



Сборник выступлений участников
Всероссийской научно-технической конференции

**Современное состояние методов, средств
и метрологического обеспечения экспериментальных
исследований, испытаний и эксплуатации изделий
авиационной и ракетно-космической техники**



Proceedings of the all-russian Scientific-Technical Conference on
**Current methods, tools and metrological assurance
for experimental research, testing and
maintaining aviation and aerospace equipment**

27–28 октября / October 2015

Организатор
Organiser



Соорганизаторы конференции
Conference co-organisers



При поддержке
Supported by



Министерство
промышленности
и торговли РФ
РОССТАНДАРТ



СОДЕРЖАНИЕ

ПРОГРАММА КОНФЕРЕНЦИИ	1
ПЛЕНАРНОЕ ЗАСЕДАНИЕ	7
СИСТЕМА МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАКЕТНО - КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ	7
ПОВЕРКА И КАЛИБРОВКА КАК ЭЛЕМЕНТЫ СИСТЕМЫ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВА	10
СЕКЦИЯ 1. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ, ИСПЫТАНИЙ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ИЗДЕЛИЙ В АВИАЦИОННОЙ И КОСМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ	12
ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЦИФРОВЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ В СОСТАВЕ СБИ	12
СИСТЕМА КОМПЛЕКСНОЙ ПРОВЕРКИ МОНТАЖА БОРТОВОЙ КАБЕЛЬНОЙ СЕТИ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ (НА ПРИМЕРЕ САМОЛЕТА «СУХОЙ СУПЕРДЖЕТ - 100») И СИСТЕМЫ ТЕЛЕМЕТРИИ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ	18
МЕТОД И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ РАЗРЯДА СВЕЧЕЙ ЗАЖИГАНИЯ ГТД	25
ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МАТЕРИАЛОВ И КОНСТРУКЦИЙ	28, 29
МАСС-СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ НИКЕЛЕВЫХ СПЛАВОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЛАЗЕРНОЙ АБЛЯЦИИ	34
МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СОЗДАНИЯ, ИСПЫТАНИЙ НОВЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ АВИАЦИОННОЙ И КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ, АТТЕСТАЦИИ РЕФЕРЕНТНЫХ МЕТОДИК ИЗМЕРЕНИЙ	38
ОСОБЕННОСТИ АТТЕСТАЦИИ СТЕНДОВОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА ВЕРТОЛЕТОВ МИ-8, МИ-17 И ИХ МОДИФИКАЦИЙ	40
МЕТОДЫ ИМИТАЦИИ НЕВЕСОМОСТИ И ОСОБЕННОСТИ ОТРАБОТКИ НАДЁЖНОСТИ РАЗВЁРТЫВАНИЯ КРУПНОГАБАРИТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ АВТОМАТИЧЕСКИХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ	49, 50

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОПТИМИЗАЦИИ СТЕНДОВОЙ ОТРАБОТКИ РАЗЛИЧНЫХ ЭУ И СИСТЕМ	55
РАЗРАБОТКА МЕТОДА ФОРМИРОВАНИЯ СОВОКУПНОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ИЗ ФРАГМЕНТОВ ИЗОБРАЖЕНИЙ И РАСШИФРОВКИ ТЕРМОПОКРЫТИЙ.....	75
ВНЕДРЕНИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ НА ВСЕХ ЭТАПАХ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА АВИАЦИОННОЙ И РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ	82
СЕКЦИЯ 2. АВТОМАТИЗАЦИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИСПЫТАНИЙ АВИАЦИОННОЙ И КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ В УСЛОВИЯХ ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЯ.....	84
ОБЗОР ЗАКОНОДАТЕЛЬНОЙ И НОРМАТИВНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ, РЕГЛАМЕНТИРУЮЩЕЙ ТРЕБОВАНИЯ И ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ПОДТВЕРЖДЕНИЯ СООТВЕТСТВИЯ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ	84
МОДИФИКАЦИЯ МЕТОДА РЕМЕЗА ДЛЯ УСТАНОВЛЕНИЯ ЛИНЕЙНЫХ ГРАДУИРОВОЧНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ	86
ПРЕДСТАВЛЕНИЕ И АНАЛИЗ ДАННЫХ ТЕНЗОМЕТРИИ В ПРОЦЕССЕ ПРОВЕДЕНИЯ СТАТИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ НА ПРОЧНОСТЬ	94, 95
СОЗДАНИЕ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО МОДАЛЬНОГО АНАЛИЗА СЛОЖНЫХ МЕХАНИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ.....	97
ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ РИСКАМИ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ЛЕТНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА	104
ОСОБЕННОСТИ СОЗДАНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ ОЦЕНКИ УРОВНЯ КАЧЕСТВА НАЗЕМНЫХ ИСПЫТАНИЙ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ	110
РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ СОЗДАНИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ, АВАРИЙНОЙ ЗАЩИТЫ И ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ДИАГНОСТИКИ ДЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ АГРЕГАТОВ ПЕРСПЕКТИВНОЙ АВИАЦИОННОЙ И РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ (НА ПРИМЕРЕ ЖРД)	116
ПРИМЕНЕНИЕ ИК-ФУРЬЕ МИКРОСКОПИИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ	123

ОБРАЗЦОВЫЙ УСИЛИТЕЛЬ – НОРМАЛИЗАТОР ДЛЯ ТЕНЗОМЕТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ	127
МАЛОГАБАРИТНЫЕ МНОГОКАНАЛЬНЫЕ ДАТЧИКИ ДАВЛЕНИЯ	129
СЕКЦИЯ 3. МЕТРОЛОГИЯ И СТАНДАРТИЗАЦИЯ. МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИСПЫТАНИЙ АВИАЦИОННОЙ И КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ	136
ПРОБЛЕМЫ ПРИМЕНЕНИЯ ОТРАСЛЕВЫХ СТАНДАРТОВ В ОБЛАСТИ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИЗДЕЛИЙ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ.....	136
НОРМАТИВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИСПЫТАНИЙ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ	145
СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ НОРМАТИВНО-МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ.....	153
ПРОБЛЕМЫ ВЫСОКОТОЧНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ В АЭРОКОСМИЧЕСКОЙ СФЕРЕ	154
ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ ПОРЯДКА ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ ЕДИНИЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА В ЦЕЛЯХ УТВЕРЖДЕНИЯ ТИПА.....	159
МЕТОДОЛОГИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ ВЕДОМСТВЕННЫХ ИСПЫТАНИЙ ОТЕЧЕСТВЕННОГО ИЗМЕРИТЕЛЯ КОЭФФИЦИЕНТА СЦЕПЛЕНИЯ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ ДЛЯ АВИАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ	163
МЕТРОЛОГИЯ СЕТЕВОГО РАДИОЗОНДИРОВАНИЯ АТМОСФЕРЫ	173
ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЙ МОНИТОРИНГ МАССЫ И ЦЕНТРОВКИ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ И ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ.....	186
КАЛИБРОВКА ВЫСОКОТОЧНЫХ ЧАСТОТНО-ВРЕМЕННЫХ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГОСУДАРСТВЕННОГО ПЕРВИЧНОГО ЭТАЛОНА ЕДИНИЦ ВРЕМЕНИ, ЧАСТОТЫ И НАЦИОНАЛЬНОЙ ШКАЛЫ ВРЕМЕНИ РФ	194
ЕДИНСТВО ИЗМЕРЕНИЙ ТВЁРДОСТИ ТОНКИХ ПОКРЫТИЙ И СЛОЁВ ТОЛЩИНОЙ ОТ 100 НМ ДО 1МКМ.....	200

СЕКЦИЯ 4. ОСОБЕННОСТИ ПОДГОТОВКИ КАДРОВ В ОБЛАСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИСПЫТАНИЙ ИЗДЕЛИЙ АВИАЦИОННОЙ И РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ	205
ПРОБЛЕМЫ ПРОФИЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ СПЕЦИАЛИСТОВ ПО ОПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫМ И КОНТРОЛЬНЫМ ИСПЫТАНИЯМ	205
ЦЕЛЕВАЯ ПОДГОТОВКА МАГИСТРОВ ПО ПРОГРАММЕ «ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ПИЛОТАЖНО-НАВИГАЦИОННЫХ ПРИБОРОВ И СИСТЕМ»	212
СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО ПРОЦЕССА НА КАФЕДРЕ «МЕТРОЛОГИЯ И ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОСТЬ» МГТУ ИМ. Н.Э. БАУМАНА	215
О МОЛОДЫХ СПЕЦИАЛИСТАХ И ОБРАТНЫХ ПОЛИНОМИАЛЬНЫХ ГРАДУИРОВОЧНЫХ ХАРАКТЕРИСТИКАХ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ	216
ПРОБЛЕМЫ И ОСОБЕННОСТИ ПОДГОТОВКИ ВЫСОКОКВАЛИФИЦИРОВАННЫХ СПЕЦИАЛИСТОВ ДЛЯ СОЗДАНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИИ СИСТЕМ СТЕНДОВЫХ ИСПЫТАНИЙ ПЕРСПЕКТИВНОЙ АВИАЦИОННОЙ И РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ	224
ФОРМИРОВАНИЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ КОМПЕТЕНЦИЙ СПЕЦИАЛИСТОВ В ОБЛАСТИ ИСПЫТАНИЙ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКИХ ДВИГАТЕЛЕЙ.....	228
ОБУЧЕНИЕ СТУДЕНТОВ И СПЕЦИАЛИСТОВ АЭРОКОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ, МОДЕЛЬНО-ОРИЕНТИРОВАННЫМ МЕТОДАМ РАЗРАБОТКИ ПО ДЛЯ КРИТИЧЕСКИХ ПО БЕЗОПАСНОСТИ ВСТРАИВАЕМЫХ СИСТЕМ, С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА SCADE ОТ КОМПАНИИ ESTEREL TECHNOLOGIES.....	233

ВСЕРОССИЙСКАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

«СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ МЕТОДОВ, СРЕДСТВ И МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ, ИСПЫТАНИЙ И ЭКСПЛУАТАЦИИ
ИЗДЕЛИЙ АВИАЦИОННОЙ И РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ»

27-28 октября 2015 года, Москва, МВЦ «Крокус Экспо»

При организационной поддержке:



Министерство промышленности
и торговли РФ



РОССТАНДАРТ



Федеральное космическое
агентство

Пленарное заседание

27 октября 2015 года, 10.30-12.00, конференц-зал №3, МВЦ Крокус Экспо

Модератор: **Исаев Лев Константинович**, вице-президент Метрологической академии, заведующий кафедрой «Законодательная метрология» ФГАОУ ДПО АСМС, почётный член Международного Комитета законодательной метрологии, ФГУП «ВНИИМС», д.т.н., профессор

10.30-10.45	«Потребности авиастроительного комплекса в контрольно - измерительном и испытательном оборудовании» Емельянов Сергей Владимирович – директор Департамента авиационной промышленности министерства промышленности и торговли Российской Федерации
10.45-11.00	«О развитии измерительной и метрологической техники в ЦАГИ» Карташев Юрий Валентинович – советник генерального директора по перспективным проектам развития экспериментальной базы ФГУП «ЦАГИ»
11.00-11.15	«Система метрологического обеспечения ракетно-космической техники» Чапоргин Виктор Степанович - главный метролог Федерального космического агентства, к.т.н.; Поморцев Павел Михайлович - заместитель генерального директора по качеству ФГУП «НПО «Техномаш», к.т.н.
11.15-11.30	«Роль инженерного образования в развитии авиационной промышленности» Куприков Михаил Юрьевич – и.о. проректора по учебной работе НИУ МАИ, д.т.н., профессор
11.30-11.45	«Проверка и калибровка как элементы системы метрологического обеспечения производства» Исаев Лев Константинович - вице-президент Метрологической академии, заведующий кафедрой «Законодательная метрология» ФГАОУ ДПО АСМС, почётный член Международного Комитета законодательной метрологии, ФГУП «ВНИИМС», д.т.н., профессор
11.45-12.00	Вопросы. Заключительное слово модератора

27 октября 2015 года, 12.30-15.15, конференц-зал №3, МВЦ Крокус Экспо

Модератор: **Минеев Борис Иванович**, главный метролог ФГУП «ЦИАМ им. П.И. Баранова», к.ф.-м.н.

Секция №1	Методы и средства измерений, испытаний и эксплуатации изделий в авиационной и космической промышленности
12.30-12.45	<p>«Особенности использования цифровых преобразователей в составе Систем бортовых измерений»</p> <p>Бордуков Андрей Алексеевич - начальник сектора лаборатории МОИИС, ОАО «ЛИИ им. М.М. Громова»; Бондарцев В.В. - заместитель генерального директора по качеству – главный метролог, к.т.н., с.н.с.; Баранов Л.А., к.т.н.; Токмакова Т.Г. - ОАО «ЛИИ им. М.М. Громова»</p>
12.45-13.00	<p>«Система комплексной проверки монтажа бортовой кабельной сети авиационной техники (на примере самолета «Сухой Суперджет-100») и системы телеметрии нового поколения»</p> <p>Зайченко Сергей Николаевич - генеральный директор холдинга «Информтест», к.т.н.; Стуколкин Н.А. – заместитель генерального директора холдинга «Информтест»</p>
13.00-13.15	<p>«Метод и средства измерения параметров разряда свечей зажигания ГТД»</p> <p>Голенцов Дмитрий Анатольевич – начальник сектора, к.ф.-м.н., ФГУП «ЦИАМ им. П.И. Баранова», Кюрегян Н.С., Фланден В.С. - ФГУП «ЦИАМ им. П.И. Баранова»</p>
13.15-13.30	<p>«Перспективные методы и средства определения динамических характеристик материалов и конструкций»</p> <p>Смотров Андрей Васильевич - главный инженер комплекса прочности ЛА ФГУП «ЦАГИ», к.т.н., Смотрова С.А. - начальник научно-исследовательской лаборатории перспективных методов испытаний и контроля состояния конструкций ФГУП «ЦАГИ», к.т.н.</p>
13.30-13.45	<p>«Масс-спектрометрический анализ никелевых сплавов с применением лазерной абляции»</p> <p>Алексеев Андрей Владимирович – научный сотрудник ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ, к.б. н.; Якимович П.В., Карачевцев Ф.Н. - ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ</p>
13.45-14.00	<p>«Метрологическое обеспечение создания, испытаний новых материалов для авиационной и космической техники, аттестация референтных методик измерений»</p> <p>Муравская Наталья Павловна – заместитель директора по качеству ФГУП «ВНИИОФИ», д.т.н., доцент</p>
14.00-14.15	<p>«Особенности аттестации стендового испытательного оборудования для технического обслуживания и ремонта вертолетов Ми-8, Ми-17 и их модификаций»</p> <p>Богоявленский Анатолий Александрович - главный метролог ФГУП ГосНИИ ГА, член-корреспондент Метрологической Академии, к.т.н.</p>
14.15-14.30	<p>«Методы имитации невесомости и особенности отработки надёжности развёртывания крупногабаритных конструкций автоматических космических аппаратов»</p> <p>Двирный Гурий Валерьевич - инженер по наладке и испытаниям Отраслевого центра крупногабаритных трансформируемых механических конструкций АО «Информационные спутниковые системы им. ак. М.Ф. Решетнёва», к.т.н.; Михалкин В.М. - заместитель директора – главный инженер Отраслевого центра крупногабаритных трансформируемых механических конструкций АО «ИСС им. ак. М.Ф. Решетнёва»</p>
14.30-14.45	<p>«Современные технологии оптимизации стендовой отработки энергетических установок и систем»</p> <p>Ковалёв Владимир Иванович – начальник отдела системной интеграции и информатизации испытаний, ОАО «НПО Энергомаш им. академика В.П. Глушко», к.т.н.</p>
14.45-15.00	<p>«Разработка метода формирования совокупного изображения поверхности фрагментов изображений для расшифровки температурных полей элементов ГТД, полученных с помощью термокрасок ЦИАМ»</p> <p>Кобцева Анастасия Анатольевна – инженер ФГУП «ЦИАМ им. П.И. Баранова», Сорожкин А.С., Мирная М.Р., Иванов К.А. – ФГУП «ЦИАМ им. П.И. Баранова»</p>

15.00-15.15	<p>«Внедрение измерительно-вычислительных технологий на всех этапах жизненного цикла авиационной и ракетно-космической техники»</p> <p>Комшин Александр Сергеевич - доцент кафедры «Метрология и взаимозаменяемость», ведущий научный сотрудник научно-образовательного инжинирингового центра «Прецизионное метрологическое обеспечение машиностроения» МГТУ им. Н.Э. Баумана, к.т.н., доцент; Киселёв М.И., д.ф.-м.н.; Пронякин В.И., д.т.н. – МГТУ им. Н.Э. Баумана</p>
15.15-15.30	ПЕРЕРЫВ

27 октября 2015 года, 15.30-18.00, конференц-зал №3, МВЦ Крокус Экспо

Модератор: **Петроневич Василий Васильевич**, главный метролог ФГУП «ЦАГИ», заведующий кафедрой ФАЛТ МФТИ, к.т.н., доцент.

