скорость передачи данных, пульсация, средняя скорость передачи данных.
Д	Переменная битовая скорость, эластичность, передача без установления соединения (например, трафик компьютерных сетей, в которых конечные узлы работают по протоколам без установления соединений – IP/ UDP, Ethernet). Параметры QoS не определены.
Х	Тип трафика и его параметры определяются пользователем.

ATM – сеть базируется на каналах высокого качества, обеспечивающего достоверность передаваемой информации. Это позволяет исключить на центрах коммутации процедуры определения начала и конца пакетов проверки на достоверность переспроса информации при искажении пакетов.

ATM – это технология, которая обеспечивает необходимую пропускную способность при передаче аудио- и видеoinформации, цифровых данных, а также является адаптивной по отношению к передаваемым данным: величина задержки всегда зависит от типа информации.

В табл.2 приведены сравнительные характеристики технологии ATM – сетей и Gigabit Ethernet, как одной из конкурирующих технологий для построения МСС.

Таблица 2. – Сравнительные характеристики технологии ATM – сетей и Gigabit Ethernet.

Характеристика	Сети с технологией ATM	Сети с технологией Gigabit Ethernet
Режим передачи информации	коммутация пакетов с использованием виртуальных соединений и с предварительным заказом канального ресурса	дейтаграммная передача кадров без установления соединений и без заказа канального ресурса
Характеристика	Сети с технологией ATM	Сети с технологией Gigabit Ethernet
Масштабы сети	локальные, городские, глобальные	локальные
Структура сети	без ограничений	логическая шина, физическая звезда
Размеры блока передаваемых данных	пакеты фиксированной длины 53 байта	кадр длиной 72 – 1526 байта
Скорость передачи информации	Определяется характером трафика (передаваемой информацией)	1 гигабит в секунду

Заключение

Таким образом, построение МСС на основе ATM – технологии позволяет:

- резко повысить коэффициент использования пропускной способности каналов связи, распределяя сетевые ресурсы на динамической основе оптимальным образом;
- существенно сократить расходы на создание и эксплуатацию сети связи в целом;
- получить сеть с более широким спектром услуг связи при использовании любым абонентом только одной абонентской линии и одного абонентского адреса.

В результате всего вышеизложенного можно сделать вывод, что для построения МСС технология ATM является перспективной и универсальной.

Библиографический список

1. Назаров Н.А., Симонов М.В. ATM – технология высокоскоростных сетей, Эко-Трендз, 1997 г.
2. Технология передачи данных, 7-е изд./Г. Хелд - СПб, Питер, К: Издательская группа BHV, 2003. - 720 с.
3. Олифер В.Г., Олифер Н.А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы. Учебник для ВВУЗов, 9-е изд. - СПб, Питер, 2008 г. - 958 с.

УДК 621.31: 004.052

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОПРОСОВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ СПЕЦИАЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ АВТОНОМНЫМИ ИСТОЧНИКАМИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

В.В. Рыбаков, Н.Е. Пешехонов

Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского
(ВКА им. А.Ф. Можайского)

В настоящее время большое внимание уделяется качественной модернизации Вооруженных сил, которая направлена в первую очередь на реконструкцию и оснащение современной техникой и системами объектов специального назначения. В их число входят ракетно-космические комплексы (РКК), от надежного функционирования которых зависит успешное решение задач воздушно-космической обороны.

Неотъемлемой составной частью боеготовности РКК, располагающих сложной и многообразной боевой техникой, является надежность функционирования технологических и технических систем, обеспечивающих выполнение частями и подразделениями стоящих перед ними специальных задач. В комплексе технологического оборудования, обеспечивающего поддержание высокой боеготовности РКК и выполнение поставленных боевых задач, важное место занимают системы электроснабжения (СЭС), от надежной работы которых зависит надежность, непрерывность и устойчи-

вость боевого функционирования РКК. Следует особо подчеркнуть возросшую функциональную взаимосвязь СЭС с другими техническими и технологическими системами в процессе выполнения боевых задач. Электроприемники сооружений специальных комплексов по надежности и качеству электроснабжения в соответствии с руководящими документами относятся в основном к I категории. Отказы в работе СЭС могут привести к нарушению функционирования других систем, что в условиях выполнения специальных задач недопустимо. Выход из строя СЭС означает, по сути, выход из строя самого объекта электроснабжения. Это обстоятельство делает требование обеспечения живучести и надежности электроснабжения одним из главнейших требований, предъявляемых к СЭС объектов специального назначения.

Характерной особенностью потребителей РКК в настоящее время, в связи с модернизацией технологического оборудования существующих РКК и вводом в эксплуатацию РКК нового поколения, является широкое применение электроприемников, характеризующихся ростом энерговооруженности, внедрением непрерывных технологических процессов, автоматизированных систем управления, электронно-вычислительных машин и других электроприемников, предъявляющих повышенные требования к бесперебойности электроснабжения и качеству электроэнергии.

Однако уровень развития существующих СЭС РКК отстает от общего уровня развития РКК. Это связано с тем, что структура СЭС складывалась без учета всех требований, предъявляемых комплексами, должного анализа перспектив развития РКК и научного обоснования направлений развития СЭС. Решение этих задач в основном возлагалось на организации Минэнерго, не владеющих в полном объеме спецификой функционирования РКК, степенью ответственности возлагаемых на них задач и особенностями их решения.

Необходимо отметить, что ключевое значение для обеспечения надежного электроснабжения электроприемников, не допускающих перерыва в электроснабжении или изменения показателей качества электроэнергии за границами установленных норм, играет система резервного электроснабжения (РСЭ). В настоящее время, техническое состояние источников резервного электроснабжения данной системы не обеспечивают требуемую надежность выполнения поставленных задач. Как правило, в полном объеме резервными источниками электроэнергии (РИЭ) обеспечены только те специальные комплексы и объекты, на которых была проведена модернизация в 2005-2010 годах. Однако одновременная реконструкция РСЭ всех комплексов невозможна, ввиду постоянного проведения специальных работ. Поэтому, для повышения надежности электроснабжения специальных объектов до завершения реконструкции существующих стационарных резервных источников электроснабжения, необходимо проведение исследований по созданию группы передвижных дизельных электростанций для обеспечения надежного электроснабжения комплексов во время проведения специальных работ.

В проанализированных исследованиях в данной области особое внимание уделялось либо стационарным ИРЭ на объектах специального назначения, либо оптимизации структуры РСЭ для обеспечения меньшим количеством ИРЭ большего количества энергопотребителей. В работах Арзамасцева Д.А. решается вопрос оптимизации структуры СЭС в процессе ее развития, то есть дополнительный ввод генерирующих устройств и т.д. Вопросы резервного электроснабжения, как таковые, не рассматриваются. В исследованиях Лесникова Е.В. рассматриваются режимы использования ИРЭ в зависимости от состава выполняемых задач потребителями электроэнергии. В работах Алексева А.П., Чекунова Е.Е. решены вопросы построения систем бесперебойного электроснабжения в основном на примерах построения СЭС для узлов связи. С точки зрения технологических особенностей узлы связи обладают более низким уровнем энергопотребления, а приемники сосредоточены в одном месте.

По принятой в электроэнергетике практике, передвижные источники электроэнергии используются, как правило, в качестве резервных источников при аварийных ситуациях на объектах СЭС и не учитываются режимы потребления ЭЭ на комплексах специального назначения во время проведения специальных работ, а так же возможность проведения таких работ несколькими специальными комплексами одновременно. Исследования, проводимые авторами, отличаются от существующих тем, что предлагается использовать набор передвижных ИРЭ для обслуживания одновременно нескольких специальных объектов в зависимости от выполняемых в данный момент времени задач. Данный набор будет зависеть как от максимальной расчетной нагрузки энергопотребления отдельным комплексом в период проведения специальных работ, так и от периодичности задействования специальных комплексов различного назначения в определенный промежуток времени.

Вывод: таким образом, задача состоит в том, чтобы определить необходимый состав передвижных источников электроэнергии, который позволит выполнять ответственные работы на специальных комплексах с требуемым уровнем надежности электроснабжения. При этом необходимо учесть их мощностной типоряд, возможность их своевременной передислокации в места расположения специальных комплексов, возможный выход из строя одного или нескольких передвижных ИРЭ, а также возможность одновременного выполнения комплексами различного назначения специальных работ.

Библиографический список

1. Калгин А.В., Калинин П.А., Тетерин Ю.И. Наземные комплексы и сооружения ракетно-космических систем. – Л.: ВИКИ им. А.Ф. Можайского, 1988. – 534 с.
2. Временное руководство по эксплуатации вооружения Космических войск (РЭВ КВ – 2002) – М.: МО, 2002. – 132 с.
3. Арзамасцев Д.А. и др. Модели оптимизации развития энергосистем: Учебник. - М.: Высш. Шк., 1987.
4. Алексеев А.П., Чекменев Е.Е. Передвижные электростанции. – М.: Воениздат, 1974.-226 с.

УДК 658.512.22+004.5:004.89

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ЗАДАЧ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ, УПРАВЛЕНИЯ И ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА

А.И. Золотухина, Д.С. Манаев, Ю.П. Самойлова, А.Е. Торгоужин

Санкт-Петербургский государственный университет
(СПбГУ)

Интеллектуальные системы на основе искусственных нейронных сетей (ИНС) позволяют с успехом решать проблемы распознавания образов, выполнения прогнозов, оптимизации, ассоциативной памяти и управления. Известны и иные, более традиционные подходы к решению этих проблем, однако они не обладают необходимой гибкостью за пределами ограниченных условий. ИНС дают многообещающие альтернативные решения, и многие приложения выигрывают от их использования [1].

На сегодняшний день наиболее мощными и перспективными инструментами, предоставляющими высокоуровневые средства для проектирования искусственных нейронных сетей, являются:

- 1) NeuroSolutions [2] - универсальный нейрокит фирмы NeuroDimension;
- 2) Neuroph [3] - проект с открытым исходным кодом, написанный на Java;
- 3) OpenCV [4] - проект с открытым исходным кодом, написанный на языке C++ и обеспечивающий основные функции нейронных сетей;
- 4) PWNLIB [5] – продукт отечественной компании "Павлин Технологии", обеспечивающий основные функции работы с нейронными сетями;
- 5) NNGLUIB [6] - продукт отечественной компании "Павлин Технологии", обеспечивающий ускорение расчета выхода многослойных нейронных сетей прямого распространения сигнала с применением графического процессора;
- 6) Neural Network Toolbox [7] – пакет дополнений к MATLAB [8] наиболее распространён и удобен для академических целей.

У перечисленных выше платформ существуют свои преимущества и недостатки. Neuroph является наиболее удобным в плане работы с нейронными сетями, так как включает в себя редактор визуального проектирования нейронных сетей, позволяющий проектировать нейронные сети намного быстрее. Преимуществом NeuroSolutions, NNGLUIB и OpenCV [9] является поддержка CUDA [10] (программно-аппаратная архитектура, позволяющая производить вычисления с использованием графических процессоров), что позволяет ускорять вычисления общего характера.

Основным недостатком всех вышеописанных инструментов является то, что они требуют слишком большого участия со стороны человека. От пользователя в большинстве случаев требуется

выбрать тип нейронной сети, количество слоёв и нейронов [11], знание определённого языка программирования или специфики используемого инструмента.

Требуется построить механизм автоматизации процесса построения, обучения и настройки ИНС удовлетворяющий следующим нечётким требованиям:

- 1) автоматизация процесса построения архитектуры ИНС;
- 2) реализация удобного механизма настройки ИНС;
- 3) реализация механизма описания ИНС для сохранения полученной нейронной сети;

Прежде чем приступить к проектированию механизма, нужно выбрать платформу, на которой он будет реализован. Это связано с тем, что технологии ограничены в возможностях, и выбор той или иной технологии может накладывать ограничения на архитектуру самого инструмента. Для решения поставленной задачи технология должна удовлетворять следующим требованиям:

- 1) технология должна поддерживать С-подобные языки программирования. Данное требование обусловлено тем, что С-подобные языки являются самыми распространёнными и быстрыми;
- 2) технология должна предоставлять удобный способ работы с многопоточностью. Данное требование обусловлено тем, что многопоточность крайне важна для ИНС [12];
- 3) технология должна предоставлять возможность создавать инструменты для мобильных устройств. Данное требование обусловлено тем, что в последнее время мобильные устройства получили широкое распространение, в связи с чем появилась потребность в программных ИНС-инструментах, работающих на мобильных устройствах [13].

Всем вышеописанным требованиям удовлетворяет технология iOS SDK [14]:

- 1) технология поддерживает языки C, C++, Objective-C;
- 2) iOS SDK предоставляет удобный высокоуровневый механизм работы с многопоточностью [15];
- 3) программы, написанные при помощи iOS SDK, работают как на мобильных устройствах, так и на персональных компьютерах.

Для поиска оптимальной архитектуры нейронной сети авторами был разработан механизм генерации нейронных сетей в зависимости от входных данных.

Основные особенности данного механизма:

- 1) генерация архитектуры нейронной сети;
- 2) создание и обучение нейронной сети по предоставленной архитектуре;
- 3) замер качества;
- 4) сохранение сгенерированной сети.

Алгоритм работы механизма показан на рис. 1. На вход подаются три набора тестовых данных:

- 1) “обучающие” примеры – примеры для обучения нейронной сети;
- 2) “хорошие” тестовые примеры – примеры для тестирования нейронной сети;
- 3) “отрицательные” тестовые примеры – примеры, предназначенные для тестового прогона нейронной сети.

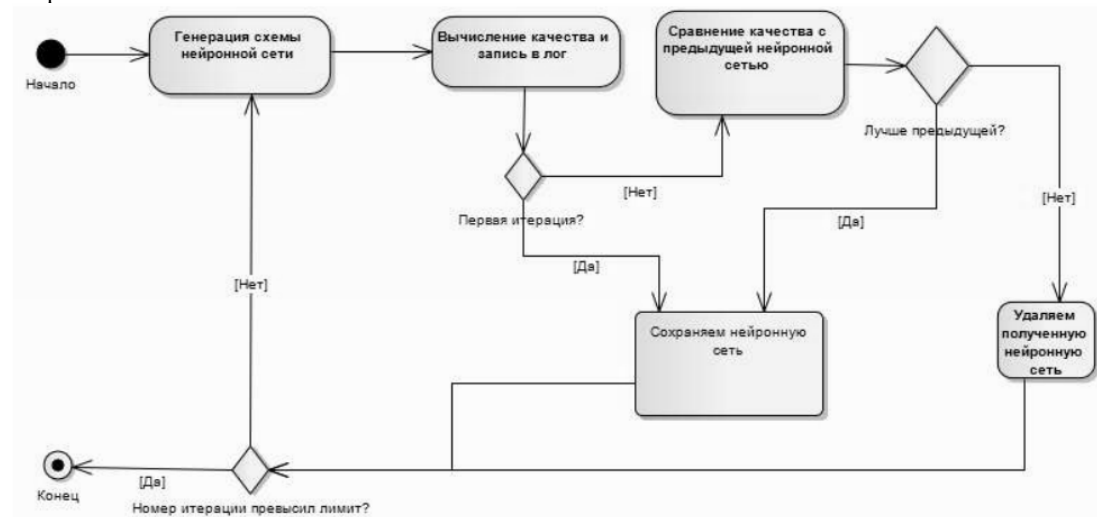


Рис.1. Схема динамической генерации нейронной сети по входным данным.

Качество каждой сгенерированной нейронной сети вычисляется с использованием описанной ниже метрики.

Сама метрика называется RMSE (Root Mean Squared Error, [16]) – общая ошибка нейронной сети и вычисляется по следующей формуле:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^n (O_k - P_k)^2}{n}},$$

где O_k – множество фактических значений нейронной сети, P_k – множество ожидаемых значений нейронной сети, n – количество примеров.

Данная метрика была взята из статистики и является наиболее распространённой для оценки качества нейронных сетей.

Архитектура нейронной сети сохраняется в простом xml-формате её описывающем. Данный формат позволяет:

- 1) легко настраивать;
- 2) переносить полученную архитектуру вне зависимости от операционной системы;
- 3) легко внедрить или реализовать полученную нейронную сеть на любой другой технологии.

Разработанный механизм предоставляет большие возможности автоматизации, чем вышеописанные существующие реализации, нужно только предоставить три набора тестовых данных и запустить механизм, а всю остальную работу (построение, тестирование, подбор активационных функций, поиск оптимального числа нейронов в скрытых слоях, сбор статистики и сохранение) механизм позволяет автоматизировать.

В работе предложен высокоуровневый механизм автоматизации проектирования искусственных нейронных сетей со следующими особенностями:

- 1) автоматизация процесса построения архитектуры ИНС;
- 2) сохранение и настройка ИНС в xml-формате, что позволяет легко переносить и реализовывать архитектуру на других технологиях.

Сейчас идёт работа по созданию прототипа и проверки предложенного механизма на практике. В будущем для настройки архитектуры полученной ИНС планируется реализовать инструмент визуального редактирования. Результаты работы будут опубликованы.

Библиографический список

1. Anil K. Jain, Jianchang Mao, K.M. Mohiuddin, Artificial Neural Networks: A Tutorial, Computer, Vol.29, No.3, March/1996, pp. 31-44.
2. <http://www.neurosolutions.com/products/ns>
3. <http://neuroph.sourceforge.net/>
4. <http://ru.wikipedia.org/wiki/OpenCV>
5. <http://www.pawlin.ru/content/view/20/8/>
6. <http://www.pawlin.ru/content/view/19/8/>
7. <http://www.mathworks.com/>
8. <http://www.mathworks.com/help/toolbox/nnet/backpro2.html#34217>
9. <http://ru.wikipedia.org/wiki/CUDA>
10. <http://www.nvidia.ru/object/nvidia-for-opencv-press-20100923-ru.html>
11. <http://www.mathworks.com/help/toolbox/nnet/>
12. А.И. Галушкин, Нейронные сети: основы теории
13. Kathryn Hymes, John Lewin, OCR for Mobile Phones, Stanford Feb/2009
14. <http://developer.apple.com/devcenter/ios/index.action>
15. <http://developer.apple.com/library/ios/#documentation/General/Conceptual/ConcurrencyProgrammingGuide/Introduction/Introduction.html>
16. <http://www.math-interactive.com/>

СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К СОЗДАНИЮ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ ОБУЧЕНИЯ И КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ ОПЕРАТОРОВ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Е. Н. Алешин

Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского
(ВКА им. А.Ф. Можайского)

Введение. В современных условиях возросла значимость качественной подготовки операторов сложных технических систем (СТС). Прежде всего, это связано с постоянным совершенствованием эксплуатируемых СТС, возрастанием динамизма и напряженности процесса их управления.

Бурное развитие технологий во всех сферах профессиональной деятельности операторов обуславливает востребованность образовательных услуг по их подготовке, переподготовке и повышению квалификации. Стремительно возрастающий объем знаний, умений и навыков, которыми должен владеть современный специалист практически в любой сфере операторской деятельности, приводит во все большее противоречие с инертностью традиционных форм и методов обучения.

Выходу из создавшегося положения, связанному с кардинальным повышением эффективности и гибкости подготовки операторов, способствует широкая автоматизация образовательного процесса на основе современных информационных технологий, компьютерных обучающих систем и тренажерных комплексов [1,2]. Автоматизация процесса обучения позволит достичь улучшения основных показателей его эффективности:

- повышения качества обучения и уровня подготовки специалистов;
- сокращения сроков подготовки, переподготовки и повышения квалификации обучаемых;
- снижения финансовых затрат на процесс обучения;
- повышения конкурентоспособности соответствующих образовательных учреждений на рынке образовательных услуг за счет высокой адаптируемости системы подготовки к изменениям, происходящим на рынке труда и в различных сферах профессиональной деятельности операторов.

Методика построения системы моделей и алгоритмов ИСОКЗ

Современный уровень развития информационных технологий обеспечивает возможность высококачественной реализации всех компонентов систем автоматизации обучения и контроля знаний обучаемых (моделей различных процессов и устройств, пользовательских интерфейсов, средств автоматизированного оценивания уровня подготовки и т. п.). В то же время, работы по созданию подобных систем тормозятся из-за отсутствия общей методологии их построения и использования. Технология создания интеллектуальных систем обучения и контроля знаний (ИСОКЗ), ориентированных на подготовку операторов СТС, представляет собой реализацию следующих основных этапов.

1. Постановка задачи автоматизации обучения операторов с использованием ИСОКЗ.
2. Системный анализ предметной области деятельности операторов.
3. Выбор и обоснование методов и моделей инженерии знаний (ИЗ), используемых при построении ИСОКЗ.
4. Разработка комплекса моделей и алгоритмов ИСОКЗ.
5. Создание демонстрационного (экспериментального) прототипа ИСОКЗ на основе соответствующих программных и инструментальных средств ИЗ либо имеющихся на рынке IT-технологий оболочек интеллектуальных систем (ИС).
6. Тестирование (оценка качества и эффективности функционирования) отдельных элементов разработанного прототипа ИСОКЗ и системы в целом.
7. Развитие (модификация) ИСОКЗ - расширение ее функциональных возможностей до уровня промышленного (коммерческого) прототипа.

Построение комплекса моделей и алгоритмов ИСОКЗ является наиболее наукоемким и трудозатратным этапом создания данной системы, определяющим, в конечном итоге, эффективность ее функционирования по целевому назначению. Под обучением оператора, при этом, будем понимать процесс управления его системой знаний, заключающийся в их пополнении (расширении и углублении) путем формирования и реализации соответствующих сценариев обучения на каждом из этапов его подготовки к осуществлению профессиональной деятельности.

В состав ИСОКЗ входят следующие основные функциональные элементы.

1. База данных (БД) о текущем состоянии знаний оператора и о результатах контроля уровня его подготовки.
2. База знаний (БЗ) о процессе (логике) обучения и контроля знаний оператора.
3. Подсистема планирования обучения (ППО), осуществляющая формирование (синтез) сценария обучения с учетом требуемого (директивно заданного) уровня подготовки оператора и начального уровня его знаний.
4. Подсистема моделирования обучения (приобретения знаний) (ПМО).
5. Подсистема контроля (идентификации уровня) знаний (ПКЗ).
6. Подсистема обучения (реализации обучающих сценариев) (ПО).
7. Подсистема диалога (ПД), обеспечивающая взаимодействие с ИСОКЗ на всех этапах ее жизненного цикла и во всех режимах ее функционирования всех категорий пользователей: экспертов (специалистов в предметной области деятельности оператора), методистов-психологов, руководителей-инструкторов и операторов – конечных пользователей.

Центральной подсистемой ИСОКЗ, ее системообразующей компонентой является БЗ. Предлагается технология построения БЗ, ориентированная на обеспечение ее полноты и непротиворечивости и основанная на разработанной методике многоэтапной (многоуровневой) формализации знаний о процессе обучения и контроля знаний оператора. Суть указанной методики заключается в последовательном построении моделей знаний различной степени формализации, начиная с собственно знаний (как модели нулевого уровня) и заканчивая их программной моделью, представляющей собой информационное содержимое БЗ. Такой подход, реализующий принципы системности и мультимодельности при создании БЗ, распространяется на процесс построения других основных функциональных подсистем ИСОКЗ, что позволяет сформировать соответствующую ей систему моделей и алгоритмов.

Предложены следующие уровни формализации (моделирования), связанные с соответствующими этапами разработки модельно-алгоритмического комплекса ИСОКЗ: содержательный, структурно-содержательный, структурно-формальный, формальный и программный [3]. В свою очередь, условно содержательный и структурно-содержательный уровни могут быть объединены в обобщенный концептуальный, структурно-содержательный и структурно-формальный – в обобщенный структурный, а структурно-формальный, формальный и программный – в обобщенный формальный уровни моделирования. Перечисленным уровням формализации соответствуют следующие виды моделей подсистем ИСОКЗ: содержательная модель (СМ), структурно-содержательная модель (ССМ), структурно-формальная модель (СФМ), формальная модель (ФМ) и программная модель (ПМ).

В соответствии с приведенной модельной классификацией, СМ БЗ представляет собой вербальное (текстовое) описание знаний.

ССМ БЗ содержит структуру знаний в явном виде, задаваемую соответствующей семантической сетью (СС) (семантической гиперсетью (СГС)).

В качестве СФМ БЗ предлагается использовать соответствующую вложенную сеть Петри (ВСП) [4].

ФМ БЗ представляет собой продукционную модель представления знаний (ПМПЗ).

Переход от ФМ к ПМ БЗ состоит в дальнейшей формализации ПМПЗ в терминах того или иного языка ИЗ, инструментальной среды или оболочки ИС, выбранных для реализации БЗ на программном уровне.

Состав системы моделей и алгоритмов ИСОКЗ, имеющей матричную структуру, представлен таблицей 1. Каждый из элементов указанного модельно-алгоритмического комплекса классифицируется по двум признакам: уровню формализации и виду модели (соответствию той или иной подсистеме ИСОКЗ). При этом БЗ соответствуют модели декларативного (описательного) плана, а ПМО, ПКЗ и ППО – модели процедурного типа (т.е. процедуры или алгоритмы).

К примеру, модель обучения (МО) содержит информацию о логике усвоения оператором в процессе обучения соответствующих дидактических единиц (дидактов).

Модель контроля знаний (МКЗ) сопоставляет различным состояниям знаний оператора соответствующие уровни его обученности.

Модель (алгоритм) приобретения знаний (МПЗ) отражает динамику изменения состояния знаний оператора в соответствии с реализуемым сценарием его обучения.

Таблица 1. Система моделей и алгоритмов ИСОКЗ.

Уровень моделирования (формализации)	Вид модели (алгоритма) ИСОКЗ				
	Модель обучения (МО)	Модель контроля знаний (МКЗ)	Модель (алгоритм) приобретения знаний (МПЗ)	Модель (алгоритм) идентификации уровня знаний (МИУЗ)	Модель (алгоритм) планирования обучения (МПО)
Содержательный	Содержательная модель Обучения (СМО)	Содержательная модель контроля знаний (СМКЗ)	Содержательная модель приобретения знаний (СМПЗ)	Содержательная модель идентификации уровня знаний (СМИУЗ)	Содержательная модель планирования обучения (СМПО)
Структурно-содержательный	Структурно-содержательная модель обучения (ССМО)	Структурно-содержательная модель контроля знаний (ССМКЗ)	Структурно-содержательная модель приобретения знаний (ССМПЗ)	Структурно-содержательная модель идентификации уровня знаний (ССМИУЗ)	Структурно-содержательная модель планирования обучения (ССМПО)
Структурно-формальный	Структурно-формальная модель Обучения (СФМО)	Структурно-формальная модель контроля знаний (СФМКЗ)	Структурно-формальная модель приобретения знаний (СФМПЗ)	Структурно-формальная модель идентификации уровня знаний (СФМИУЗ)	Структурно-формальная модель планирования обучения (СФМПО)
Формальный	Формальная модель Обучения (ФМО)	Формальная модель контроля знаний (ФМКЗ)	Формальная модель приобретения знаний (ФМПЗ)	Формальная модель идентификации уровня знаний (ФМИУЗ)	Формальная модель планирования обучения (ФМПО)
Программный	Программная модель Обучения (ПМО)	Программная модель контроля знаний (ПМКЗ)	Программная модель приобретения знаний (ПМПЗ)	Программная модель идентификации уровня знаний (ПМИУЗ)	Программная модель планирования обучения (ПМПО)

Модель (алгоритм) идентификации уровня знаний (МИУЗ) представляет собой процедуру определения уровня подготовки оператора по текущему состоянию его знаний.

Модель (алгоритм) планирования обучения (МПО) реализует механизм синтеза сценария обучения – последовательности дидактик, подлежащих усвоению.

Уровень формализации, на котором реализуется каждый из трех алгоритмов, упомянутых выше, определяет характер процедур планирования обучения, приобретения и идентификации уровня знаний оператора. На структурно-содержательном уровне моделирования им будут соответствовать механизмы волнового вывода на СС (СГС), на структурно-формальном – процессы изменения маркировки ВСП, а на формальном – алгоритмы логического вывода в продукционных системах.

Заключение

В настоящее время автоматизацию процесса обучения операторов СТС целесообразно развивать в направлении комплексного использования традиционных подходов к обучению и современных обучающих информационных технологий, основанных на создании и применении в учебном процессе ИСОКЗ. Центральным этапом внедрения такого рода технологий является разработка соответствующего математического, программного и информационного обеспечения обучения (МПИОО). Построение комплекса моделей и алгоритмов ИСОКЗ является наиболее наукоемким и трудозатратным этапом создания МПИОО, определяющим, в конечном итоге, эффективность автоматизации подготовки операторов СТС.

Разработаны методологические принципы построения и сформирован облик ИСОКЗ операторов СТС, выделены ее основные функциональные элементы.

Предложена методика создания центральной подсистемы ИСОКЗ - БЗ о процессе обучения и контроля знаний операторов. Указанная методика распространена на процесс построения остальных

основных функциональных подсистем ИСОКЗ. На ее основе сформирован состав и разработана структура системы моделей и алгоритмов ИСОКЗ.

Предложено применение аппарата семантических сетей (семантических гиперсетей), вложенных сетей Петри и продукционных систем для разработки компонентов модельно-алгоритмического комплекса ИСОКЗ на соответствующих уровнях формализации знаний.

Библиографический список

1. *Петрошенко А.В.* Системный подход к созданию компьютерных средств дистанционного обучения на основе современных информационных технологий // Материалы 2-й межрегиональной научно-практической конференции "Дистанционное обучение. Проблемы и перспективы взаимодействия ВУЗов Санкт-Петербурга с регионами России" (Смольный, 15-18 марта 1999 г.) - СПб, 1999. - С. 75 – 76.

2. *Петрошенко А.В., Бирюков В.Е., Дербин В.Г.* Методологические вопросы автоматизации процесса подготовки специалистов в контексте обеспечения безопасности их профессиональной деятельности и охраны труда // Комитет по труду и социальной защите населения Санкт-Петербурга. Информационно-методический бюллетень № 3 (13) - СПб, 2002. - С. 12 – 176.

3. *Петрошенко А.В.* Модели и методы инженерии знаний и их использование при управлении военнотехническими системами / Военная системотехника и системный анализ. Модели и методы подготовки и принятия решений в сложных организационно-технических комплексах в условиях неопределенности и многокритериальности - СПб: ВИКУ, 1999. - С. 282 - 378.

4. *Ломазова И.А.* Вложенные сети Петри: моделирование и анализ распределенных систем с объектной структурой. - М.: Научный мир, 2004. - 208 с.

УДК 629.7: 371.693

УСТРОЙСТВО И ПРИНЦИП РАБОТЫ АВИАЦИОННОГО ТРЕНАЖЕРА

С.Д. Зуев

Санкт-Петербургский городской Дворец Творчества Юных
(ГОУ ЦО «СПб ГДТЮ»)

Введение. В рамках проекта «Космоцентр в Аничковом» на базе Юношеского Клубка Космонавтики им. Г.С. Титова в 2010 году был создан и запущен авиационный тренажёр, в основу которого положен MSFS 2004. Выбор был сделан в пользу продукта компании Microsoft потому что эта серия гражданских авиасимуляторов является одним из лучших симуляторов, однако физика там основана не на физическом просчете данных (как в X-Plane), а на конфигурационных файлах, то есть фактически, можно заставить летать любой объект задав ему необходимые конфигурации. Наличие практически всех крупных аэропортов мира с реалистичными данными, реальным ландшафтом, реалистичными погодными условиями, отличной графикой делают данную серию симуляторов одной из лучших в своём классе.