Секция №2	Автоматизация экспериментальных исследований и испытаний авиационной и космической техники в условиях импортозамещения
15.30-15.45	<p>«Обзор законодательной и нормативно-технической документации, регламентирующей требования и порядок проведения подтверждения соответствия программного обеспечения средств измерений»</p> <p>Бачурин Дмитрий Петрович - начальник управления ФГБУ «Главный научный метрологический центр» Минобороны России</p>
15.45-16.00	<p>«Модификация метода Ремеза для установления линейных градуировочных характеристик средств измерений»</p> <p>Левченко Марта Михайловна – младший научный сотрудник ФГУП «ЦАГИ»; Левченко М.А. - ведущий научный сотрудник ФГУП «ЦАГИ», к.т.н., доцент</p>
16.00-16.15	<p>«Представление и анализ данных тензометрии в процессе проведения статических испытаний на прочность»</p> <p>Курулюк Дмитрий Вадиславович - младший научный сотрудник, магистр, аспирант ФГУП «ЦАГИ»</p>
16.15-16.30	<p>«Создание программного комплекса для автоматизации экспериментального модально-го анализа сложных механических конструкций»</p> <p>Николаев Сергей Михайлович - аспирант кафедры «Прикладная механика» МГТУ им. Н.Э. Баумана</p>
16.30-16.45	<p>«Принципы построения автоматизированной системы управления рисками при проведении летного эксперимента»</p> <p>Бордуков Андрей Алексеевич – начальник сектора лаборатории МОИИС, ОАО «ЛИИ им. М.М. Громова»; Бондарцев В.В. - заместитель генерального директора по качеству – главный метролог, к.т.н., с.н.с.; Токмакова Т.Г. – ОАО «ЛИИ им. М.М. Громова»»</p>
16.45-17.00	<p>«Особенности создания автоматизированных систем оценки уровня качества наземных испытаний летательных аппаратов»</p> <p>Федулова Анастасия Геннадьевна – инженер 1-ой категории службы управления качеством, аспирантка ОАО «ЛИИ им. М.М. Громова»; Бондарцев В.В. - заместитель генерального директора по качеству – главный метролог, к.т.н., с.н.с.; Шумова М.Ю., Бордуков А.А. – ОАО «ЛИИ им. М.М. Громова»</p>
17.00-17.15	<p>«Разработка технологии создания систем управления, аварийной защиты и функциональной диагностики для технологических испытаний агрегатов перспективной авиационной и ракетно-космической техники (на примере испытаний ЖРД)»</p> <p>Егоров Александр Александрович - заместитель директора по научной работе НПК «Вычислительная техника и информатика» МАИ, профессор АВН РФ, к.т.н., главный редактор журнала «Автоматизация и ИТ в энергетике»; Сурков Д.А. - руководитель «Научно-исследовательской лаборатории внедрения инновационных технологий» НПК ВТИ МАИ, к.т.н., доцент</p>

17.15-17.30	«Применение ИК-Фурье микроскопии для исследования полимерных материалов» Репников Виктор Владимирович – специалист по применению отдела промышленного оборудования подразделения Bruker Optics
17.30-17.45	«Образцовый усилитель - нормализатор для тензометрических измерений» Бухаров Кирилл Дмитриевич – младший научный сотрудник ФГУП «ЦАГИ»; Волобуев В.С. - ФГУП «ЦАГИ», Петроневич В.В. – главный метролог ФГУП «ЦАГИ»; Бухаров Д.Г., Демидов В.М. – НИУ «МЭИ»
17.45-18.00	«Малогабаритные многоканальные датчики давления» Колесников Владимир Алексеевич – генеральный директор ООО «Драйвер», г. Саранск; Бирюков Г.В. – начальник сектора ФГУП «ЦАГИ»
18.00	Заключительное слово модератора

28 октября 2015 года, 10.30-13.30, конференц-зал №3, МВЦ Крокус Экспо

Модератор: **Лахов Владимир Михайлович**, заместитель директора по научной работе ФГУП «ВНИИМС», к.ф.-м.н., профессор

Секция №3	Метрология и стандартизация. Метрологическое обеспечение испытаний авиационной и космической техники
10.30-10.45	«Проблемы применения отраслевых стандартов в области метрологического обеспечения изделий авиационной техники» Агупов Владимир Александрович – заместитель директора по качеству ПАО «Туполев», д.т.н.
10.45-11.00	«Нормативные проблемы метрологического обеспечения экспериментальных исследований и испытаний сложных технических объектов» Левин Сергей Фёдорович – проректор по учебной и научной работе ФГБОУ ДПО «Московский институт экспертизы и испытаний», заведующий кафедрой метрологии и метрологического обеспечения, д.т.н., профессор
11.00-11.15	«Современное состояние нормативно-метрологического обеспечения в Российской Федерации» Лахов Владимир Михайлович - заместитель директора по научной работе ФГУП «ВНИИМС», к.ф.-м.н., профессор
11.15-11.45	«Состояние и проблемы нормативно-правовой базы обеспечения единства измерений и достоверности испытаний в области авиационной и ракетно-космической техники» Щеглов Василий Андреевич – главный метролог ФГБУ «ГНМЦ» Минобороны России
11.45-12.00	«Проблемы высокоточных измерений в аэрокосмической сфере» Кривцов Евгений Петрович – заместитель директора по научной работе ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева», к.т.н.
12.00-12.15	«Предложения по совершенствованию порядка проведения испытаний средств измерений единичного производства в целях утверждения типа» Храпов Фёдор Иванович - заместитель генерального директора – начальник НИО-10 ФГУП «ВНИИФТРИ», д.т.н.
12.15-12.30	«Методология и результаты ведомственных испытаний отечественного измерителя коэффициента сцепления нового поколения для авиационной деятельности» Боков Алексей Евгеньевич - старший инженер отдела главного метролога ФГУП ГосНИИ ГА; Богоявленский А.А. - главный метролог ФГУП ГосНИИ ГА, член-корреспондент Метрологической Академии, к.т.н.
12.30-12.45	«Метрология радиозондирования атмосферы» Фридзон Марк Борисович – заместитель директора по науке и развитию ООО «Аэроприбор», МГТУ ГА, д.т.н.; Ермошенко Ю.М. - ООО « Аэроприбор»; Евтушенко О.А. - филиал «НИИ Аэронавигации» ФГУП ГосНИИ ГА, к.т.н.

12.45-13.00	<p>«Эксплуатационный мониторинг массы и центровки воздушных судов и факторы, влияющие на результаты измерений»</p> <p>Богоявленский Анатолий Александрович - главный метролог ФГУП ГосНИИ ГА, член-корреспондент Метрологической Академии, к.т.н.</p>
13.00-13.15	<p>«Калибровка высокоточных частотно-временных средств измерений с использованием Государственного первичного стандарта времени и частоты РФ»</p> <p>Гончаров Александр Сергеевич – заместитель начальника ГМЦ ГСВЧ ФГУП «ВНИИФТРИ», к.т.н.; Блинov И.Ю., д.т.н., Пальчиков В.Г., д.ф.-м.н.-ФГУП «ВНИИФТРИ»</p>
13.15-13.30	<p>«Единство измерений твёрдости тонких покрытий и слоёв с толщиной от 100 нм до 1мкм»</p> <p>Асланян Андрей Эдуардович – старший научный сотрудник, ученый-хранитель государственного эталона ФГУП «ВНИИФТРИ», к.т.н.</p>
13.30-14.00	Круглый стол

28 октября 2015 года, 14.30-16.30, конференц-зал №3, МВЦ Крокус Экспо

Модератор: Егоров Александр Александрович, заместитель директора по научной работе НПК «Вычислительная техника и информатика» МАИ, профессор АВН РФ, к.т.н., главный редактор журнала «Автоматизация и ИТ в энергетике»

Секция №4	Особенности подготовки кадров в области проектирования экспериментальных исследований и испытаний изделий авиационной и ракетно-космической промышленности в современных условиях
14.30-14.45	<p>«Проблемы профильного образования специалистов по определительным и контрольным испытаниям»</p> <p>Левин Сергей Фёдорович – проректор по учебной и научной работе ФГБОУ ДПО «Московский институт экспертизы и испытаний», заведующий кафедрой метрологии и метрологического обеспечения, д.т.н., профессор</p>
14.45-15.00	<p>«Целевая подготовка магистров по программе «Измерительные информационные технологии и методы повышения точности пилотажно-навигационных приборов и систем»</p> <p>Солдаткин Владимир Михайлович – заведующий кафедрой приборов и информационно-измерительных систем Казанского национального исследовательского технического университета им А.Н. Туполева-КАИ, д.т.н., профессор</p>
15.00-15.15	<p>«Содержание учебного процесса на кафедре «Метрология и взаимозаменяемость» МГТУ им. Н.Э. Баумана»</p> <p>Киселёв Михаил Иванович – профессор кафедры «Метрология и взаимозаменяемость» МГТУ им. Н.Э. Баумана, д.ф.-м.н.;</p> <p>Пронякин В.И. – заведующий кафедрой «Метрология и взаимозаменяемость» МГТУ им. Н.Э. Баумана, д.т.н.</p>
15.15-15.30	<p>«О молодых специалистах и обратных полиномиальных градуировочных характеристиках средств измерений»</p> <p>Левченко Михаил Александрович - ведущий научный сотрудник ФГУП «ЦАГИ», к.т.н., доцент; Левченко М. М. – младший научный сотрудник ФГУП «ЦАГИ»</p>
15.30-15.45	<p>«Проблемы и особенности подготовки высококвалифицированных специалистов для создания и эксплуатации систем стендовых испытаний перспективной авиационной и ракетно-космической техники»</p> <p>Егоров Александр Александрович - заместитель директора по научной работе НПК «Вычислительная техника и информатика» МАИ, профессор АВН РФ, к.т.н., главный редактор журнала «Автоматизация и ИТ в энергетике</p>

15.45-16.00	<p>«Состояние и перспективы подготовки специалистов в области метрологии и метрологического обеспечения»</p> <p>Новиков Валерий Александрович – проректор по учебной работе ФГАОУ ДПО АСМС, к.т.н., доцент</p>
16.00-16.15	<p>«Формирование профессиональных компетенций специалистов в области испытаний ракетно-космических двигателей»</p> <p>Назаров Владимир Павлович – заведующий кафедрой двигателей летательных аппаратов СибГАУ им. ак. М.Ф. Решетнёва, к.т.н., профессор</p>
16.15-16.30	<p>«Обучение студентов и специалистов аэрокосмической техники модельно-ориентированным методам разработки ПО для критических по безопасности встраиваемых систем с применением программного комплекса SCADe от компании Esterel Technologies»</p> <p>Насыров Марат Бариевич - технический эксперт Esterel Technologies Russia; Бурков А.Ю. - технический эксперт Esterel Technologies Russia;</p>
16.30-17.00	Круглый стол. Обсуждение и принятие резолюции конференции.

СИСТЕМА МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАКЕТНО - КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ**В.С. Чапоргин****К.т.н., главный метролог Федерального космического агентства****П.М. Поморцев****К.т.н., заместитель директора по качеству, ЗАО «НПО «Техномаш»**

Роль метрологического обеспечения в решении задач создания и эксплуатации ракетно-космической техники (РКТ) переоценить трудно, т.к. основным источником информации о состоянии изделий РКТ при их разработке, производстве, испытаниях и эксплуатации являются измерения. Достоверность информации, точность и единство проводимых измерений непосредственно влияют на уровень технических характеристик и качество решаемых ракетными комплексами задач.

Особенности работ по метрологическому обеспечению создания РКТ двойного и военного назначения в организациях ракетно-космической промышленности (РКП) обусловлены рядом факторов:

- уникальностью в плане высокого научно-технического уровня;
- невозможностью проведения обслуживания и ремонтных работ на орбите;
- особенностями эксплуатации в космическом пространстве;
- высокой себестоимостью изделий;
- фактически единичным производством;
- широкой кооперацией участников создания РКТ.

На сегодняшний день в организациях РКП сложилась достаточно сильная метрологическая база, включающая широкий парк измерительной техники, в том числе уникальные эталоны и высокоточные средства измерений.

Всего в организациях РКП применяется порядка 1 млн. единиц средств измерений (СИ) различного уровня точности и назначения, среди которых около 13 тыс. рабочих эталонов (РЭ). Основная часть из них задействована в производстве и в испытаниях на предприятиях-изготовителях РКТ.

В развитие Государственной системы обеспечения единства измерений (ГСИ) в Роскосмосе разработана, внедрена и постоянно актуализируется отраслевая система метрологического обеспечения качества (ОСМОК), основу которой составляют 70 основополагающих отраслевых стандартов, а также более 150 нормативных и методических документов на нормы, методы и средства измерений, контроля и испытаний, в т.ч. на методики измерений параметров изделий РКТ и ее компонентов.

Всего в организациях РКП применяется свыше 1300 методик измерений, ежегодно проводится работа по их аттестации в соответствии с ГОСТ Р 8.563-2009.

Организацию работ по метрологическому обеспечению РКТ осуществляет метрологическая служба Роскосмоса (создана приказом руководителя Роскосмоса от 4 октября 2010 года № 149).

Этим же приказом введено Положение о метрологической службе ФКА, определено ответственное лицо за организацию деятельности по обеспечению единства измерений в пределах компетенции Роскосмоса. В соответствии с введенным Положением в состав метрологической службы Роскосмоса входят: главный метролог Роскосмоса, три головные организации метрологической службы по направлениям разработки, производства, испытаний и эксплуатации РКТ (ФГУП «НПО «Техномаш», ФГУП ЦНИИмаш, ФГУП «ЦЭНКИ»), а также метрологические службы корпораций и организаций РКП.

В деятельности метрологических служб организаций РКП занято более 2300 специалистов-метрологов. Укомплектованность метрологических служб организаций РКП составляет более 80 % от штатной численности.

Для рассмотрения проблем метрологического обеспечения РКТ и разработки рекомендаций по их решению при главном метрологе Роскосмоса функционирует Совет главных метрологов организаций РКП, функции и порядок работы которого определяются Положением о нем, утвержденным руководством Роскосмоса.

В рамках ФКП и ФЦП в области космической деятельности в организациях РКП выполняется ряд НИОКР.

В рамках данных работ:

- создаются новые специализированные эталоны единиц величин, средств измерений, автоматизированные измерительные системы и комплексы в специальных для РКТ областях измерений;
- проводится разработка и актуализация нормативных и методических документов в области метрологического обеспечения РКТ, отвечающих современным нормативным правовым документам Российской Федерации,
- создаются новые базы данных и информационные ресурсы в области метрологического обеспечения РКТ.

Для обеспечения сбалансированного развития системы метрологического обеспечения РКТ с перспективными ее образцами разрабатываются документы программно-целевого планирования.

25 января 2015 года заместителем руководителя Роскосмоса утверждена Программа развития системы метрологического обеспечения РКТ на период до 2020 года. Программа охватывает вопросы:

- проведения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (НИОКР) метрологического направления,
- дооснащения технической базы организаций РКП современными СИ,
- развития нормативно-правовой базы метрологического обеспечения РКТ
- совершенствования метрологической службы Роскосмоса.

Ежегодно разрабатываются планы проведения мероприятий по метрологическому обеспечению РКТ, включающие разделы: метрологическая экспертиза изделий РКТ; первичная аттестация испытательного оборудования, испытания стандартных образцов и средств измерений в целях утверждения типа; аттестация методик (методов) измерений; ход выполнения НИОКР работ по метрологии в рамках ФЦП и т.д.

Таким образом, можно утверждать, что действующая в организациях ракетно-космической отрасли система метрологического обеспечения РКТ функционирует в целом эффективно. Вместе с тем имеется ряд проблем, снижающих ее результативность, основными из которых являются:

- моральное старение и физический износ измерительного парка предприятий РКП;
- более трети отраслевых стандартов, в т.ч. методик измерений параметров изделий РКТ, требуют пересмотра и приведения в соответствие с законодательством Российской Федерации о техническом регулировании и об обеспечении единства измерений, нормативными документами в области обеспечения единства измерений;
- отсутствие межведомственных документов, определяющих особенности метрологического обеспечения РКТ различного назначения;
- нехватка квалифицированных кадров.

В сложившейся ситуации приоритетными направлениями совершенствования системы метрологического обеспечения создания РКТ двойного и военного назначения в организациях РКП являются:

- реализация отраслевой Программы развития системы метрологического обеспечения РКТ на период до 2020 года;
- создание на базе ФГУП «НПО «Техномаш» отраслевого метрологического центра для организации (координации) и проведения работ по метрологическому сопровождению РКТ научного, социально-экономического, двойного и военного назначения, в том числе метрологической экспертизы, аттестации методик измерений, испытательного оборудования и других работ в области обеспечения единства измерений;
- разработка новой редакции приказа о перечне измерений, относящихся к сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений, в части компетенции Федерального космического агентства (Роскосмос);
- разработка и утверждение соглашения о взаимодействии Роскосмоса и Росстандарта в сфере метрологического обеспечения создания, производства и эксплуатации (применения) космических комплексов (взамен соглашения от 14.03.2006);
- разработка Положения о взаимодействии Роскосмоса и Минобороны России по метрологическому обеспечению создания, производства и эксплуатации (применения) РКТ;
- разработка Положения о формировании межведомственных экспертных комиссий и проведении работ по метрологической экспертизе изделий РКТ;
- создание отраслевой системы калибровки средств измерений в РКП;
- создание кафедры «Метрологическое обеспечение РКТ» на базе ОАО «ИПК Машприбор» и ФГУП «НПО «Техномаш» Организация и проведение обучения (повышения квалификации) специалистов организаций РКП по направлению «Метрологическое обеспечение РКТ».

В работах по данным направлениям принимают участие Роскосмос, Минобороны России, Росстандарт, ОАО «Объединённая ракетно-космическая корпорация».

ПОВЕРКА И КАЛИБРОВКА КАК ЭЛЕМЕНТЫ СИСТЕМЫ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВА

Л.К. Исаев

Д.т.н., профессор, вице-президент Метрологической академии, заведующий кафедрой
«Законодательная метрология» ФГАОУ ДПО АСМС, почетный член Международного
Комитета законодательной метрологии, ФГУП «ВНИИМС»

Тема доклада навеяна разделом 1.2 с точно таким же названием из первой главы «Правовые, нормативные и методические основы функционирования системы передачи единиц величин в Российской Федерации» монографии Б.Г.Артемьева и Ю.Е.Лукашова[1]. Действительно, после отмены ГОСТ 1.25-76 [2] все работы по метрологическому обеспечению производства целиком лежат на метрологических службах предприятий. В этой связи эффективность всех мероприятий метрологов зависит от осознания руководством значимости метрологического обеспечения измерений в системе организации и управления измерениями на предприятии. Авторы [1] детально анализируют и показывают необходимость и обоснованность применения стандарта ИСО 10012:2003 «Систем управления измерениями – Требования к процессам измерений и измерительному оборудованию» [3], подробно остановившись на требованиях к программному обеспечению и на идентификации измерительного оборудования и технических процедур. При этом показана первостепенная роль поверки и калибровки при организации управления производством.

Для обеспечения взаимопонимания в процессе проведения метрологических работ необходимо использование терминов и понятий, которые используются в действующих документах по метрологии – в Федеральном законе «Об обеспечении единства измерений» [4], в Межгосударственной Рекомендации РМГ 29 – 2013 «Метрология. Основные термины и определения»[5], в Международном словаре основных и общих терминов и определений в метрологии – VIM 3 [6] и др. Из этих документов следует, что поверку технически можно отнести к процедурам оценки соответствия, а калибровка является процедурой установления действительных значений метрологических характеристик. В производстве должно быть чётко установлено, в каких случаях нужна поверка, а в каких – калибровка, имея при этом в виду, что в соответствии со статьёй 18 [4] результаты калибровки средств измерений могут быть использованы при поверке средств измерений в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений, а Порядок признания результатов калибровки устанавливается Правительством Российской Федерации [7].

Особоговниманиязаслуживаютпроблемызаконодательнойметрологиивсвязисдеятельностью по поверке. В соответствии со статьёй 13 [4] Порядок проведения поверки устанавливается Минпромторгом РФ [8], а в соответствии со статьёй 13 поверка может осуществляться только после установления компетентности поверительного органа в национальной системе аккредитации в установленном законодательством порядке [9].

Являясь разными процедурами передачи единицы величины от эталонов средствам измерений, калибровка и поверка имеют ряд существенных отличий - от получения результатов и их оформления до использования при международном признании результатов калибровок и поверок. Всем особенностям поверки и калибровки посвящена 2-я Метрологическая Олимпиада, проводимая журналом «Законодательная и прикладная метрология», итоги которой будут подведены к 20 мая 2016г. – очередному Всемирному Дню Метрологии, лозунг которого связан с измерениями в нашем динамичном мире [10].

Литература

1. Б.Г.Артемьев, Ю.Е.Лукашов – Проверка и калибровка средств измерений, М., Стандартинформ, 2006
2. ГОСТ 1.25 -76 «Метрологическое обеспечение. Основные положения»
3. ГОСТ Р ИСО 10012-2008 «Системы менеджмента измерений.Требования к процессам измерений и измерительному оборудованию»
4. Федеральный закон РФ «Об обеспечении единства измерений» от 26 июня 2008 года № 102 – ФЗ
5. РМГ 29-2013 «ГСИ. Метрология. Основные термины и определения»
6. ИСО/МЭК Руководство 99:2007 Международный словарь по метрологии. Основные и общие понятия и соответствующие термины (VIM)
7. Постановление Правительства РФ от 2 апреля 2015 года №311 «Об утверждении Положения о признании результатов калибровки при поверке средств измерений в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений»
8. Приказ Минпромторга РФ от 2 июля 2015 года №1815 «Об утверждении Порядка проведения поверки средств измерений, требования к знаку поверки и содержанию свидетельства о поверке»
9. Федеральный закон РФ от 28 декабря 2013 года № 412–ФЗ «Об аккредитации в национальной системе аккредитации»
10. Метрологическая олимпиада (вопросы), Законодательная и прикладная метрология, Росконсалтинг, №5, 2015.

ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЦИФРОВЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ В СОСТАВЕ СБИ

В.В. Бондарцев, к.т.н., Т.Г. Токмакова, А.А. Бордуков, Л.А. Баранов,

ОАО «ЛИИ им. М.М. Громова»

Как показывает практика совершенствование методик бортовых измерений прямо связано с разработкой и внедрением новых измерительных средств. Так произошло в середине 60-ых годов с появлением магнитной записи. Однако аппаратурная реализация вследствие возможности радиоэлектронной техники разделена по частотному диапазону. Так для сигналов в полосе 0/5 Гц (НЧ) и сигналов в полосе 0/10 КГц (ВЧ) были предложены различные решения. Для регистрации НЧ информации был предложен и успешно реализован метод кодово-импульсивной модуляции (КИМ или цифровая модуляция). Этот метод относится к дискретной записи. Для сигналов ВЧ информации был использован метод непрерывной записи с частотной модуляцией. Разработанная по этим принципам аппаратура решала поставленные задачи, однако была несовместима «не взаимно заменима» как по согласующим устройствам, так и по регистраторам, это привело к тому, что были созданы две линии бортовых измерений, которые имели и отдельные наземные линии обработки, контроля и предполетной подготовки.

Аппаратурное совмещение этих двух различных видов измерения стало возможным после появления быстродействующих средств цифровых преобразований. Основным звеном в этой цепи преобразователей явилась разработка быстродействующих цифровых преобразователей (АЦП), который выполняет главную роль в замене аналоговых сигналов дискретной последовательности цифровых слов. Получение на выходе АЦП числовой последовательности обуславливает и дальнейшее преобразование цифровой информации с целью подготовки ее к регистрации на твердый накопитель с энергонезависимой памятью.

Таким образом, современная СБИ имеет комплексную структуру, в которой используются и аналоговые сигналы и цифровые. Каким-либо способом устранить эту двойственность в настоящее время не представляется возможным, т.к. аналоговая часть системы форсируется датчиками выходы которых состоят из напряжений, токов и сопротивлений, подаваемых на входы АЦП.

При проектировании для СБИ новых средств выдвигаются различные требования, основное из которых это необходимость сохранения технологии бортовых измерений отработанные при использовании ранее использованной аппаратуры. Удовлетворение этому требованию возможно комплексным решением вопросов совместимости сформулированных в НТД. Под совместимостью понимается совместимость метрологическая, по электропитанию, электромагнитная совместимость со штатным радиоэлектронным оборудованием.

Разработанные в широком ассортименте цифровые устройства успешно решают задачи по управлению передачи информации не могут быть использованы в практике бортовых измерений вследствие более жестких требований по габаритно-массовым показателям. Кроме того метрологические требования к измерениям на борту несколько отличаются от аналогичных требований к наземной аппаратуре. В частности в бортовых измерениях граничная частота полоса сигнала устанавливается по более низкому уровню неравномерности АЧХ (2/3%). Поэтому необходимы определенные методические проработки по оценке метрологических показаний цифровых преобразователей как в части оценки амплитудных искажений (погрешностей) сигнала, так и влияние высокочастотной дискретизации с последующей цифровой фильтрацией на статические характеристики регистрирующих сигналов.

Из совокупности преимуществ и достоинств цифровых преобразователей следует отметить те, которые прямым образом влияют на качество бортовых измерений, повышают их эффективность:

- большая по сравнению с аналоговыми средствами помехоустойчивость потоков различной структуры с последующим форматированием уплотненного потока.

- стирание различий в аппаратурной реализации каналов регистрации НЧ (до 5 Гц) и ВЧ (До 10 КГц) информации с возможностью верхней границы частотной полосы в 2-3 раза.
- более простая реализация фильтрации информации в рамках формирования полосы пропускания
- более высокая точность преобразования; при необходимости точность может повышаться при увеличении разрядности
- возможность многократного считывания записанной информации и большая продолжительность хранения
- многоразовое применение цифрового регистратора

Исследуемая система бортовых измерений (СБИ) представляет собой по архитектуре автоматизированную многоканальную информационно-измерительную систему (ИИС) на базе бортового компьютера для съема, преобразования, регистрации, обработки, хранения и визуализации измерительной информации (рис. 1.). Источниками полетной информации являются, прежде всего, электрические сигналы, поступающие с 12 датчиков различных физических величин (пьезоэлектрический, пьезорезистивный, индуктивный, тензорезистивный, терморезисторный, термоанемометрический и др.) и изменяющиеся в широких амплитудном и частотном диапазонах.

В состав СБИ входят три основных структурных элемента: устройство сбора, кассета памяти (твердотельный накопитель ТН1АЦ) и бортовой компьютер (ПЭВМ). В целях унификации аппаратных средств измерительные каналы (ИК) СБИ содержат ряд однотипных функциональных блоков: фильтр низких частот (ФНЧ), аналого-цифровой преобразователь (АЦП), цифровой фильтр (ЦФ) и мультиплексор. Однако учитывая разнообразие измеряемых физических величин и соответствующих им датчиков, основанных на различных физических эффектах, на данном этапе исследований анализу и оценке динамических свойств и характеристик подлежат только три цифровых преобразователя: АЦП, ЦФ и мультиплексор.

Безусловно, рассматривая последовательное преобразование любой физической величины в код, обработку цифровых отсчетов, передачу цифрового потока информации и измерение уже дискретных значений можно уверенно сказать, что основную долю в суммарную погрешность всегда вносят аналоговые функциональные блоки, такие как первичный преобразователь (датчик), нормализатор (масштабирующий усилитель), аналоговый фильтр. А далее по степени убывания погрешности от АЦП, ЦФ к мультиплексору.

При кардинальном переходе от аналогового сигнала к его цифровому виду возникает, как правило, две погрешности квантования и дискретизации, сопровождающиеся потерей полезной информации между цифровыми отсчетами.

Эти составляющие погрешности можно рассчитать теоретически и достаточно несложно поддаются учету. Значительно сложнее обстоят дела с оценкой динамических характеристик и погрешностей цифровых преобразователей, поскольку они проявляются как реакция устройства на скорость (частоту) изменения входного сигнала и во многом зависят от принципа действия и структуры используемого АЦП, ЦФ, мультиплексора и их инерционных свойств.

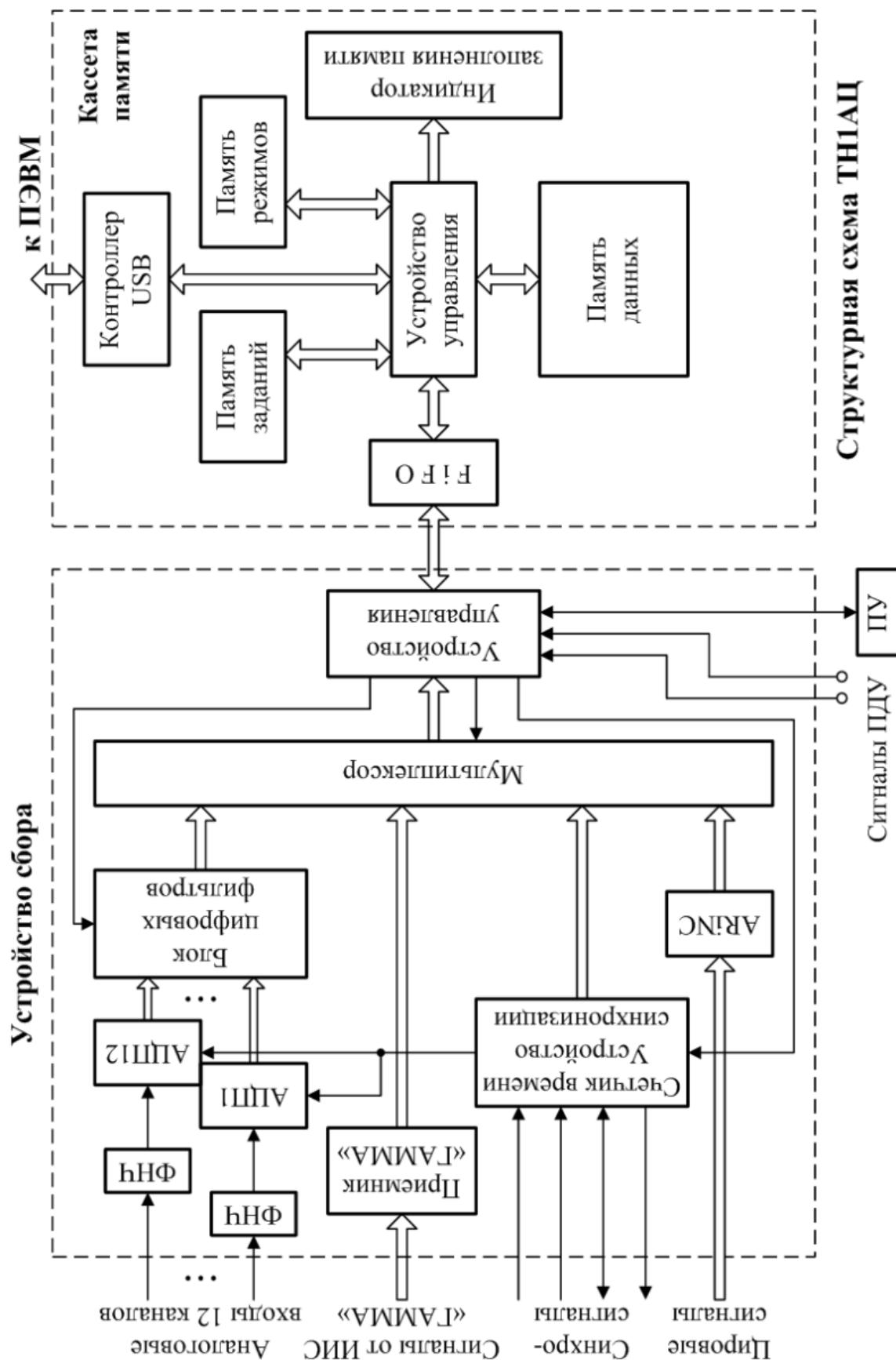


Рисунок 1. Обобщенная структура системы бортовых измерений

Цель работы - разработать алгоритм оптимизации динамической погрешности цифровых преобразователей.