В MSFS присутствуют такие атрибуты авиации, как автопилот, диспетчерская служба, синхронизация с реальной погодой, авиатрафик, службы аэропортов. Также имеются встроенные средства анализа полёта, повтор. Есть возможность осуществлять полёты при взаимодействии с другими бортами через сеть интернет, то есть пилотировать летательные аппараты в виртуальном воздушном пространстве.

Одной из положительных особенностей данной серии — её открытость для создания собственных моделей и аэропортов.

MSFS 2004 приобрел широкое распространение, существует множество плагинов, моделей многочисленными модификациями, включая платные.

На сегодняшний день самой последней версией авиасимулятора является Microsoft Flight Simulator X. Модулем который обрабатывает всю информацию являются три блока, взаимодействующие между собой через локальную сеть. В таблице приведен подробный список установленного

оборудования и задачи, возложенные на каждый блок. Также в перспективе возможно будут осуществляться полёты в сети.

Вся информация и приборы выводятся на три монитора, образующие нижний ярус. Закабинное пространство отрисовывается на верхнем ярусе, который тоже состоит из трёх мониторов. Органы управления — штурвал, педали, блок РУДов (рычаги управления двигателем), панели автопилота, радио-навигационного оборудования были произведены компанией Saitek.

В процессе монтирования и сборки тренажера возник ряд проблем.

1. Отладка программ для работы в ОС Windows7
2. Объединение ПК в клиент-серверную систему и обеспечение правильного взаимодействия программ друг с другом
3. Распределение рабочей нагрузки по ПК для моделирования в реальном времени
4. Калибровка органов управления

На базе тренажера проводятся занятия по технической эксплуатации летательных аппаратов. Курс состоит из теоретических и практических занятий. В рамках него курсанты знакомятся с основами аэродинамики, теорией полета и проходят начальную подготовку пилотов летного училища, знакомятся с навигационными картами Jeppesen, архитектурой аэропорта Пулково, учатся грамотно вести радиопереговоры, расшифровывать сводку погоды METAR, знакомятся с различными системами и порядком проведения взлета и посадки, узлами и агрегатами самолета, назначением приборов. Перед допуском к практической части курса, учащиеся должны сдать зачеты по прочитанным дисциплинам. Занятия в самом тренажере состоят из стандартных заданий на земле и в воздухе. Курсанты учатся правилам маневрирования в пределах аэропорта, отрабатывают маневры в «зоне» (воздушное пространство, удаленное на 20 миль от аэропорта вдали от основных воздушных путей), полет по кругу, летают в различных неблагоприятных погодных условиях, с отказами различных систем и приборов. Практическая часть занятий проходит на примере модели самолета Boeing 737-600.

	Что подключено	Программное обеспечение	Задачи
1 ПК	1. 3 монитора закабинного пространства 2. TrippleHead 2Go monitor 3. Touch panel 4. Saitek Pro-panels 5. Saitek Yoke + Pedals 6. Saitek Gamer Panel	1. Microsoft Flight Simulator 2004 2. FSUIPC 3. FSXPand Server 4. Matrox Power Desk	1. Расчет + визуализация закабинного пространства 2. Раздача данных клиентам 3. Работа джойстиков и панелей 4. Звук
2 ПК	1. 2 монитора приборов 2. Saitek X52 — джойстик 3. Гарнитура	1. FSX Client 2. Ventrilo Client	1. Отображение приборной панели для 1-го и 2-го пилотов 2. Дублирование управления 3. Радиосвязь
3 ПК	1. 2 ЖК телевизора 2. Центральный монитор приборов 3. Гарнитура	1. FSC 2. FSX Client 3. Ventrilo Server	1. Отображение центральной приборной панели 2. Диспетчерский центр 2.1 Контроль воздушной обстановки 2.2 Контроль основных при- боров кабины 3. Радиосвязь

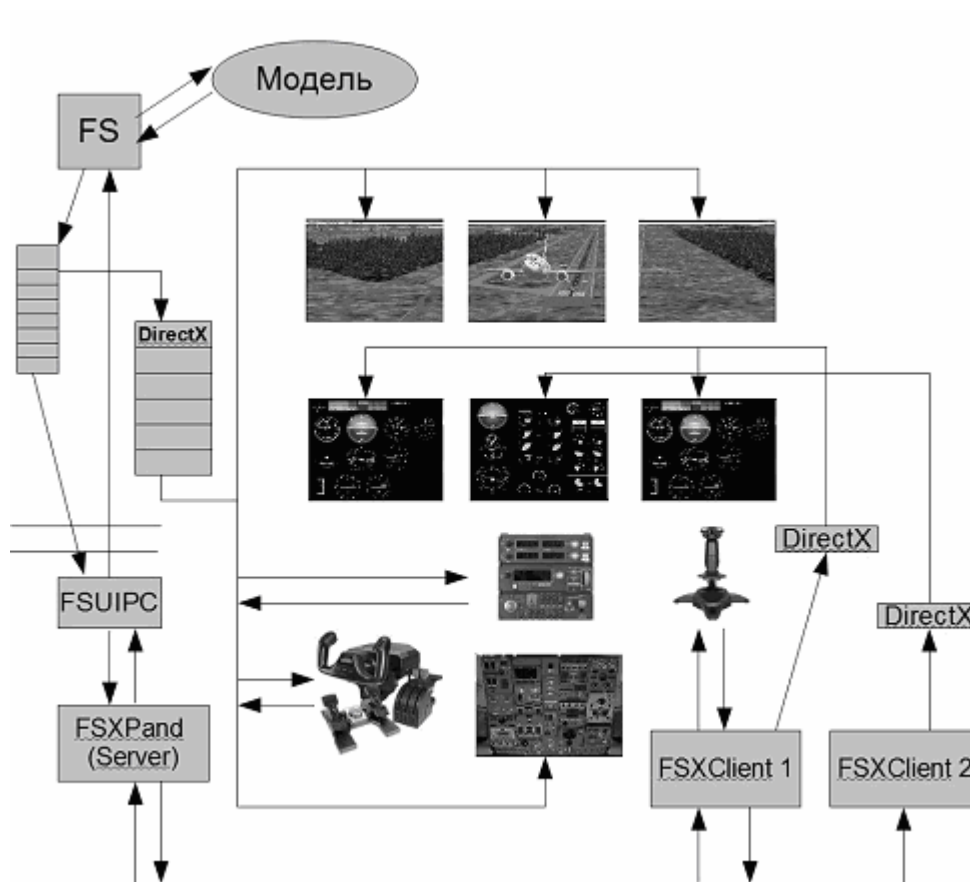


Рис. 1. Схема работы Авиационного тренажера

Помимо этого, за пределы КК «Восток» вынесен диспетчерский центр, в котором происходит управление воздушным движением, осуществляется связь с бортом, ведется контроль показателей основных приборов самолета.

Каждый полет хранится в базе данных. Это позволяет инструкторам проводить анализ с экипажем как сразу после завершения полета, так и на занятиях для всех курсантов. Запись полета можно открыть как в FS Commander, так и в Google Earth, что позволяет максимально наглядно и детально разобрать любой момент полета.

Заключение

Следующим этапом станет глубокая модернизация тренажера. Планируется создать спаренные органы управления самолётом, добавить некоторые приборные доски, собрать overhead.

**РАЗРАБОТКА МНОГОЦЕЛЕВЫХ ПРОВЕРОЧНО-ИСПЫТАТЕЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ
ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ЭКСПЛУАТАЦИИ
СЛОЖНЫХ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

С.А. Частухина

ОАО «Конструкторское бюро специального машиностроения»
(ОАО «КБСМ»)

Рассматриваются вопросы повышения качества эксплуатации сложных организационно-технических систем за счет создания и применения многоцелевых проверочно-испытательных комплексов. Предлагается объединить функции обучающего тренажера, испытательного стенда и руководства по эксплуатации в единой программно-аппаратной среде.

Введение. В настоящее время обучение и повышение квалификационных навыков специалистов очень важная задача, которую можно решить на теоретическом и практическом уровне. Для повышения навыков и знаний на практическом уровне применяются обучающие тренажеры, испытательные стенды и руководства по эксплуатации. Если рассматривать отдельно эти системы, то они обладают рядом преимуществ.

Тренажерно-обучающие комплексы, используются для обучения, переобучения, повышения квалификации и т.д. Они создаются на основе разработанных пакетов программ моделирования динамических процессов в различных агрегатах и системах. В индивидуальном и сетевом вариантах.

Испытательные стенды, предназначены для измерения величин нагружения испытываемой конструкции и соответствующих откликов элементов конструкции. Они сохраняют информацию о ходе испытания в электронном виде, также позволяют визуализировать измеряемые параметры в реальном масштабе времени для проведения их последующей обработки.

Основная цель руководства по эксплуатации – просто, доступно и грамотно объяснить персоналу, как и почему работает оборудование.

Рассматривая перечень систем в отдельности, можно увидеть, что каждая из них обладает своими достоинствами, но в полной мере обеспечить качество эксплуатации организационно-технической системы по одной из этих не представляется возможным. Именно по этой причине наиболее эффективным считается комплексный подход. Предлагается построить многоцелевой проверочно-испытательный комплекс (МПИК), сочетая и объединяя функции трех рассмотренных систем.

Назначение МПИК следующее:

- предоставление теоретических знаний о сложных технологических объектах
- обучение полному объему знаний о назначении, устройстве и работе сложных технологических объектов
- обучение управлению технологическими объектами в штатных условиях
- обучение управлению технологическими объектами при возникновении нештатных ситуаций
- обеспечение устойчивых знаний и навыков
- выработка необходимой реакции на ситуации разного рода

Роль и место МПИК в структуре электронной информационной модели СОТС

Многоцелевой проверочно-испытательный комплекс на разных стадиях жизненного цикла представляет собой сложную организационно-техническую систему (СОТС), которая должна выполнять различные функции:

- Обучающий тренажер;
- Руководство по эксплуатации;
- Испытательный стенд;
- Тестовое оборудование, которое позволяет провести диагностику изделия.

Методология жизнеобеспечения и управления современным предприятием опирается на электронные информационные модели (ЭИМ) производственных систем, которые представляют собой совокупность маршрутных телекоммуникационных процессов обработки информации и средств реализации этих процессов в реальном масштабе времени. ЭИМ состоит из электронного архива, Work Flow, PDM, PLM систем.

Таким образом, МПИК должен являться неотъемлемой частью информационной модели изделия, которая хранится в PDM/PLM системе промышленного предприятия (отрасли), где разрабатывается сложная организационно-техническая система.

PDM-система (англ. Product Data Management — система управления данными об изделии) — организационно-техническая система, обеспечивающая управление всей информацией об изделии.

В PDM-системах обобщены такие технологии, как:

- управление инженерными данными (engineering data management — EDM);
- управление документами;
- управление информацией об изделии (product information management — PIM);
- управление техническими данными (technical data management — TDM);
- управление технической информацией (technical information management — TIM);
- управление изображениями и манипулирование информацией, всесторонне определяющей конкретное изделие.

Базовые функциональные возможности PDM-систем охватывают следующие основные направления:

- управление хранением данных и документами;
- управление потоками работ и процессами;
- управление структурой продукта;
- автоматизация генерации выборок и отчетов;
- механизм авторизации;

PDM-системы являются неотъемлемой частью PLM-систем.

PLM-система (англ. Product Lifecycle Management - жизненный цикл изделия) — технология управления жизненным циклом изделий. Организационно-техническая система, обеспечивающая управление всей информацией об изделии и связанных с ним процессах на протяжении всего его жизненного цикла, начиная с проектирования и производства до снятия с эксплуатации. Информация об объекте, содержащаяся в PLM-системе является цифровым макетом этого объекта.

С помощью PDM/PLM - систем можно создавать отчеты о конфигурации выпускаемых систем, маршрутах прохождения изделий, частях или деталях, а также составлять списки материалов. Все эти документы при необходимости могут отображаться на экране монитора производственной или конструкторской системы из одной и той же базы данных. Одной из целей PDM/PLM -систем является обеспечение возможности групповой работы над проектом, то есть, просмотра в реальном времени и совместного использования фрагментов общих информационных ресурсов предприятия.

Структурная схема МПИК

Многоцелевой проверочно-испытательный комплекс можно описать на четырех уровнях: логический уровень, математических моделей, уровень физических элементов и уровень рабочих элементов (Рис. 1):

Логический уровень включает в себя набор ситуаций, которые могут возникнуть при эксплуатации оборудования. Ситуации могут тесно переплетаться и быть взаимосвязаны. На этом уровне ставится задача по принципу логики [3]. Поскольку правильность рассуждения зависит исключительно от формы логического уровня, то в нем все дескриптивные (описательные) термины можно заменять другими. Поэтому, если известно, что некоторое рассуждение является правильным, то путем замены его дескриптивных терминов другими можно убедиться также в правильности другого рассуждения, имеющего такую же логическую форму.

Уровень математических моделей. Позволяет вести непрерывный расчет параметров оборудования в реальном, замедленном и ускоренном масштабе времени. На этом уровне можно рассматривать все системы как гидравлические, механические, электрические и др.

В моделировании используются современные быстродействующие программы расчета процессов в структурных элементах оборудования и линиях связи.

В объем моделирования входят все режимы нормальной эксплуатации оборудования, а также модели аварийных ситуаций.

Уровень физических элементов позволяет проработать правильность рассуждений на логическом уровне и конечно отработать математическую модель. Физические элементы представляют собой макет с датчиками, которые подают сигнал об отработке рассуждений и математической модели. Они применяются там, где нельзя натурно решить задачу.

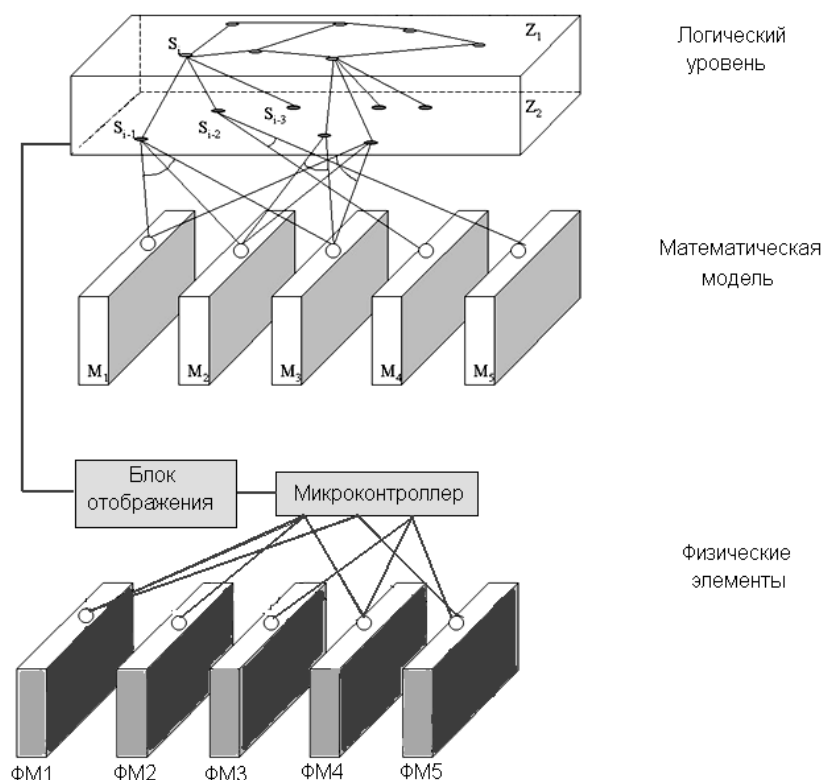


Рис. 1. Уровни МПИК.

На уровне рабочих элементов ситуация поставленная на логическом и математическом уровне отображается на блоке отображения и с помощью микроконтроллера подаются управляющие сигналы на рабочие элементы стенда. Они обрабатывают поставленную задачу, и микроконтроллер передает результаты операции на блок отображения информации.

Таким образом, в период эксплуатации МПИК решаются вопросы обучения, получается информация от датчиков и рабочих элементов, что позволяет корректировать логическую и математическую модель. В период подготовки персонала так же решается вопрос с обучением и отработки навыков.

Совокупность используемых принципов построения МПИК дает возможность:

- проследить работу технологических объектов в штатном режиме и изменения в его работе при изменении технологических режимов;
- проконтролировать работу системы управления технологическими объектами по отработке нештатных ситуаций;
- ликвидировать нештатные ситуации, соблюдая заданный порядок действий;
- выбрать и реализовать с помощью компьютерных моделей штатных средств управления нужный режим работы;
- убедиться в правильности выполненных действий;
- получать оценку действий со стороны системы.

Комплексный подход к разработке МПИК

Целью проводимых исследований является повышение качества эксплуатации сложной организационно-технической системы (СОТС) за счет объединения функций обучающего тренажера, испытательного стенда и руководства по эксплуатации.

Поставленная цель достигается решением следующих задач:

- 1) разработка классификации МПИК;
- 2) определения требований, предъявляемых к МПИК соответствующих классов;
- 3) анализ возможных методов разработки МПИК;
- 4) определение возможных средств разработки МПИК и проведение их классификации;
- 5) разработка рекомендаций по созданию МПИК;
- 6) разработка критериев оценки эффективности эксплуатации СОТС в зависимости от ее вида и класса МПИК;
- 7) разработка (выбор) методик оценки эффективности МПИК;
- 8) практическая отработка элементов МПИК.

Комплексное решение сформулированных задач обеспечит предоставление теоретических знаний о СОТС, обучение полному объему знаний о назначении, устройстве и работе сложных технологических объектов, обучение управлению технологическими объектами в штатных условиях, обучение управлению технологическими объектами при возникновении нештатных ситуаций, обеспечение устойчивых знаний и навыков, выработка необходимой реакции на ситуации разного рода.

Заключение

Предлагаемая автором идея разработки МПИК является перспективной и позволит минимизировать финансовые и временные затраты на обучение персонала, провести диагностику элементов СОТС и отработать различные ситуации, которые могут возникнуть при ее эксплуатации.

Библиографический список

1. Смирнов В.В., Николаев С.В., Киниченко С.В. Технология моделирования процессов информационного приборостроения / Смирнов В.В., Николаев С.В., Киниченко С.В.// Мехатроника, автоматизация, управление. 2007.
2. Справочник по искусственному интеллекту/ Под ред. Д.А. Поспелова т.2. 2001.
3. Ларичев О.И. Проблемы компьютерного обучения экспертным знаниям // Труды 6 национ. конфер. по искусственному интеллекту с междунар. участ. КИИ'00. Т.1.

УДК 62.503.51, 62.503.54, 62.503.55

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК АКТИВНОГО ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

Р.С. Гаврилов

ОАО «Конструкторское бюро специального машиностроения»
(ОАО «КБСМ»)

Введение. Создание современных методов анализа и синтеза источников электропитания с программируемой формой выходного напряжения (тока), основанных на последних достижениях силовой электроники и компьютерной техники, является приоритетной задачей в области энергетической электроники.

Для исследования динамических и энергетических характеристик активного преобразователя напряжения в среде Matlab-Simulink с применением элементов библиотеки SimPowerSystems [2] разработаны виртуальные модели. Данные модели позволяют произвести всесторонний анализ переходных процессов в АП.

1. Аналитическое исследование динамических характеристик АП

Активный преобразователь представляет собой нелинейную многосвязную, импульсную систему с дискретно-изменяющимися параметрами. Анализ такой системы возможен только численными методами.

Функциональная схема АП представлена на рис. 1. Она содержит трехфазный полупроводниковый инвертор (VT1-VT6, VD1-VD6), присоединенный к сети переменного тока (А, В, С) через входной буфер (L, r) с одной стороны и к конденсатору звена постоянного тока (С) с другой.

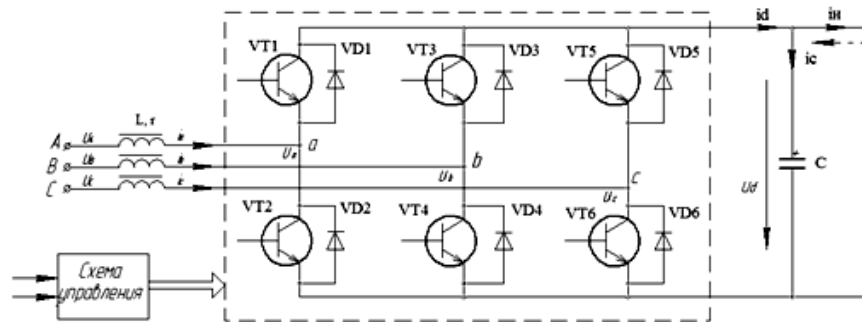


Рис. 1. Функциональная схема АП.

Математическое описание активного полупроводникового преобразователя во вращающейся системе координат имеет вид [1, 3]:

$$\begin{aligned}
 u_x = U_1 &= \frac{mU_d}{2} \cos \varphi + ri_x + L \frac{di_x}{dt} - \omega Li_y \\
 0 &= \frac{mU_d}{2} \sin \varphi + ri_y + L \frac{di_y}{dt} + \omega Li_x \\
 \frac{3}{2} U_1 i_x &= U_d i_d + \frac{1}{2} r (i_x^2 + i_y^2), \\
 C \frac{dU_d}{dt} &= i_d - i_H = i_d - \frac{U_d}{R},
 \end{aligned} \tag{1}$$

где U_1 - амплитуда фазного напряжения сети; C, R - ёмкость конденсатора фильтра и сопротивление нагрузки; L, r - индуктивность и сопротивление буфера; U_d - напряжение в звене постоянного тока; φ - фаза модуляции; m - коэффициент модуляции.

Система управления выходным напряжением АП может быть реализована несколькими способами:

- управление непосредственно временем открытого состояния силовых ключей через коэффициент модуляции m ШИМ модулятора;
- метод подчинённого управления с реализацией контура тока в неподвижной системе координат;
- метод подчинённого управления с реализацией контура тока во вращающейся системе координат.

В первом случае динамические характеристики АП определяются из нелинейного дифференциального уравнения:

$$8U_d^2 C (Ls^3 + 2xs^2 + z^2s) + 8U_d i_H (Ls^2 + 2xs + z^2) + 6mU_1 U_d ((Ls + 3r) \cos \varphi + x \sin \varphi) + 3rm^2 U_d^2 - 12U_1^2 (Ls + r) = 0 \tag{2}$$

$$x = \alpha L, \quad z = \sqrt{r^2 + \omega^2 L^2}$$

где s - оператор Лапласа.

Анализ полученного уравнения возможен только численными методами. Проведём линеаризацию уравнения (2) разложением в ряд Тейлора в окрестности номинальных значений, учитывая

уравнения статики: $\frac{di_x}{dt} = 0; \quad L \frac{di_y}{dt} = 0;$

Получившиеся уравнения в отклонениях перепишем в форме передаточных функций:

$$W(s) = \frac{U_d(s)}{U_1(s)} = \frac{(24U_1L - 6mLU_d \cos \varphi)s + 18rmU_d \cos \varphi + 6mxU_d \sin \varphi - 24rU_1}{16L^2CU_d s^3 + (32xCU_d + 8L^2i_H)s^2 + (16Cz^2U_d + 16xi_H + 6mU_1L \cos \varphi)s + 6rm^2Ud + 8i_Hz^2 + 6mU_1(3r \cos \varphi + x \sin \varphi)} \quad (3)$$

$$W(s) = \frac{U_d(s)}{i_H(s)} = \frac{8L^2U_d s^2 + 16xU_d s + 8U_d z^2}{16L^2CU_d s^3 + (32xCU_d + 8L^2i_H)s^2 + (16Cz^2U_d + 16xi_H + 6mU_1L \cos \varphi)s + 6rm^2Ud + 8i_Hz^2 + 6mU_1(3r \cos \varphi + x \sin \varphi)}$$

где s – оператор Лапласа; U_d – напряжение на конденсаторе в звене постоянного тока в начальный момент времени.

Полученные передаточные функции позволяют оценить динамические характеристики преобразователя, однако являются весьма сложными для анализа. Поэтому, для исследования динамически активного преобразователя удобнее воспользоваться виртуальной моделью.

2. Модельное исследование динамических характеристик АП

Виртуальная модель АП в среде Matlab-Simulink с элементами из библиотеки SimPowerSystems с независимой системой управления представлена на рис. 2. Данная модель содержит: Source – трёхфазный источник переменного напряжения 380 В, 50 Гц; RL – входной буфер; Rectifier – трёхфазный инвертор на IGBT транзисторах; PWM – ШИМ генератор с возможностью задания коэффициента модуляции и фазы модуляции; C1 – конденсатор звена постоянного тока; R – сопротивление нагрузки, Breaker – идеальный ключ, подключающий/отключающий сопротивление нагрузки R; In и Vd – датчики тока и напряжения соответственно.

С помощью виртуальной модели АП получены динамические и энергетические характеристики, ЛАЧХ и ФЧХ. На рис. 3 представлены ЛАЧХ и ФЧХ АП по напряжению питания. На рис. 3 представлены ЛАЧХ и ФЧХ АП по току нагрузки. На рисунке 4 представлена зависимость ЛАЧХ и ФЧХ от ёмкости конденсатора в звене постоянного тока.

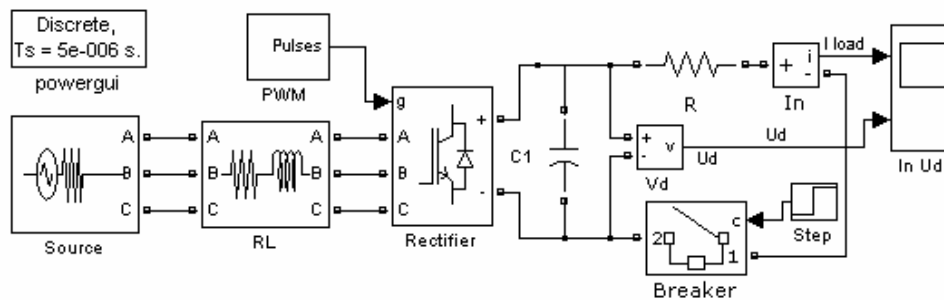


Рис. 2. Виртуальная модель АП с независимым управлением.

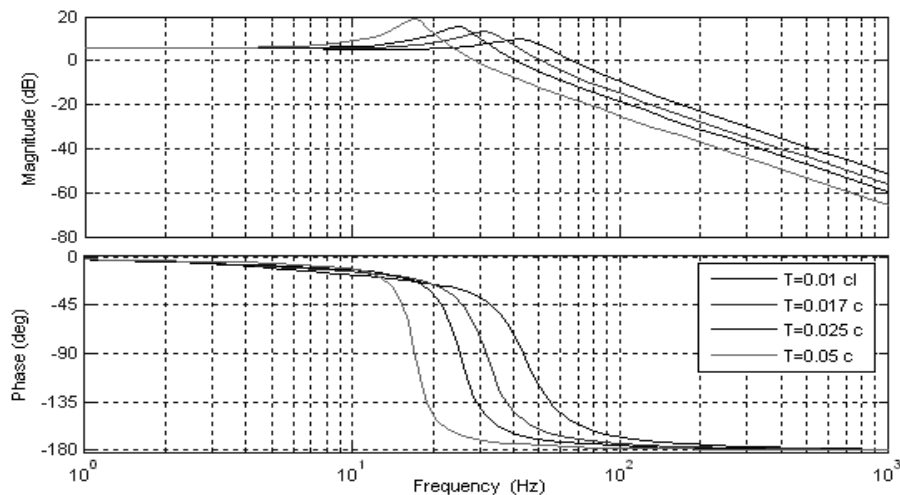


Рис. 3. ЛАЧХ и ФЧХ АП по напряжению питания, $T = \frac{l}{r}$.

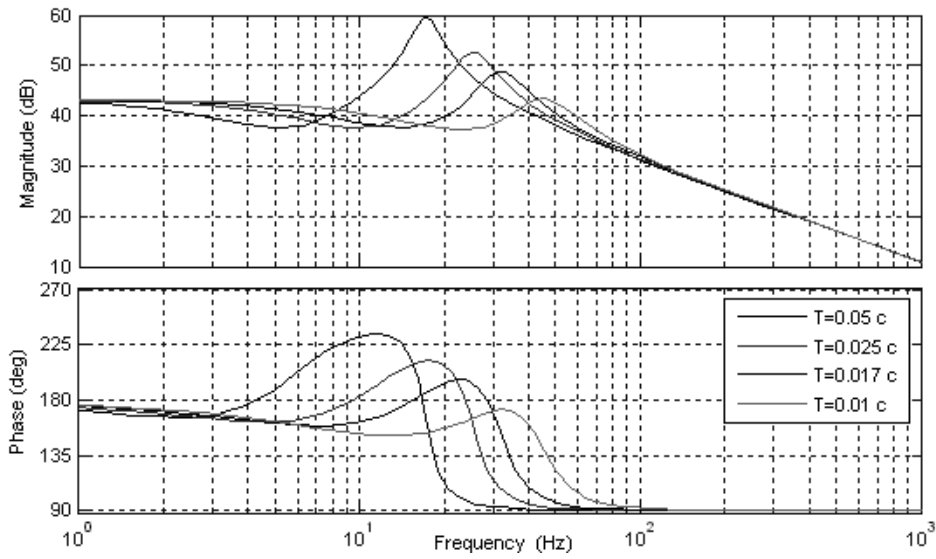


Рис. 4. ЛАЧХ и ФЧХ АП по току нагрузки, $T = \frac{l}{r}$.

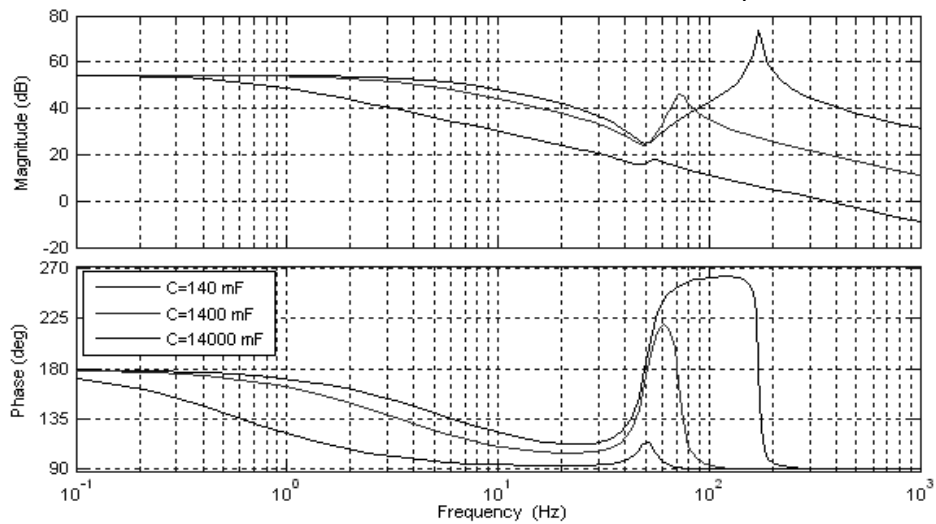


Рис. 5. ЛАЧХ и ФЧХ АП по току нагрузки при различных значениях ёмкости конденсатора C , $T = 0.025$ с.

Анализируя полученные характеристики, можно заключить, что АП имеет явно выраженную резонансную частоту, зависящую от параметров входного буфера. При этом чем меньше постоянная времени, тем меньше искажение ЛЧХ и ФЧХ. Наличие резонансной частоты приводит к колебательному переходному процессу по управлению и возмущению. Уменьшение ёмкости конденсатора в звене постоянного тока приводит к подчёркиванию резонансного пика и колебательному переходному процессу по входному напряжению и току нагрузки. Увеличение ёмкости в звене постоянного тока затягивает переходный процесс включения и от тока нагрузки, приближая его к аperiodическому.

На рисунке 6 представлены переходные процессы по управлению и возмущению при различных параметрах входного дросселя, ёмкость конденсатора в звене постоянного тока: $C = 1400$ мкФ.

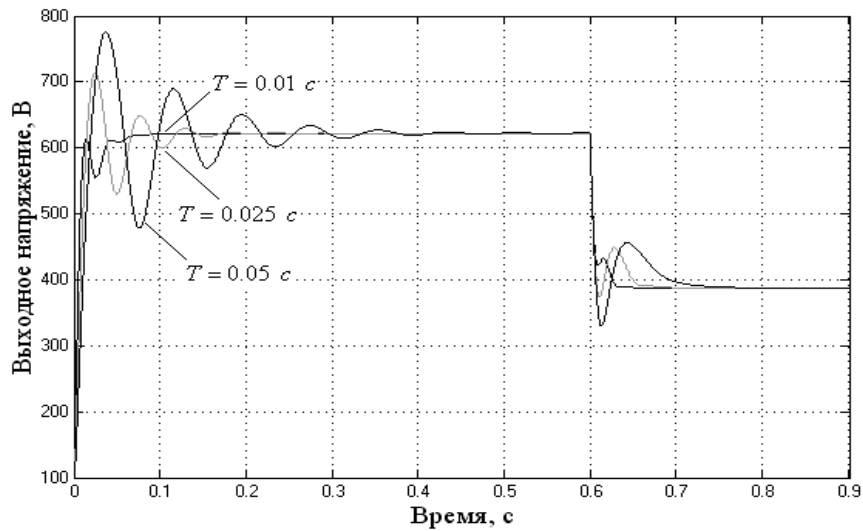


Рис. 6. Переходные процессы АП при прямом управлении коэффициентом модуляции.
В момент времени 0.6 с подключается нагрузка $R_H = 10 \text{ Ом}$.

3. Синтез систему управления АП

Для обеспечения двухстороннего обмена энергией между источником питания и нагрузкой система управления АП должна поддерживать на одном уровне напряжение на конденсаторе в звене постоянного тока, такая система может быть построена разными способами, рис. 7.

В структуре (рис. 7,а) контур тока является внутренним по отношению к контуру напряжения. В этом случае обратная связь по току реализуется в неподвижной системе координат и регулятор тока (РТ) выполняется релейным, обеспечивающим скользящее управление током на выходе АП.

В структуре (рис. 7,б) контур тока является внешним по отношению к контуру синхронизации управления СПП. В этом случае управление током осуществляется во вращающейся системе координат, и регулятор тока синтезируется в соответствии с классической теорией синтеза линейных регуляторов.

Рассмотрим подробно систему управления АП с релейным регулятором в контуре тока. При замыкании обратной связи по току и использовании релейного регулятора контур тока становится практически безынерционным, а сам преобразователь выступает как источник тока. Таким образом, АП может быть представлен в следующем виде (рис. 8).

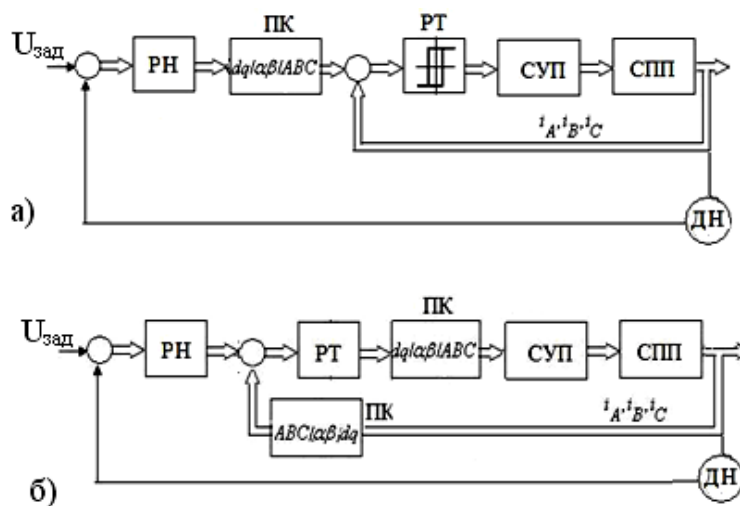


Рис. 7. Структурные схемы АП с системой управления.

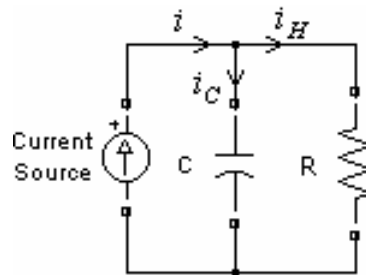


Рис. 8. Схема замещения АП

После замыкания обратной связи по напряжению, разомкнутый контур напряжения может быть описан как аperiodическое звено:

$$i = i_C + i_H = C \frac{dU_c}{dt} + \frac{U_c}{R} \quad (4)$$

$$W(s) = \frac{U_c(s)}{i(s)} = \frac{R}{CRs + 1}$$

Регулятор напряжения может быть реализован как ПИ-регулятор.

На рисунке 9 представлена виртуальная модель АП с релейным регулятором в контуре тока и ПИ – регулятором в контуре напряжения. Напряжение источника питания 380 В, 50 Гц. Сопротивление нагрузки 30 Ом.

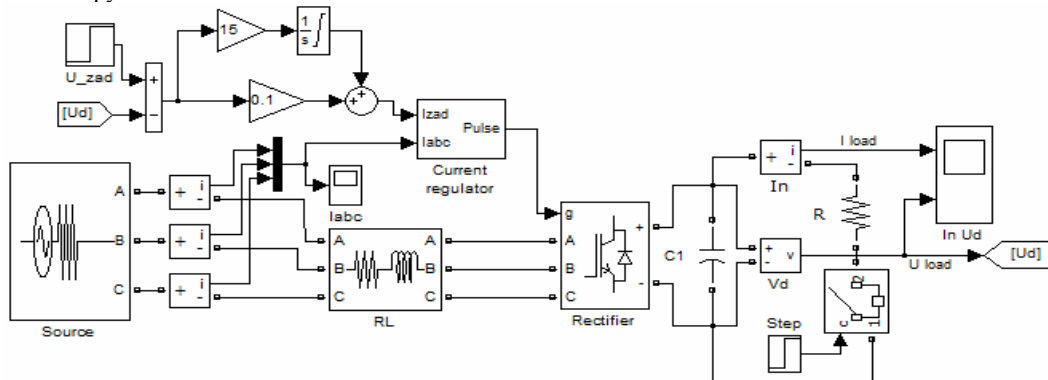


Рис. 9. Виртуальная модель АП

Динамические и энергетические характеристики активного преобразователя при работе на повышенное выходное напряжение представлены на рис. 10 и 11.

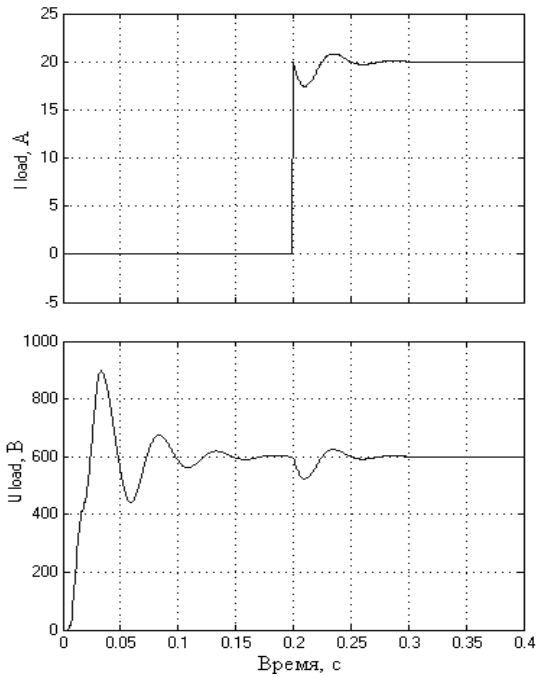


Рис. 10. Переходный процесс по управлению и возмущению.

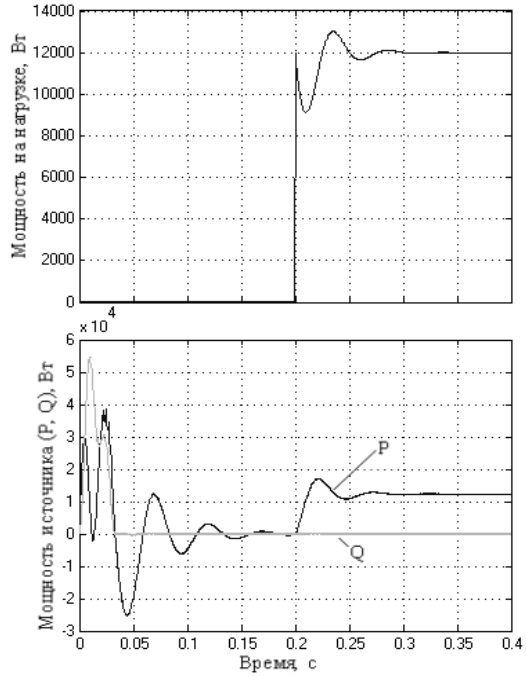


Рис. 11. Энергетические характеристики АП.
P – активная мощность источника;
Q – реактивная мощность источника.

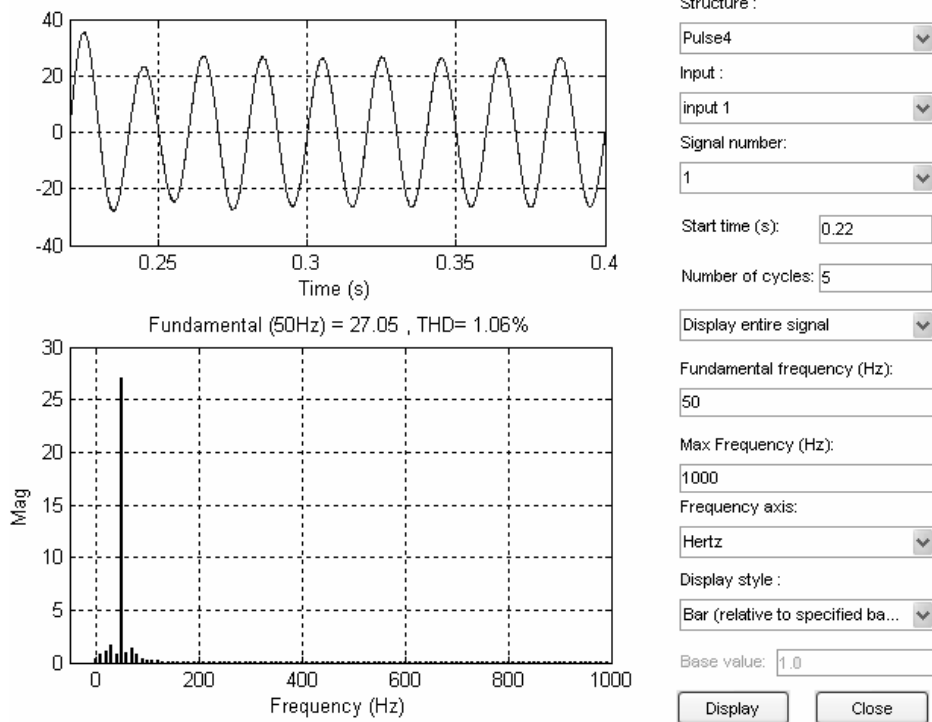


Рис. 12. Спектральные характеристики тока источника питания.

Спектральные характеристики тока источника питания приведены на рис. 12. Анализируя полученные спектральные характеристики можно заключить, что ток, потребляемый из сети, имеет практически синусоидальную форму, а коэффициент искажения гармоник $THD=1.06\%$.

Выводы

Разработаны виртуальные модели АП, которые позволяют определить электромагнитные нагрузки и рассеиваемые мощности на каждом элементе АП в различных режимах работы, исследовать спектральный состав напряжений и токов.

Синтезирована система управления АП с релейным регулятором в контуре тока, обеспечивающая двусторонний обмен энергией между источником напряжения и нагрузкой, минимальную реактивную мощность в установившемся режиме работы и при работе под нагрузкой.

Библиографический список

1. *Виноградов А.Б.* Векторное управление приводами переменного тока. Иваново, 2008.
2. *Герман-Галкин С.Г.*: MATLAB & SIMULINK. Проектирование мехатронных систем на ПК. Учебное пособие для вузов. Санкт-Петербург. Корона-Век. 2008 г.
3. *Шрейнер, Р.Т.* Координатная стратегия управления непосредственными преобразователями частоты с ШИМ для электроприводов переменного тока. Электротехника. – 2003. – №6. – С. 39–47.
4. *Шрейнер Р.Т., Ефимов А.А.* Активный фильтр как новый элемент энергосберегающих систем электропривода// Электричество. 2000. № 3. – С. 46 - 54.
5. *Шрейнер Р.Т., Ефимов А.А., Зиновьев Г.С.* Векторная система регулирования активного выпрямителя напряжения//Электротехнические системы и комплексы: Межвузовский сборник научных трудов. Вып. 6 / Под ред. А.С. Сарварова, К.Э. Одинцова. - Магнитогорск МГТУ, 2001 г. С. 157–162.

УДК 659.152.1

ВЫСТАВОЧНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ – ВАЖНЕЙШИЙ ИНСТРУМЕНТ МАРКЕТИНГОВОЙ ПОЛИТИКИ ОБОРОННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Е.В. Шишко

ОАО «Конструкторское бюро специального машиностроения»
(ОАО «КБСМ»)

Процесс формирования перечней международных выставок ВВТ, на которых Россия размещает экспозиции, весьма гибкий и динамичный. Отечественные компании используют этот инструмент маркетинга более 15 лет, причем участие в выставках является дорогостоящим мероприятием, занимающим до 80% годового маркетингового бюджета отечественных производителей ВВТ. Участие России в зарубежных выставках дает возможность целевого оперативного доведения до сведения конкретного заказчика информации о потенциале наших предприятий в создании востребованных в той или иной стране или регионе продукции и услуг военного назначения.

Введение. Выставка - одна из наиболее эффективных форм представления и продвижения новых достижений в социальной, экономической, научной и управленческой деятельности государств, регионов и предприятий.

Наметившиеся к настоящему времени тенденции повышения уровня требований заказчиков к поставляемой продукции, уменьшения емкости мирового рынка оружия, увеличения числа экспортеров—производителей, а также постепенного развития странами третьего мира собственных военно-технологических комплексов привели к ожесточенной международной борьбе за потенциальные рынки сбыта с использованием максимально возможного инструментария для продвижения собственной продукции. Одним из таких инструментов является международная выставочная деятельность, получившая широкое распространение среди многочисленного круга производителей различных вооружений и военной техники (ВВТ) [14;15].

Торговля оружием и военно-техническое сотрудничество стали в наше время признаком уровня развития страны и ее влияния в мире. Торговля вооружением - это одновременно и восстановление влияния России в различных регионах, в том числе в таких важных, как Ближний и Средний Восток, Африка. С помощью торговли Россия ведет продвижение и закрепление отечественного оружия на новых перспективных рынках в странах Юго-Восточной Азии, Тихоокеанского региона, Латинской Америки. Для российских оборонных предприятий торговля вооружением стала весомым инструментом получения инвестиций в разработку новейших образцов вооружений, а также весомым вкладом в перевооружение нашей собственной армии [1].

Существует более 30 выставок ВВТ в мире, однако отечественные участники международных выставок в силу ограниченности бюджета, в том числе маркетингового, способны осуществить ежегодное экспонирование менее чем на 25 % из них. Отечественные компании используют этот инструмент маркетинга более 15 лет, причем участие в выставках является дорогостоящим мероприятием, занимающим до 80% годового маркетингового бюджета отечественных производителей ВВТ [2].

Анализ особенностей экспонирования ВВТ отечественных и зарубежных производителей. Существуют определенные требования к условиям допуска продукции военного назначения на Международных выставках продукции военного назначения на территории Российской Федерации и за ее пределами. Участники выставок обязаны соблюдать требования Положения о проведении международных выставок образцов продукции военного назначения на территории иностранных государств, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 2 июня 2007 г. № 339. Ежегодно Федеральной службой по военно-техническому надзору формируется перечень выставок, проводимых на территориях иностранных государств, на которых разрешается организация российской экспозиции продукции военного назначения [8].

Роль выставочной деятельности в продвижении ВВТ отечественных производителей. До середины 20 века торговля оружием не носила глобального масштаба и не регулировалась нормами международного права. После первой и второй мировых войн возникла необходимость формирования международных институтов безопасности, таких как Организация Объединенных Наций (ООН) и Международное агентство по атомной энергии (МАГАТЭ), регулирующих использование и передачу указанных военных технологий в рамках международного правового надзора. А торговля оружием приобрела статус исключительной компетенции государств, а не частных компаний [3].

В 1953 году в Советском Союзе было образовано Главное инженерное управление Министерства внешней торговли - первый государственный посредник по экспорту вооружений и военной техники. Подобные организации появлялись по всему миру среди развитых стран, претендующих на лидирующие позиции на мировой политической арене [4].

В период охлаждения международных отношений торговля оружием носила больше политический, нежели коммерческий характер, поскольку противоборствующие государственные режимы стремились расширить свое влияние на мировой политической арене. Поэтому многие страны, не имеющие возможности производить самостоятельно или покупать оружие, получали его бесплатно взамен на поддержание того или иного политического строя [5]. Однако, с окончанием холодной войны, бурным развитием экономик развивающихся стран и наступлением оттепели в международных отношениях военно-техническое сотрудничество начало принимать прагматический оттенок, и коммерческая составляющая стала преобладать [6;7]. Торговля оружием плавно перешла в качественно новую форму международных отношений и стала называться военно-техническим сотрудничеством. Военно-техническое сотрудничество — это деятельность в области международных отношений, связанная с вывозом и ввозом, в том числе с поставкой или закупкой, а также с разработкой и производством продукции военного назначения. Одним из инструментов продвижения продукции ВВТ является международная выставочная деятельность, получившая широкое распространение среди многочисленного круга производителей.

Количество зарубежных выставок ВВТ, в которых принимает участие Россия, за десятилетие возросло в полтора раза - с 12 в 2000 году до 18 в 2010 году и в 2011 году планируется 20 выставок. Участие России в зарубежных выставках дает возможность целевого оперативного доведения до сведения конкретного заказчика информации о потенциале наших предприятий в создании востребованных в той или иной стране или регионе продукции и услуг военного назначения. Это важно, особенно в настоящее время - в условиях резкого обострения конкуренции на рынке вооружений, преобладания предложений над спросом. Учитывая это, ФСВТС России уделяет этому направлению самое серьезное внимание. В течение прошедшего десятилетия Службой совместно с заинтересо-

ванными федеральными органами исполнительной власти - ФГУП "Рособоронэкспорт", Государственной корпорацией "Ростехнологии" и другими субъектами ВТС с учетом имеющихся политических и экономических интересов государства велся активный процесс определения оптимального перечня международных выставок, проводимых в иностранных государствах, в которых Россия должна принимать участие. Одновременно с этим определялась расстановка приоритетов по тематической направленности международных выставок [12].

Сегодня планируется участие России в выставках, проводимых во всех регионах мира, с государствами которых установлено военно-техническое сотрудничество, - в Европе, Ближне-Восточном, Азиатско-Тихоокеанском регионах, странах Латинской Америки, Африки, а также на пространстве СНГ. На момент утверждения перечня выставок обычно учитываются все пожелания отечественных организаций. При этом ежегодно от иностранных партнеров и российских компаний поступают предложения по участию в выставочных мероприятиях, которые не были запланированы на этапе формирования соответствующих перечней. Некоторые предложения принимаются, от других приходится отказываться, иначе обеспечить эффективное участие просто невозможно из-за большой плотности проведения выставок.

В последние годы приняты решения об организации российских экспозиций на двух международных выставках в Европе - оборонных систем "ДСЕИ" в Лондоне и обороны и безопасности в Гамбурге, на двух выставках в Ближне-Восточном регионе - военно-морской выставке "ДИМДЕКС" в Катаре и вооружения и военной техники "БРАЙДЕКС" в Брунее. Расширилось российское участие в выставках в странах Латинской Америки - это выставки военно-морской и сухопутной тематик в Венесуэле и оборонная выставка "СИНПРОДЕ" в Аргентине. В Африканском регионе, помимо традиционного участия в выставке "АФРИКА АЭРОСПЕЙС ЭНД ДЕФЕНС" в Южно-Африканской Республике, которую посещают представители военно-политического руководства практически всех стран региона. Также в последние годы российские организации принимают участие в выставке "IDEX" в ОАЭ, Абу-Даби, одной из наиболее представительных международных выставок вооружений и технологий безопасности.

Увеличилось количество выставочных мероприятий, где размещаются российские экспозиции, и в государствах - участниках СНГ. Наряду с выставками в Белоруссии (МИЛЕКС) и Украине (АВИАСВИТ), недавно в Казахстане (г. Астана) впервые проведена выставка вооружения и военного имущества "КАДЕКС", в которой также приняли участие российские производители ВВТ [9].

Таким образом, процесс формирования перечней международных выставок, на которых Россия размещает экспозиции, весьма гибкий и динамичный. При утверждении таких перечней ФСВТС России проводится всесторонняя оценка целесообразности участия России в выставках, включаемых в него, исходя из состояния и перспектив развития ВТС и с учетом экономических и политических интересов России в различных регионах мира.

Маркетинговые функции выставочной деятельности. В процессе подготовки к выставке большое количество времени необходимо уделить созданию концепции выставочного стенда. Чтобы выставка прошла успешно, важно правильно использовать ресурсы предоставляемого организаторами выставочного пространства.

Стандартный выставочный стенд, как правило, представляет собой «коробку», имеющую заднюю и две боковые стенки. Те предприятия и организации, которые часто принимают участие на выставках, предпочитают приобрести собственные выставочные конструкции, отличающиеся достаточной мобильностью и легкостью в эксплуатации. Каждый год экспозиция должна меняться и представлять собой что-то новое, так как постоянное участие на выставках предполагает, что экспонент развивается и с каждым годом привносит на рынок какие-то новые предложения, идеи, разработки, которые он представляет на выставке. В связи с этим, приняв решение об участии в той или иной выставке, нужно продумать, как будет использовано выставочное пространство: выставочный стенд должен быть удобным для просмотра экспозиции посетителями; отражать концепцию предприятия; должен побуждать интерес и производить впечатление; должен быть удобным для работы персонала. Исходя из этих основных пунктов необходимо и делать застройку [10].

Сами представленные экспонаты могут быть разноплановыми (продукция предприятия, фотографии, графические изображения). Часто используют аудио-видео материалы, где демонстрируется процесс производства или новые технологии. К сожалению, не всегда масштаб проводимой выставки или территория выставочного комплекса позволяют наглядно продемонстрировать тот или иной товар. Здесь на помощь приходят видеотехнологии. Современные плазменные панели и ЖК-мониторы позволили

сделать презентации на выставках более яркими и показательными. Большие функциональные возможности, высокое качество изображения, простота управления и оперативность монтажа делают их привлекательными как для организаторов, так и для участников выставок. Для большой аудитории на семинарах и круглых столах используют проекционное оборудование. В отличие от экранов, площадь, на которой демонстрируется изображение с проектора, может быть практически любой. Создание трехмерных объектов позволяет продемонстрировать макеты оборудования или деталей, рассмотреть их со всех сторон, обсудить сильные и слабые стороны. За видеотехнологиями и трехмерными визуальными объектами – будущее выставок. Их потенциал сегодня еще недостаточно раскрыт, хотя они уже и получили широкое распространение и должное признание [11].

Планирование участия и выбор выставок. Перед тем как принять решение об участии в выставке, необходимо ответить на следующие вопросы:

- Какое значение придается выставке в маркетинговой политике?
- Почему необходимо участвовать в этой выставке (цели)?

Чтобы определить, в каких выставках лучше участвовать, нужно ориентироваться на статистику прошлых лет: учитывать качественный и количественный состав участников и посетителей; их географию; число заключенных контрактов; отзывы участников и посетителей (информация предоставляется организаторами). Необходимо проанализировать рекламную политику организаторов. Необходимо обратить внимание на местоположение выставочных павильонов, их доступность для посещения и, конечно, регион. Поэтому вполне логичным действием при подготовке к выставке становится посещение интересующей выставки за год до участия и самостоятельный опрос ее экспонентов об эффективности их участия.

Дать гарантию того, что после возвращения с какой-либо выставки будет много подписанных договоров, никто не может. Если в рамках выставки проходят конгрессы, конференции, семинары и круглые столы нужной тематики, то это указывает на ее деловую направленность. В таком случае весьма важным становится выяснение у организаторов состава участников этих мероприятий и тщательная подготовка к встрече с ними, а также, выступление с докладом по интересной и волнующей всех участников отрасли теме. Наличие деловой программы почти наверняка привлечет на выставку руководителей и топ-менеджеров интересующихся фирм [13].

Каковы бы цели участия в выставке ни были, они должны удовлетворять следующим требованиям:

- должны быть сформулированы так, чтобы можно было оценить количественные и качественные характеристики ожидаемых результатов;
- должны быть измеримы;
- должны быть достижимы;
- должны быть реалистичны;
- должны иметь временные рамки и обязательно фиксировать конечную дату.

Чтобы быть эффективной, экспозиция должна пройти трехсекундный тест. Посетитель за три секунды должен иметь возможность: заметить стенд; выделить фирму по названию и логотипу; определить, в чем достоинства товаров и услуг для покупателя.

Существуют традиционные типы оформления стендов: междурядные стенды стандартные; угловые стенды стандартные; головные стенды стандартные; стенды эксклюзивного дизайна.

Для демонстрации продукции военного назначения часто используются образцы продукции, макеты, модели. Формируются экспозиции как на закрытой площади выставки, так и на открытой.

Оценка эффективности выставочной деятельности. Выставка является уникально многоплановым комплексным мероприятием, и однозначно оценить ее эффективность достаточно сложно. Так, легко оценить эффективность размещения конкретного рекламного модуля в конкретной газете, но очень трудно провести исследования по рекламной кампании в целом. Возможно, именно поэтому многие предприятия, даже регулярно участвующие в выставках, не пытаются проводить оценку эффективности.

Для оценки экономической эффективности выставки можно использовать комплексный коэффициент окупаемости инвестиций, который включает в себя следующие показатели:

- Затраты на установленные контакты: Объем инвестиций в выставку, деленный на общее число установленных контактов.
- Затраты на впечатление: Объем инвестиций в выставку, деленный на суммарное количество посетителей стенда (Это количество может быть рассчитано подсчетом количества людей, посе-

тивших презентацию, зарегистрировавшихся для конкурса и т.д., и может быть больше, чем вы оценивали).

➤ Процент перспективных контактов, приведших к покупке: Число продаж, деленное на общее количество установленных контактов

➤ Процент заинтересованных посетителей: Общее количество установленных контактов, деленное на общее количество посетителей выставки.

➤ Продажи на рубль затрат: Общий объем продаж (за определенный временной интервал), деленный на объем инвестиций в выставку (также может рассчитываться от запланированных продаж).

➤ Воздействие средств информации: Тираж публикаций, умноженный на средний коэффициент передачи (среднее число людей, видевших одну копию одного издания публикации, обычно принимается в среднем 1,5 – 2,5).

Возможно использование следующей упрощенной формулировки: если все задачи, которые предприятие поставило перед участием в выставке, были решены, - считать участие эффективным. Такой вариант требует от фирмы-экспонента только наличия списка задач. Список задач необходим в любом случае, ведь на его основе формируется выставочная политика предприятия и концепция участия в конкретной выставке.

Оценка окупаемости инвестиций и процента решенных задач позволяет четко определить, была ли выставка успешной и внести коррективы в выставочную политику вашего предприятия. Но, как правило, существуют дополнительные факторы, влияющие на эффективность участия в выставке, и их тоже необходимо учесть. Чем больше количество параметров оценки, тем она достовернее и удобнее для использования в дальнейшем.

Если результаты участия в выставке превзошли все ожидания, – доскональный анализ не повредит. Выставочный бизнес во всем мире, и особенно в России, стремительно развивается, поэтому даже предприятию–лидеру необходимо постоянно совершенствоваться.

Дополнительные параметры оценки выставки:

- Анализ выставочного бюджета.
- Анализ рекламной кампании.
- Анализ экспозиции и работы во время выставки.
- Анализ работы конкурентов.
- Анализ отработки перспективных контактов
- Анализ технологической цепочки в целом.
- Анализ выставки в целом и ситуации на рынке.

Структура и расчет затрат, формирование портфелей выставок для отечественных производителей военной техники. Процесс подготовки и участия в выставке можно условно разделить на две составляющие: техническую и творческую, а также на три основных периода: подготовительный, выставка и послевыставочный.

Однако есть еще один период — это «Период принятия решения». Это то рабочее время, которое затрачивается не на выполнение специализированных задач, а на понимание, зачем необходимо участие в выставке, в какой выставке участвовать, когда, где, как и т.п. Это период, когда происходит сбор фактов и доказательств к фактам.

Выбор выставочного мероприятия и определение предварительного маркетингового бюджета - этап наиболее трудоемкий и здесь допускаются многие ошибки, которые в дальнейшем очень тяжело исправить, а порой и невозможно.

Что необходимо выполнить:

➤ подготовить общий список всех выставочных мероприятий, которые так или иначе близки к теме бизнеса;

➤ составить портреты организаторов данных мероприятий (их реализованные проекты, успешные и не очень, вероятные причины неудач, наличие дипломов, грамот, и т.п.);

➤ подготовить портрет самих выставок по выборке (где, когда, какие мероприятия проводились и какие будут, анонсируются ли выставки в СМИ, увеличиваются ли площади и есть ли прирост количества экспонентов, и т.п.);

➤ подготовить перечень предполагаемых мероприятий и работ до и на выставке;

➤ провести предварительный ценовой мониторинг стоимости предполагаемых мероприятий и работ;

- построить предварительный план-бюджет.

Заключение

На протяжении последних 10 лет ОАО «КБСМ» уделяет большое внимание развитию выставочной деятельности. Сложилась система участия ОАО «КБСМ» в международных зарубежных выставках, международных выставках, проходящих в Москве и Санкт-Петербурге. Идет постоянное совершенствование экспозиции ОАО «КБСМ» (обновляются планшеты, рекламные листовки, используются ноутбуки, проекторы). Активно расширяется база макетов. Только за 2009 - 2010 годы было изготовлено 9 макетов, многие из которых демонстрировались на выставках. В ходе выставок специалисты КБСМ принимают активное участие в конференциях, презентациях, биржах субконтрактов. В дальнейшем эту программу планируется развивать.

Библиографический список

1. *Сергей Птичкин.* "Российская газета". Федеральный выпуск №4667, 23 мая 2008, С.;
2. Экспорт вооружений в мире: Справочник / Совет по внеш. политике Комитета Государственной думы по международным делам с участием МИД РФ, журн. «Коринф» Минэкономразвития РФ; Гл. ред. Г.Вачнадзе. — М.: Бизнес-Пресс, 2002. - 140 с.;
3. *Козлов В.К., Уваров А., Яковлева Н.В. и др.* Коммерческая деятельность предприятия: стратегия, организация, управление. - СПб.: Политехника, 2000. – с.328;
4. *Семенцова Т.* Современные технологии выставочного маркетинга // Вопросы экономики, 2001, №3. – с. 145-147;
5. *Белорусов А.С., Орлюк А.Ф.* Военно-техническое сотрудничество России с иностранными государствами на современном этапе // Внешнеэкономический бюллетень, 2001, №2. - с . 16-21;
6. *Ляценок В.П.* Маркетинг в сфере торговли оружием. — М.: Воениздат, 2004.-191 с.;
7. *Чемезов С.В.* Наша основная задача - завоевать рынки // Независимое военное обозрение, 2001, №4. — с. 2-3.;
8. Федеральный закон Российской Федерации «О военно-техническом сотрудничестве Российской Федерации с иностранными государствами» от 19 июля 1998 г. № 114-ФЗ.;
9. По материалам сайта www.vpk.name;
10. *Павлов К.А.* Международные ярмарки и выставки. М., 2005, с. 12-13;
11. *Шадрин А.* Трансформация экономических и социально – политических институтов в условиях перехода к информационному обществу // Информационное общество. 1999, Вып.2, – с.12-14.;
12. Материалы сайта АРМС-ТАСС (входит в холдинг Информационного телеграфного агентства России ИТАР-ТАСС). www.arms-tass.su;
13. *Баринов С.Б.* Выставочная деятельность как способ позиционирования на рынке. С. 2008. www.marketing.spb.ru;
14. *Архипов А.В., Моисеенко Ф., Титушкин С.И.* Военное кораблестроение – на втором военно-морском салоне 2005 года // Морская радио электроника, 2005, №3(13);
15. Выставки в России и зарубежом 2003-2004: Справочник –М: Экспомир 2003. – 312.