Измеряемая величина $x(t)$ (вибрация, ускорение, деформация ...) датчиком преобразуется в электрическую величину. Входной преобразователь согласует с сигналом датчика и усиливает его до необходимого уровня. ФНЧ ограничивает спектр сигнала поступающего на вход АЦП для исключения эффекта наложения спектров возникающего от дискретизации при аналого-цифровом преобразовании. На рисунке 2 представлена функциональная схема входной части одного из измерительных каналов СБИ.

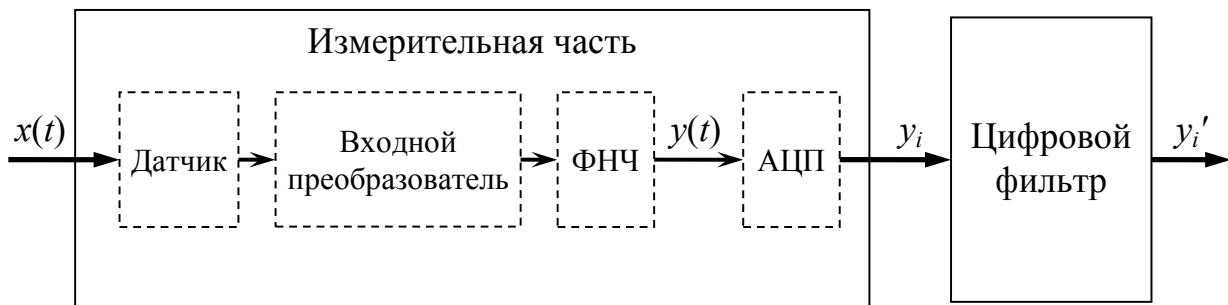


Рисунок 2 – Функциональная схема входной части СБИ

При изменении во времени измеряемой величины $x(t)$ из-за инерционности рассмотренных звеньев возникает динамическая погрешность.

Для сравнения входной $x(t)$ и выходной $y(t)$ величин измерительной части между собой сделаем их приведение «к выходу» и запишем значение динамической погрешности $\delta(t)$ в виде

$$\delta(t_n) = y_n - Kx(t_n), \quad (1)$$

где K – статический передаточный коэффициент, который находится в статических условиях работы измерительного устройства как отношение приращения выходной величины Δy к приращению входной величины Δx

$$K = \frac{\Delta y}{\Delta x}. \quad (2)$$

Для уменьшения динамической погрешности был разработан алгоритм для цифрового фильтра, корректирующего динамические характеристики измерительной части, представленный на рисунке 3

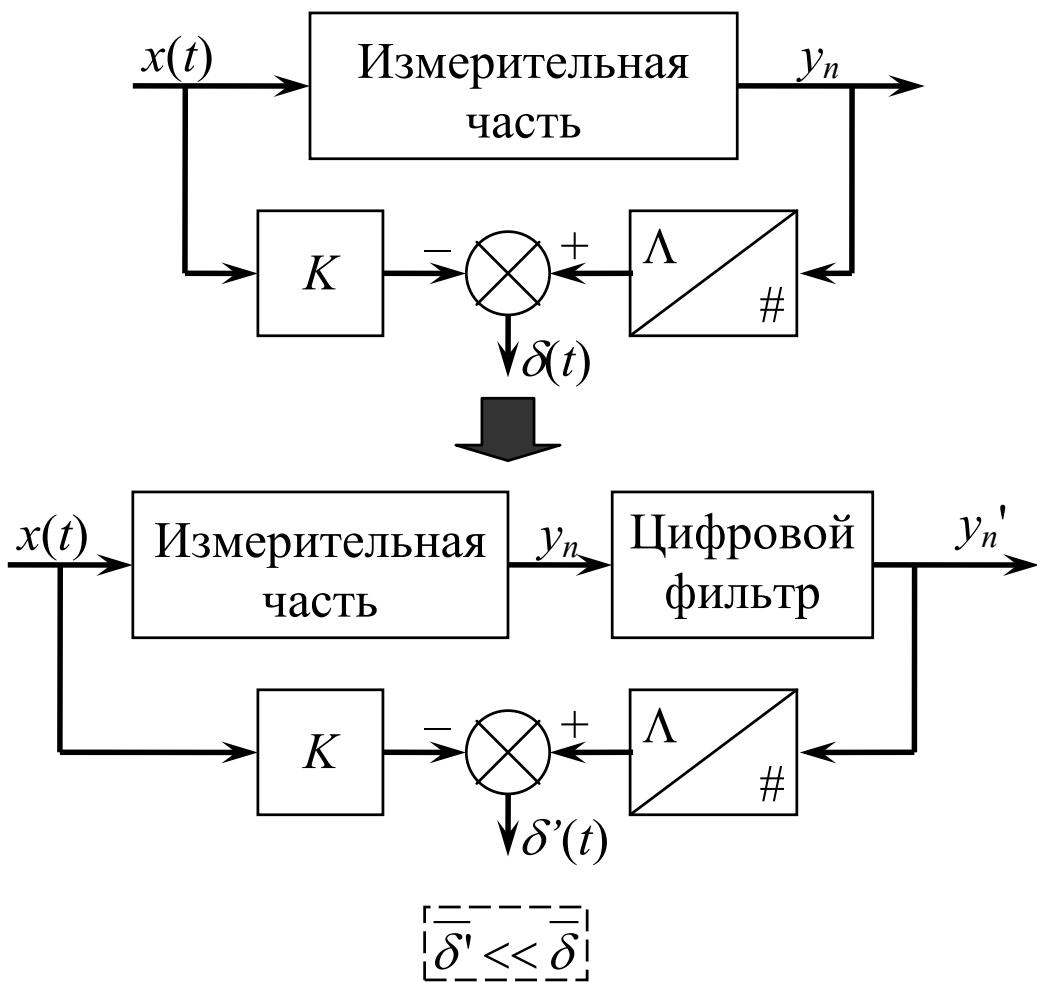


Рисунок 3 – Концептуальная схема уменьшения динамической погрешности

На рисунке блок #/Λ осуществляет восстановление аналогового сигнала из цифровых отсчетов.

Измерительная часть состоит из аналоговых блоков и АЦП, но в дальнейшем мы будем её рассматривать как единый аналоговый блок. Такое допущение справедливо, если частота дискретизации АЦП во много выше частоты спектра сигнала подаваемого на его вход. В случае минимизации динамической погрешности во временной области (корректировка переходных процессов) будем описывать измерительную часть, используя импульсную $g(t)$ или переходную $h(t)$ характеристики, в частотной области (корректировка полосы пропускания) будем использовать передаточную функцию $G(p)$.

Опираясь на вышеприведенный материал, опишем последовательность общих действий для оптимизации динамической погрешности:

Определение переходной и импульсной характеристик измерительной части.

Этот пункт выполняется до эксплуатации СБИ, во время его настройки. Предполагается, что определение характеристик производится в «лабораторных» условиях, с малым уровнем помех. Поэтому в выходных отсчетах y_n составляющая случайной помехи мала.

Аппроксимация выходного отклика измерительной части

Получение окончательного решения задачи — сигнала с скорректированной динамической погрешностью.

Заключение.

В статье предложено практическое решение по оптимизации динамической погрешности цифровых преобразователей, т.е. минимизации суммарной погрешности между входным и выходным сигналами в динамическом режиме.

ЛИТЕРАТУРА

1. Беркутов А.М., Прошин Е.М., Садовский Г.А. *Методы измерения погрешностей цифровых осциллографов и регистраторов* // Электросвязь, №4, 1992.
2. Блейхут Р. *Быстрые алгоритмы цифровой обработки сигналов*. Пер. с англ. – М.: Мир, 1989. 448 с.

Сведения об авторах

Бондарцев Владимир Васильевич, заместитель генерального директора по качеству – главный метролог, ОАО «ЛИИ им. М.М. Громова», к.т.н.

Токмакова Татьяна Георгиевна, начальник СМИИИС, ОАО «ЛИИ им. М.М. Громова»

Бордуков Андрей Алексеевич, начальник сектора лаборатории МОИИИС, ОАО «ЛИИ им. М.М. Громова»

Баранов Лев Александрович, старший научный сотрудник лаборатории МОИИИС
ОАО «ЛИИ им. М.М. Громова»

**СИСТЕМА КОМПЛЕКСНОЙ ПРОВЕРКИ МОНТАЖА БОРТОВОЙ КАБЕЛЬНОЙ СЕТИ
АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ
(НА ПРИМЕРЕ САМОЛЕТА «СУХОЙ СУПЕРДЖЕТ - 100»)
И СИСТЕМЫ ТЕЛЕМЕТРИИ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ**

С. Н. Зайченко

К.т.н., генеральный директор холдинга «Информтест»

Краткий обзор актуальных вопросов и перспектив развития систем комплексной проверки монтажа бортовой кабельной сети космической, авиационной техники на примере самолёта «Сухой Суперджет – 100», её модернизации на основе модульных приборов российского производства, выполненных в открытых международных стандартах VXI, LXI, AXIe, и предназначенных для обеспечения стендовых испытаний и функционального контроля узлов и агрегатов ракетно-космической и авиационной техники, а так же для тестирования жгутового хозяйства различной техники. Многолетний опыт работы ведущих российских предприятий авиаакосмической отрасли, применяющих контрольно-измерительное оборудование на основе указанных стандартов для проверки электрического монтажа очень точно подтверждает справедливость рассматриваемых решений для создания контрольно-измерительных систем высшего качества. Решения «Информтест» полностью разрабатываются и производятся в Российской Федерации и по многим параметрам превосходят зарубежные аналоги, что позволяет сократить время и стоимость проведения испытаний целевых систем, а также значительно повысить надежность.

На данном этапе технического развития российской авиационной и космической отраслей вся техника представляет собой огромный набор различных блоков и модулей цифровой и аналоговой аппаратуры. Однако не стоит забывать об основной составляющей любой техники различного спектра. Это электрические провода и жгуты. Они обеспечивают связь различных модулей друг с другом, выполняют передачу данных, а так же выдачу команд на различные устройства и блоки техники. И не стоит сомневаться в том, что 90% всех ошибок и аварий, которые происходят на лётных испытаниях любой техники, приходится именно на жгуты. Поэтому каждый производитель старается уделять огромное внимание качеству монтажа. А для этого необходимо иметь качественные современные системы, позволяющие проверить качество монтажа непосредственно на производстве, чтобы впоследствии избежать ненужных потерь.

Поэтому крайне актуальным является вопрос о путях и подходах к модернизации систем испытаний систем и техники авиационного и космического назначения на основе современных методов и стандартизованных решений. Большинство принимаемых предприятиями Роскосмоса программ по модернизации и замене отдельных комплектов устаревшего оборудования, никак не связаны между собой, и зачастую дублируют друг друга.

Анализ внедрений современных контрольно-измерительных систем в аэрокосмической отрасли показывает, что подавляющее число мировых компаний, выпускающих сложную наукоемкую продукцию, стремятся подтвердить ее качество с помощью общепризнанных методик испытаний и тестирования, а также с помощью стандартных средств. Одним из базовых стандартов для решения задач повышения качества и точности испытаний и диагностики объектов аэрокосмического назначения является стандарт VXI, который широко используется на испытательных полигонах ведущих мировых фирм. Аппаратура в стандарте VXI наиболее результативно позволяет создавать высокопрецизионные измерительно-управляющие системы и измерительные комплексы различного назначения.

Одним из путей инновационного развития отечественных систем телеметрии, систем функционального контроля и систем контроля качества электрических жгутов авиационной и космической техники является построение измерительных систем на основе российских модульных приборов, выполненных в открытых международных стандартах VXI, LXI, AXIe, которые широко признаны и успешно развиваются в технически развитых странах.

Холдинг «Информтест» является единственной российской организацией, принятой в международные консорциумы VXI, LXI и AXIe. Перечень продукции «Информтест» включает около 150 типов измерителей VXI, 8 типов измерителей LXI, 50 типов мезонинных модулей, которые способны заменить широкий спектр устаревших приборов. На все выпускаемые модули и измерительные системы предоставляется стандартная гарантия 3 года (расширенная гарантия - 10 лет) и техническая поддержка. Предлагаемые системы проходят сертификацию на утверждение типа средств измерений военного и гражданского назначения (получено более 55 сертификатов). По желанию потребителей VXI, LXI и AXIe системы могут поставляться с приемкой заказчика. Предприятия холдинга «Информтест» имеют сертифицированную систему качества по ISO 9001-2001, а также лицензии Федерального космического агентства и Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии.

Система комплексной проверки монтажа бортовой кабельной сети авиационной и космической техники ТЕСТ-9110-VXI «Полёт» является самым ярким примером реализации модульной структуры систем в стандартах VXI. Эта система была предназначена именно для контроля качества жгутов и на данный момент очень успешно справляется со своими задачами, которые стоят перед ней. Идеология построения тестовых систем в открытых стандартах нашла свой отклик у важнейших российских потребителей. Среди предприятий, успешно эксплуатирующих контрольно-измерительные комплексы разработки и производства «Информтест»: ОАО «ИСС» имени М.Ф. Решетнева, «ГКНПЦ имени М.В. Хруничева», «РКК «Энергия», НПО «Энергомаш», НПО имени С.А. Лавочкина, ФКП «НИЦ РКП», «НПЦ Газотурбостроения «Салют», ОАО «Российские космические системы», РСК «МиГ», ЦИАМ им. П.И. Баранова, НПО ИТ, Авиаприбор, Уфимское МПО, Ульяновское КБП, ВНИИЭМ, «Гражданские самолеты Сухого» и многие другие известные предприятия российской авиакосмической отрасли.

Многоканальные системы контроля качества монтажа поставляются «Информтест» с 2006 года и имеют большой спрос. Это подтверждается огромным количеством проданных экземпляров различных модификаций, порядка 200 штук. Данная система является модульной, что позволяет собирать её, как конструктор. Не стоит забывать, что в мире очень много иностранных предприятий, которые занимаются разработкой систем в открытых международных стандартах VXI, LXI, AXIe, и, в случае необходимости, в российскую систему контроля монтажа можно легко интегрировать модули иностранного производства, и они будут прекрасно работать. Так же есть возможность расширения системы до 120 000 каналов.

Эта система способна осуществлять:

1. Контроль качества жгутов и соединений.
2. Выдачу напряжений и силы постоянного и переменного токов.
3. Измерение напряжения и силы постоянного и переменного токов.
4. Измерение сопротивления цепи.
5. Измерение сопротивления изоляции.
6. Проверка прочности изоляции.
7. Имеет режим активного щупа и осуществляет проверки ёмкости.
8. Измерений р-п перехода.

В своей основе система имеет несколько важнейших модулей (Рис. 1).

1. Модуль-измеритель ИС4, который проводит все измерения и формирует испытательное напряжение, подаваемое на объект контроля. По своим возможностям он является уникальным прибором и выполняет функцию высокоточного мультиметра (6,5 знаков), мегомметра и прецизионного источника переменного и постоянного напряжения.
2. Коммутаторы BBK5 и BBK6 обеспечивают коммутацию измерителя на проверяемый канал и автоматизацию проверок. BBK5 является высоковольтным матричным коммутатором на 200 каналов и обеспечивает коммутацию переменного напряжения до 650V и постоянного напряжения до 1000V. BBK6 имеет 100 каналов и напряжения 1500VAC и 2500VDC.
3. Модуль-контроллер VXI. Это Ethernet-VXI контроллер, выполняющий функцию информационно-технического взаимодействия с персональным компьютером. Благодаря Ethernet-соединению обеспечивается высокоскоростное соединение с системой, а также имеется возможность связать несколько систем в единый измерительный комплекс, используя Ethernet-коммутаторы и роутеры.
4. Крейт VXI обеспечивает размещение всех модулей, входящих в ТЕСТ-9110-VXI. Для систем с небольшим количеством измерительных каналов (до 200) используется крейт на 3 слота. Далее, при увеличении количества каналов применяются крейты на 4 (до 400 каналов), 6 (до 800 каналов) и 13 слотов (до 2200 каналов).

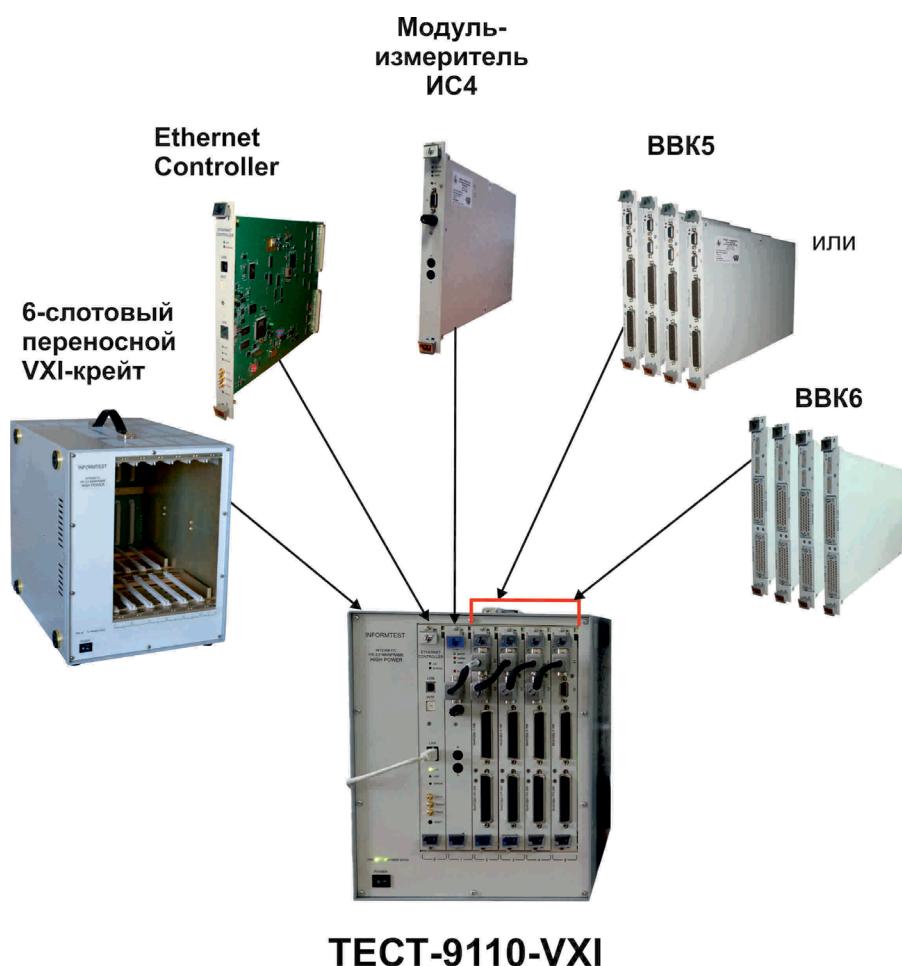


Рис. 1. Базовый состав системы ТЕСТ-9110-VXI

ТЕСТ-9110-VXI “Полёт” имеет множество вариантов реализации. Мобильная переносная версия (Рис. 2), мобильная стоечная версия, она же стационарная (Рис. 2).

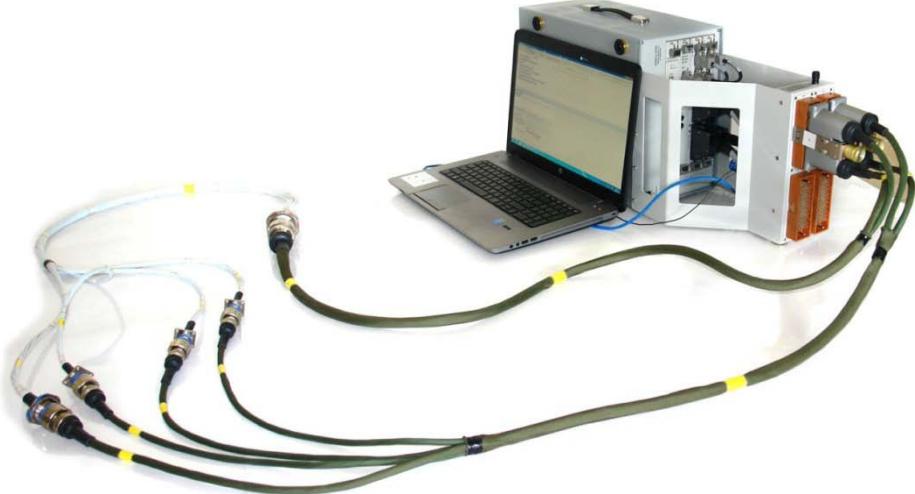


Рис. 2. Мобильная переносная версия с 4-слотовым крейтом, модулем-измерителем ИС4, модулем Ethernet, двумя высоковольтными коммутаторами BBK5 на 400 каналов, и коммутационной панелью, предназначеннной для увеличения продолжительности жизненного цикла разъёмов BBK5.



Рис. 3. Стационарная версия системы с возможностью перемещения к объекту контроля: 13-слотовые крейты с модулями BBK5, ИС4, Ethernet, BBK5 (около 10 тысяч точек) и коммутационными панелями (КП) с 100-контактными разъёмами 6P100. Варианты КП могут быть различной конфигурации и с разными типами разъёмов по желанию заказчика.

Одна из самых крупных таких систем успешно эксплуатируется сейчас в цехе окончательной сборки ЗАО «Гражданские Самолеты Сухого» в Комсомольске-на-Амуре (Рис. 4). Размерность данной системы составляет 20000 точек (Рис. 5). В её составе 5 мобильных стоек, которые

могут менять своё расположение в цеху. Ранее, чтобы прозвонить все кабели в таком самолёте, требовалось около недели усердной работы. Система ТЕСТ-9110-VXI производит комплексную проверку всех кабелей и жгутов в течение 3-4 часов.



Рис. 4. Самолёт «Сухой Суперджет – 100» во время проверки бортовой кабельной сети



Рис. 5. Система «ТЕСТ-9110-VXI» на 20000 каналов в стоечном мобильном исполнении,
находящаяся в эксплуатации в ЗАО «ГСС»
(Комсомольск-на-Амуре).

Весьма широк круг телеметрических систем. Это ТМ системы для стеновых испытаний РКТ и авиационной техники, системы контроля космических аппаратов, телеметрические системы авиационного и космодромного исполнений и др.

Многоканальные телеметрические системы поставляются под «ключ» с программным обеспечением «Информтест-регистратор», обеспечивающим регистрацию и сохранение потока информации, и программным обеспечением «Эксперт» для отображения и обработки результатов испытаний. «Информтест» выпускает целое семейство регистраторов (регистратор медленно меняющихся процессов и быстро меняющихся процессов) от переносных в LXI крейтах до стационарных VXI систем. Здесь так же существует несколько вариантов систем.

Первые системы реализуются в стандарте VXI на основе мезонинных модулей. В слоты VXI крейта вставляется модули НМУ (Носитель мезонинов универсальный), которые имеют в себе также 4 слота для самих мезонинов, которые могут выполнять задачи съёма с объектов контроля динамических сигналов, анализа состояния дискретных датчиков, измерения напряжения

сигналов, мгновенных выходных сигналов токовых датчиков, сопротивления с резистивных датчиков, измерения частоты сигнала и тд.

Второй вариант реализации телеметрической системы – использования LXI носителей мезонинов, таких как MezaBOX-4M LXI. Основная его функция заключается в накоплении большого объема информации в виде двоичных кодов, поступающей от мезонинов при больших частотах ввода и большом количестве каналов, когда нет возможности обработать данные в реальном времени (Рис. 6).

В качестве одного из примеров системы телеметрии нового поколения подробно рассматривается изделие «Система автоматизированная измерительная АИС и АСУ ТП стенда Ц-16ВК», поставленное холдингом «Информтест» в Научно-испытательный центр ФГУП «ЦИАМ им. П.И. Баранова».

Стенд Ц16ВК предназначен для выполнения научно-исследовательских, доводочных и проверочных испытаний экспериментальных объектов (ЭО) моделей (образцов, прототипов, демонстраторов) высокоскоростных реактивных тепловых двигателей, интегрированных с крупномасштабными моделями (имитаторами, образцами, прототипами, демонстраторами) высокоскоростных ЛА, изделий различного назначения в наземных и высотных условиях (на стационарных и переходных режимах работы изделий) на режимах, имитирующих условия полета ЛА на различных участках траекторий. С помощью Могут быть испытаны другие ЭО – ЛА или наземная техника.

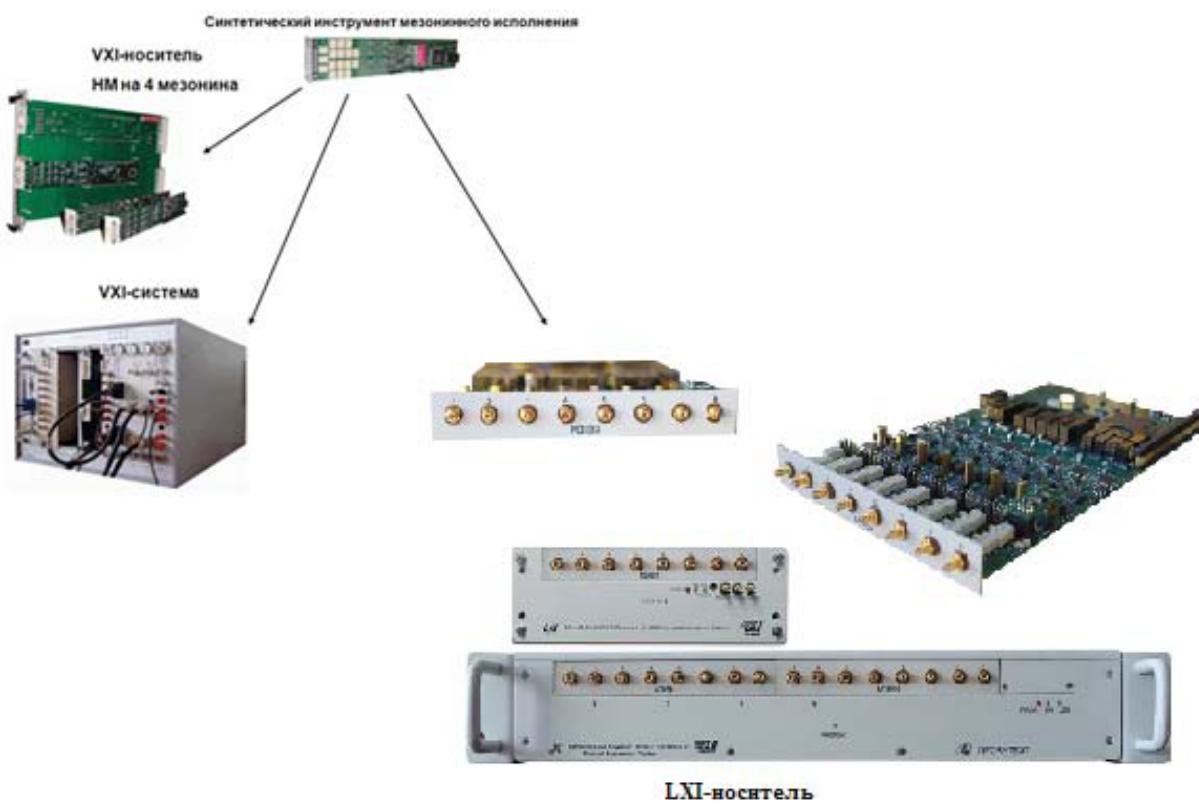


Рис. 6. Два варианта реализации телеметрических систем



Рис. 7. Пример применения мезонинов с VXI и LXI-носителями в стойке из состава автоматизированного измерительного комплекса стенда НИЦ «ЦИАМ имени П.И. Баранова» для испытаний высокоскоростных реактивных двигателей ЛА.

Выводы

Новая линейка контрольно-измерительных систем для проверки кабелей и жгутов, систем функционального контроля и телеметрии российской разработки и производства для стендовых испытаний двигателей и функционального контроля различных узлов и агрегатов РКТ, и других контрольно-измерительных задач, кардинально отличается от существующих систем предыдущего поколения, построенных, как правило, на частнофирменных платформах, не совместимых с решениями других производителей.

Применение открытых международных стандартов и модульный подход для создания высококлассной измерительной аппаратуры для аэрокосмической отрасли являются наиболее верными способами предотвратить рост стоимости новых контрольно-измерительных систем для стендовых испытаний авиационной и ракетно-космической отрасли, без широкого применения которых невозможно обеспечить военно-технологическую независимость Российской Федерации.

УДК 537.2:621.45

**МЕТОД И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ РАЗРЯДА
СВЕЧЕЙ ЗАЖИГАНИЯ ГТД****Н.С. Кюргян, к.ф.-м.н., Д.А. Голенцов, В.С. Фланден****ФГУП «Центральный институт авиационного моторостроения им. П.И. Баранова», Москва**

Для обеспечения эффективного и надежного воспламенения в камерах сгорания при запуске авиационных ГТД весьма актуальной остается задача диагностики разрядных импульсов на свечах зажигания. Полезная энергия, выделяемая в разрядном промежутке свечи и воздействующая на воспламеняемую смесь, которая может составлять до 15 % от накопленной энергии в конденсаторе агрегата зажигания, в первую очередь, определяется как параметрическим и эксплуатационным состоянием элементов системы зажигания (агрегата зажигания, провода зажигания и свечи), так и составом и физическим состоянием среды в зоне разряда (соотношение компонентов топливовоздушной смеси, качество распыла топлива, температура, давление, скорость и др.). Существенную роль в обеспечении воспламенения топливо-воздушной смеси играет также и сама форма разрядного импульса, определяемая характерными амплитудами тока и напряжения, частотой и длительностью импульса.

Обстоятельства зачастую вынуждают производить выбор параметров и режимов систем зажигания априорно и выбор оказывается далеко не оптимальным. Таким образом, встает задача разработки системы измерений параметров разрядных импульсов, которая должна обеспечивать вычисление комплексных диагностических показателей (критериев) энергетической эффективности разряда, таких как: энергии, выделяемые в элементах разрядного контура, эффективное значение тока разрядного импульса, к.п.д. разряда и ряда других показателей.

Структура и элементы системы измерения параметров разряда. Метод измерений.

Электрический разряд на свече зажигания используется в качестве воспламеняющего агента в камерах сгорания двигателей, оказывая энергетическое воздействие на окружающую топливовоздушную смесь. В технике систем зажигания в качестве единственного регламентируемого показателя этого энергетического воздействия применяется накопленная энергия в конденсаторе агрегата зажигания. Известно, однако, что часть этой энергии (до 85 %) теряется в процессе разряда в цепях и устройствах разрядного контура системы до свечи, а еще некоторая часть и в самой свече. Поэтому, как правило, неизвестна полная полезная энергия импульсного разрядного плаズмоида свечи, воздействующая на воспламеняемую смесь.

Эта полезная энергия разряда, в первую очередь, определяется как параметрическим и эксплуатационным состоянием элементов системы зажигания (агрегата зажигания, провода зажигания и свечи), так и составом и физическим состоянием среды в зоне разряда (соотношение компонентов топливовоздушной смеси, качество распыла топлива, температура, давление, скорость и др.). Этими же факторами определяется и воспламеняющая способность того или иного разряда при тех или иных физических условиях пребывания горючей смеси. Существенную роль играет также и сама форма разрядного импульса, определяемая характерными амплитудами тока и напряжения, частотой и длительностью импульса.