УДК 331.108

ДЕЗАДАПТАЦИЯ – ЗАКОНОМЕРНАЯ РЕАКЦИЯ НА ОШИБКИ АДАПТАЦИИ МОЛОДОГО СПЕЦИАЛИСТА

Ю.С. Зорина

ОАО «Конструкторское бюро специального машиностроения»
(ОАО «КБСМ»)

Поступая на работу, молодой специалист активно включается в систему профессиональных и социально-психологических отношений, усваивает новые для него социальные роли, ценности, нормы, соотносит свою позицию с целями и задачами трудового коллектива, таким образом, подчиняя свое поведение служебным предписаниям данного предприятия.

Чаще всего при поступлении на работу человек уже имеет определенные цели и ценностные ориентации поведения, в соответствии с ними формирует свои требования к организации труда данного предприятия. В свою очередь предприятие, исходя из своих целей и задач, тоже предъявляет свои требования к работнику, к его трудовому поведению. Реализуя свои требования, работник и предприятие взаимодействуют и приспосабливаются друг к другу, в результате чего и осуществляется процесс адаптации.

В самом общем виде адаптация это процесс приспособления работника к условиям внешней и внутренней среды. Как правило, выделяют социальную и производственную адаптацию. В определенной мере эти виды адаптации пересекаются друг с другом, но каждая из них имеет и самостоятельные сферы приложения: социальная деятельность не замыкается на производстве, а производственная включает технические, социальные и иные аспекты.

Наряду с различными формами адаптации существует явление дезадаптации - процесс, приводящий к нарушению взаимодействия личности со средой, а так же к усугублению проблемной ситуации, которое может сопровождаться как межличностными, так и внутриличностными конфликтами.

Особенно часто это происходит в период эмоциональных кризисов, связанных, например, с длительным поиском работы, поступлением на работу - человек переживает состояние повышенного психического напряжения, так как новая социальная ситуация развития предъявляет новые требования к уровню его психологической зрелости. Однако подобное напряжение далеко не всегда приводит к дезадаптации.

Дезадаптация может возникнуть вследствие непродолжительных и сильных воздействий среды на человека или под влиянием менее значительных, но продолжительных воздействий, и может проявляться в различных нарушениях деятельности: в снижении производительности труда и его качества, в нарушениях дисциплины труда, в повышении аварийности и травматизма.

Причинами возникновения состояния дезадаптации могут стать:

1) неблагоприятное включение в новую социальную ситуацию или нарушение сложившихся взаимоотношений в группе;

2) пережитый психосоциальный стресс, связанный с профессиональными проблемами, хроническими заболеваниями и др.;

3) пережитые экстремальные ситуации: травматические, в которых человек участвовал непосредственно как свидетель, тяжелые травмы и страдания других людей (или свои собственные), вызывающие посттравматическое стрессовое расстройство.

Критериями дезадаптации могут служить как различные нарушения в профессиональной деятельности и в межличностной сфере, так и реакции, выходящие за пределы нормы и ожидаемых реакций на стресс (тревожность, депрессия, агрессия и др.).

По продолжительности влияния на личность принято различать временную, устойчивую ситуативную и общую устойчивую дезадаптацию личности. *Временная* дезадаптация связана с включением в новую ситуацию, в которой необходимо адаптироваться (поступление на работу, рождение ребенка и др.). *Устойчивая ситуативная* связана с невозможностью найти подходящие способы адаптации в специфических условиях при решении проблем (в сфере профессиональной деятельности, в семейных отношениях и др.). *Общая устойчивая* дезадаптация - это состояние стабильной невозможности личности приспособиться к сложившейся ситуации, которое активизирует защитные механизмы.

Основой дезадаптированного поведения может стать внутренний конфликт, под влиянием которого со временем формируется неадекватная форма реагирования на условия среды в виде отклонений в поведении. Это реакция на постоянно провоцирующие факторы, с которыми человек не может справиться.

Состояние дезадаптации нередко может сопровождаться отклонениями в поведении личности, в этом случае возникают конфликты, не имеющие явной причины, неадекватные реакции, отказ от выполнения распоряжений, по отношению к которым ранее не возникало противостояния.

Таким образом, в адаптационный период следует принимать меры к недопущению моментов, способных привести к социальной (психологической) дезадаптации молодого специалиста, например, таких как:

- *испуг*: неизвестно, что делать и как себя вести;
- *недоумение*: все позитивные представления, связанные с предприятием, рушатся;

- *возмущение*: появляется склонность негодовать по пустякам;
- *нарушение режима работы*: предпринимается любое нарушение распорядка;
- *лень*: индифферентность и апатия становятся каждодневными;
- *отсутствие диалога с руководителем*, делающее проблемы неразрешимыми;
- *отсутствие доверия к себе*, которое молодой специалист усматривает в действиях руководителя;
- *отсутствие коллективной цели*, в результате чего молодой специалист не чувствует свой труд достаточно мотивированным;
- *отсутствие участия*: молодой специалист все меньше отождествляет себя с коллективом;
- *отсутствие цели*: молодой специалист осознает, что предприятие не предоставляет ему никаких возможностей для развития;
- *пассивное принятие*: подчинение любому распоряжению;
- *притязание*: склонность присоединяться к коллективным протестам и др.;
- *псевдоответственность*: утрачивается всякий авторитет руководителя;
- *уныние*: ощущение, что нет необходимости проявлять себя.

Имеется ряд поведенческих признаков, по которым можно определить, в каком направлении движется молодой специалист – к адаптации или дезадаптации. Таблица, приведенная ниже, поможет разобраться и отреагировать на ситуацию и помочь специалисту включиться в работу. В ней приведены четыре основных признака, на практике же их намного больше, но практически все могут быть отнесены к одной из трех групп: «Не хочу», «Не могу», «Не умею». Наиболее позитивная – «Не умею», потому что в данном случае понятно, как быть дальше, а именно, – обучать. «Не хочу» и «Не могу» – более сложные проблемы и требуют детального выяснения вызвавших их причин.

Под социальной дезадаптацией принято понимать процесс нарушения равновесия между личностью и средой в силу действия тех или иных причин.

В отличие от социальной, профессиональная дезадаптация определяется как следствие нарушения динамического равновесия между человеком и его профессиональной средой и может возникнуть при любом изменении среды, например, при изменении условий труда или при смене руководителя (см. Таблицу 1).

В последние годы не только за рубежом, но и в нашей стране все чаще акцентируется внимание на различных формах проявления социальной и профессиональной дезадаптации – агрессивное поведение, эмоциональное выгорание и т.п.

Менеджеру по персоналу нередко требуется оценить уровни социальной и профессиональной дезадаптации. Для этого можно использовать опросник «Профессиональная дезадаптация», разработанный О.Н. Родиной и адаптированный для широкого применения М.А. Дмитриевой, методики: «Уровень соотношения ценности и доступности в различных жизненных сферах» Е.Б. Фанталова, «Методика диагностики уровня эмоционального выгорания» В.В. Бойко.

Негативные результаты адаптации молодого специалиста отражаются на показателях работы всей организации в виде потерь рабочего времени, дополнительных издержек, связанных с переквалификацией и др. Но грамотно выстроенная процедура адаптации поможет избежать ошибок.

Библиографический список

1. Отклоняющееся поведение молодежи: Крат. словарь-справочник / Владимир. гос. пед. ун-т [Авт.-сост. Б. А. Ермолаев и др.]; Под общ. ред. В. А. Попова, С. А. Завражина, 141 с. 20 см, Владимир Ред.-изд. отд. 1994
2. Практикум по психологии профессиональной деятельности и менеджмента: Учеб. Пособие, 2-е изд./ Под ред. Г.С. Никифорова, М.А. Дмитриевой, В.М. Снеткова. – СПб.: Из-во С.-Петербургского университета, 2001
3. *Тощенко Ж.Т.* Социология. Общий курс. – 2-е изд., доп. и перераб. – М.: Прометей: Юрайт-М, 2001. – 511 с.
4. *Машко Е.В., Айсина Р.М.* Психологические предпосылки формирования профессиональной дезадаптации.
<http://www.hrm.ru/psikhologicheskie-predposylki-formirovaniya-professionalnoj-dezadaptacii>
5. www.magazin4hr.ru/product/26518/?view=printable

Таблица 1. – Поведенческие признаки дезадаптации.

Поведенческий признак	Вероятность адаптации/ дезадаптации			
	По факторам			Мониторинг результата
	«Самооценка и ожидания»	«Профессиональные и личностные возможности»	«Реальности рабочей сферы»	
«Боюсь, что не справлюсь»	<i>Частичная дезадаптация.</i> (Вероятно, сказывается умеренный уровень требований работника; велика вероятность его заниженной самооценки)	<i>Частичная дезадаптация.</i> (Работник может оценивать свои возможности как недостаточные для выполнения новых обязанностей)	<i>Адаптация</i>	<i>Высока вероятность адаптации</i> при организации дополнительного обучения. <i>Высока вероятность дезадаптации</i> , если до перевода на новую должность не была проведена оценка потенциала работника, и его опасения имеют реальную основу
Открытое выражение недовольства новыми обязанностями: «Это не мое, мне не нравится эта работа»	<i>Адаптация.</i> (Относительно благополучный признак, если за словами «не нравится» не стоит недовольство статусом должности или иные мотивы)	<i>Дезадаптация.</i> (Не видит привлекательности в работе, а значит не происходит отождествления с должностью по профессиональным или личностным причинам)	<i>Адаптация.</i> (В ходе общения с работником необходимо выяснить, устраивает ли его подразделение и складываются ли отношения с коллегами. При отсутствии отрицательных эмоций можно считать, что адаптация идет успешно)	<i>Высока вероятность дезадаптации</i> , если не произойдет идентификации с должностью. Возможно, до назначения не был оценен личностный и мотивационный профиль работника: не учтены его ведущие потребности и мотивы, как личностные, так и профессиональные
«Хочу назад, взаимоотношения в этом отделе меня не устраивают, не хочу здесь работать»	<i>Адаптация</i> , при условии, что нет скрытых мотивов и явных сложностей	<i>Адаптация</i> , при условии, что нет скрытых причин и мотивов	<i>Явная дезадаптация</i> , связанная с подразделением и его рабочей атмосферой. (Возможно, что атмосфера вполне рабочая, но не соответствует стереотипам работника)	<i>Адаптация вероятна</i> при вмешательстве непосредственного руководителя и специалиста службы управления персоналом. <i>Дезадаптация вероятна</i> , при условии, что работник не сможет принять стандарты взаимодействия и коммуникации, установившиеся в коллективе
«На прежней должности все было понятно, а здесь не ясно, чем заниматься»	<i>Адаптация</i> , при условии, что за «не понимаю» не скрывается недовольство новым статусом или иные неявные мотивы	<i>Дезадаптация.</i> (Работник проявляет непонимание структуры работы, не готов выполнять свои обязанности профессионально и качественно)	<i>Вероятность адаптации 50%.</i> (Дезадаптация возможна, при условии, что коллектив не принимает участия в работе коллеги или предшественник не передал дела по всем правилам)	<i>Высока вероятность адаптации</i> , при условии, что будет проведено качественное обучение. Требуется вмешательство непосредственного руководителя и специалиста службы управления персоналом для организации программы адаптации и контроля ее реализации

УДК 62-713

БЛОК СИСТЕМЫ ЖИДКОСТНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ

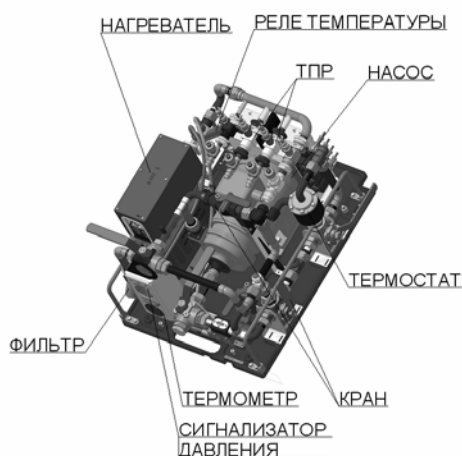
А.Н Албутов, К.А. Арустамова

ОАО «Главное системное конструкторское бюро концерна ПВО «Алмаз-Антей»
имени академика А.А. Расплетина»
(ОАО «ГСКБ «Алмаз-Антей»)

(Тезисы доклада)

В современных передающих устройствах высокой мощности одним из важных элементов является система жидкостного охлаждения (СЖО), которая обеспечивает надежную и продолжительную работу всего комплекса. Наибольшее распространение получили системы жидкостного охлаждения с вынужденной конвекцией жидкости. Такие системы обеспечивают высокую эффективность отвода тепла по сравнению с другими способами охлаждения. Примером такой системы является блок СЖО радиоэлектронной аппаратуры, в состав которого входят:

- насос ЭЦНГ 90-90-Н-2 электроприводной, центробежный, герметичный из нержавеющей стали, с магнитной муфтой;
- нагреватель;
- турбинные преобразователи расхода (ТПР);
- аварийный датчик (реле температуры);
- термометр универсальный электрический;
- сигнализатор давления с манометром;
- фильтр;
- термостат;
- краны;
- система трубопроводов.



В качестве охлаждающей жидкости используются низкозамерзающая жидкость марки Тосол А-65М.

Управление блоком СЖО осуществляется в двух режимах:

- местное управление;
- дистанционное управление.

В местном режиме управления с помощью переключения кранов изменяют направление движения жидкости в СЖО, что позволяет использовать нереверсивный центробежный насос для заполнения гидротракта СЖО жидкостью и слива из него при техническом обслуживании и ремонте. При этом блок СЖО работает в трех функциональных режимах:

- ЗАЛИВ (только в местном управлении);
- РАБОТА (как в местном, так и в дистанционном управлении);
- СЛИВ (только в местном управлении).

Блок СЖО имеет ряд качественных преимуществ по сравнению со своими аналогами:

- применение современных материалов и стандартизированных элементов (медные трубы, фитинги, краны отечественного производства), позволяющих уменьшить стоимость и трудоемкость производства;

- применение многоразовых соединений между элементами блока, позволяющих производить удобный демонтаж отдельных элементов или частей. В предыдущей системе элементы были жестко соединены через фланцы с одноразовыми паронитовыми прокладками;
 - использование турбинных преобразователей расхода (ТПР) отечественного производства, которые имеют унифицированную и более технологичную конструкцию по сравнению с ДРх (датчики расхода - роторно-шариковые расходомеры) и ротаметрами;
 - применение новой гидравлической схемы работы блока СЖО, в которой отсутствует реверс потока при заливе и сливе СЖО. В предыдущих системах фильтр для очистки жидкости функционировал не полностью (при реверсе потока жидкости в гидротракт попадали частицы, задержанные фильтром);
 - введена система аварийного слива системы, позволяющая в случае выхода из строя насоса слить основную часть жидкости из СЖО в отдельную емкость без демонтажа гидротракта.
- В настоящее время блоки различных модификаций СЖО успешно эксплуатируются в современных комплексах ПВО.

УДК 533.6.011

РАСЧЕТ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ВЫХОДЕ ИЗДЕЛИЯ ИЗ ПУСКОВОГО УСТРОЙСТВА

А.В. Шусев

ОАО «Конструкторское бюро специального машиностроения»
(ОАО «КБСМ»)

Предлагается методика расчета нестационарных газодинамических процессов на основе численного интегрирования уравнений Эйлера.

Введение. При выходе изделия из пускового устройства в период раскупорки контейнера возникает нестационарный газодинамический процесс, подвергающий нагрузкам боковую поверхность изделия и элементы конструкции пускового оборудования.

Экспериментальные работы, проведенные в ОАО «КБСМ» показали, что нагружение изделия и элементов конструкции пускового устройства является многофакторным нестационарным процессом, зависящим от энергетических и геометрических характеристик. Вследствие многообразия вариантов отсутствуют обобщенные и систематизированные данные по влиянию отдельных параметров на уровень и характер изменения нагрузок. Тем не менее, в ходе анализа экспериментальных материалов установлено, что определяющую роль на уровень нестационарных нагрузок на изделие и пусковое оборудование играет давление в контейнере в момент его раскупорки. Увеличение этого параметра ведет к общему повышению давления на элементах конструкции на всем периоде нестационарного процесса. Важным фактором также является скорость выхода изделия, температура газов в контейнере, конфигурация хвостовой части изделия.

Методика расчета нестационарных газодинамических процессов базируется на численном интегрировании методом контрольного объема уравнений Эйлера в осесимметричной постановке [1-3]:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \rho}{\partial t} + \operatorname{div}(\rho \vec{w}) &= 0, \quad \frac{\partial \rho Y}{\partial t} + \operatorname{div}(\rho \vec{w} Y) = 0, \\ \frac{\partial \rho u}{\partial t} + \operatorname{div}(\rho \vec{w} u) + \frac{\partial p}{\partial x} &= 0, \quad \frac{\partial \rho v}{\partial t} + \operatorname{div}(\rho \vec{w} v) + \frac{\partial p}{\partial y} = 0, \\ \frac{\partial \rho E}{\partial t} + \operatorname{div}(\rho \vec{w} E) + \operatorname{div}(p \vec{w}) &= 0, \end{aligned}$$

где ρ – плотность, Y – массовая концентрация газа, \vec{W} – вектор скорости потока, u, v – компоненты вектора скорости, p – давление, E – удельная полная энергия среды.

Система замыкается уравнением состояния смеси газов

$$P = \rho RT$$

и уравнениями для вычисления свойств смеси

$$Cp = YCp_g + (1 - Y)Cp_v, \quad \gamma = (YCp_g + (1 - Y)Cp_v) / (Ycv_g + (1 - Y)cv_v),$$

где Cp_g – теплоемкость газа, Cp_v – теплоемкость воздуха, γ – показатель адиабаты смеси газов.

Реализация метода контрольного объема включает следующие основные этапы:

1. Разбиение расчетной области на отдельные контрольные объемы, выполняется путем генерации сетки в заданной расчетной области.

2. Интегрирование уравнений сохранения по каждому контрольному объему для получения алгебраических уравнений с дискретными зависимыми переменными, такими как скорость, давление, температура и другими скалярными характеристиками.

3. Решение системы алгебраических уравнений для получения текущих значений зависимых переменных.

В рамках метода контрольного объема осуществляется преобразование уравнений к алгебраической форме для их численного решения. В результате получают дискретизованные уравнения, которые описывают сохранение каждой характеристики внутри контрольного объема.

Конфигурация области для расчета газодинамических параметров при выходе изделия из контейнера представлена на рис. 1.

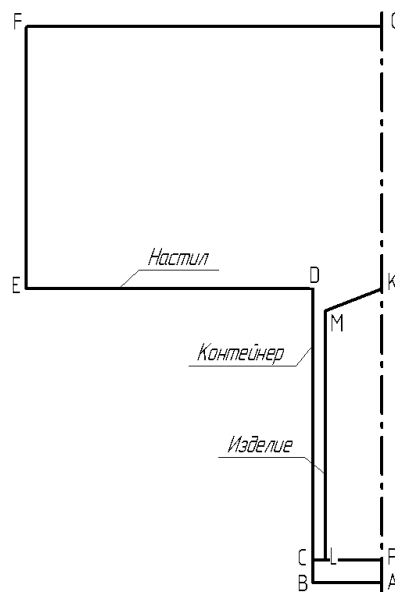


Рис. 1. Схема расчетной области.

Расчет нестационарных газодинамических процессов при выходе изделия из контейнера разделен на два этапа:

1. Расчет газодинамических параметров потока при движении изделия внутри контейнера. На этом этапе область ниже линии CP не рассчитывается.

2. Расчет газодинамических параметров потока при раскупорке контейнера. На этом этапе область ниже линии CP участвует в расчете, начальные газодинамические параметры в этой области задаются соответствующие состоянию горячего газа продуктов сгорания в момент раскупорки контейнера.

Граничные условия ставятся на внешних границах расчетного поля, а также на поверхности изделия, контейнера, настила. На внешней границе EFG расчетного поля задается «мягкое» условие. Под «мягким» условием принимается условие равенства искомых функции на внешних границах граничных ячеек расчетного поля их значениям внутри ячеек. На линиях ED (настил), ABD (поверхность контейнера), GA (ось), KMLP (поверхность изделия) ставиться условие непротекания. На линии CL на первом этапе расчета задается расход газа, на втором этапе расчета линия CL является внутренней поверхностью.

В качестве расчетных исходных данных задачи принимались параметры движения изделия внутри контейнера, давление и температура в задонном объеме, геометрические характеристики контейнера и изделия. Расход газа из задонного объема вычислялся по уравнению Сен-Венана.

В результате численного решения задачи определяются поля газодинамических параметров и производные данные газодинамического расчета, а именно такие интегральные характеристики, как значения нагрузок на элементы конструкции и осредненные по поверхности значения параметров течения. На рис. 2 представлены распределения газодинамических параметров при раскупорке контейнера.

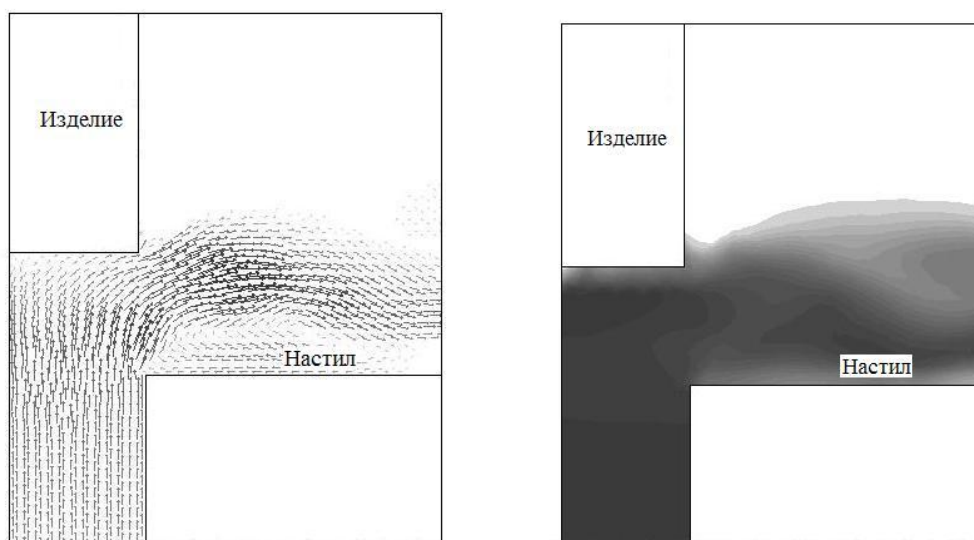


Рис. 2. Параметры потока при раскупорке контейнера, векторное поле скорости (слева), поле статической температуры (справа).

Заключение

В процессе анализа результатов расчета была верифицирована численная схема решения основных уравнений, отработана методика перестройки расчетной сетки, уточнены граничные условия.

Данная методика расчета применима для исследования нестационарных газодинамических процессов при выходе изделия из контейнера.

Библиографический список

1. Годунов С.К., Забродин А.В., Иванов М.Я., Крайко А.Н. Численное решение многомерных задач газовой динамики. М. Наука, 1976.
2. Емельянов В.Н. Введение в вычислительную газодинамику. СПб, БГТУ «Военмех», 2005.
3. Белоцерковский О.М., Давыдов Ю.М. Метод крупных частиц в газовой динамике. М. Наука, 1982.
4. Юдаев Б.Н. Техническая термодинамика. М.: Высшая школа, 1988.

**ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ТВЕРДОТОПЛИВНЫМИ
ДВИГАТЕЛЬНЫМИ УСТАНОВКАМИ ГЛУБОКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ СИЛЫ ТЯГИ
ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ И АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ УПРАВЛЯЕМЫХ
ГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ
ОТРАБОТКИ**

С.И. Миняев

ОАО «Корпорация «Московский институт теплотехники»
(ОАО «Корпорация «МИТ»)

Введение. Классический двигатель глубокого регулирования (ДГР) силы тяги состоит из камеры сгорания (КС), сопловых управляющих блоков (СУБ), рулевых машин (РМ), регулирующих площади критических сечений СУБ, блока датчиков давления в КС, системы стабилизации давления (ССД), осуществляющей управление ДГР. В процессе функционирования ДГР должен иметь несколько устойчивых стационарных режимов работы, различающихся уровнем давления в КС и, соответственно, тяги, а переходные процессы с одного режима на другой должны удовлетворять некоторой совокупности показателей качества. Кроме того, ДГР должен реализовывать реверс тяги каждого сопла СУБ.

Цели настоящей работы:

- теоретическое исследование ДГР как объекта управления;
- разработка методики построения алгоритмов ССД, обеспечивающих устойчивые газодинамические процессы в КС и требуемое качество ССД;
- подтверждение правильности идентификации модели газодинамических процессов в КС путем сравнения результатов моделирования с телеметрическими данными стендовых испытаний (СИ);
- использование данной модели газодинамики при анализе динамических свойств ДГР перспективных изделий (перспективных ЛА) путем моделирования управляемых внутрикамерных процессов совместно с пространственным движением по типовой траектории, обеспечивающей выполнение перспективным ЛА полетной задачи.

Методика построения алгоритмов ССД

Для построения алгоритмов ССД предлагается использовать ПИ-регулятор с переменными параметрами, для настройки его коэффициентов использовать метод построения областей устойчивости в пространстве его параметров. Для этого необходимо получить линеаризованную модель процессов в КС и линейную модель ССД.

Математическая модель газодинамических процессов в КС третьего порядка описывается следующей системой нелинейных обыкновенных дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} \dot{P}_k(t) = \frac{\chi_1 R_g T_p}{W(t)} (S(e(t)) U \gamma - A_1 P_k(t) \sigma_k(t)) \\ \dot{W}(t) = US(e(t)) \\ \dot{e}(t) = U \\ U = U(P_k) \end{cases}, \quad (1)$$

где χ_1 -коэффициент тепловых потерь в КС, R_g - газовая постоянная, T_p -температура продуктов сгорания, $W(t)$ -свободный объем КС, $S(e(t))$ -площадь горячей поверхности, U -скорость горения заряда твердого топлива, γ -удельный вес топлива, A_1 -коэффициент истечения, $P_k(t)$ -текущее давление в КС, $\sigma_k(t)$ -площадь критического сечения, $e(t)$ - т.н. свод заряда.

При линеаризации уравнений (1) к передаточной функции линеаризованной модели эффективно применим метод понижения порядка (с третьего до первого), поэтому целесообразно линеаризо-

вызвать не всю систему (1) в окрестности положения равновесия $(P_k^*, W^*, e^*, \sigma_k^*)$, а только первое уравнение в окрестности положения равновесия (P_k^*, σ_k^*) при фиксированных параметрах W и e .

Обозначим

$$F_1(P_k, \dot{P}_k, \sigma_k, U) = -\dot{P}_k + \frac{\chi_1 R_e T_p}{W} (S(e)U\gamma - A_1 P_k \sigma_k).$$

Тогда передаточная функция линеаризованной модели КС примет вид

$$W_{KC}(s) = \frac{k_{KC}}{T_{KC}s + 1},$$

где

$$T_{KC} = \frac{\left(\frac{\partial F_1}{\partial \dot{P}_k}\right)^*}{\left(\frac{\partial F_1}{\partial P_k}\right)^* + \left(\frac{\partial F_1}{\partial U}\right)^* \left(\frac{\partial U}{\partial P_k}\right)^*} = \frac{W}{\chi_1 R_e T_p \left(A_1 \sigma_k^* - S(e)\gamma \left(\frac{\partial U}{\partial P_k}\right)^* \right)},$$

$$k_{KC} = - \frac{\left(\frac{\partial F_1}{\partial \sigma_k}\right)^*}{\left(\frac{\partial F_1}{\partial P_k}\right)^* + \left(\frac{\partial F_1}{\partial U}\right)^* \left(\frac{\partial U}{\partial P_k}\right)^*} = - \frac{A_1 P_k^*}{A_1 \sigma_k^* - S(e)\gamma \left(\frac{\partial U}{\partial P_k}\right)^*}.$$

Тогда математически ССД с учетом дискретности работы БЦВМ, динамики привода, датчика давления и наличия звена чистого запаздывания в объекте можно описать структурной схемой [1], изображенной на рис. 1.

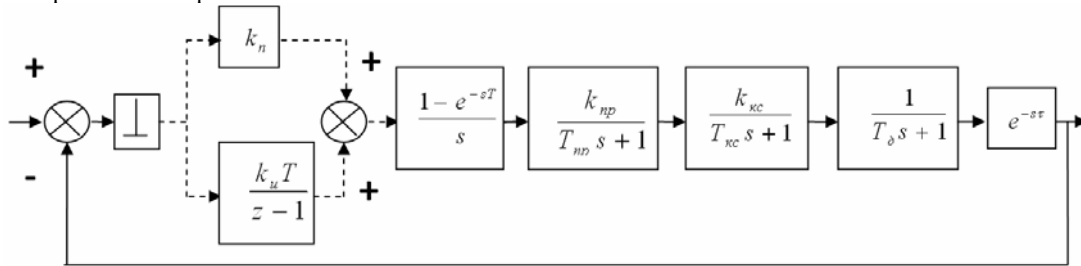


Рис. 1.

От данной схемы переходим к ее дискретной модели, дискретизуя передаточную функцию т.н. приведенной непрерывной части

$$W_n^*(z) = Z_T \{W_n(s)\} = Z_T \left\{ k_{np} k_{kc} \left(\frac{e^{-s\tau}}{s(T_{np}s + 1)(T_{kc}s + 1)(T_d s + 1)} - \frac{e^{-sT} e^{-s\tau}}{s(T_{np}s + 1)(T_{kc}s + 1)(T_d s + 1)} \right) \right\}.$$

Для полученной передаточной функции $W_n^*(z)$ и дискретного ПИ-регулятора строим области устойчивости с использованием метода D-разбиения.

$$R^*(z) = \frac{k_n z - k_n + k_u T}{z - 1}$$

Области устойчивости ССД для минимального и максимального свободного объема в КС (W_{\min} и W_{\max} соответственно) приведены на рисунках 2 и 3. Для каждого режима по давлению в КС (пониженного $P_{\text{по}}$, промежуточного $P_{\text{пр}}$ и маршевого $P_{\text{ма}}$) приведены области устойчивости ССД для трех режимов (пониженный, номинальный, повышенный) по скорости горения заряда твер-

дого топлива. Видно, что области устойчивости увеличиваются с увеличением свободного объема W , уменьшаются с увеличением стационарного уровня давления P_k^* и скорости горения заряда.