Зачастую, выбор параметров и режимов систем зажигания происходит априорно и оказывается, как правило, далеко не оптимальным с позиций энергетической эффективности, а сами системы оказываются переразмеренными по габаритам и массе. Если для ГТД, в особенности полноразмерных, такой выбор в определенной мере был оправдан в силу относительной незначительности в них габаритов и массы системы зажигания, то применительно к прямоточным ВРД подобный подход являлся бы неприемлемым, потому что для прямоточных ВРД, где несравненно более тяжелые условия воспламенения в камере сгорания, проблематично обеспечить надеж-

ный запуск или дежурное сопровождение работы ВРД при приемлемых относительных габаритах и массе системы зажигания без оптимизации параметров и режима системы зажигания, формы разрядных импульсов. Таким образом, встает задача разработки системы измерений параметров разрядных импульсов, как инструмента их исследований.

Система измерений должна обеспечивать вычисление комплексных диагностических показателей (критериев) энергетической эффективности разряда, таких как: энергии, выделяемые в элементах разрядного контура, эффективное значение тока разрядного импульса, к.п.д. разряда и ряда других показателей [1]. В достижение этого, а также наряду с тем и независимо она должна обеспечивать регистрацию текущих значений тока i и напряжения U разрядных импульсов в цепи питания свечи зажигания.

Элементом измерительной системы, реализующим регистрацию этих разрядных импульсов, является плата сбора данных (аналого-цифровой преобразователь – АЦП), обладающая достаточной частотой дискретизации, обусловленной частотой колебаний измеряемых разрядных импульсов.

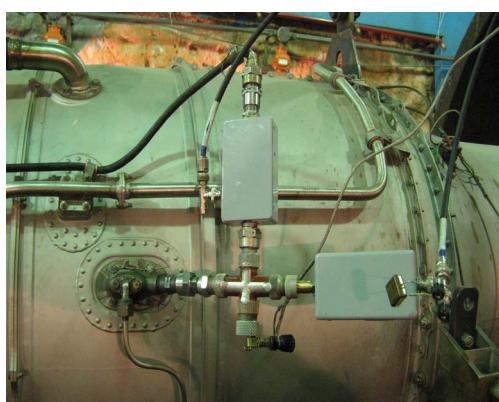
Среди комплексных диагностических показателей (критериев) энергетической эффективности разряда следует, в первую очередь, указать на энергию разряда непосредственно на свече зажигания $Q_{\text{св}}$, которая может быть вычислена по формуле:

$$Q_{\text{св}} = \int_0^{\tau} UIdt$$

В качестве приемников входных сигналов в измерительной системе используются аналоговые датчики тока и напряжения разряда, согласующие параметры разряда с входными параметрами АЦП.

Система (рис. 1) состоит из измерительного модуля ИМ, который объединяет собой датчики тока ДТ и напряжения ДН разряда и измерительный адаптер Ад и подключается к разрядному контуру системы зажигания между агрегатом зажигания АЗ и свечей зажигания Св, а также линии передачи сигналов тока i и напряжения U в систему сбора и обработки данных ССОД на базе аналого-цифрового преобразователя и персонального компьютера (АЦП-ПК).

Датчик тока разряда представляет собой измерительный трансформатор тока, он монтируется в высоковольтный провод зажигания непосредственно перед свечёй.



Датчик напряжения разряда представляет собой резистивный делитель напряжения, который подключается к разрядному контуру свечи зажигания с помощью специального адаптера. На параметры разряда датчик не влияет из-за собственного большого входного сопротивления.

Одним из главных требований к элементам диагностической системы является обеспечение минимальных искажений уровней и формы сигналов в процессе их преобразований и передачи от исходных точек к местам регистрации – то есть максимальная точность отображения импульсов. Для

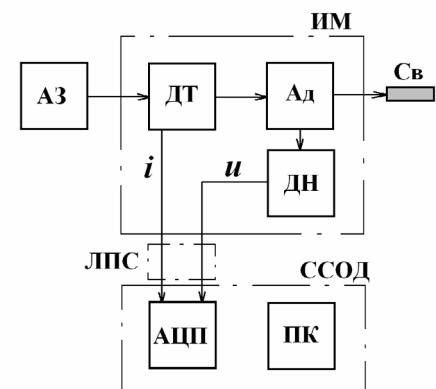
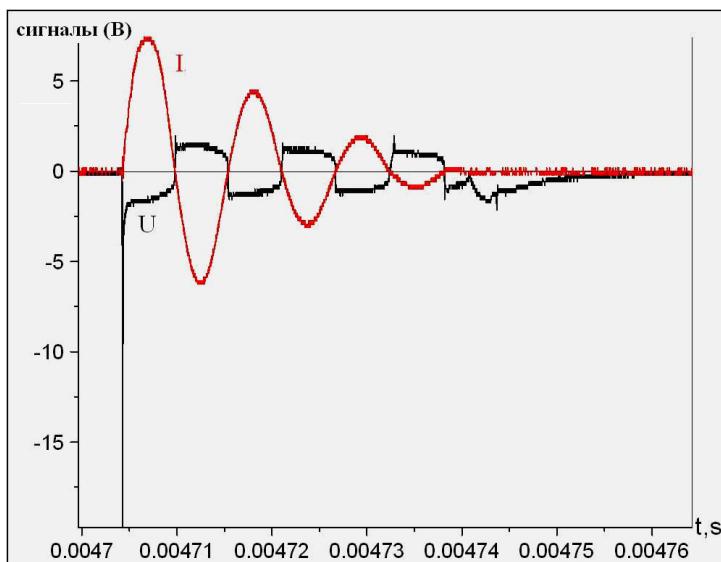


Рис. 1. Схема измерительной системы

проверки выполнения этого условия было проведено специальное исследование на лабораторной установке. В результате, удалось подобрать такую конструкцию датчиков, сигнал с которых был бы наиболее близкий к теоретически ожидаемому с учетом согласования с длинными линиями передачи сигнала.



Апробирование системы измерения

На рис. 2 показана система измерений, смонтированная непосредственно на двигателе.

На рис. 3 представлены типичные зарегистрированные датчиками сигналы разрядного импульса емкостной свечи зажигания. Красная кривая - это ток разряда, черная - напряжение. Следует отметить, что вычислена энергия Q_{cb} , подведенная к свече, всегда несколько больше энергии Q_p , выделенной непосредственно в искровом разрядном промежутке свечи, на некоторую величину потерю в сопротивлениях электродов свечи и переходных контактов на участке между точками подключения датчика напряжения (со стороны хвостовика свечи) и искровым промежутком. Как показали оценки, разница составляет порядка 30%.

Выводы

Получаемая в результате описанного метода исследования информация о параметрах разрядных импульсов предоставляет возможности выбора альтернатив для рационального построения тактики исследований пусковых характеристик, оптимизации этих характеристик, рационального назначения параметров системы зажигания для конкретных камер сгорания, особенностей условий их запуска.

Литература

1. Курегян Н.С., Голенцов Д.А. и др. Диагностика разрядов на свечах зажигания авиационных газотурбинных двигателей // Мир измерений, №12 (130), 2011г., с. 21-26.

Сведения об авторах

1. Н.С. Курегян, начальник сектора, ФГУП «Центральный институт авиационного моторостроения им. П.И. Баранова», Москва.
2. Д.А. Голенцов, к.ф.-м.н., начальник сектора, ФГУП «Центральный институт авиационного моторостроения им. П.И. Баранова», Москва.
3. В.С. Фланден, инженер, ФГУП «Центральный институт авиационного моторостроения им. П.И. Баранова», Москва.

УДК 629.7.015.4

**ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ОПРЕДЕЛЕНИЯ
ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МАТЕРИАЛОВ И КОНСТРУКЦИЙ**

A.V. Смотров

К.т.н., главный инженер комплекса прочности ЛА, ФГУП «ЦАГИ»

С.А. Смотрова

**К.т.н. начальник научно-исследовательской лаборатории
перспективных методов испытаний и контроля состояния конструкций, ФГУП «ЦАГИ»**

Краткий обзор перспективных методов и измерительно-вычислительных комплексов, применяемых при определении динамических характеристик авиационных материалов и конструкций. Опыт ФГУП «ЦАГИ» по внедрению в промышленные испытания средств бесконтактного измерения с целью повышения точности экспериментальных данных.

UDC 629.7.015.4

**ADVANCED METHODS AND MEANS OF MATERIALS AND DESIGNS
DYNAMIC CHARACTERISTICS DEFINITION**

A.V. Smotrov

Candidate of Technical Sciences, Chief Engineer of Air Vehicles Strength Complex, FSUE «TsAGI»

S.A. Smotrova

**Candidate of Technical Sciences, Chief of Research Laboratory of
Perspective Test Methods and Control of a Condition of Designs, FSUE «TsAGI»**

The short review of perspective methods and the measuring-computer complexes applied at definition of dynamic characteristics of aviation materials and designs. Experience FSUE «TsAGI» on introduction in industrial tests of means of contactless measurement for the purpose of increase of accuracy of experimental data.

УДК 629.7.015.4

**ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ОПРЕДЕЛЕНИЯ
ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МАТЕРИАЛОВ И КОНСТРУКЦИЙ**

A.В. Смотров

К.т.н., главный инженер комплекса прочности ЛА, ФГУП «ЦАГИ»

С.А. Смотрова

К.т.н., начальник научно-исследовательской лаборатории
перспективных методов испытаний и контроля состояния конструкций, ФГУП «ЦАГИ»

Цель экспериментальных исследований по определению динамических характеристик – обеспечение безопасности летательных аппаратов (ЛА) от явлений аэроупругости, выявление уровня динамических нагрузок, проведение вибродиагностики. Динамические характеристики панелей натурных ЛА, их агрегатов и элементов, а также образцов конструкционных материалов в основном определяются при частотных испытаниях с использованием методов, основанных на возбуждении колебаний системы гармоническими сигналами с пошаговым изменением частоты возбуждающей силы или на возбуждении и анализе ее свободных колебаний. Основные динамические характеристики – это спектр собственных частот (в заданном частотном), формы, коэффициенты демпфирования и обобщенные массы собственных тонов ЛА. Главная задача частотных испытаний: создание частотного паспорта (свидетельства), верификация и коррекция расчетной динамической схемы ЛА или его агрегатов, сравнение динамических характеристик натурной конструкции и ее модели, контроль соответствия характеристик материалов и конструкций заданным требованиям.

В настоящее время в ЦАГИ для определения динамических характеристик натурных ЛА и их агрегатов широко применяется аппаратно-программные комплексы бельгийской фирмы LMS с системой акселерометров и электродинамических силовозбудителей (рисунки 1 и 2).



*Рисунок 1 – Комплексная бригада
ФГУП «ЦАГИ» выполняет управление
испытаниями, сбор и экспресс-обработку
экспериментальных данных*



*Рисунок 2 – Проведение частотных испытаний
авиационного двигателя с использованием
передвижной виброизмерительной лаборатории*

Для обеспечения требуемых граничных условий экспериментов в основном используются консольная схема закрепления и вывешивание по «свободной» схеме. Процедура современных частотных испытаний при использовании штатного метода «фазового резонанса» заключается в

поочередном, по одному, возбуждении «чистого» собственного тона колебаний конструкции, его измерении и регистрации необходимых параметров. Процедура частотных испытаний состоит из следующих основных этапов: 1) проведение предварительных расчетов, формирование программы испытаний, 2) подготовка «рабочего места», жесткое закрепление или упругое вывешивание конструкции, установка оборудования, 3) обзорные измерения, 4) определение нелинейных характеристик, 5) зачетные («исполнительные») измерения, 6) оперативная обработка данных, 7) контрольная проверка средств возбуждения и измерения. На практике 5-й и 6-й этапы циклически повторяются для каждого регистрируемого тона.

Традиционные аппаратно-программные комплексы, в которых используются для выполнения измерений контактные виброизмерительные преобразователи, не вполне отвечают предъявляемым к ним современным требованиям. Например, число исследуемых точек на конструкции, как правило, не превышает 512, время подготовки к испытаниям (п.2 указанной выше процедуры) порой занимает несколько суток, длителен и процесс демонтажа испытательного оборудования. Погрешности измерений при этом существенно зависят от следующих факторов: отказ измерительных каналов акселерометров; наличие значительного количества присоединенных масс датчиков (акселерометров), кабельной разводки и присоединенных силовозбудителей; наличие демпфирующего эффекта от кабельных систем (это может быть ощутимо в концевых зонах крыла, органов управления с малыми массово-инерционными характеристиками) и т.д. Решить указанные проблемы позволяет проведение частотных испытаний на основе перспективных оптических методов с бесконтактным съемом информации о динамических характеристиках исследуемого объекта.

Для определения динамических характеристик малогабаритных, легких и имеющих сложную форму элементов ЛА, их моделей и образцов конструкционных материалов в ФГУП «ЦАГИ» разработаны методики и технология бесконтактных измерений. Методики основаны на двух способах бесконтактного съема экспериментальной информации: голографическая и спекл-интерферометрия (лабораторные измерения), лазерная доплеровская виброметрия (выполнение экспериментов, как в лабораторных условиях, так и при выездных, полигонных испытаниях).

Технологические приемы проведения испытаний на основе бесконтактного съема информации о динамических характеристиках исследуемого объекта могут быть успешно использованы не только при испытаниях малогабаритных изделий (исключение влияния на объект измерительных преобразователей), но и при выполнении измерений в труднодоступных местах (в аэродинамических трубах, в условиях высоких температур, агрессивных и радиоактивных средах и т.п.).

На сегодняшний день в лабораторных условиях наибольшие успехи при определении основных динамических характеристик конструкций ЛА, их агрегатов, элементов и моделей (имеющих небольшие размеры, малую массу и сложную форму) достигнуты при использовании методов голографической и спекл-интерферометрии (рисунок 3). В этих оптических средствах измерения используется полевой характер регистрации параметров виброперемещений, что позволяет работать с собственными частотами колебаний, достигающими значений 10^5 Гц. Из недостатков данного способа можно отметить невозможность регистрации динамических характеристик объектов при свободно затухающих колебаниях.

Область применения лазерных доплеровских виброметров в частотных испытаниях значительно больше. Используя эти аппаратно-программные комплексы можно определять основные динамические характеристики, как при гармоническом, так и импульсном возбуждении. Особенностью удобны на практике приборы, выполняющие регистрацию виброколебаний не в одной точке, а сканирующие поверхность объекта по заранее заданной измерительной сетке (рисунок 4). При помощи лазерных доплеровских виброметров можно проводить лабораторные и выездные частотные испытания агрегатов и элементов ЛА. Данные оптические системы позволяют многократно уменьшить сроки подготовки и выполнения экспериментов. При этом информация о динамических характеристиках объекта исследований получается более полной (до 25000 измерительных точек на поверхности объекта) при достаточной точности результатов испытаний.

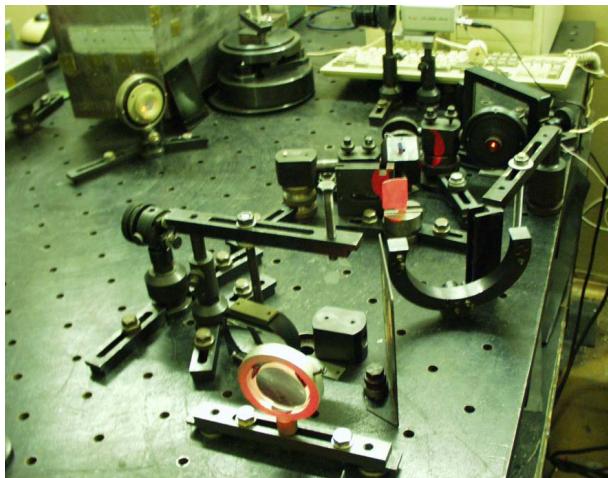


Рисунок 3 – Голографический интерферометр, применяемый для лабораторных экспериментов по определению динамических характеристик [1]



Рисунок 4 – Мобильный аппаратно-программный комплекс Polytec PSV-400 H4, при помощи которого выполняется бесконтактная регистрация динамических характеристик

В настоящее время производители авиационной техники активно внедряют в создаваемые ЛА элементы и агрегаты из полимерных композиционных материалов (ПКМ). К этим инновационным разработкам были привлечены и сотрудники ФГУП «ЦАГИ». На ранних стадиях создания ЛА для оценки прочности, нагруженности и ресурса этих конструкций требуется определение динамических характеристик, и в нашем институте проводится комплекс таких расчетно-экспериментальных исследований, начиная с оценки различных образцов новых конструкционных материалов и заканчивая испытаниями натурных агрегатов ЛА из ПКМ. В частности применялись перспективные методы и инструментальные средства для выполнения экспериментов [2].

Технологии бесконтактных измерений показали высокую технико-экономическую эффективность, например, при частотных испытаниях крупномасштабного демонстратора отсека крыла самолета с адаптивным предкрыльком (рисунок 5). Так применение штатного метода «фазового резонанса» потребовало 13 дней работы 2-х инженеров и 2-х техников, а измерение с использованием лазерного доплеровского сканирующего виброметра – 5 дней работы 2 инженеров.

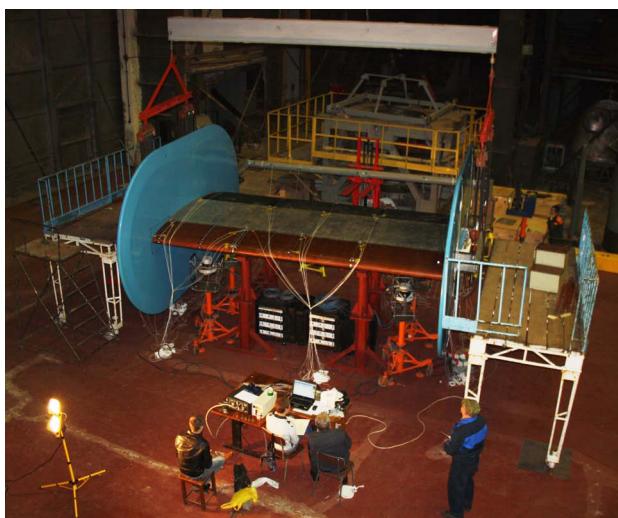


Рисунок 5 – Проведение частотных испытаний крупномасштабного демонстратора отсека крыла самолета: а – испытательный стенд на основе аппаратно-программного комплекса LMS SCADAS III с контактными датчиками и присоединенными к исследуемой конструкции электродинамическими силовозбудителями, б – подготовленный к бесконтактным измерениям аппаратно-программный комплекс Polytec PSV-400 H4 (на заднем плане – специалист настраивает сканирующую головку виброметра, установленную на треноге)



В итоге выполнения многочисленных экспериментальных исследований и сравнения их результатов с данными расчетов специалистами ФГУП «ЦАГИ» были выработаны рекомендации по внедрению в промышленные испытания средств бесконтактного измерения колебаний. С применением лабораторных стендов и мобильных измерительно-вычислительных комплексов, в частности, испытаны следующие элементы ЛА: лопатки турбин, лопасти винтов и их модели, консоли аэродинамических поверхностей моделей до испытаний в аэродинамических трубах (рисунок 6).

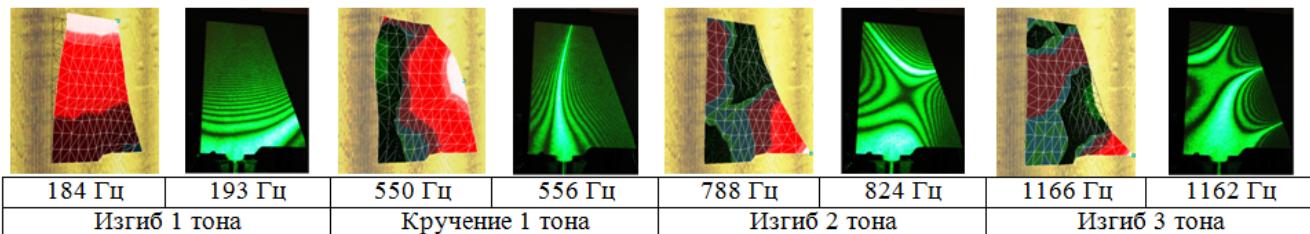


Рисунок 6 – Формы 4-х низших тонов собственных колебаний модели аэродинамической поверхности, экспериментально зарегистрированные на основе бесконтактного съема информации: на желтом фоне – данные лазерной доплеровской виброметрии, картинки зеленого цвета – использование голографической интерферометрии [3]

Высокоточные измерения параметров механических колебаний, которые позволяют выполнять бесконтактные методы, приобрели особое значение и в области технологий машиностроения. Как было сказано выше, разработанные в ФГУП «ЦАГИ» методики и технология бесконтактных измерений позволяют определять динамических характеристик малогабаритных и легких образцов конструкционных материалов, например, для валидации расчетных схем (рисунок 7).

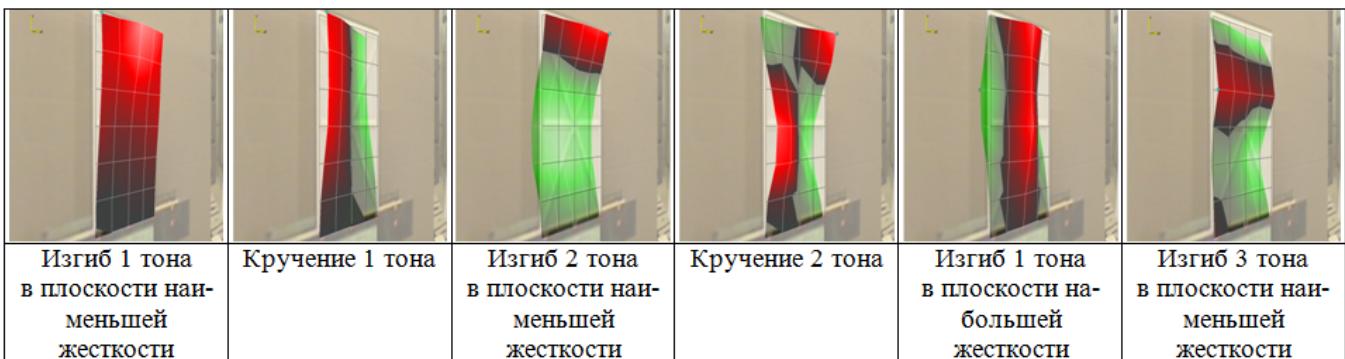


Рисунок 7 – Формы 6-и низших тонов собственных колебаний конструктивно подобного образца полимерного материала, бесконтактно зарегистрированные для уточнения математического алгоритма моделирования на примере консольно закрепленной обрешетки

Другой областью применения разработанных перспективных методов и средств частотных испытаний является прецизионное определение динамических характеристик образцов материалов. Например, в научно-исследовательской работе, направленной на создание эффективных полимерных композиционных материалов авиационного назначения специалистами ФГУП «ЦАГИ» решалась задача по подбору оптимального состава эпоксидного связующего при введении в него различных физических и химических модификаторов, оказывающих влияние на частоту сетки химических связей и ее гибкость, на характер надмолекулярных и межмолекулярных образований [4]. Необходимо было оперативно зарегистрировать различия значений жесткостных и демпфирующих свойств малогабаритных образцов, хотя объем требуемых экспериментальных исследований включал: 39 составов по 3 образца, которые измерялись 3 раза в 9 точках (всего 3159 измерений). Задание было успешно выполнено с использованием бесконтактного съема экспериментальной информации.

Выводы

Технологические приемы проведения испытаний на основе бесконтактного съема информации о динамических характеристиках исследуемого объекта могут быть успешно использованы не только при испытаниях малогабаритных изделий (исключение влияния на объект измерительных преобразователей), но и при выполнении измерений в труднодоступных местах (в аэродинамических трубах, в условиях высоких температур, агрессивных и радиоактивных средах и т.п.).

Перспективные методы и средства определения динамических характеристик материалов и конструкций успешно применяются в ФГУП «ЦАГИ» при частотных испытаниях конструкций, имеющих сложную форму, например, для которых не приемлема балочная схематизация, а также в экспериментах, требующих большого числа перестановок при сохранении параметров оптической схемы.

На сегодня в лабораторных условиях наибольших успехов при определении основных динамических характеристик конструкций ЛА, их агрегатов, элементов и моделей (имеющих небольшие размеры, малую массу и сложную форму) можно достичь при использовании методов голографической и спектр-интерферометрии, а также при их комбинации с лазерной доплеровской виброметрией. В полевых условиях (при промышленных выездных испытаниях) для бесконтактного съема информации о динамических характеристиках исследуемого объекта рекомендуется к использованию метод лазерной доплеровской виброметрии.

Литература

1. Апальков А.А., Лоташ С.А., Одинцов И.Н., Смотров А.В. Бесконтактные методы определения модальных характеристик элементов конструкций. Сравнение с результатами расчета. // Труды ЦАГИ, вып. 2669, 2005. – с. 160-172.
2. Чернышев С.Л. Новый этап применения композиционных материалов в авиастроении. // Проблемы машиностроения и автоматизации, № 1, 2013. – с. 3-10.
3. Смотров А.В., Одинцов И.Н., Ручкин В.В.. Бесконтактное измерение модальных характеристик малогабаритных и имеющих сложную форму конструкций. // Труды XLVIII Научной конференции МФТИ «Современные проблемы фундаментальных и прикладных наук». Часть VI «Аэромеханика и летательная техника». Москва-Долгопрудный-Жуковский: МФТИ, 2005. – с. 90-92.
4. Смотрова С.А., Смотров А.В. Определение комплексного модуля упругости связующих для создания перспективных конструкций из ПКМ. // Современные концепции научных исследований. Сборник научных работ VII международной научно-практической конференции. Часть 1 «Технические науки». Москва: Евразийский Союз Ученых, 2014, № 7. – с. 141-144.

УДК 543.51; 669.1

МАСС-СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ НИКЕЛЕВЫХ СПЛАВОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЛАЗЕРНОЙ АБЛЯЦИИ

А.В. Алексеев, П.В. Якимович, Ф.Н. Караваевцев

ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ

В настоящее время никелевые сплавы широко используются в современной авиационной промышленности и двигателестроении [1]. Из них изготавливаются важнейшие детали, такие как лопатки горячего тракта газотурбинных двигателей и установок, испытывающие в своей работе огромные тепловые и силовые нагрузки [2-4]. Поэтому к данным сплавам предъявляются повышенные требования по химическому составу, в особенности к содержанию микропримесей, таких как фосфор, свинец, висмут, мышьяк, селен и другие. Присутствие данных элементов даже в микроколичествах (10^{-3} - 10^{-6} % масс.) приводит к ухудшению физических и механических свойств никелевых сплавов [5-6], что в конечном итоге может привести к разрушению двигателя и к катастрофе.

В настоящее время одним из самых лучших методов многоэлементного анализа различных материалов является масс-спектрометрия с индуктивно связанный плазмой (ИСП-МС). Приборы (рис.1), использующие данный метод, работают по следующему принципу: исследуемая проба в виде раствора с помощью перистальтического насоса поступает в распылитель и затем в виде аэрозоля транспортируется потоком аргона в высокотемпературную (до 10000 К) зону плазмы. Под действием высокой температуры вещество испаряется и ионизируется. Выделившиеся ионы с помощью ионных линз отделяются от фотонов и нейтральных частиц и попадают в квадроупольный масс-анализатор. В масс-анализаторе, в зависимости от отношения массы к заряду, осуществляется пространственное разделение ионов. Регистрация ионов осуществляется с помощью умножителя. Данный метод обладает высокой чувствительностью, низкими пределами обнаружения и возможностью одновременного определения большого количества элементов [7, 8].



Рисунок 1. Mass-спектрометр iCAP Q.

Для перевода анализируемых проб в раствор используют систему микроволнового разложения, в которой точная навеска исследуемого образца растворяется под действием кислот в специальном автоклаве при нагревании. Это существенно уменьшает время растворения пробы, позволяет сократить количество используемых реагентов, сократить вредные выбросы

в атмосферу, а также уменьшить вероятность потери вещества в результате разбрзгивания при кипении растворов, а отдельные элементы уберечь от потери при образовании летучих соединений [9].

В лаборатории «Спектральные, химикоаналитические исследования и эталонные образцы», входящей в состав Испытательного центра ФГУП «ВИАМ», были разработаны и аттестованы методики измерений 37 элементов (включая редкоземельные) в никелевых сплавах различного состава в широком диапазоне концентраций определяемых элементов (от 0,05 ppm до 0,5 % масс.) [10]. Эти методики позволяют получать точные, надежные и достоверные результаты химического анализа с использованием метода масс-спектрометрии. Также, для проведения химического анализа и получения верных результатов лабораторией, разработаны стандартные образцы состава никелевого сплава категорий ГСО (Государственные стандартные образцы) с аттестованными значениями содержаний вредных примесей, редкоземельных и щелочноземельных элементов. Данные стандартные образцы позволяют проводить химический анализ с использованием как масс-спектрометрии, так и других методов анализа: оптико-эмиссионного, атомно-абсорбционного, атомно-эмиссионного и рентгенофлуоресцентного методов анализа.

В приведенных выше методиках масс-спектрометрического анализа используют классический способ введения пробы в плазму в виде раствора. Данный способ имеет ряд недостатков: длительность и трудоемкость процедуры перевода пробы в раствор, неизбежное разбавление пробы при растворении, возможность внесения загрязнений с используемыми для растворения реактивами и возможность потерь определяемых элементов при пробоподготовке. Этих недостатков лишен прямой анализ твердых проб образца с использованием лазерной абляции. Данный способ пробоотбора осуществляется с помощью приставок лазерной абляции (рис. 2) и состоит в следующем: на поверхность образца оказывает воздействие сфокусированное излучение оптического квантового генератора (лазера), в результате чего происходит локальное взрывообразное разрушение материала пробы с образованием тонкогодисперсного аэрозоля (твердые и жидкие частицы), а также газообразных продуктов. Продукты разрушения с потоком инертного газа (чаще всего гелия) направляются в масс-спектрометр где и происходит химический анализ. Так реализуется способ ИСП-МС с непосредственным вводом пробы с помощью лазерной абляции (ЛА-ИСП-МС) [11].



Рис. 2 Приставка лазерного пробоотбора.

Прямой анализ твердых материалов с применением лазерной абляции уменьшает время и упрощает процедуру анализа, градуирование с использованием данного метода пробоотбора возможно производить с помощью минимального количества твердых стандартных образцов состава сплава [11].

Также использование лазерной абляции расширяет для метода масс-спектрометрии круг решаемых задач: появляется возможность проводить анализ изменения концентрации определяемых элементов вдоль различных направлений поверхности образца, что необходимо при исследовании однородности различных материалов, возможен анализ образцов сложной формы, определения элементов в слоях и включениях, а также локальный микроанализ [11].

Для проведения количественного анализа примесей и редкоземельных элементов в образцах жаропрочных никелевых сплавов методом ЛА-ИСП-МС лабораторией, разработаны Государственные стандартные образцы состава жаропрочного никелевого сплава типа ВЖМ с аттестованными значениями содержаний вредных примесей, редкоземельных и щелочноземельных элементов и «Методика измерений массовой доли вредных примесей и редкоземельных элементов в никелевых сплавах методом масс-спектрометрии с лазерным пробоотбором» устанавливающая определение следующих примесей в диапазонах: фосфора от 0,005 до 0,05 %, ванадия от 0,0001 до 0,2 %, марганца от 0,001 до 0,1 %, железа от 0,01 до 0,4 %, меди от 0,0001 до 0,1 %, цинка от 0,0001 до 0,001 %, галлия от 0,0001 до 0,002 %, германия от 0,0001 до 0,002 %, мышьяка от 0,0001 до 0,005 %, селена от 0,0001 до 0,005 %, циркония от 0,0001 до 0,06, ниobia от 0,001 до 0,2 %, рутения от 0,0001 до 0,2 %, серебра от 0,0001 до 0,001 %, олова от 0,0001 до 0,004 %, кадмия от 0,00005 до 0,001 %, сурьмы от 0,00001 до 0,001 %, теллура от 0,0001 до 0,003 %, гафния от 0,0001 до 0,05 %, таллия от 0,00001 до 0,001 %, свинца от 0,00005 до 0,001 %, висмута от 0,00001 до 0,001 %, индия от 0,00001 до 0,001 %, кремния от 0,005 до 0,1 %, бора от 0,0001 до 0,05 %, кальция от 0,0001 до 0,05 %, скандия от 0,001 до 0,2 %, иттрия от 0,0001 до 0,1 %, лантана от 0,0001 до 0,2 %, церия от 0,0001 до 0,2 %, празеодима от 0,01 до 0,1 %, неодима от 0,01 до 0,1 %, диспрозия от 0,0001 до 0,1 %, гадолиния от 0,0001 до 0,1 %, голмия от 0,0001 до 0,1 %, эрбия от 0,0001 до 0,1 %. Методика позволяет определять германий, мышьяк и селен при одновременном присутствии диспрозия, неодима и эрбия в сплавах.