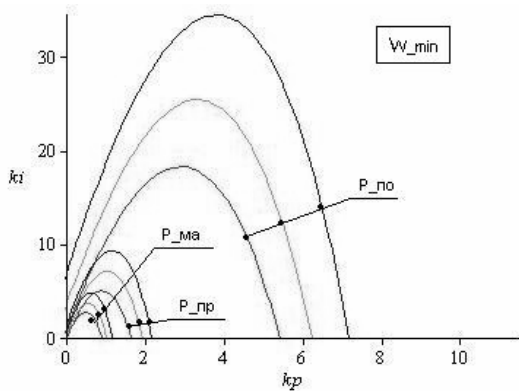


Рис. 2.

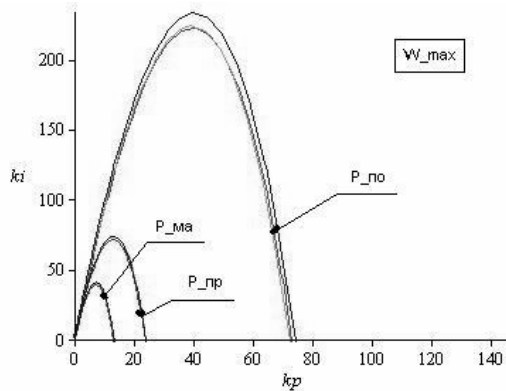


Рис. 3.

Зависимость областей устойчивости от периода дискретизации T и постоянной времени привода видна из анализа рисунков 4 и 5 соответственно.

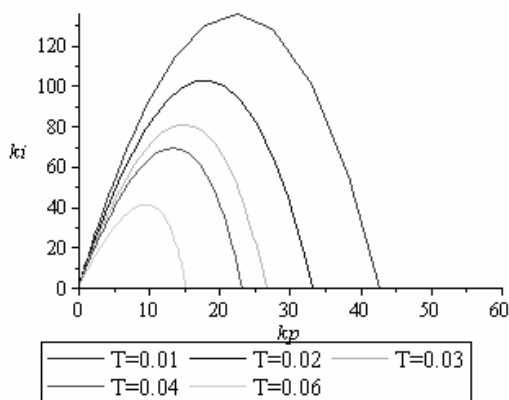


Рис. 4.

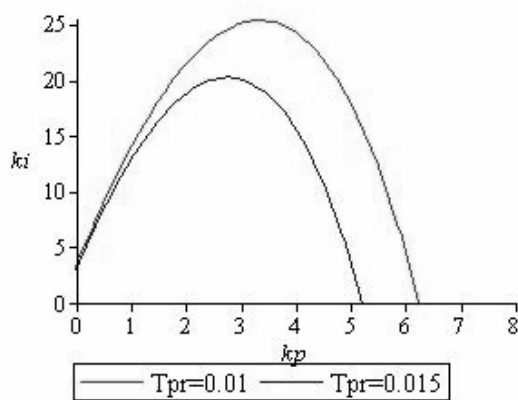


Рис. 5.

Подтверждение адекватности модели газодинамики ДГР

На основе анализа построенных областей устойчивости ССД ДГР предложен алгоритм стабилизации давления в КС. Проведено моделирование работы изделий и сравнение моделирования с результатами СИ – рисунки 6,7.

На основе сравнения переходных и стационарных процессов сделан вывод об адекватности модели (1) и работоспособности предложенной методики синтеза алгоритмов ССД. Особенностью ДГР является то, что изменением площади критических сечений СУБ осуществляется управление как газодинамическими процессами в КС, так и пространственным движением.

Моделирование перспективного ЛА

Перспективный ЛА оснащен твердотопливным ДГР с облегченными органами управления. Его отличие от классических ДГР состоит в том, что регулирование критическими сечениями восьми сопел осуществляется не восемью, а четырьмя рулевыми приводами (РП), что усложняет управление как внутрикамерными процессами, так и пространственным движением. Как и классический ДГР, ДГР перспективного ЛА должен работать на пониженном, промежуточном и маршевом режимах по давлению в КС и реализовывать «толкающую», «тянущую» и «моментную» схемы движения ЛА. Поэтому необходимо показать возможность реализации для ДГР перспективного ЛА движения в «моментной» схеме и т.н. участка смены схемы (реализуется в случае, когда переход в «момент-

ную» схему нецелесообразен). Для этого был разработан специальный алгоритм совместной работы ССД с т.н. автоматом стабилизации (АС) пространственного движения.

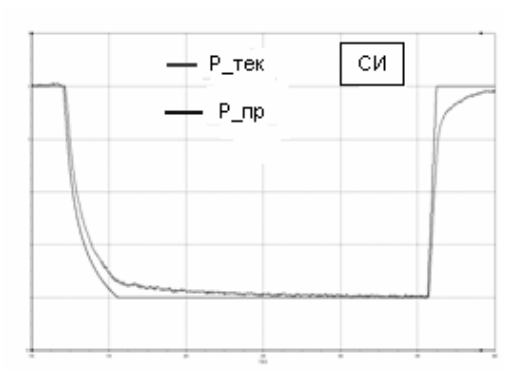


Рис. 6.

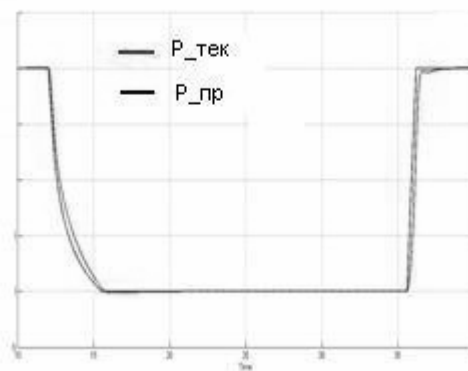


Рис. 7.

Для реализации контура управления внутрикамерными процессами перспективного ДГР была применена предложенная методика построения алгоритмов ССД.

Графики давления в КС при работе ДГР перспективного ЛА по типовой циклограмме программного давления с участком моментного разворота и смены схемы приведены на рисунках 8 и 9 соответственно.

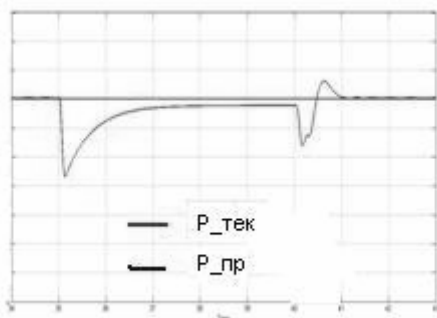


Рис. 8.

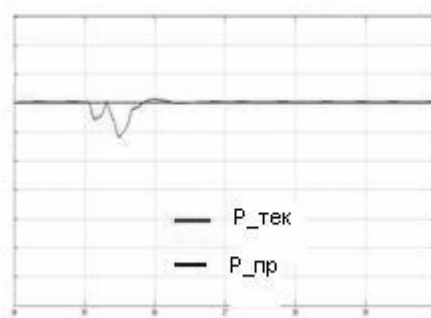


Рис. 9.

Заключение

1. На основе теоретического исследования твердотопливных ДГР силы тяги как объекта управления разработана методика синтеза ПИ-регулятора ССД, обеспечивающего требуемое качество регулирования внутрикамерными процессами.

2. Подтверждена правильность идентификации модели газодинамических процессов в КС.

3. На основе разработанной методики проведено исследование динамических свойств ДГР перспективного ЛА.

Библиографический список

1. Поляков К.Ю. Основы теории цифровых систем управления: учебное пособие; СПбГМТУ.- СПб.:2006. 161с.

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

И.С. Новожилов

ОАО «Конструкторское бюро специального машиностроения»
(ОАО «КБСМ»)

Представлены результаты моделирования тепловых режимов системы терморегулирования транспортного контейнера необходимые для обоснования возможных путей повышения эффективности системы. В статье приведены методические подходы для оценки параметров эффективности терморегулирования в контейнере в различных режимах эксплуатации контейнера.

Выработка конструкторских решений при создании транспортных контейнеров (ТК) морского базирования с эффективными средствами обеспечения теплового режима связана с выводами на основании расчетно-экспериментального анализа теплового состояния ТК и данных измерений при проведении тепловых испытаний. Обеспечение надлежащих параметров тепловых режимов ТК правомерно рассматривать как задачу теплового проектирования. ТК может эксплуатироваться при температуре наружного воздуха от минус 40 °С до 50 °С при наличии солнечной радиации и скорости ветра до 20 м/с. Во внутренней полости ТК в этих условиях температура изделия и элементов конструкции средств стартовой энергетики (ССЭ) должна быть не ниже 0 °С и не более 35 °С.

Допустимый уровень температур во внутренней полости контейнера поддерживался с использованием термоэлектрического устройства термостатирования (УТ) на основе эффекта Пельтье, входящего в состав системы терморегулирования (СТР) и обеспечивающего компенсацию теплопотерь (примерно 400 Вт) в зимнее и теплопритоков (от 0 до экстремального значения 300...400 Вт) в летнее время из внутренней и во внутреннюю полость ТК соответственно.

Цель данной работы заключалась в выработке на основании результатов модельных экспериментов предварительных заключений об эффективности функционирования УТ в режимах охлаждения и нагрева и предложений в части улучшения характеристик термоэлектрического УТ с учетом ограничений по мощности источника питания УТ.

Модельные испытания предусматривали проверку функционирования натурального макета УТ в составе ТК с размещенным в нем макетом изделия в части экспериментальных оценок холодо- и теплопроизводительности УТ на основании измерений перепадов температур воздуха во внутренней полости ТК и в помещении испытаний и расхода воздуха в нём с имитацией теплопритоков в летних условиях вовнутрь ТК за счет работы электронагревателя (мощностью 300...600 Вт), установленного в отсеке ССЭ и обеспечивающего различные уровни теплопритоков во внутреннюю полость ТК, и с приближением условий испытаний к экстремальным зимним в части интенсивности теплообмена наружных поверхностей ТК с окружающей средой при наличие ветра, обеспечивающимся за счет обдува наружных поверхностей ТК вентиляторами.

Испытания проводились на стенде, включающим в себя оборудование для установки испытуемого объекта, коммуникации для электропитания натурального макета УТ, нагревателей внутренней полости ТК и наружного воздуха, а также коммуникации системы измерений и регистрирующую аппаратуру.

Для получения информации об эффективности работы натурального макета УТ в составе ТК в ходе испытаний осуществлялись измерения температур воздуха во внутренней полости ТК, на входе в тракт охлаждения наружного контура УТ, температур элементов конструкции ТК и макета изделия, температуры воздуха в помещении цеха, давлений воздуха на входе в воздухопровод внутреннего контура охлаждения ТК и на выходе из отсека ССЭ, мощности, потребляемой УТ и нагревательными устройствами.

Регистрация, хранение и обработка информации производилась с помощью измерительно-вычислительного комплекса (ИВК), выполненного на базе персонального компьютера (ПК) со встроенной платой, позволяющей осуществлять ввод в ПК, коммутацию и преобразование 32 аналоговых сигналов с последующей их обработкой и запоминанием. Разработанные программные сред-

ства позволяли производить многочасовую регистрацию процессов без участия оператора, при этом в любой момент времени возможен просмотр зарегистрированных параметров: температуры, давления и скорости потока в реальных физических величинах. Каждый канал ИВК опрашивался в течение 0,1 с дискретностью 1 мс, полученные 100 значений осреднялись и результат заносился в память ИВК для дальнейшей обработки.

Тепловая модель системы с электрическим имитатором теплопритоков вовнутрь ТК и электрическими нагревателями воздуха на входе в воздухозаборники наружного контура УТ приведена на рис. 1.

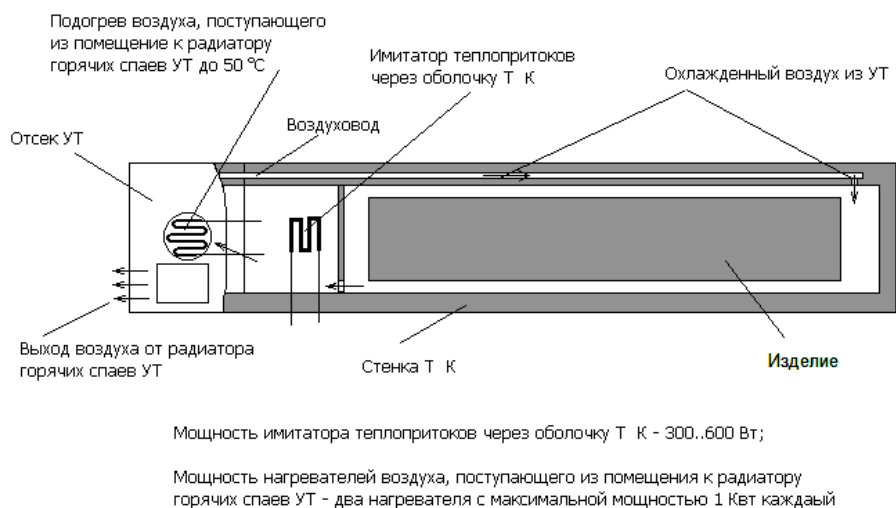


Рис.1. Схема размещения и параметры имитаторов тепловых факторов наружной среды в летний период.

Испытания проводились в несколько этапов, включающих в себя определение сопротивления гидравлического тракта и расхода воздуха в нем, определение уровня теплопритоков в ТК при имитации экстремальных летних условий электрическим имитатором теплопритоков и электрическими нагревателями воздуха на входе в воздухозаборники наружного контура УТ, определение уровня теплопотерь из ТК при имитации экстремальных зимних условий при наличии ветра, обеспечиваемых за счет обдува наружных поверхностей ТК вентиляторами. Для имитации в каждом из экспериментов теплопритоков вовнутрь ТК с макетом УТ в экстремальных летних условиях, предусматривалась возможность подогрева воздуха, поступающего к вентилятору наружного контура УТ, с помощью электрических нагревателей (мощностью 1 кВт каждый) с различными уровнями тепловыделения. Предварительная проверка работоспособности УТ в режиме охлаждения сопровождалась мероприятиями, направленными на установление влияния потерь давления потока на участке от носовой части макета изделия до выхода из отсека ССЭ на суммарные потери давления в тракте ТК, и осуществлялась до подсоединения его к отсеку ССЭ при разомкнутом внутреннем гидравлическом контуре УТ. Слабое влияние упомянутых выше мероприятий на значения перепадов давлений по тракту свидетельствует о преимущественном влиянии гидравлического сопротивления тракта воздухопровода на суммарное значение потерь давления во внутренней полости ТК.

На основании средних значений скоростного напора в соответствующем сечении газотока и с использованием теплового расходомера в течение опытов были произведены оценки средней скорости течения потока в воздуховоде и расхода воздуха во внутреннем замкнутом гидравлическом контуре УТ с использованием корреляционных соотношений, приведены на схемах рис. 2.

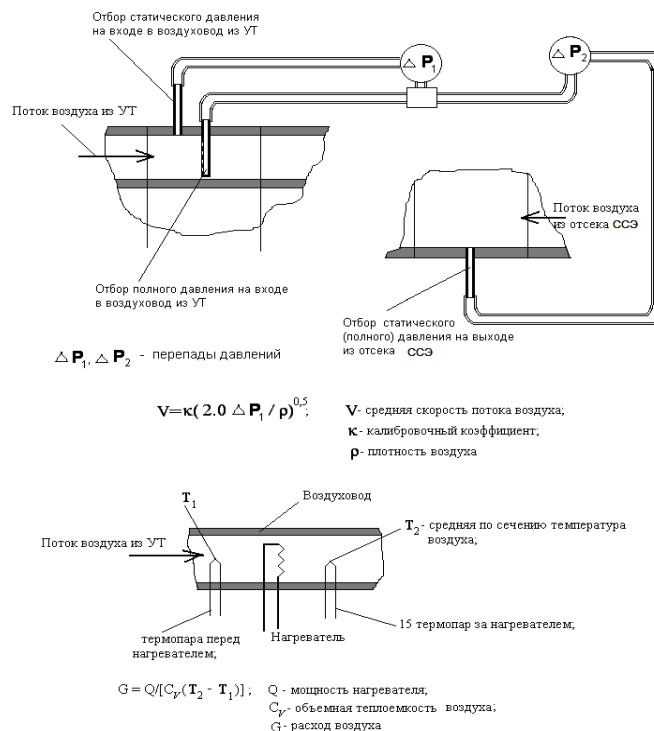


Рис. 2. Определение расхода с использованием измерений скоростного напора и теплового расходомера.

Обработка экспериментальных данных в данной работе осуществлялась на основе математической модели, приведенной ниже.

Так мощность, поглощаемая потоком воздуха во внутренней полости ТК (теплопритоки, компенсируемые с помощью УТ в летний период), рассчитывалась по формуле

$$Q_1 = GC_v(T_2 - T_1), \quad (1)$$

где Q_1 – мощность, поглощаемая потоком воздуха внутри ТК (от входа из УТ в воздуховод до выхода из отсека ССЭ); G – экспериментальное значение расхода воздуха внутри ТК при работе УТ; C_v – объемная теплоемкость воздуха; T_2 – температура потока воздуха на выходе из отсека ССЭ; T_1 – температура воздуха на входе в воздуховод (на выходе из УТ).

Значение эффективной тепловой проводимости от наружного воздуха к воздуху во внутренней полости ТК определялось на основании оценок мощности, поглощаемой потоком воздуха внутри при работе УТ без использования имитаторов теплопритоков, по формуле

$$K_{\text{эф}} = Q_1 / (T_{\text{пом}} - T_{\text{в, ср. ТК}}), \quad (2)$$

где $K_{\text{эф}}$ – эффективная тепловая проводимость от воздуха в помещении к воздуху внутри ТК; $T_{\text{пом}}$ – температура в помещении; $T_{\text{в, ср. ТК}}$ – средняя температура воздуха внутри ТК в установившемся тепловом режиме.

На основании оценки параметра $K_{\text{эф}}$ может быть произведена оценка среднего значения тепловой проводимости собственно наружных ограждений ТК с использованием соотношения

$$K_{\text{эф}} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{\text{нар}} F_{\text{нар}}} + \frac{1}{K_{\text{огр}}} + \frac{1}{\alpha_{\text{вн}} F_{\text{вн}}}}, \quad (3)$$

где $K_{\text{огр}}$ – тепловая проводимость наружных ограждений ТК; $\alpha_{\text{нар}}$ – коэффициент теплообмена наружных поверхностей ТК с окружающей средой; $F_{\text{нар}}$ – площадь наружной поверхности огражде-

ний; $\alpha_{\text{вн}}$ – коэффициент теплообмена внутренней оболочки ТК с воздухом внутри контейнера; $F_{\text{вн}}$ – площадь внутренней поверхности ограждений.

Значения коэффициента теплообмена наружных поверхностей ТК с окружающей средой оцениваются с использованием результатов измерений температур наружной поверхности ТК и воздуха в помещении по формуле

$$\alpha_{\text{нар}} = \alpha_{\text{нар,к}} + \alpha_{\text{нар,л}} \quad (4)$$

где $\alpha_{\text{нар,к}}$ – коэффициент теплообмена за счет естественной конвекции; $\alpha_{\text{нар,л}}$ – коэффициент лучистого теплообмена.

Коэффициент естественно-конвективного теплообмена наружных поверхностей оценивается с использованием рекомендаций по формулам

$$\begin{aligned} \alpha_{\text{нар,к}} &= 1,39 (\Delta T / l)^{1/4} && \text{при } 10^8 \Delta T < 10^9, \\ \alpha_{\text{нар,к}} &= 1,43 \Delta T^{1/3} && \text{при } 10^8 \Delta T > 10^9, \end{aligned} \quad (5)$$

где ΔT – разность температуры воздуха в помещении и температуры наружной поверхности ограждений ТК; l – характерный размер (наружный диаметр ТК).

Коэффициент лучистого теплообмена рассчитывается с использованием зависимости вида

$$\alpha_{\text{нар,л}} = 0,0567 \varepsilon_{\text{эф}} \left\{ \left[\left(\frac{T_{\text{н,ТПК}} + 273}{100} \right)^2 + \left(\frac{T_{\text{пом}} + 273}{100} \right)^2 \right] \left[\left(\frac{T_{\text{н,ТПК}} + 273}{100} \right) + \left(\frac{T_{\text{пом}} + 273}{100} \right) \right] \right\}, \quad (6)$$

где $\varepsilon_{\text{эф}}$ – эффективная степень черноты наружной поверхности ограждений ТК; $T_{\text{н,ТК}}$ – средняя температура наружной поверхности ограждений.

Коэффициент теплообмена воздуха внутри ТК с внутренней оболочкой ТК рассчитывается с использованием экспериментальных значений расхода воздуха внутри ТК при работе УТ с учетом размеров проходных сечений тракта внутреннего контура по формулам

$$\begin{aligned} \alpha_{\text{вн}} &= 3,7 \lambda_{\text{в}} / l_{\text{эк}} (\text{Re} / 2300)^{2,3+1,8 \text{Pr}} && \text{при } 2300 < \text{Re} < 5000, \\ \alpha_{\text{вн}} &= 0,023 \lambda_{\text{в}} / l_{\text{эк}} \text{Re}^{0,8} \text{Pr}^{0,4} && \text{при } \text{Re} > 5000, \end{aligned} \quad (7)$$

$$\text{Re} = U_{\text{в}} l_{\text{эк}} / \nu_{\text{в}}, \quad l_{\text{эк}} = 4 F / \Pi,$$

где $\lambda_{\text{в}}$ – теплопроводность воздуха; $\nu_{\text{в}}$ – кинематическая вязкость воздуха; Pr – число Прандтля; Re – число Рейнольдса, $U_{\text{в}}$ – скорость воздуха в тракте; $l_{\text{эк}}$ – характерный размер; F – площадь поперечного сечения тракта; Π – смоченный периметр тракта

Теплопритоки внутрь ТК в установившемся тепловом режиме при работе УТ связаны с температурой наружного воздуха и средней температурой воздуха внутри ТК соотношением:

$$Q = K_{\text{эф}} \{ T_{\text{нар,в}} - [T_{\text{вн,0}} + 0,5Q / (C_{\text{в}} G)] \},$$

где Q – теплопритоки внутрь ТПК, $T_{\text{вн,0}}$ – температура воздуха на входе в воздухопровод ТК (на выходе из УТ).

При этом температура внутренней поверхности ТК в зоне расположения ССЭ равна

$$T_{\text{в}} = T_{\text{вн, макс}} + (T_{\text{нар,в}} - T_{\text{вн, макс}}) K_{\text{эф}} / S / \alpha_{\text{вн}},$$

где S – площадь поверхности ограждений; $\alpha_{\text{вн}}$ – коэффициент теплообмена внутри ТК (в отсеке ССЭ).

В результате выполнения расчетно-экспериментальных исследований в данной работе были сделаны следующие выводы:

В процессе проведения испытаний установлено существенное влияние на распределение температур в наружных ограждениях ТК тепловых мостов, расположенных в местах расположения опор и фланцев конструкции. Так в режимах охлаждения внутренней полости отличие температур в местах расположения тепловых мостов и вдали от них составляло порядка 6 °С, а в режиме обогрева внутренней полости 8 °С. Кроме того, наблюдалась заметная разность температур порядка 9 °С поверхности ТК в зонах расположения воздуховода и вдали от него.

В целом можно констатировать достаточную близость температур (отличие порядка 3 °С) воздуха и элементов конструкции макета и ССЭ в соответствующих участках гидравлического тракта системы термостатирования за исключением районов расположения тепловых мостов, где не представлялось возможным установить датчики температуры конструкции.

Как показывают оценки, выполненные с использованием экспериментальных значений соответствующих температур, значение коэффициента теплообмена наружных ограждений ТК с окружающей средой составляло порядка 8 Вт/(м²К), а значение коэффициента теплообмена во внутрен-

ней полости ТК в среднем (с учетом различных скоростей течения на различных участках тракта) порядка $4,5 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$.

В режиме охлаждения внутренней полости ТК при нулевой мощности тепловыделения электрических имитаторов теплопритоков в отсеке ССЭ, мощность, поглощаемая потоком воздуха внутри ТК (90 Вт) в установившемся тепловом режиме при непрерывной работе УТ равна теплопритокам из помещения цеха вовнутрь ТК через его наружные ограждения. В этих условиях оценка тепловой проводимости от воздуха в помещении к воздуху внутри ТК, выполненная с использованием зависимости (2), составляла порядка $9 \text{ Вт}/\text{К}$.

При функционировании внутри ТК электрических имитаторов теплопритоков с различной мощностью тепловыделений, имеет место хорошее согласие результатов оценок мощностей, поглощаемых потоком воздуха из УТ, со значениями суммарных теплопритоков во внутреннюю полость ТК, равных сумме теплопритоков через ограждения ТК за счет разностей температур воздуха внутри ТК и от электрического имитатора. Данное обстоятельство свидетельствует, с одной стороны, о реализации на различных уровнях мощности тепловыделения имитаторов тепловых режимов, близких к стационарным (квазистационарным), с другой – о приемлемой для практических целей точности измерений определяющих параметров и правомерности использования корреляционных зависимостей, используемых для обработки экспериментальных данных.

Применительно к агрегату, характеризующемуся при условии воздействия экстремальных зимних условиях проводимостью ограждений порядка $7 \text{ Вт}/\text{К}$, максимальная температура воздуха испытуемого УТ на входе в воздухопровод (на выходе из УТ) составляла примерно $15 \text{ }^\circ\text{C}$, а на выходе из отсека ССЭ около минус $1 \text{ }^\circ\text{C}$. При этом минимальная температура внутренней оболочки ТК составляла не более минус $9 \text{ }^\circ\text{C}$. Как показывают прогнозирующие расчеты, для обеспечения допустимых температур элементов конструкции внутри агрегата в экстремальных зимних условиях УТ должно компенсировать теплопотери из внутренней полости ТК порядка 400 Вт при прогнозируемом значении расхода воздуха $144 \text{ м}^3/\text{ч}$. Для обеспечения компенсации данного уровня теплопотерь (при использовании в целях термостатирования только УТ) требуется повышение теплопроизводительности УТ.

Применительно к условиям эксплуатации агрегата в экстремальных летних условиях при температуре $50 \text{ }^\circ\text{C}$ (с учетом солнечной радиации и при наличии ветра со скоростью до $20 \text{ м}/\text{с}$) теплопритоки внутрь ТК, изменяющиеся в течение светового дня синусоидальным образом в основном определялись значением тепловой проводимости стенок ограждений и интенсивностью теплообмена охлаждающего воздуха с внутренними поверхностями ТК. В этих условиях значение параметра $K_{\text{эф}}$ составляло $11 \text{ Вт}/\text{К}$. Тепловая же проводимость от наружной поверхности ТК к воздуху во внутренней полости составляла примерно $7 \text{ Вт}/\text{К}$ (при расчете по формуле 3).

В соответствии с экспериментальными данными при возможности компенсировать с помощью УТ теплопритоки порядка 210 Вт минимальная температура воздуха испытуемого УТ на входе в воздухопровод (на выходе из УТ) составляла примерно $15,5 \text{ }^\circ\text{C}$, а на выходе из отсека ССЭ около $24,5 \text{ }^\circ\text{C}$. При этом максимальная температура внутренней оболочки ТК составляла $31 \text{ }^\circ\text{C}$. При повышении мощности имитатора теплопритоков до 420 Вт и выше температура воздуха на выходе из отсека ССЭ составляла более $42 \text{ }^\circ\text{C}$, что заметно превосходит уровень допустимых температур внутри ТК.

Поэтому обеспечение допустимого уровня температур внутри ТК требует компенсацию теплопритоков не менее 300 Вт , что требует доработки конструкции устройства термостатирования (например, за счет увеличения расхода воздуха во внутреннем контуре, что повысит эффективность работы радиатора внутреннего контура и уменьшит перепад температур по длине тракта). При этом следует отметить, что значение расхода $130 \text{ м}^3/\text{ч}$, близкое к прогнозируемому при средней скорости потока около $11 \text{ м}/\text{с}$ реализуется лишь при работе УТ в условиях снижения потерь давления с 290 Па до 105 Па , связанных с движением потока в воздуховоде и внутренней полости контейнера.

При испытаниях в режиме обогрева внутренней полости ТК питание УТ осуществлялось с использованием технологического источника питания при мощности, потребляемой УТ порядка 650 Вт , из которых 320 Вт рассеивалось непосредственно в отсеке УТ. Анализ экспериментальных данных показывает, что в режиме обогрева внутренней полости ТК испытуемый натурный макет УТ обеспечивал компенсацию теплопотерь из внутренней полости ТК порядка 330 Вт при минимальном перепаде температур воздуха снаружи и внутри ТПК порядка $35 \text{ }^\circ\text{C}$. Применительно к условиям эксплуатации агрегата в экстремальных летних условиях теплопритоки, компенсируемые с помощью УТ (потребление составило 870 Вт), близки значениям, полученным на основании прогнозирующих расчетов. Однако для обеспечения эксплуатационного запаса необходимо повысить холо-

допроизводительность (до значений порядка 420 Вт) и теплопроизводительность УТ за счет доработки его конструкции (с учетом ограничений по мощности (1080 Вт) источника питания при $I_{ном}=27В$, $I_{ном}=40А$) при проведении мероприятий по увеличению расхода воздуха со значения порядка 72 м³/ч (при скорости потока порядка 6 м/с, определенной двумя методами, подтверждающими друг друга) до прогнозируемого значения во внутреннем контуре, по увеличению характеристик теплоизоляции УТ в целом и повышению герметичности внутреннего контура, по исключению потерь давления, связанных с движением потока в воздуховоде и внутренней полости контейнера, и по снижению тепловой проводимости наружных ограждений самого отсека УТ и ТК.

Библиографический список

1. Крейг Ф., Блэк У. Основы теплопередачи: Пер. с англ. М.: Мир, 1983.
2. Кутателадзе С.С., Боришанский В.М. Справочник по теплопередаче. М.: Гос. Энерг. Изд-во, 1959

УДК 697.911

ОБОСНОВАНИЕ ТРЕБОВАНИЙ К АЛГОРИТМУ УПРАВЛЕНИЯ АДАПТИВНОЙ СИСТЕМОЙ ТЕРМОСТАТИРОВАНИЯ СПЕЦИАЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ

Е.В. Шишкин, Н.В. Коченков, С.Н.Буяков

Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского
(ВКА им. А.Ф. Можайского)

Что понимается под объектом термостатирования

В качестве объекта термостатирования могут рассматриваться разные по назначению и конструктивному исполнению объекты, общим для которых является наличие для них следующих признаков:

- необходимость обеспечения подпора (избыточного, по сравнению с атмосферным, давления Δp не более 3 кПа) в объекте термостатирования;
- минимальный расход наружного воздуха определяется только значением требуемого подпора в объекте термостатирования;
- отсутствие протяженных сетей транспортировки наружного воздуха, что могло бы служить ограничением его расхода;
- в зависимости от термодинамического потенциала наружного воздуха значение расхода наружного воздуха может быть увеличено до максимального значения, равного расходу приточного воздуха;
- наличие влияния на нормируемые параметры воздушной среды в объекте термостатирования внешних возмущающих воздействий $q_{нар}$ (в виде теплопоступлений или теплопотерь) со стороны окружающей среды; кроме того эти возмущающие воздействия могут изменяться в течение суток (т. е. имеют стохастический характер изменения во времени);
- отсутствие постоянного или длительного пребывания людей в объекте термостатирования, что снимает необходимость подачи в него санитарной нормы наружного воздуха;
- отсутствие ограничения (в виде запрета) на использование рециркуляционного воздуха;
- наличие внутренних тепловыделений $q_{вн}$, имеющих циклический и переменный характер изменения во времени, что обусловлено особенностями работ, выполняемых в нем;
- отсутствие внутренних влаговыведений в объекте термостатирования;
- обеспечение требуемого температурно-влажностного режима в объекте термостатирования за счет использования воздушной системы обеспечения теплового режима (BCOTP).

Недостатки существующей воздушной системы обеспечения теплового режима и требования к ее перспективному облику

Для специалистов, занимающихся вопросами создания и эксплуатации таких энергоемких сис-

тем, как воздушная система обеспечения теплового режима (ВСОТР) специальных объектов, не может быть не актуальной *проблема повышения эффективности использования энергетических ресурсов*. Значимость этой проблемы еще больше возрастает в связи с недавно принятым Федеральным Законом [1], а также Указом Президента РФ №889 от 4.06.2008 г., где ставится задача повысить энергоэффективность экономики страны к 2020 году не менее чем на 40% по сравнению с 2007 годом [2]. Противоречие, лежащее в основе указанной проблемы и являющееся причиной значительного расхождения между желаемыми и действительными показателями энергетической эффективности ВСОТР, заключается в несоответствии режимов ее функционирования тем возмущающим воздействиям (со стороны как внешних, так и внутренних источников возмущений) в виде тепло-влажностных нагрузок, которые должны компенсироваться этой системой. В чем же причины этого несоответствия?

Во-первых, поскольку возмущающие воздействия на нормируемые параметры воздушной среды в объекте термостатирования могут существенно изменяться в течение суток, то и тепло-влажностные нагрузки, приходящиеся на ВСОТР и компенсируемые ею, также могут динамично изменяться. В соответствии с этими изменениями должны своевременно корректироваться и режимы функционирования ВСОТР с их расходными и термодинамическими параметрами. Возлагать же решение этой задачи регулирования только на обслуживающий персонал, полагаясь на их опыт, знания и практические навыки, будет неправильным. Поэтому *перспективная ВСОТР должна быть адаптивной, т. е. уметь самоприспосабливаться к изменению стохастически действующих возмущающих воздействий путем корректировки своего алгоритма функционирования и поиска оптимальных термодинамических процессов обработки воздуха*.

Во-вторых, управляющее воздействие в системе автоматического управления ВСОТР определяется в настоящее время только отклонением параметров воздушной среды в объекте термостатирования от их нормативно-заданных предельных значений, а причины этого отклонения, т. е. те возмущения, под влиянием совместного воздействия которых произошло это отклонение, не анализируются. А ведь одно и то же отклонение параметров воздушной среды в объекте термостатирования может быть вызвано различными причинами, например: изменением внутренних тепловыделений непосредственно в самом объекте или изменением параметров климата, или изменением параметров воздуха в каналах его транспортировки, или, наконец, возникшей неисправностью в какой-либо из подсистем ВСОТР. Значит, и *управляющее воздействие*, направленное на компенсацию возникших возмущений, а следовательно, и на устранение появившегося отклонения параметров воздушной среды в объекте, *должно определяться не по величине этого отклонения, а по изменениям тех возмущений, в результате совместного воздействия которых оно произошло*.

В-третьих, до сих пор при управлении ВСОТР решается только задача стабилизации параметров воздушной среды в объекте термостатирования в нормативно-заданных пределах, а задача организации управления процессами обработки воздуха в ВСОТР по энергосберегающим технологиям с целью сокращения расходов на потребляемые при этом энергоресурсы до оптимальных значений этих расходов – такая оптимизационная задача при управлении ВСОТР даже не ставится. В результате используемая технология обработки воздуха оказывается неэкономичной: имеют место значительные перерасходы энергоресурсов, а термодинамический потенциал наружного воздуха вовсе не используется. Поэтому при формировании требований к перспективному облику ВСОТР *необходимо предусмотреть также переход на использование в этой системе энергосберегающих технологий обработки воздуха*.

В-четвертых, организация управления ВСОТР на уровне системы, основанная на жесткой последовательности управляющих воздействий (когда каждое последующее начинается тогда, когда прекращается предыдущее), не предусматривает приложения управляющих воздействий одновременно в каждой из подсистем ВСОТР. Это обстоятельство является причиной как значительной инерционности в управлении, так и причиной возникновения возможных автоколебательных процессов, ведущих к «раскачиванию» системы. *Перевод же управления на локальный уровень (на уровень подсистем), где объектом управления будет являться не система в целом, а ее подсистемы, позволил бы значительно снизить инерционность в управлении ВСОТР и исключить причину возникновения возможных автоколебательных процессов*.

Требования к алгоритму управления адаптивной ВСОТР

Для адаптивной ВСОТР разработан принципиально новый алгоритм управления. Структура такого алгоритма показана на рис. 1. В общем виде она включает в себя верхний уровень управле-

ния; локальный уровень управления и связь между этими уровнями управления.

На верхнем уровне управления в определенные моменты времени определяется фактическое термодинамическое состояние ВСОТР и объекта термостатирования. Для этого производятся замеры необходимых термодинамических параметров воздуха в соответствующих точках (блок 1). По результатам этих замеров определяются фактические термодинамические параметры воздуха (параметры в точке $У_{\text{факт}}$) в объекте термостатирования (блок 2), а также рассчитываются возмущающие воздействия, объединенные в соответствующий вектор \bar{f} и представляющие собой реальные тепловлажностные нагрузки на ВСОТР в момент проведения замеров (блок 3). Следует отметить, что фактические возмущающие воздействия \bar{f} , имеющие место в данный момент времени, могут быть определены только экспериментальным путем на основе замеров и попытки использовать для этого аналитические зависимости не являются результативными.

На основе полученных расчетных данных о возмущениях \bar{f} определяется оптимальный режим функционирования ВСОТР при таких нагрузках (блок 4). Для этого в блоке 4 устанавливаются корреляционные связи между возмущениями \bar{f} и теми оптимальными управляющими воздействиями в виде расчетных значений \bar{g} для регулируемых параметров \bar{y} в каждой из подсистем ВСОТР, которые должны иметь место при возмущениях \bar{f} .

Расчетная информация, полученная в блоке 4, включает в себя следующее:

- расчетную зону, к которой относится точка наружного климата (блок 5);
- термодинамические параметры расчетной точки $У_{\text{расч}}$, в которой должны находиться параметры воздушной среды в объекте термостатирования при возмущениях \bar{f} (блок 6);
- расчетные значения для регулируемых параметров верхнего уровня \bar{y} , представленные в виде составляющих вектора \bar{g} (блок 7).

Информация, представленная в блоках 2, 5, 6, предназначена для определения наступления события «расчетный момент времени наступил» (блок 8), при котором возникает необходимость в передаче полученной информации о векторе \bar{g} на локальный уровень управления (на уровень подсистем) для перенастройки уставок в подсистемах ВСОТР (содержание блока 8 подробно раскрыто в [3]).

Если расчетный момент времени наступил, т. е. условие в блоке 9 выполняется, то информация о векторе \bar{g} передается с верхнего уровня управления на локальный в виде двух векторов \bar{g}_1 и \bar{g}_2 (блок 10). При этом информация о векторе \bar{g}_1 остается без изменений, а вектор \bar{g}_2 трансформируется в моделях локального уровня (блок 11) в вектор \bar{g}_2^* , при определении составляющих которого учитываются принятые способы регулирования в подсистемах. Если же расчетный момент времени не наступил, т. е. условие в блоке 9 не выполняется, то верхний и локальный уровни управления функционируют автономно друг от друга.

На локальном уровне задача управления сводится к простому регулированию одновременно в каждой из подсистем одного или нескольких регулируемых параметров. При этом регулирование в подсистемах осуществляется по отклонению \bar{x} , где \bar{x} – вектор отклонений регулируемых параметров $\{\bar{y}_1, \bar{y}_2\}$ от их расчетных значений $\{\bar{g}_1, \bar{g}_2^*\}$, а все регулируемые параметры $\{\bar{y}_1, \bar{y}_2\}$ регулируются одновременно и независимо друг от друга во всех подсистемах ВСОТР.

Результатом решения задачи локального уровня управления является приведение режима функционирования ВСОТР в соответствие с фактическими возмущающими воздействиями \bar{f} .

При этом фактические параметры воздуха в объекте термостатирования, характеризующиеся точкой $У_{\text{факт}}$, будут соответствовать расчетным параметрам, характеризующимся точкой $У_{\text{расч}}$.

Система автоматического управления ВСОТР, использующая описанный алгоритм, приобретает свойство приспосабливаться к изменению стохастически действующего фактора \bar{f} путем управления оптимальным режимом функционирования ВСОТР за счет корректировки расчетных значений \bar{g} регулируемых параметров \bar{y} .

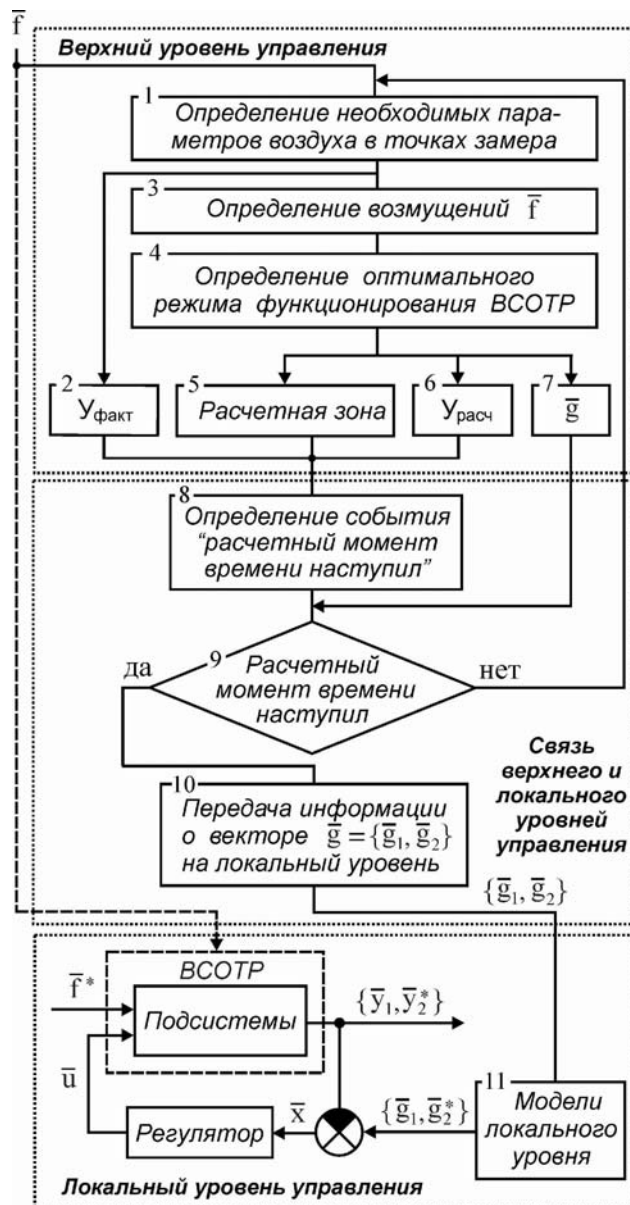


Рис. 1. Структура алгоритма управления адаптивной ВСОТР.

Библиографический список

1. *Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты российской федерации.* ФЗ №261 23.11.2009 г.
2. *О некоторых мерах по повышению энергетической и экологической эффективности российской экономики:* Указ Президента Российской Федерации №889 от 04.06.2008 г. // *Собрание законодательства Российской Федерации.* – 2008. – №23. – С.7168.
3. *Коченков Н.В.* Энергосберегающие режимы систем кондиционирования воздуха: моногр. – СПб.: ВКА им. А.Ф.Можайского, 2009. – Ч. 1: СКВ, обслуживающие помещения с однохарактерными нагрузками. – 399 с.

СПОСОБЫ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ В ВОЗДУШНОЙ СИСТЕМЕ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТЕПЛООВОГО РЕЖИМА РАКЕТЫ КОСМИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ «ПРОТОН»*Д.Р. Абсалямов, В.В. Ковалев, Р.Н. Аитов, А.С. Давыдов*Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского
(ВКА им. А.Ф. Можайского)

Воздушная система обеспечения теплового режима (ВСОТР) используется для обеспечения и автоматического поддержания необходимых температурных режимов наземных объектов, в том числе и космических объектов на стартовой позиции, в широком диапазоне температур термостатирующего воздуха высокого давления при любых климатических и метеорологических условиях.

Система ВСОТР предназначена для подачи в объект до $15000 \text{ м}^3/\text{ч}$ ($\pm 10\%$) очищенного воздуха с относительной влажностью не более 40% (при температуре 25°C) с любой температурой в интервале от 0° до 40°C и автоматического поддержания заданной температуры с точностью $\pm 2^\circ\text{C}$ при температуре окружающего воздуха в пределах от минус 40 до плюс 50°C .

Наряду с важностью задач, решаемых ВСОТР, не менее важной является задача снижения энергозатрат на технологические операции при подготовке к пуску ракеты космического назначения (РКН) «Протон». Это обусловлено целым рядом факторов, главными среди которых были крайне слабый учет, контроль и недостаточное регулирование расходования энергетических ресурсов; искусственно заниженные тарифы на электроэнергию и цены на другие энергоносители; отсутствие заинтересованности энергопотребителей в рациональном использовании и экономном расходовании энергоресурсов; практически полное отсутствие национального производства энергоэффективного оборудования; преобладание монопольной системы энергоснабжения, имевших место в период создания ракетно-космического комплекса «Протон».

В соответствии с требованиями новой законодательной базы РФ и соответствующими приказами и директивами Министерства обороны РФ в последние годы большое внимание уделяется вопросам энерго- и ресурсосбережения на объектах МО РФ.

В технике и технологии систем термостатирования специальных объектов разработано большое число энергосберегающих мероприятий. Многие из них связаны с перераспределением потоков тепловой энергии внутри систем и агрегатов. Для их осуществления широко используются принципиально новые теплообменные аппараты и новые схемные решения их подключения для обработки теплоносителей. В настоящей статье рассматриваются вопросы применения теплонакопительных устройств и использование рециркуляционной схемы обработки воздуха в системе термостатирования РКН «Протон».

Основное отличие теплонакопителя от традиционных нагревательных устройств заключается в том, что при его использовании возможно автоматическое управление процессом накопления и отдачи тепла. При монтаже автоматика настраивается таким образом, что теплонакопитель подключается к сети для накопления тепла только во время действия льготного ночного тарифа. Процесс теплоотдачи также регулируется автоматически датчиком температуры, с помощью которого можно установить желаемую температуру. Схема типового теплонакопителя показана на рис. 1.

В корпусе из листовой стали, покрытом жаропрочным лаком, находится теплонакопительное ядро, снабженное теплоизоляционной защитой.

Внутри теплонакопительного ядра располагаются нагревательные элементы.

Теплоотдачу обеспечивает вентилятор, создающий поток воздуха через систему каналов теплонакопительного ядра, где воздух нагревается, непосредственно к отверстию выхода воздуха. Смешивание потоков воздуха происходит с помощью смесительного клапана, связанного с биметаллическим датчиком, что обеспечивает постоянную температуру выходящего воздуха независимо от уровня заряда прибора.

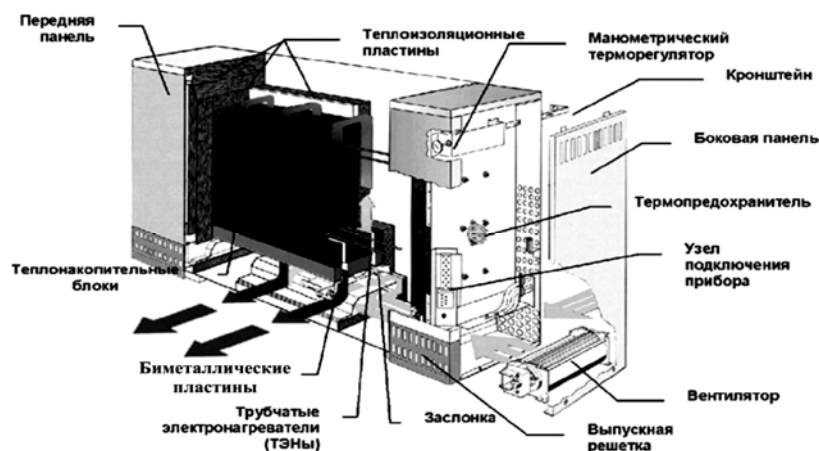


Рис. 1. Устройство теплоаккумулятора.

Суточный цикл работы теплоаккумулятора состоит из двух автономных режимов: режима заряда, или накопления тепла, в ночное время; режим разрядки, или теплоотдачи.

Режим заряда управляется таймером, режим теплоотдачи – комнатным термостатом, который даёт команды на включение-выключение микровентилятора.

Теплоаккумулятор работает практически со стопроцентным коэффициентом полезного действия. Выделяемое тэнами тепло аккумулируется теплоёмкими брикетами и через систему изолированных воздушных каналов передаётся к потребителю.

Все процессы регулируются автоматически, что позволяет выбрать наиболее эффективный режим обогрева потребителей и рационально использовать тепловую и электрическую энергию.

Основными достоинствами теплоаккумуляторов являются:

1. Экономичность. При использовании прибора в комплексе с многотарифным счетчиком и управляющей автоматикой плата за 1 кВт потреблённой электроэнергии уменьшается для большинства потребителей в 4 раза!

2. Надёжность и неприхотливость. Практика использования теплоаккумуляторов показывает, что срок службы первых приборов превышает 30 лет.

3. Пожаробезопасность, т.к. наружная поверхность теплоаккумуляторов практически не нагревается.

4. Универсальность. Различные модификации теплоаккумуляторов охватывают диапазон мощностей от 0,8 кВт до 7,5 кВт. Благодаря этому теплоаккумулятор можно использовать не только как основной источник тепла, но и как дополнительный.

5. Экологическая безопасность. Нагревательные элементы не контактируют с воздухом, а значит «не сжигают» находящийся в обрабатываемом воздухе кислород и не выделяют продуктов сгорания.

Применение теплоаккумулятивных устройств позволяет осуществлять экономию материальных средств благодаря использованию ночных тарифов на электроэнергию, расходуемую на нагрев нагревательных элементов, включенных в схему ВСОТР.

Более совершенные схемные решения обработки теплоносителей также позволяют осуществить значительную экономию энергоресурсов. Несоввершенство схемных решений ВСОТР, которые стереотипно переносятся с одного объекта на другой, в большинстве случаев сводит к минимуму эффект экономии энергии; вместе с тем они требуют сложной автоматике и постоянного технического обслуживания. На сегодняшний день нет единой методологии построения принципиальных схем ВСОТР, учитывающих назначение потребителя, режим и объёмы тепло- и холодопотребления, характеристики объектов термостатирования, возможности эксплуатации и другие факторы.

Применение накопленного к настоящему времени в нашей стране и за рубежом обширного экспериментального опыта по организации схемных решений обработки воздуха в ВСОТР и в системах вентиляции и кондиционирования воздуха позволяет оценить влияние отдельных элементов и решений на эффективность обработки воздуха в целом. Так предварительные расчеты и оценка теплоэнергетической эффективности показали, что применение в ВСОТР рециркуляционной схемы обработки воздуха вместо приточной позволяет снизить затраты на производство холода от 171 до 31 кВт, а на нагрев – от 190 до 60 кВт.

Заметного снижения затрат на эксплуатацию и автоматизацию процессов можно достичь путем модернизации ВСОТР и создания так называемых мобильных ВСОТР, основное оборудование которых размещено непосредственно на агрегате обслуживания. Одна из принципиальных схем такой компоновки изображена на рис. 2.

Воздух, пройдя температурно-влажностную обработку в центральном кондиционере (1), поступает в подающий воздуховод (4) и распределяется с помощью системы заслонок по отметкам потребителя (3). Далее, удаляя теплоизбытки в летний период или отдавая тепло в зимний период, воздух поступает в сборный коллектор (2) и направляется в рециркуляционную камеру центрального кондиционера (1).

Тепловая энергия в теплонакопителе (5) накапливается подключением к сети для накопления тепла только во время действия льготного ночного тарифа. Процесс теплоотдачи регулируется автоматически с помощью воздушных заслонок (6) и (7) датчиком температуры, с помощью которого можно установить желаемую температуру. Наиболее эффективное применение теплонакопителей осуществляется в режимах пиковых нагрузок и при переходных процессах во время включения в работу ВСОТР.

Оценка принимаемых решений по модернизации ВСОТР осуществляется по четырем группам показателей:

1. Функциональные (обеспеченность нормируемых параметров, функционально-технологическая надежность);
2. Технологические (расход теплоты, холода, воды, воздуха); конструктивно-компоновочные (занимаемые площадь и объем; удобство монтажа, ремонта; индустриальность конструкции; эстетические характеристики);
3. Эксплуатационно-энергетические (расход электроэнергии, тепловой энергии, ремонтных материалов, удобство обслуживания, надежность по техническим отказам);
4. Экономические (денежные), капитальные (амортизационные), переменные составляющие эксплуатационных затрат; приведенные затраты.

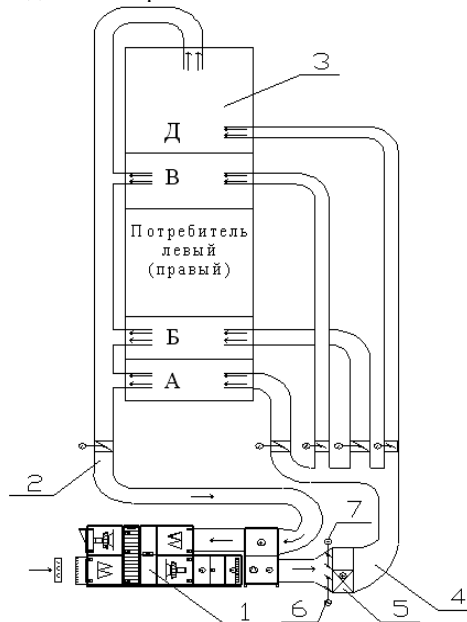


Рис.2. Принципиальная схема ВСОТР с рециркуляцией и применением теплонакопителя.

Выбор приоритетной структуры показателей определялся используемым методом реализации системного подхода на основе анализа термодинамического состояния системы. Функциональные показатели характеризуют степень выполнения системой заданных функций, т.е. степень обеспечения нормируемых параметров воздушной среды: ее чистоты, газового состава, температуры, влажности за каждые сутки годового периода эксплуатации.

Количественная оценка заданной обеспеченности требуемых параметров является той начальной стадией оценки принимаемых решений, без которой все другие показатели не имеют смысла. Сюда также относится функционально-технологическая надежность, отличающаяся от надежности по отказам оборудования ВСОТР своим содержанием и смыслом. Функциональные показатели при прочих равных условиях непосредственно влияют на технологические показатели ВСОТР. Варьирование их в доступных пределах позволяет использовать резервы энергозатрат за счет термодинамического состояния наружного воздуха.

Энергетическая эффективность использования новых схемных решений обработки воздуха в ВСОТР и новой элементной базы, в частности теплонакопителей, подтверждается в процессе проектирования и эксплуатации экспериментальных и опытно-промышленных установок, а также на аналогичном по технологии оборудовании систем вентиляции и кондиционирования воздуха.

Радикальный поворот в вопросах, связанных с экономической эффективностью использования новых схемных решений обработки воздуха в ВСОТР и новой элементной базы, возможен только на основе комплексной оптимизации схемных решений с учетом надежности их функционирования. В последние годы этому направлению придается большое значение, объем публикаций непрерывно растет. Однако большинство работ связано с продлением ресурса отдельного, как правило, выработавшего свой ресурс оборудования (насосы, вентиляторы, компрессоры и т.д.).

Таким образом, изложенное определяет область задач, рассмотрение которых позволит разработать научно-технические принципы проектирования конкурентоспособных ВСОТР с традиционными системами термостатирования как в настоящее время, так и в перспективе.

Библиографический список

1. Брух С.В. Сравнительный анализ энергоэффективности мультizonальных систем кондиционирования воздуха // СОК. – 2004. – №2.
2. Рымкевич А.А. Особенности реализации принципа целостности при использовании системного анализа в задачах оптимизации СКВ // Арктический СНИП. – 2003. – №2.
3. Карпис Е.Е. Энергосбережение в системах кондиционирования воздуха. — М.: Стройиздат, 1986.
4. Энергетические расчеты технических систем: справ. пособие / В.М. Бродянский, Г.П. Верховикер, Я.Я. Коруев и др. — Киев: Наукова думка, 1991.
5. Набибулин Ф.А., Квят И.Д. Анализ термодинамической эффективности кондиционеров воздуха // Холодильная техника. – 1989. – №7.
6. Маркин В.В. Альтернативные виды топлива — пора или нет? // Инженерные системы. – 2009. - №3.
7. <http://innovation-group.ya.ru/>

**МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУЙНЫХ ТЕЧЕНИЙ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ
«GASDYNAMICSTOOL»**

О.К. Овчинникова, А.В. Суров

Балтийский государственный технический университет «Военмех» им. Д.Ф. Устинова
(БГТУ «Военмех»)

В данной работе рассматривается моделирование струйных течений с использованием современных вычислительных средств. Программа, реализующая приближенную методику на основе полуэмпирических соотношений и статистической модели турбулентной струи (экспресс-методика), написана в среде MatLab [3-5]. Для проведения вычислительного эксперимента, основанного на решении системы уравнений газовой динамики используется программный комплекс GasDynamicTool (GDT). Описание пакета, используемых разностных схем, а так же решаемая система уравнений газовой динамики приведены в [1,2].

Целью проведенной работы было сравнение результатов, полученных в рамках экспресс-методики и результатов решения полной системы уравнений. Исследовалось влияние геометрии соплового тракта на истекающие струи, их структуру и характерные размеры течения. Оценивалось отличие результатов экспресс-методики и проведенных в GDT вычислительных экспериментов.

В GDT с использованием графического препроцессора данного пакета были смоделированы 3 различных сопла, обеспечивающие в выходном сечении одинаковое значения числа Маха потока.

Для моделирования геометрии использовались следующие параметры:

- радиус выходного сечения сопла $r_a = 0.454$ м;
- угол полураствора сопла $\theta_a = 0.1$;
- радиус критического сечения $r_k = 0.295$ м, вследствие выполнения условия постоянства расхода вдоль трубки тока.

Геометрическое число Маха рассматриваемого сопла $M_a = 2.2$. За единицу измерения (калибр) далее в тексте принят радиус выходного сечения сопла r_a .

Длина ребра ячейки расчётной сетки для всех задач составляет 0.01 м. Эмпирически установлено, что введение более подробной сетки приводит к многократному увеличению времени расчёта.

Для всех задач величина расчётной области составила 3×20 калибров, что составляет $0.12 \cdot 10^6$ ячеек.

Контур профилированного сопла был смоделирован на основе общих представлений газовой динамики. Общая длина соплового тракта была принята равной 4 калибра, длина конфузора - 1, диффузора - 3, соответственно. На рис. 1 представлена плоская геометрия соплового тракта.

На рис. 2 представлено коническое сопло, той же длины, что и рассмотренное выше профилированное сопло. При этом угол полураствора сопла составил 0.18 рад.

Коническое сопло, представленное на рис. 3, обладает теми же значениями r_a , θ_a , r_k , а также длиной диффузора, что и профилированное сопло. При этом длина диффузора составляет 1.588 м.

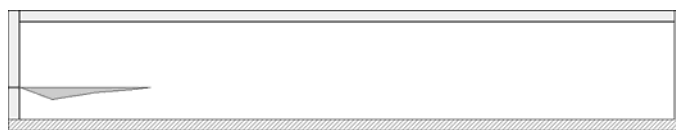


Рис. 1. Профилированное сопло. Двумерная постановка.

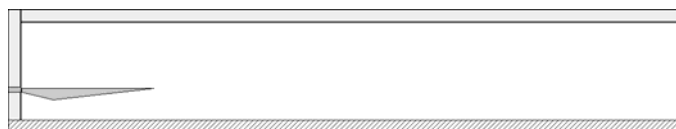


Рис. 2. Коническое сопло (конфигурация 1). Двумерная постановка.



Рис. 3. Коническое сопло (конфигурация 2). Двумерная постановка.

Здесь представлены результаты моделирования процесса запуска сопла, приведены оценки времени выхода на режим сопел различной конфигурации для разных режимов работы. А также указано машинное время, необходимое для проведения расчёта. Моделирование проводилось на компьютерах, имеющих 2 Gb ОЗУ (RAM) и двухядерный процессор Intel с тактовой частотой 2.5 ГГц.

Рассчитывался процесс истечения продуктов сгорания топлива следующего состава (в объемных долях): $C_4H_8O_8N_8$ - 0.51, Al - 0.20, NH_4ClO_4 - 0.12, $C_3H_5O_9N_3$ - 0.14, $C_8H_{15}O_2N$ - 0.03. На срезе сопла реализуется давление $p_a = 0.1$ МПа, температура $T_a = 2253$ К. Геометрическое число Маха сопла $M_a = 2.2$, как было указано ранее. Истечение происходит в воздух (условная формула $O_{14.3755}H_{0.0992}N_{54.9654}$).

При моделировании истечения в расчётном режиме предполагается, что давление на срезе сопла равно давлению окружающей среды. В данном случае рассматривалось истечение в затопленное пространство на высоте 0 м над уровнем моря, что соответствует значению наружного давления $p_n = 0.1$ МПа, и значению степени нерасчётности струи $n = 1$.

На рис. 4-7 представлены поля чисел Маха и давления для конических сопел конфигураций 1 и 2, а также для профилированного сопла в плоской постановке в различные моменты времени. Рис. 4 соответствует моменту $t = 0.5$ с, рис. 5 – $t = 1$ с, рис. 6 – $t = 2$ с, рис. 7 – установившемуся истечению. Для конического сопла первой конфигурации установление произошло при $t = 11$ с (продолжительность расчёта 91 час 30 мин), для второй – при $t = 2$ с (продолжительность расчёта 9 ч. 40 мин.). Время выхода на режим для профилированного сопла составило 15 с, продолжительность расчёта 74 ч. 10 мин.

Для различных конфигураций сопел были получены распределения параметров течения на срезе сопла. На рис. 8, 9 представлены графическое распределение давления и числа Маха в выходном сечении. Для всех задач полученные результаты иллюстрируют падение скорости течения и давления в пограничном слое. Очевидно, что отличие от равномерного распределения, часто принимаемого в качестве начального приближения для решения прикладных задач, в том числе и в эксперименте, достаточно велико. Числовые характеристики приведены в таблице 1.

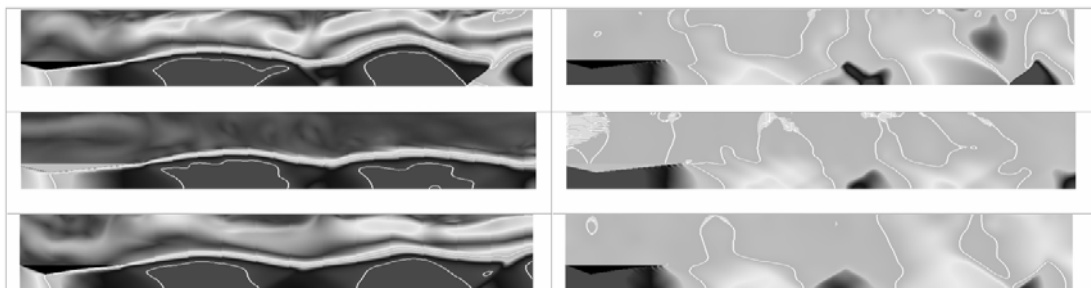


Рис. 4. Поля чисел Маха и давления, $t = 0.5$ с. Сверху вниз: коническое сопло конфигурации 1, коническое сопло конфигурации 2, профилированное сопло.

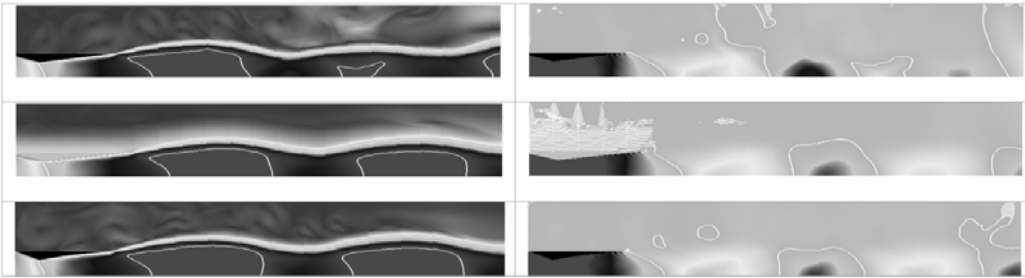


Рис. 5. Поля чисел Маха и давления, $t = 1$ с. Сверху вниз: коническое сопло конфигурации 1, коническое сопло конфигурации 2, профилированное сопло.

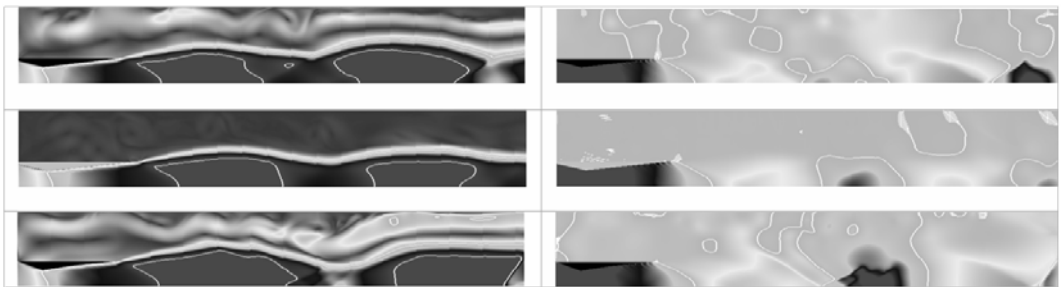


Рис. 6. Поля чисел Маха и давления, $t = 2$ с. Сверху вниз: коническое сопло конфигурации 1, коническое сопло конфигурации 2, профилированное сопло.

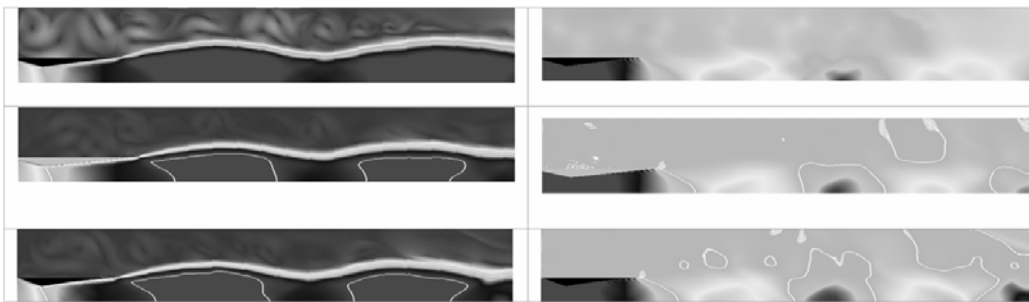


Рис. 7. Поля чисел Маха и давления, установившееся течение. Сверху вниз: коническое сопло конфигурации 1 ($t = 11$ с), коническое сопло конфигурации 2 ($t = 2$ с), профилированное сопло ($t = 15$ с).

Отклонения по обеим приведенным характеристикам от равномерного распределения для профилированного сопла меньше, чем для различных конфигураций конических сопел.

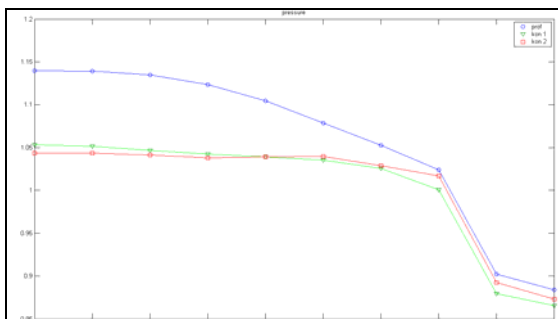


Рис. 8. Распределение давления в выходном сечении сопла (различные конфигурации).

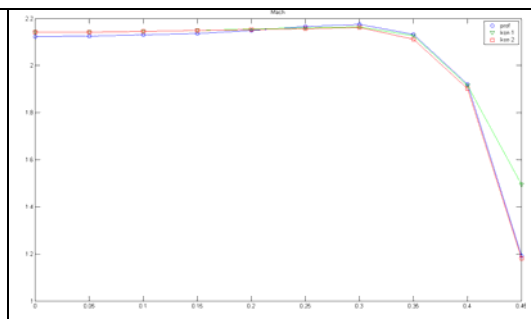


Рис. 9. Распределение числа Маха в выходном сечении сопла (различные конфигурации).

Таблица 1.

Конфигурация сопла	Среднеинтегральное отклонение от равномерного распределения	
	по давлению	по числу Маха
Профилированное сопло	0.0258	0.0523
Коническое сопло 1	0.0190	0.0350
Коническое сопло 2	0.0176	0.0506

Представленный выше численный эксперимент показал, что для сопел различной конфигурации, обеспечивающих одинаковое геометрическое число Маха потока, структура течения будет различной.

При сравнении трех различных геометрий соплового тракта для задач в плоской осесимметричной постановке можно сделать вывод о том, что характерный размер первой бочки для конического сопла конфигурации 1 и профилированного сопла совпадает. В случае использования конического сопла больше длины (конфигурация 2) характерный размер первой бочки будет меньше на величину порядка 10%.

В таблице 2 приведены геометрические характеристики первой бочки для различных конфигураций сопел. Максимальный диаметр первой бочки полученный в рамках экспресс-методики составил 0.58 м, что хорошо согласуется с результатами моделирования в программе GDT.

Таблица 2

Конфигурация сопла	Геометрические характеристики	
	Длина первой бочки	Макс. диаметр первой бочки
Профилированное сопло	5.22	0.73
Коническое сопло 1	5.55	0.83
Коническое сопло 2	5.49	0.79

Библиографический список

1. Годунов С.К., Забродин А.В., Иванов М.Я., Крайко А.Н., Прокопов Г.П. Численное решение многомерных задач газовой динамики // Главная редакция физико-математической литературы изд-ва «Наука», – М., 1976.
2. Елисеев В.Н., Суков А.В. Численное моделирование импульсного зажигания заряда ствольной системы // Молодежь. Техника. Космос: Труды II общероссийской молодежной научн.-техн. конф. / Балт. гос. техн. ун-т. – СПб, 2010. – с. 169-171.
3. Зазимко В.А., Овчинникова О.К. Моделирование сверхзвуковых турбулентных струй. // Молодежь. Техника. Космос: Труды II общероссийской молодежной научн.-техн. конф. / Балт. гос. техн. ун-т. – СПб, 2010. – с. 69-71.
4. Зазимко В.А., Овчинникова О.К. О расчёте параметров в турбулентных струях. // Струйные, отрывные и нестационарные течения: XXII юбилейный семинар с международным участием. 22-25 июня 2010 г. Санкт-Петербург: тезисы докладов / Балт. гос. техн. ун-т; СПбГУ. – СПб, 2010. – с. 76-78.
5. Овчинникова О.К. Моделирование струй. // Всероссийская научно-техническая конференция «Фундаментальные основы баллистического проектирования». Санкт-Петербург, 28 июня – 2 июля 2010 г. Сборник материалов. В 2 томах. Том 1./ Под ред. д.т.н. проф Кэрта Б.Э. – СПб., Балт. гос. техн. ун-т, 2010. – с. 81-83.

О.К. Овчинникова

Балтийский государственный технический университет «Военмех» им. Д.Ф. Устинова
(БГТУ «Военмех»)

В данной работе дается описание экспресс-методики расчёта струйных течений, её математической модели, особенностей реализации в программном коде, входных и выходных параметров. Эта методика предназначена для моделирования струйных течений в широком диапазоне значений степени нерасчётности и для любых составов истекающих газов при малых затратах вычислительных мощностей.

В основе предложенной методики лежат два подхода к описанию струй. Первый предназначен для моделирования изобарических турбулентных струй с диффузионным догоранием при относительно небольших значениях степени нерасчётности. Второй описывает истечение в вакуум струи с замороженным составом. Оба алгоритма были реализованы в среде Matlab. Также был описан механизм перехода от одной модели к другой при увеличении значения степени нерасчётности, что соответствует подъёму летательного аппарата из тропосферы через стратосферу в мезосферу.

Таким образом, была разработана программа, позволяющая получать поля газодинамических и термодинамических параметров для струй в широком диапазоне изменения степени нерасчётности. Входными параметрами являются значения числа Маха, давления и температуры на срезе сопла, геометрические характеристики выходного сечения, а также параметры торможения газа и его состав. При моделировании за срезом сопла формируется равномерная прямоугольная сетка с заданным пользователем размером ячейки и величиной расчётной области. После получения полей газодинамических параметров реализована возможность моделирования движения дисперсной фазы в рамках Лагранжева подхода.

Разработанная модель турбулентной струи [1-3] основана на существующих полуэмпирических и статистических зависимостях для расчёта течения на газодинамическом [4] и изобарическом [5,6] участках, соответственно. При этом учитывается диффузионное догорание за счёт смешения вещества струи с окружающей средой. В целях экономии вычислительных мощностей и сокращения времени моделирования, проведение термодинамического расчёта было вынесено из программы расчёта поля течения.

Для вычисления термодинамических свойств газовой смеси известного состава используется коммерческая программа с закрытым кодом, позволяющая получать значения всех необходимых параметров в графическом или текстовом файлах при заданных значениях давления и температуры смеси. Для каждого состава вещества струи проводится серия термодинамических расчётов, результаты которых обрабатываются в Matlab. На их основе формируется база данных, содержащая коэффициенты аппроксимирующих зависимостей термодинамических параметров газовой смеси данного состава от давления, температуры и полного теплосодержания.

Модель струи, истекающей в вакуум, позволяет рассчитывать струи с замороженным составом. В основе модели лежат зависимости, предложенные для расчёта параметров в континуальной области истечения из круглого сопла с острой кромкой [7,8].

Для описания течения на переходном участке был разработан алгоритм совмещения методик расчёта параметров, обеспечивающий плавное уменьшение интенсивности ударно-волновых процессов на начальном участке течения, а также затухание диффузионного догорания в струе при переходе в стратосферу.

Модель турбулентной струи, применяемая для тропосферы и стратосферы, предполагает выделение в течениях газодинамической и изобарической областей. Первая область ограничивается концом первой бочки. Параметры в ней рассчитываются с использованием модели сверхзвукового сферического источника, формул изоэнтропического течения, соотношений для волны разрежения и полуэмпирических зависимостей. В области течения за диском Маха выделяются внутренняя и внешняя подобласти, параметры в которых приняты постоянными. Внутренняя подобласть включает в себя часть потока, прошедшую через диск Маха, и рассматривается только в том случае, если диаметр маховского диска не слишком мал по сравнению с диаметром выходного сечения сопла.

Для нахождения параметров в этой подобласти решается связанная система уравнений газо- и термодинамики. Значения параметров во внешней подобласти вычисляются на основе решений системы уравнений, содержащей законы сохранения массы и количества движения, условие постоянства полного теплосодержания, и предположение о равенстве статического давления в конце первой бочки давлению спутного потока.

Ударно-волновая структура течения в первой бочке в случае недорасширенной струи аппроксимируется дугами окружностей, в случае перерасширенной струи предполагается прямолинейной.

Для определения газодинамических параметров на изобарическом участке струи используется статистическая модель турбулентной струи. Предполагается, что струя в начальном сечении изобарического участка представляет собой совокупность точечных в физическом смысле образований – квазичастиц. Каждая квазичастица, сохраняя присущие ей свойства, при движении вниз по потоку описывает кривую, носящую случайный характер. Для нахождения средних вероятностных характеристик – математических ожиданий газодинамических параметров – задается плотность распределения вероятности $f(x)$. Функция $f(x)$ описывает вероятность попадания частицы из известной начальной точки в произвольную точку x изобарического участка струи и является нормальным законом распределения случайной величины.

При переходе от статистических закономерностей, определяющих пульсационное движение квазичастиц, к характеристикам пульсационного поля газодинамических параметров необходимо выбрать комплексы переносимых квазичастицами свойств. Уравнения баланса вещества, количества энергии и движения накладывают ограничения на средние значения параметров потока в заданном сечении. Комплексы газодинамических параметров L_i , определенные соотношениями (1), удовлетворяют законам сохранения и являются комплексами, переносимыми квазичастицами в процессе их случайного блуждания:

$$L_1 = \rho v (v - v_\infty), L_2 = \rho v (h_0 - h_{0\infty}), L_3 = \rho v \psi, \quad (1)$$

Здесь ρ , v , h_0 – плотность, скорость, полное теплосодержание смеси газов в данной точке, индексом ∞ обозначены параметры спутного потока.

Вывод и обоснование формул для вычисления комплексов L_i в любой точке изобарического участка струи приведены в [5].

В рамках модели вакуумной струи в течении выделяют три области. В первой рассчитывается течение, соответствующее сверхзвуковому сферическому источнику. Вторая, приосевая, область ограничена первой характеристикой централизованной волны разрежения. Модель централизованной волны разрежения используется для описания третьей, периферийной, области.

Переход от турбулентной к вакуумной струе осуществляется в диапазоне высот $H_T = 60 \leq H \leq H_V = 80$ км методом совмещения решений с весовым коэффициентом β , характеризующим долю вакуумной струи в общем решении (2). Дальнейшее вычисление значений газодинамических параметров в струе осуществляется по правилу (3), где φ – любой газодинамический параметр: температура, давление, плотность, число Маха, скорость, и т.д.

$$\beta = \begin{cases} 0, & H \leq H_T \\ \left(\frac{H - H_T}{H_V - H_T} \right)^t, & H_T \leq H \leq H_V \\ 1, & H \geq H_V \end{cases} \quad (2) \quad \varphi = \beta \varphi_{vacuum} + (1 - \beta) \varphi_{turb}, \quad (3)$$

Среднее время расчёта газодинамических параметров течения и параметров дисперсной фазы с помощью предложенной экспресс-методики составляет 3 минуты на сетке, содержащей 10^4 ячеек, при использовании компьютера с частотой процессора 1.87 ГГц и оперативной памятью 1 Гб. Такая сетка является достаточно подробной для описания процессов на изобарическом участке и в факеле струи. Размер расчётной области при этом превышает 1700x215 радиусов выходного сечения сопла.

Некоторые результаты моделирования приведены на рис. 1-4. Представлены изолинии полей температуры и чисел Маха. Соответствующие высотам 20, 40, 60 и 80 км.

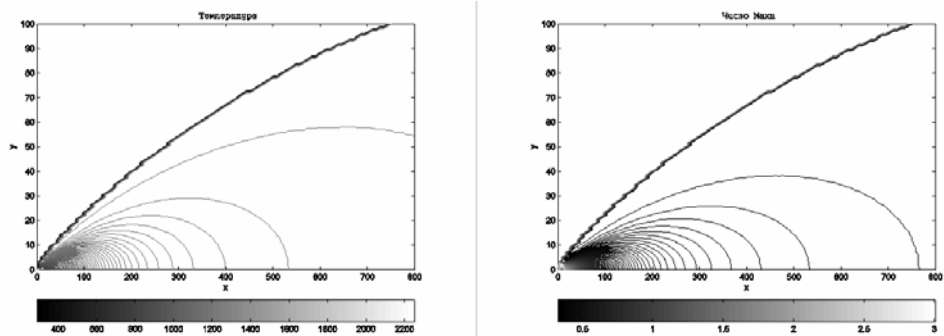


Рис. 1. Поля температуры (слева) и чисел Маха (справа). $H = 20$ км.

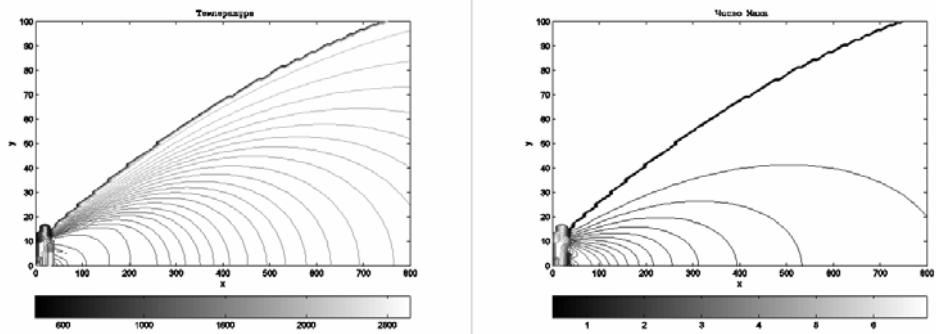


Рис. 2. Поля температуры (слева) и чисел Маха (справа). $H = 40$ км.

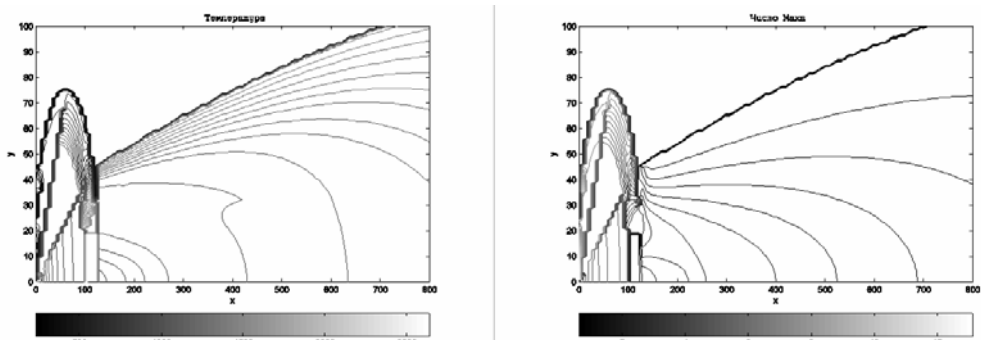


Рис. 3. Поля температуры (слева) и чисел Маха (справа). $H = 60$ км.

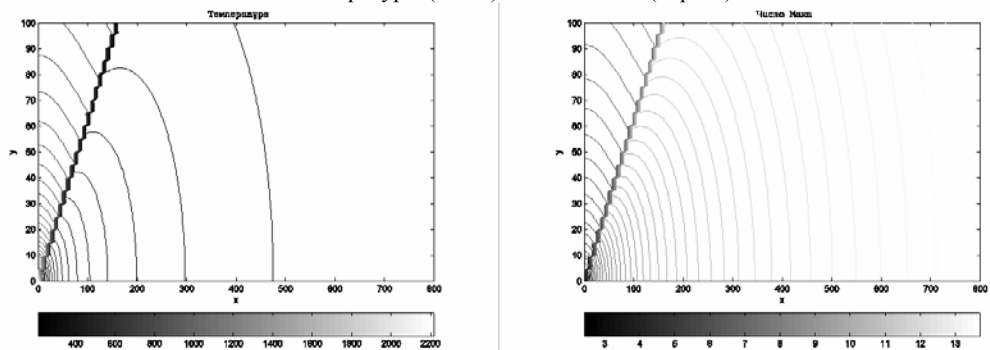


Рис. 4. Поля температуры (слева) и чисел Маха (справа). $H = 80$ км.

На приведенных рисунках можно видеть увеличение влияния газодинамического участка с ростом H . При этом наблюдается также возрастание максимальных значений температуры и числа

Маха, достигаемых в потоке, что связано с возрастанием степени нерасчётности струи и разрежением атмосферы. Рис. 4 соответствует истечению газа в вакуум, давление атмосферы при $H = 80$ км составляет 1.099 Па [9].

Библиографический список

1. Зазимко В.А., Овчинникова О.К. Моделирование сверхзвуковых турбулентных струй. // Молодёжь. Техника. Космос: Труды II общероссийской молодёжной научн.-техн. конф. / Балт. гос. техн. ун-т. – СПб, 2010. – с. 69-71.
2. Зазимко В.А., Овчинникова О.К. О расчёте параметров в турбулентных струях. // Струйные, отрывные и нестационарные течения: XXII юбилейный семинар с международным участием. 22-25 июня 2010 г. Санкт-Петербург: тезисы докладов / Балт. гос. техн. ун-т; СПбГУ. – СПб, 2010. – с. 76-78.
3. Овчинникова О.К. Моделирование струй. // Всероссийская научно-техническая конференция «Фундаментальные основы баллистического проектирования». Санкт-Петербург, 28 июня – 2 июля 2010 г. Сборник материалов. В 2 томах. Том 1./ Под ред. д.т.н. проф Кэрта Б.Э. – СПб., Балт. гос. техн. ун-т, 2010. – с. 81-83.
4. Гинзбург И.П. Аэрогазодинамика.: Краткий курс. // М.: Высшая школа, 1966.
5. Зазимко В.А. Алгоритм и программа расчёта параметров в турбулентных струях.// Л., ЛМИ, 1984.
6. Зазимко В.А. Теоретические основы расчёт до- и сверхзвуковых струйных течений с учётом физикохимических превращений.// СПб., БГТУ "ВОЕНМЕХ", 2001.
7. Сулов В.П. Об одной форме аналитического решения для приосевой области струи. Моделирование в механике. Т.4(21). - №5. (1990) с.158-162
8. Соколов Е.И. Течение в периферийной области свободно расширяющейся осесимметричной струи идеального газа. Известия АН СССР, МЖГ №3. (1987) с.145 - 153.
9. ГОСТ 4401-81 Атмосфера стандартная. Параметры.

УДК 535.233.56+004.932

ИЗМЕРЕНИЕ КОРРЕЛИРОВАННЫХ ЦВЕТОВЫХ ТЕМПЕРАТУР

А.С. Гаврилов

ОАО «Конструкторское бюро специального машиностроения»
(ОАО «КБСМ»)

Представлены результаты определения коррелированных цветовых температур на основе представления цветов в метрическом векторном цветовом пространстве. Представлен locus спектральных цветов на плоскости цветности в метрическом цветовом пространстве. Разработано программное обеспечение, обеспечивающее автоматизированную обработку изображений.

Измерение цветовой температуры основано на визуальном сравнении цветового восприятия окраски объекта измерения с цветом эталонного излучателя (модель абсолютно чёрного тела). Следовательно, для определения цветовой температуры необходимо определить (измерить) цвет объекта.

Цвет – это ощущение, которое возникает в сознании человека при воздействии на его зрительный аппарат электромагнитного излучения с длиной волны в диапазоне от 380 до 760 нм.

Исходя из определения цвета как ощущения, его измерения должны быть измерениями характеристик цветовых ощущений среднестатистического колориметрического наблюдателя.

В начале 30-х годов прошлого века Международная Комиссия по освещению (МКО) приняла первые рекомендации по представлению цветов в трёхмерном векторном пространстве XYZ МКО-1931 [1].

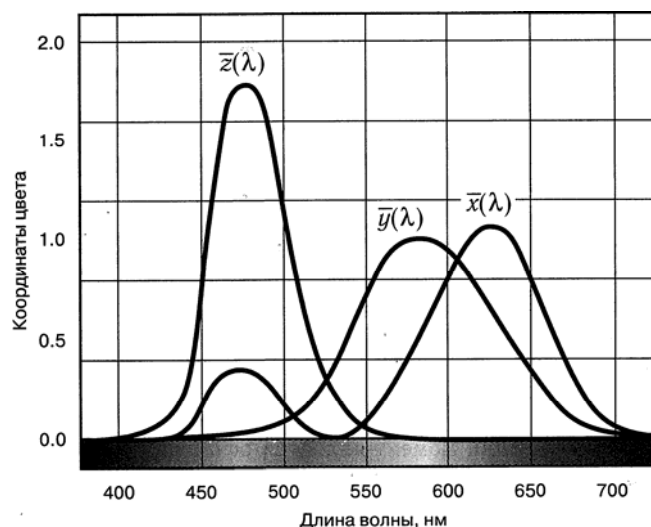


Рис. 1. Кривые сложения цветов для стандартного колориметрического наблюдателя МКО 1931 г.

В качестве основы колориметрической системы XYZ МКО 1931г были использованы функции сложения цветов $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$, $\bar{z}(\lambda)$ (рис.1), которые были получены путём линейного преобразования удельных координат $\bar{r}(\lambda)$, $\bar{g}(\lambda)$, $\bar{b}(\lambda)$, полученного на основе экспериментальных работ Гилда и Райта [1].

В основе колориметрической системы XYZ МКО 1931г. лежит аффинное векторное цветовое пространство, в котором отсутствуют понятия расстояния и угла, но действуют законы векторного сложения. С целью упрощения колориметрических расчётов в качестве цветового треугольника был взят прямоугольный равнобедренный треугольник. Была построена модель трёхкоординатного цветового пространства, определяемая основными цветами X, Y, Z. Единичная плоскость $X+Y+Z=1$ называется графиком цветности колориметрической системы МКО 1931г (рис.2).

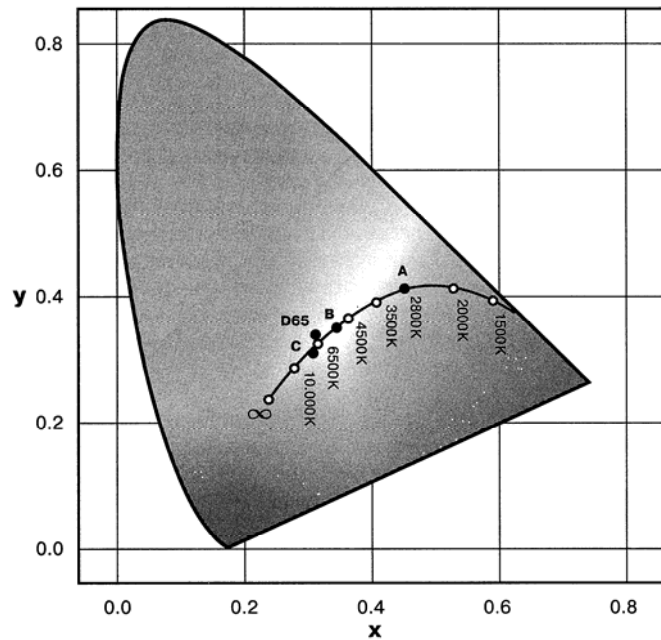


Рис. 2. Линия цветностей излучения абсолютно черного тела при различных значениях цветовой температуры и стандартные излучатели МКО на графике МКО 1931 г.

Так как колориметрическая система XYZ МКО 1931г. не является метрической, то погрешность определения коррелированной цветовой температуры может достигать сотен градусов Кельвина (рис.3). Возникает необходимость в разработке новой методики определения коррелированной цветовой температуры.

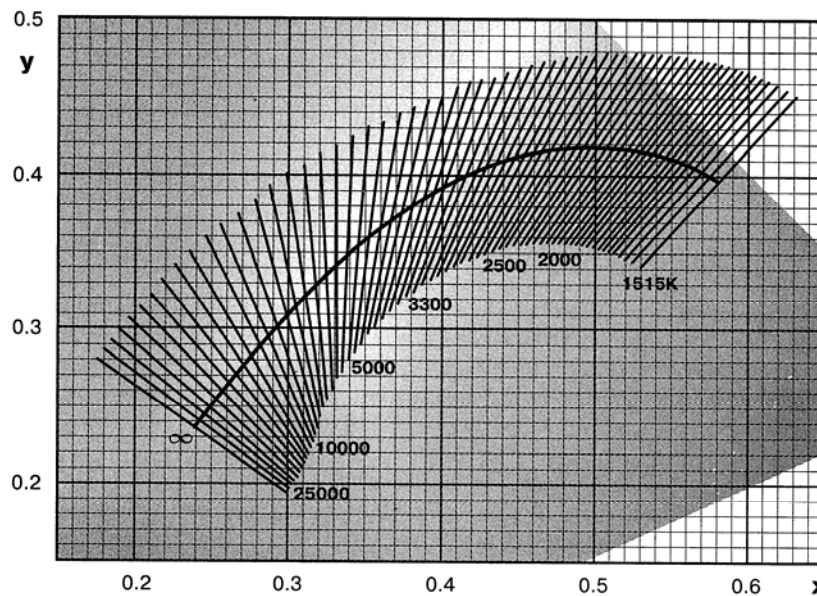


Рис.3. Линия черного тела на графике цветности xy МКО 1931 г. и семейство изотемпературных линий.

В этом аспекте была рассмотрена модель преобразования цветовых откликов зрительной системы в метрическом векторном цветовом пространстве, предложенная Полосиным Л.Л. [2]. На рис.4 представлена информационная модель преобразования цветовых откликов зрительной системы.

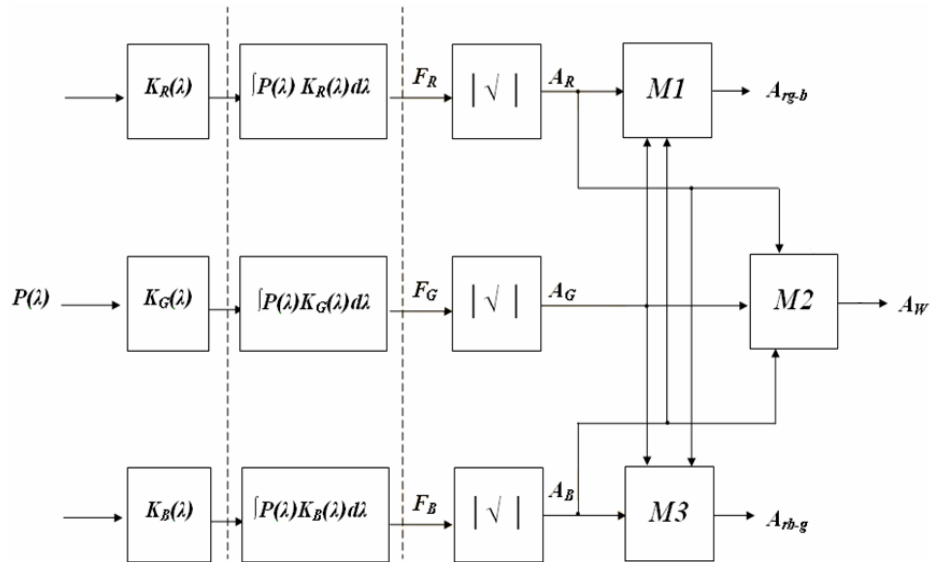


Рис. 4. Информационная модель преобразования цветовых откликов зрительной системы

В отличие от аффинного пространства, где отсутствуют определения угла и расстояния, полученное пространство образуется откликами зрительной системы, модули векторов которых равны яркостным амплитудам. Реальные цвета образуют конус в метрическом векторном пространстве, положение векторов в котором зависит от соотношения яркостных амплитуд, рис.5.

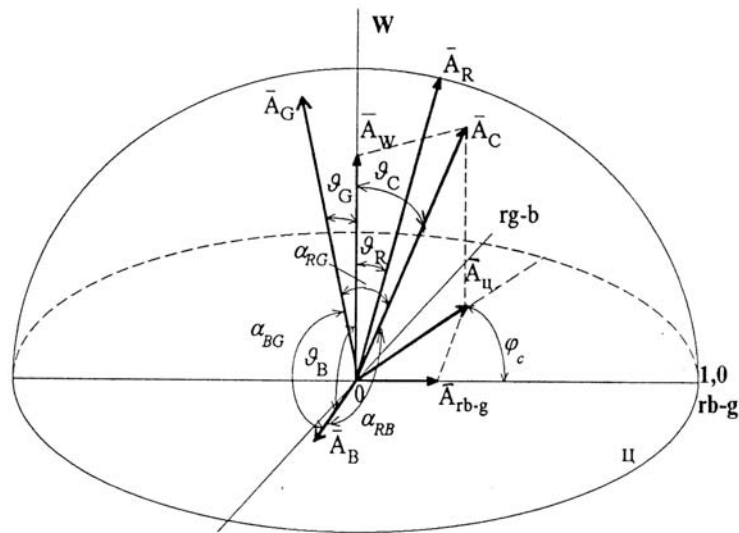


Рис.5. Представление цветов в метрическом векторном цветовом пространстве.

В цветовой фотометрии определяются основные величины для количественного описания цветов: амплитуда цвета, цветовая яркость, насыщенность и цветовой тон.

Цветовая амплитуда равна векторной сумме амплитуд основных откликов зрительной системы: $A_c = A_r + A_g + A_b$ и может быть выражена через модули цветовых векторов в скалярном виде:

$$A_C = \sqrt{A_r^2 + A_g^2 + A_b^2 + 2 \cdot A_r \cdot A_g \cdot \cos \alpha_{rg} + 2 \cdot A_b \cdot A_g \cdot \cos \alpha_{bg} + 2 \cdot A_r \cdot A_b \cdot \cos \alpha_{rb}}, \quad (1)$$

где $\alpha_{rg}, \alpha_{gb}, \alpha_{br}$ – углы между векторами откликов в метрическом векторном пространстве (в соответствии с рис. 5). Цветовая яркость $L_C = A_C^2$ может быть выражена через цветовые амплитуды и яркости L_r, L_g, L_b в соответствии с уравнением:

$$L_C = L_r^2 + L_g^2 + L_b^2 + 2 \cdot L_r \cdot L_g \cdot \cos \alpha_{rg} + 2 \cdot L_b \cdot L_g \cdot \cos \alpha_{bg} + 2 \cdot L_r \cdot L_b \cdot \cos \alpha_{rb}, \quad (2)$$

Белому равноэнергетическому цвету в метрическом векторном цветовом пространстве соответствует вектор белого A_W . Плоскость цветности перпендикулярна вектору равноэнергетического белого A_W .

Насыщенность цвета в метрическом векторном пространстве количественно определяется косинусом угла между вектором данного цвета и вектором равноэнергетического белого цвета:

$$S = \cos \varphi_c \quad (3)$$

Цветовой тон определяется углом φ_c в плоскости цветности между составляющей вектора цвета в плоскости цветности $A_{цк}$ и одним из векторов оппонентных сигналов цветности, например, вектором A_{g-rb} .

Численно цветовой тон определяется выражением:

$$\varphi = (-1)^k \cdot \arccos(A_{rb-g} / A_c) + n \cdot \pi, \quad (4)$$

где постоянные n и k зависят от знака оппонентных сигналов $rb-g$ и $rg-b$.

Предлагаемое метрическое векторное цветовое пространство равномерно и в нем определены скалярные умножения. Основным законом цветовой фотометрии является аддитивность векторов. Показано, что цветовые отклики могут быть описаны векторами в метрическом пространстве. В соответствии с предложенной моделью, основными величинами цветовой фотометрии являются амплитуды цветовых реакций и углы между векторами цветов. Гетерохромная яркость зависит от амплитуды хроматического отклика, а тон и насыщенность цвета зависят от углов.

Применительно к данной модели был рассмотрен колориметрический наблюдатель Е. Н. Юстовой, который обладает наиболее достоверными кривыми относительной спектральной чувствительности цветовых каналов зрительной системы и имеет связь с удельными координатами $\bar{x}(\lambda), \bar{y}(\lambda), \bar{z}(\lambda)$ [3]:

$$\begin{aligned} r_o(\lambda) &= 0.301 \cdot x(\lambda) + 0.765 \cdot y(\lambda) - 0.066 \cdot z(\lambda) \\ g_o(\lambda) &= -0.460 \cdot x(\lambda) + 1.366 \cdot y(\lambda) + 0.094 \cdot z(\lambda) \\ b_o(\lambda) &= 0.000 \cdot x(\lambda) + 0.000 \cdot y(\lambda) + 1.000 \cdot z(\lambda) \end{aligned} \quad (5)$$

Разработано программное обеспечение в среде MatLab, позволяющее производить колориметрические расчеты, строить график цветности, определять коррелированные цветовые температуры.

Для вычисления основных величин цветовой фотометрии необходимо решить систему уравнений:

$$\begin{cases} \cos u_r \cdot \cos u_g + \sin u_r \cdot \sin u_g \cdot \cos \varphi_{bg} - \cos \delta_{RG} = 0 \\ \cos u_g \cdot \cos u_b + \sin u_g \cdot \sin u_b \cdot \cos \varphi_{rg} - \cos \delta_{BG} = 0 \\ \cos u_b \cdot \cos u_r + \sin u_b \cdot \sin u_r \cdot \cos \varphi_{rb} - \cos \delta_{RB} = 0 \\ A_r \cdot \sin u_r + A_g \cdot \sin u_g \cdot \cos \varphi_{bg} + A_b \cdot \sin u_b \cdot \cos \varphi_{br} = 0 \\ A_g \cdot \sin u_g + A_r \cdot \sin u_r \cdot \cos \varphi_{bg} + A_b \cdot \sin u_b \cdot \cos \varphi_{rg} = 0 \\ A_b \cdot \sin u_b + A_g \cdot \sin u_g \cdot \cos \varphi_{rg} + A_r \cdot \sin u_r \cdot \cos \varphi_{br} = 0 \end{cases} \quad (6)$$

Решение системы уравнений (6) дает следующие характеристики для колориметрического наблюдателя Е.Н. Юстовой:

- углы между откликами первичных цветов:

$$\begin{aligned}\alpha_{RG} &= 25.59^\circ \\ \alpha_{GB} &= 83.32^\circ \\ \alpha_{RB} &= 87.26^\circ\end{aligned}$$

- углы между откликами и осью яркости:

$$\begin{aligned}\theta_R &= 10.01^\circ \\ \theta_G &= 15.00^\circ \\ \theta_B &= 85.50^\circ\end{aligned}$$

- углы между откликами в плоскости цветности:

$$\begin{aligned}\varphi_{rg} &= 179.56^\circ \\ \varphi_{gb} &= 81.24^\circ \\ \varphi_{rb} &= 100.20^\circ\end{aligned}$$

Строится цветовой график наблюдателя Юстовой Е. Н. в координатах:

$$\begin{aligned}rb - g &= \pm s_C \cdot \cos(\varphi_C) \\ rg - b &= \pm s_C \cdot \sin(\varphi_C),\end{aligned}\tag{7}$$

где φ_C – цветовой тон фотометрического цвета:

$$\varphi_C = \arctg(A_{rb-g}/A_{rg-b}),$$

где A_{rg-b} , A_{rb-g} – оппонентные сигналы цветности:

$$A_{rg-b} = A_R \cdot \cos(\pi - \varphi_{rb}) + A_G \cdot \cos(\pi - \varphi_{gb}) - A_B;$$

$$A_{rb-g} = A_R \cdot \cos(\varphi_{rg} - \pi/2) - A_G \cdot \cos(\varphi_{gb} - \pi/2).\tag{8}$$

Проведён расчёт линии абсолютно чёрного тела в диапазоне температур от 500 до 6500 К. Координаты цветности линии чёрного тела определяются соотношениями:

$$\begin{aligned}r &= \frac{\sum_T \sum_{\lambda=360}^{830} r_0(\lambda) \cdot I_{\lambda,T}^0}{\sum_T \sum_{\lambda=360}^{830} r_0(\lambda) \cdot I_{\lambda,T}^0 + \sum_T \sum_{\lambda=360}^{830} g_0(\lambda) \cdot I_{\lambda,T}^0 + \sum_T \sum_{\lambda=360}^{830} b_0(\lambda) \cdot I_{\lambda,T}^0}, \\ g &= \frac{\sum_T \sum_{\lambda=360}^{830} g_0(\lambda) \cdot I_{\lambda,T}^0}{\sum_T \sum_{\lambda=360}^{830} r_0(\lambda) \cdot I_{\lambda,T}^0 + \sum_T \sum_{\lambda=360}^{830} g_0(\lambda) \cdot I_{\lambda,T}^0 + \sum_T \sum_{\lambda=360}^{830} b_0(\lambda) \cdot I_{\lambda,T}^0}, \\ b &= \frac{\sum_T \sum_{\lambda=360}^{830} b_0(\lambda) \cdot I_{\lambda,T}^0}{\sum_T \sum_{\lambda=360}^{830} r_0(\lambda) \cdot I_{\lambda,T}^0 + \sum_T \sum_{\lambda=360}^{830} g_0(\lambda) \cdot I_{\lambda,T}^0 + \sum_T \sum_{\lambda=360}^{830} b_0(\lambda) \cdot I_{\lambda,T}^0}.\end{aligned}\tag{9}$$

На рис. 6а представлена диаграмма цветностей чистых спектральных цветов для колориметрического наблюдателя Е.Н. Юстовой в плоскости цветности A, θ, φ метрической цветовой системы с линией цветностей абсолютно чёрного тела, где числовые значения яркостных коэффициентов цветных каналов равны: $a_r=0,603$; $a_g=0,395$; $a_b=0,002$. Яркостные коэффициенты определяют кривую видности и служат для расчёта баланса белого:

$$V(\lambda) = \sum_{\lambda} a_r \cdot r_0(\lambda) + \sum_{\lambda} a_g \cdot g_0(\lambda) + \sum_{\lambda} a_b \cdot b_0(\lambda)\tag{10}$$

Относительные спектральные эффективности цветных каналов зрительной системы определяют основные оси физиологической цветовой системы координат, которая служит основой для представления цветов в метрическом векторном цветовом пространстве. Расчёт локуса чистых спектральных цветов в плоскости цветности метрической цветовой системы координат A, θ, φ показывает, что в области коротких длин волн для наблюдателя Юстовой Е.Н. имеется существенный разброс числовых параметров, который плохо согласуется с экспериментальными данными в области коротких длин волн, полученными надпороговыми методами. Кроме того на графике цветности наблюдается существенный недостаток насыщенности синего в коротковолновой области спектра.

Полученные результаты вычислений существенно отличаются от прогнозируемых. Возникает необходимость в коррекции яркостного коэффициента синего.

Результат коррекции представлен на рисунке 6б, подобраны следующие величины яркостных коэффициентов: $a_r=0,529$; $a_g=0,381$; $a_b=0,09$. Основное условие коррекции: цветность стандартного излучателя D_{65} должна проходить через ось белого (равноэнергетического) цвета. Полученные значения яркостных коэффициентов являются приблизительными и требуют дополнительных проверочных расчетов.

Так как измерение цветовой температуры производится в метрическом цветовом пространстве, то перпендикуляр, проведенный к кривой цветности абсолютно черного тела из любой точки на графике цветности, однозначно определяет коррелированную цветовую температуру, тем самым существенно уменьшается методическая погрешность измерения.

Разработанный метод определения коррелированных цветовых температур был опробован при обработке фото-видеоматериалов процессов горения ракетного топлива.

Для автоматизации процесса обработки информации о неоднородности температурного поля твердого ракетного топлива, выявленной с помощью вышеописанной методики, было разработано соответствующее программное обеспечение.

Ниже приведен пример работы программы, рис. 7.

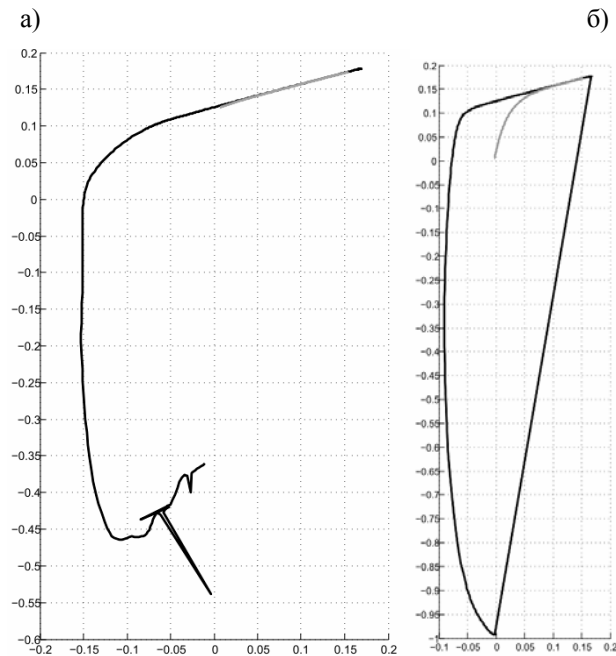
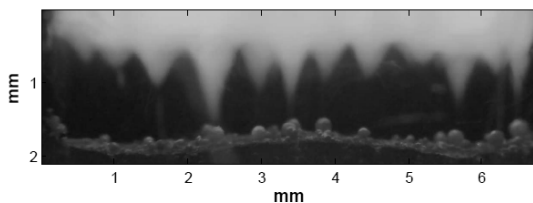


Рис.6. Диаграмма цветности с линией абсолютно черного тела:

а) колориметрический наблюдатель Юстовой Е.Н.;

б) колориметрический наблюдатель Юстовой Е.Н. с коррекцией яркостных коэффициентов.

а)



б)

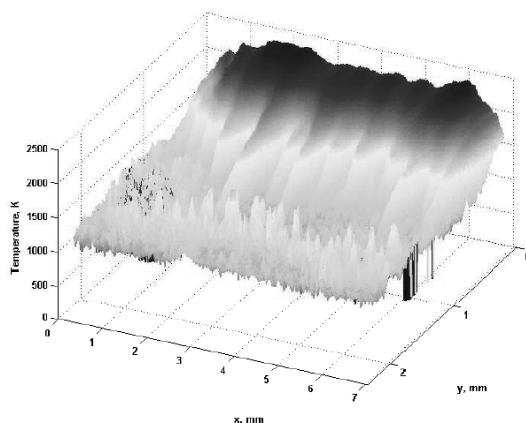


Рис.7. Результат работы программы. а) исходное изображение; б) трехмерное отображение температурного поля.

Разработанный метод измерения коррелированных цветовых температур на основе представления цветов в метрическом векторном цветовом пространстве обладает следующими преимуществами по сравнению с традиционными методами измерения:

- 1) высокая точность (погрешность измерений не более 5%);
- 2) простота реализации, так как не требуется калибровка матрицы фотоаппарата моделью абсолютно черного тела, достаточно знать спектральные характеристики матрицы (можно найти на сайте производителя фотоаппарата);
- 3) Высокая разрешающая способность.

Заключение

1) Впервые разработан и внедрен в практику экспериментальных исследований лабораторно-методический комплекс по видеохроматическому измерению параметров температурных полей на основе представления цветов в метрическом векторном цветовом пространстве, с автоматизированной обработкой результатов экспериментов.

2) Проведенное исследование отличается от традиционных исследований многоаспектным характером, реализацией системного подхода. Получаемые результаты постоянно архивируются, могут анализироваться с новых точек зрения в соответствии с возникающими в перспективе задачами.

Библиографический список

1. Д. Джадд, Г. Вышецки «Цвет в науке и технике», М., «МИР», 1978, 592с.
2. Polosin L. L. «Color Photometry by Image Optical Processing», proceeding of the SPIE 1996 – vol. 2969. – p. 655-658.
3. Юстова Е. Н. «Цветовые измерения», СПб, СПбГУ, 2000, 369с.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СТАРТА КОРАБЕЛЬНОЙ РАКЕТЫ

А.В. Меньков

ОАО «Конструкторское бюро специального машиностроения»
(ОАО «КБСМ»)

При создании ракетных комплексов важной задачей является расчет параметров выхода изделия (скорость, ускорение, время выхода и т.д.), а также расчет нагрузок, действующих на контейнер и изделие.

Для решения этой задачи в ОАО «КБСМ» была разработана расчетная методика, которая была со временем модернизирована и реализована на ПК (персональном компьютере).

Целью настоящей работы является обоснование применимости существующей расчетной методики к новой схеме старта (в этой схеме используются не 3, а 2 обтюрирующих пояса с отличающимися от прежних проходными площадями, укороченное изделие и т.д.), определение газодинамических параметров надводного старта капсульного изделия с заданными допустимыми параметрами перегрузок с помощью СРД (стартового реактивного двигателя) из глухого пускового стана и проверка согласования расчетных параметров с экспериментальными значениями, полученными при испытаниях на натурном газодинамическом стенде ГДС-14-01.

В расчетно-экспериментальной методике в качестве основных исходных данных используются геометрические размеры контейнера и изделия, расход продуктов сгорания из СРД, термодинамические свойства продуктов сгорания. В результате решения определяются изменения во времени параметров движения изделия, давления и температуры в задонном объеме. На рис. 1 представлена газодинамическая схема выброса изделия из контейнера.

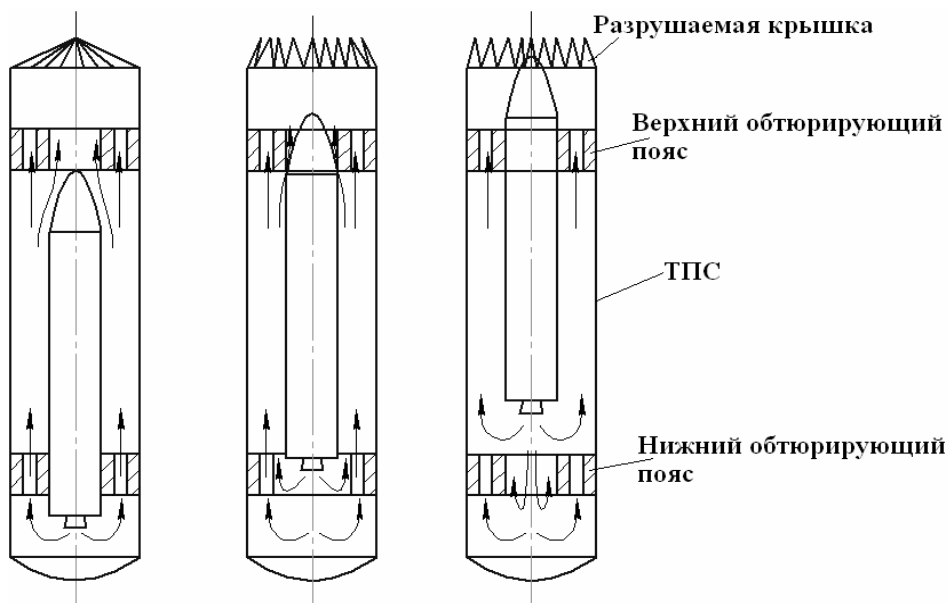


Рис. 1. Газодинамическая схема выброса изделия

В расчетной методике приняты следующие основные допущения:

- процесс изменения газодинамических параметров принимается квазиустановившимся;
- параметры газо-воздушной смеси в задонном объеме принимаются осредненными по объему, скоростью циркуляционных течений пренебрегаем;

- химические реакции не учитываются;
- воздух и продукты сгорания рассматриваются как идеальные газы.

Исходя из принятых допущений, основные уравнения, описывающие рассматриваемую задачу, примут вид (газодинамические уравнения записаны для задонного объема, для остальных объемов используются аналогичные уравнения) [1-2]:

Уравнение движения изделия

$$m \frac{d^2x}{dt^2} = F_{\text{пор}} - F_{\text{болт}} - F_{\text{тр}} - F_{\text{тяж}} + R_{\text{дв}},$$

где $F_{\text{пор}}$ - поршневая сила;

$R_{\text{дв}}$ - тяга двигателя;

$F_{\text{болт}}$ - сила удержания изделия;

$F_{\text{тр}}$ - сила трения;

$F_{\text{тяж}}$ - сила тяжести.

Уравнение сохранения массы для смеси "газ-воздух"

$$\frac{cV - c^0V^0}{Dt} - G_{\text{срд}}^0 + G_{\text{обт}}^0 = 0,$$

где $G_{\text{срд}}^0$ - расход продуктов сгорания из двигателя;

$G_{\text{обт}}^0$ - расход через нижний обтюратор, определяемый по уравнению Сен-Венана.

Уравнение, характеризующее массовую долю газа в смеси,

$$\frac{cm_{\text{г}}V - c^0m_{\text{г}}V^0}{Dt} - m_{\text{г}}^0G_{\text{срд}}^0 + m_{\text{г}}^0G_{\text{обт}}^0 = 0,$$

где $m_{\text{г}}^0$ - относительная массовая концентрация газа.

Уравнение энергии

$$\frac{cC_{\text{v}}TV - c^0C_{\text{v}}^0T^0V^0}{Dt} - G_{\text{срд}}^0 C_{\text{pсрд}}^0 T_{\text{0срд}}^0 (1 - n_1) + G_{\text{обт}}^0 C_{\text{p}}^0 T^0 = -PW_{\text{изд}} S$$

где $W_{\text{изд}}$ - скорость движения изделия;

V - задонный объем;

c - плотность смеси;

T - температура смеси;

P - давление в задонном объеме;

C_{v} , C_{p} - теплоемкости смеси "газ-воздух"

n_1 - коэффициент тепловых потерь.

Уравнение состояния смеси газов

$$P = cRT.$$

Уравнение для вычисления свойств смеси

$$C_v = m_{\Gamma} C_{v\Gamma} + m_B C_{vB}, \quad C_p = m_{\Gamma} C_{p\Gamma} + m_B C_{pB},$$

$$R = m_{\Gamma} R_{\Gamma} + m_B R_B,$$

где m_{Γ} - относительная массовая концентрация газа;

m_B - относительная массовая концентрация воздуха.

На рис. 2 приведено давление в задонном объеме, а на рис. 3 приведено ускорение изделия (сравнение расчета с экспериментом).

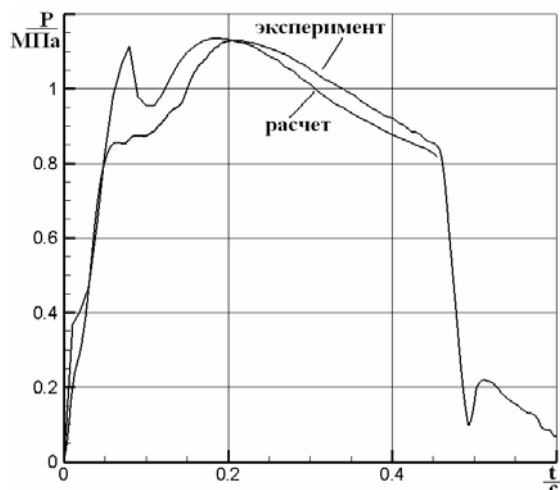


Рис. 2 Давление в задонном объеме.

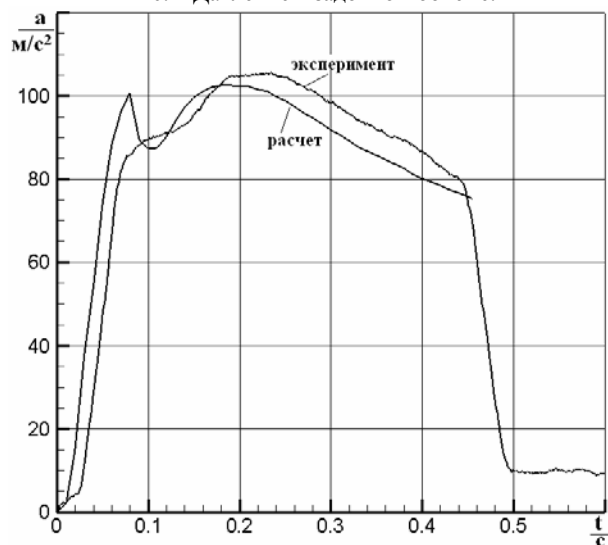


Рис. 3 График ускорения изделия.

При отсутствии на изделии датчиков ускорения, характеристики движения определяются по показаниям датчиков пути (герконов). Изделие движется в ТПС под действием поршневой силы и тяги двигателя. Суммарная сила F_{Σ} , действующая на изделие без учета усилия удержания отрывных винтов, определяется по формуле

$$F_{\Sigma} = k_1 P_{\text{зад}} (S_d - S_a) + k_2 (R_{\text{дв. max}} - R_{\text{дв. min}}) + R_{\text{дв. min}} - F_{\text{ТЯЖ}},$$

где k_1 - коэффициент, равный отношению донного давления на изделии к задонному давлению в ТПС ($k_1 = 0,95$);

k_2 - экспериментальный коэффициент, определяющий фактическую тягу СРД, который подбирается так, чтобы получаемый расчетный путь совпал с измеренным датчиками BL1...BL13 (в нашем случае $k_2 = 1$);

$R_{\text{дв. min}}$, $R_{\text{дв. max}}$ - тяга СРД при истечении в атмосферных условиях на минимальном, максимальном режиме соответственно;

$P_{\text{зад}}$ - давление, замеренное датчиком в задонном объеме;

S_d - площадь поперечного сечения изделия;

S_a - площадь выходного сечения сопла;

$F_{\text{ТЯЖ}}$ - сила тяжести, действующая на изделие.

Когда суммарная сила F_{Σ} превысит усилие удержания отрывных винтов (129...165 кН), происходит их разрушение и изделие начинает движение по ТПС. Таким образом, ускорение изделия вычисляется следующим образом

$$a = \begin{cases} F_{\Sigma} \leq \underline{F}, & 0; \\ F_{\Sigma} > \underline{F}, & \frac{F_{\Sigma}}{m} \end{cases}$$

где \underline{F} - усилие отрывных винтов, которое выбирается из заданного интервала 129...165 кН (для рассматриваемого изделия) так, чтобы получаемый расчетный путь совпал с измеренным датчиками BL1...BL13 (герконами).

На рис. 4 приведено экспериментальное ускорение, полученное по показаниям датчиков пути.

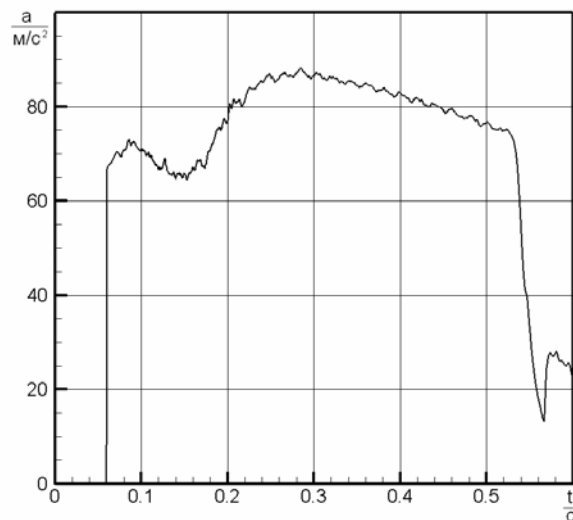


Рис. 4 Ускорение изделия.

Выводы

Выбрана модель, адекватно описывающая схему старта. Разработана методика расчета ускорения изделия по показаниям датчиков пути.

Библиографический список

1. *Лойцянский Л.Г.* Механика жидкости и газа. М., Наука, 1973.
2. *Абрамович Г.Н.* Прикладная газовая динамика. М., Наука, 1976.

АВТОРЫ СБОРНИКА

Абсалямов Д.Р.	327	Золотухина А.И.	282
Абусалимов Э.Ш.	213	Зорина Ю.С.	306
Агарков А.В.	16	Зорнина Н.А.	193
Агафонова Д.С.	19	Зуев С.Д.	288
Аитов Р.Н.	327	Зыкун А.В.	185
Албутов А.Н.	310	Иванов А.О.	238,246
Алешин Е.Н.	285	Ильин Н.Ю.	146
Андреева А.В.	33	Ильмаст К.О.	255
Антонов А.А.	249	Исхаков Ш.Ш.	46
Арустамова К.А.	310	Казаков А.И.	35
Архипов М.Н.	89	Карагодин В.В.	49
Батюков А.М.	216	Карасев А.А.	35
Бондарев А.В.	219	Карпенков Д.А.	142
Борина А.П.	38	Карташев Е.Н.	255
Бородавкин В.А.	130	Кириленко Я.А.	225
Бородинов Р.В.	277	Кирпанев А.В.	182
Брыксин Т.А.	222,228	Киоц А.В.	209
Бузников А.А.	33,74	Ковалев В.В.	327
Бурцева К.И.	118	Ковалев Ф.Е.	46
Буяков С.Н.	323	Колпин М.А.	121
Васендин С.В.	182	Кононов А.Н.	130
Викторов Е.А.	272	Королев А.В.	107,111
Вишняков Е.П.	49	Короткий Н.В.	219
Волкова А.В.	53	Коченков Н.В.	323
Вологодина Я.С.	262	Кочетков И.В.	79
Воробьев А.М.	10	Кравцов А.Н.	235
Гаврилов А.С.	338	Кривошеин Б.Н.	219
Гаврилов Р.С.	294	Кузенкова А.С.	228
Галилеев С.М.	164	Кузнецов А.Б.	94
Герасимов А.Н.	49	Кузнецова А.В.	103
Горюнова С.А.	204	Кузьмин Д.А.	125
Григорьев А.В.	24	Куйбышев В.А.	12
Григорьев К.Л.	121	Кульбеда М.В.	185
Гришканич А.С.	74	Курапова Е.В.	209
Громов Д.Ю.	258	Леонтьев А.А.	46
Грунин В.В.	154	Литвинов Ю.В.	222,228
Гунько М.С.	265	Лихачев А.Н.	87
Давыдов А.С.	327	Лысенко Д.Ю.	265
Даниленко О.В.	66	Макаров В.В.	79
Данилов Н.М.	115	Манаев Д.С.	282
Десятков В.А.	115	Мандрица Д.П.	175
Долбенков В.Г.	8	Маслов А.С.	27
Дорожко И.В.	238,242	Маштаков А.П.	107,111
Дубинин А.В.	83	Медведев О.В.	231
Дудин С.М.	167	Мелихов К.В.	199
Егоров Д.В.	262	Меньков А.В.	346
Ельцин С.Н.	130	Миняев С.И.	314
Ефимова С.В.	107	Мокеев И.А.	79
Ефремова И.А.	22	Мокин М.С.	43
Жевлаков А.П.	74	Молдован Е.Л.	16

Мышко В.В.	235
Незнамова И.В.	136
Никитин В.А.	204
Новожилов И.С.	318
Овчинникова О.К.	331,335
Оржаховский М.Л.	132
Орлов А.И.	87
Осечкина М.С.	225
Осипов Н.А.	238,242
Пешехонов Н.Е.	280
Пономарев М.Ю.	178,182
Пономарев А.С.	274
Прокопчук В.И.	103
Резниченко Н.С.	132
Романовский Р.С.	253
Рулев С.С.	167
Русина А.А.	130
Рутман Ю.Л.	188
Рыбаков В.В.	280
Салихова Е.А.	164
Самойлов Е.Б.	235
Самойлова Ю.П.	282
Сидоров Е.А.	70
Солнцева Я.С.	188
Старчуков Д.С.	175
Сумин А.В.	197
Суров А.В.	331
Тайдонов И.Е.	24
Терешин В.А.	38
Тимофеев А.А.	33
Тихонов Э.И.	246
Ткаченко В.В.	235
Торегожин А.Е.	282
Трубкина Н.А.	76
Тыртычный А.А.	56
Тюрин Р.М.	242,246
Уляшева Н.А.	60
Успанова Л.С.	185
Федоров А.С.	193
Фёдоров Д.А.	97
Федоров Д.С.	16
Фоломеев А.Н.	83
Худошин В.В.	29
Хусаинов А.В.	111
Цуркан А.И.	160
Частухина С.А.	291
Чупринский И.И.	35
Шикер Д.Ю.	178
Шишкин Е.В.	323
Шишко Е.В.	301
Шмаков Р.Б.	175
Шусев А.В.	311
Щеглов Д.К.	204,265