Для подтверждения работоспособности методики с лазерной абляцией, было проведено определение Mn, Cu, Sn, Pb и Bi в двух образцах никелевого сплава с помощью классической масс-спектрометрией (ИСП-МС), использующей растворы, так и с помощью масс-спектрометрии с лазерной абляцией (ЛА-ИСП-МС) (табл. 1).

Таблица 1.

№ образца никелевого сплава	Методика	Содержание элементов, ppm				
		Mn	Cu	Sn	Pb	Bi
1	ЛА-ИСП-МС	10,7	24,2	12,7	1,9	1,31
	ИСП-МС	14,2	18,0	13,0	2,0	1,01
2	ЛА-ИСП-МС	8,3	12,2	4,7	1,7	2,22
	ИСП-МС	7,3	13,0	3,9	1,5	1,20

Как видно из приведенной выше таблице, результаты анализа, полученные двумя методиками, достаточно близки, что говорит о пригодности масс-спектрометрии с лазерной абляцией для анализа никелевых сплавов.

Выводы

Кратко описан метод масс-спектрометрии который широко используется в лаборатории «Спектральные, химикоаналитические исследования и эталонные образцы», входящей в состав Испытательного центра ФГУП «ВИАМ», при анализе никелевых сплавов. К данному методу в лаборатории разработаны методики анализа, а также комплект стандартных образцов состава никелевого сплава.

Также описан метод лазерной абляции, разширяющий возможности масс-спектрометрии. Приведены основные достоинства данного метода пробоотбора по сравнению с классической масс-спектрометрией. Для проведения анализа никелевых сплавов с помощью лазерной абляцией разработана соответствующая методика, правильность которой подтверждена путем сравнения результатов анализа полученных с помощью данной методики и с помощью классической масс-спектрометрии, использующей растворы.

Литература

1. Каблов Е.Н. Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года //Авиационные материалы и технологии. 2012. №5. С. 7–17.
2. Ломберг Б.С., Овсепян С.В., Бакрадзе М.М., Мазалов И.С. Высокотемпературные жаропрочные никелевые сплавы для деталей газотурбинных двигателей //Авиационные материалы и технологии. 2012. №5. С. 52–57.
3. Каблов Е.Н., Петрушин Н.В., Светлов И.Л., Демонис И.М. Никелевые литейные жаропрочные сплавы нового поколения //Авиационные материалы и технологии. 2012. №5. С. 36–52.
4. Каблов Е.Н., Оспенникова О.Г., Ломберг Б.С. Комплексная инновационная технология изотермической штамповки на воздухе в режиме сверхпластичности дисков из супержаропрочных сплавов //Авиационные материалы и технологии. 2012. №5. С. 129–141.
5. Liu H., Chen S. at al. Determination of bismuth, selenium and tellurium in nickel-based alloys and pure copper by flow-injection hydride generation atomic absorption spectrometry with ascorbic acid pre-reduction and cupferron chelation extraction //Analytica Chimica Acta. 2002. V. 459. P.161–168.
6. Chen Z. and Jiang S. Determination of Ge, As and Se in nickel-based alloys by flow injection hydride generation dynamic reaction cell inductively coupled plasma mass spectrometry//J. Anal. At. Spectrom. 2006.V. 21.P. 566–573.
7. Hu J., Wang H. Determination of Trace Elements in Super Alloy by ICP-MS //Mikrochim. Acta. 2001. V. 137. P. 149–155.
8. Пузышев А.А., Эпова Е.Н. Спектральные помехи полиатомных ионов в методе масс-спектрометрии с индуктивно связанный плазмой //Аналитика и контроль. 2001. Т.5. №4. С. 335–369.
9. Тормышева Е.А., Смирнова Е.В., Ермолаева Т.Н. Определения оксидов железа (III), кальция и алюминия в магнезиальных огнеупорах методом АЭС с ИСП в условиях микроволнового разложения пробы // Вестник Воронежского государственного университета. 2010 г. №1. С 51 – 55.
10. МИ 1.2.052–2013 Методика измерений массовой доли примесей Р, Mn, Fe, Cu, Zn, Ga, As, Se, Ag, Cd, Sn, Sb, Te, Tl, Pb, Bi в никелевых сплавах методом масс-спектрометрии с индуктивно связанный плазмой. М.: ВИАМ. 2013.
11. Пузышев А.А., Данилова Д.А. Использование атомно-эмиссионной спектрометрии с индуктивно связанный плазмой для анализа материалов и продуктов черной металлургии //Аналитика и контроль. 2007. Т.11. №2–3. С. 131–181.

Сведения об авторах

Алексеев Андрей Владимирович, научный сотрудник, кандидат биологических наук, ФГУП «ВИАМ»

Якимович Павел Витальевич, инженер первой категории, ФГУП «ВИАМ»

Карачевцев Федор Николаевич, начальник сектора, кандидат химических наук, ФГУП «ВИАМ»

**МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СОЗДАНИЯ, ИСПЫТАНИЙ НОВЫХ МАТЕРИАЛОВ
ДЛЯ АВИАЦИОННОЙ И КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ, АТТЕСТАЦИИ РЕФЕРЕНТНЫХ
МЕТОДИК ИЗМЕРЕНИЙ**

Н.П. Муравская

**Д.т.н., академик Российской Метрологической Академии,
заместитель директора ФГУП «ВНИИОФИ»**

Метрологическое обеспечение - это установление и применение законодательных, научных, методических и организационных основ, технических средств, метрологических правил и норм, необходимых для получения достоверной измерительной информации о значениях параметров, характеристик и/или показателей соответствия материалов для авиационной и космической техники, процессов производства, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации, выполнения работ или оказания услуг требованиям технических регламентов, положениям стандартов или условиям договоров (контрактов).

Увеличение прочностных свойств материалов за последние десятилетия был обусловлен в основном разработкой новых авиационно-космических материалов с новым химическим и фазовым составом. В последние годы наметились новые пути повышения свойств материалов за счет целенаправленного формирования микро- и нано-кристаллической структуры.

Координация работ по развитию метрологического обеспечения авиационно-космических материалов должна быть разработана в основных направлениях:

- эталонная база;
- средства измерений;
- средства контроля;
- испытательное оборудование;
- средства поверки измерительной техники;
- государственные стандартные образцы;
- реактивы;
- методики измерений, в том числе референтные;
- методы поверки и калибровки;
- методики проведения аттестации испытательного оборудования.

Поскольку химический состав авиационно-космических материалов определяет их основные свойства необходимо решение вопроса о метрологическом обеспечении определения их состава, оценки соответствия требованиям и нормам.

При анализе химического состава веществ и материалов применяются, как правило, классические методы и аппаратура на основе рентгено-флуоресцентных источников возбуждения, индуктивно-связанной плазмы (ICP), эмиссионных источников, так называемых атомных спектральных измерений (АСИ).

Легирующие элементы и примеси, влияющие на различные свойства и характеристики авиационно-космических материалов, могут находиться в них в разной форме: в виде атомов, молекул, отдельных простых и сложных групп, кластеров, микровключений и т.д. В основе этих форм лежат индивидуальные химические элементы периодической таблицы Д.И.Менделеева. Поэтому качественное и количественное определение элементного состава легирующих элементов и примесей в авиационно-космических материалах является одной из наиболее информативных задач метрологического обеспечения.

Одним из ключевых моментов при обеспечении достоверности и единства измерений при контроле продукции является использование стандартных образцов состава и свойств в соответствии со следующими назначениями:

- проведение калибровочных работ средств измерений при исследованиях и производстве материалов под определенный элемент или свойство;
- контроль характеристик погрешности средств и методик выполнения измерений,
- аттестация методик измерений,
- поверка и калибровка средств измерений.

Наличие стандартных образцов позволит избежать неблагоприятных последствий недостоверного контроля выпускаемой продукции, минимизировать неверные (ошибочное отнесение годной продукции к негодной и негодной продукции к годной) результаты приемочного контроля продукции. Таким образом, основной эффект от разработки и внедрения СО состоит в повышении качества выпускаемых авиационно-космических материалов и изделий из них, а также повышения надежности и безопасности авиакосмических аппаратов и объектов повышенной опасности.

Особую актуальность проблемы обеспечения единства измерений (прослеживаемости) в оценке химического состава авиационно-космических материалов приобретают в связи с требованиями, приведенными в новой редакции Закона РФ «Об обеспечении единства измерений» (№ 102-ФЗ от 26.06.2008 г.) и изменениях к нему (Закон 254-ФЗ).

Одним из решений обеспечения прослеживаемости является применение аттестованных методик измерений высокого метрологического уровня.

Методики референтных измерений играют решающую роль в обеспечении единства измерений при оценке химического состава авиационно-космических материалов и они могут быть использованы:

- в оценке характеристик способности измерительных систем, включающих измерительные приборы, дополнительное оборудование и реагенты,
- в демонстрации функциональной взаимозаменяемости различных рутинных методик измерения, имеющих целью измерение одной и той же величины,
- в приписывании значений стандартным образцам, которые используются для целей калибровки или контроля рутинных методик измерения.

**ОСОБЕННОСТИ АТТЕСТАЦИИ СТЕНДОВОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ
ДЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА ВЕРТОЛЕТОВ МИ-8, МИ-17 И ИХ
МОДИФИКАЦИЙ**

А.А. Богоявленский

**К.т.н., член-корреспондент Метрологической Академии,
главный метролог ФГУП ГосНИИ ГА**

В последние годы на отечественном воздушном транспорте (ВТ) наметилась положительная тенденция на модернизацию стендового оборудования, применяемого в организациях по техническому обслуживанию и ремонту (ТОиР) авиационной техники (АТ). Особенностью внедрения такого рода оборудования является подтверждение соответствия фактических значений его технических (и в первую очередь, метрологических) характеристик при задании (поддержании) режимов ТОиР АТ нормированным величинам, заданным в технологических картах регламентов технического обслуживания и технологиях ремонта. Только в этом случае стендовое оборудование может быть допущено к применению. Для подтверждения соответствия и оценки возможности применения новых типов испытательного стендового оборудования на ВТ проводится его аттестация; уполномоченной организацией при этом на ВТ согласно Распоряжения [1] Министерства транспорта РФ является Головная организация метрологической службы гражданской авиации (ГА) – ФГУП ГосНИИ ГА. Институтом ранее проводились исследования и аттестация стендов мотороиспытательных станций авиационных двигателей [2, 3], а также испытательного оборудования, применяемого при ремонте узлов и агрегатов АТ [4]. Кроме того для определения процедур, связанных с контролем параметров технологического стендового оборудования (не являющегося испытательным), в рамках деятельности Технического комитета по стандартизации ТК-034 «Воздушный транспорт» ФГУП ГосНИИ ГА разработан национальный стандарт ГОСТ Р 55847 [5], который утвержден Росстандартом.

С 2012 по 2015 г.г. специалистами метрологической службы ФГУП ГосНИИ ГА проведена первичная аттестация девяти типов стендового оборудования для ТОиР вертолетов Ми-8, Ми-17 и их модификаций (табл. 1), разработчиками и изготовителями которого являются два отечественных производителя. Как видно из таблицы стендовое оборудование предназначено для ТОиР пяти бортовых систем вертолетов Ми-8, Ми-17: гидравлической, топливной и противопожарной, управления и электроснабжения.

Таблица 1

Наименование аттестованного стендового оборудования	Назначение для бортовых систем вертолетов Ми-8, Ми-17
1. Гидроустановка ГУ-9977-00 малогабаритная передвижная	гидравлическая система (г/с) (проверка работоспособности)
2. Стенд НАЛФ.07.У.009.СО	г/с (промывка)
3. Стенд НАЛФ.07.У.011.СО	г/с (заправка)
4. Стенд НАЛФ.07/У.013.СО	г/с (отработка)
5. Гидроустановка НАЛФ.07.У.020. СО бортовая переносная	г/с (автономная проверка)
6. Стенд К.02.150 для зарядки и испытания огнетушителей	противопожарная система

7. Стенд К.07.116 проверочный универсальный	топливная система
8. Пульт НАЛФ.77.АФ.ВФ.СО	система электроснабжения (проверка авиационных амперметров и вольтметров)
9. Пульт НАЛФ.77.БУ-32.СО	система управления и г/с (проверка блока управления БУ-32)

Общая методология проведения аттестации и метрологических исследований стенового оборудования

ФГУП ГосНИИ ГА разработана общая методология проведения аттестации и метрологических исследований стенового оборудования, которая в дальнейшем применялась относительно перечисленного в таблице 1 оборудования включает в себя следующие элементы: 1) метрологическую экспертизу эксплуатационной документации в соответствии с ОСТ 54-3-156.66-94 [6] и РМГ 63-2003 [7]; 2) оценка соответствия эксплуатационной документации требованиям ГОСТ 2.601 [8] и ГОСТ 2.610 [9]; 3) оценка показателей достоверности (погрешностей) воспроизводимых (задаваемых) величин рабочих характеристик и их нормирование в качестве предельно допускаемых значений исходя из требований государственных поверочных схем соответствующих видов измерений, а также допусков, заложенных в эксплуатационной и ремонтной документации на вертолеты; 4) проверка работоспособности стендов; 5) подтверждение соответствия фактически воспроизведимых (задаваемых) значений рабочих характеристик аттестуемого стенового оборудования требованиям эксплуатационной документации на него, технического задания и руководств по эксплуатации; 6) Оценка возможности применения стенового оборудования для работ по техническому обслуживанию вертолетов Ми-8, Ми-17 и их модификаций; 7) выполнение ГОСТ Р 8.568 [10], ОСТ 54-3-1572.80-2001 [11] и ГОСТ Р 55847 [5].

Оценка показателей достоверности (погрешностей) воспроизводимых (задаваемых) величин рабочих характеристик и их нормирование в качестве предельно допускаемых значений производится исходя из требований государственных поверочных схем, а также допусков, заложенных в эксплуатационной документации на вертолеты.

С учётом требований технологической и эксплуатационной документации к техническим характеристикам и с использованием коэффициента точности (K_t) по формуле 1 рассчитываются предельно допускаемые значения погрешностей ($\Delta_{\text{доп}i}$) аттестуемых характеристик стенового оборудования:

(1)

$$\Delta_{\text{доп}i} = \frac{D_i}{K_{t,i}},$$

где:

D_i - поле допуска на аттестуемую характеристику стенового оборудования исходя из требований технологической и эксплуатационной документации;

$K_t \geq 2,5$ - значение коэффициента точности, при котором обеспечивается достоверность результатов испытаний для статистической надёжности с доверительными границами $P_d = 0,95$; при $K_t \geq 2$ обеспечивается достоверность результатов испытаний с $P_d = 0,9$.

В Программах первичной аттестации стенового оборудования, перечисленного в табл. 1, учтены также факторы возникновения метрологических рисков при производстве авиационной деятельности согласно ГОСТ Р 56116 [12] и публикации [13]; источниками возникновения метрологических рисков могут являться, в том числе и измерения, выполняемые при ТОиР АТ. При этом, неправильные результаты измерений жизненно важных параметров, влияющих на безопасность авиационной деятельности, могут сложиться (суммироваться) на другие факторы риска, обусловленные с человеческими ошибками.

Основные результаты аттестации на примере стенового оборудования, предназначенного для ТОиР гидравлической системы

В качестве примера далее рассматриваются результаты аттестации гидроустановки ГУ-9977-00, которая без запуска двигателей позволяет проверить работоспособность основной и дублирующей гидравлических систем вертолета. Для проведения аттестации специалистами метрологической службы ФГУП ГосНИИ ГА была разработана Программа первичной аттестации, содержащая алгоритм и методику проведения исследований.

До начала проведения аттестации предприятием-разработчиком выполнено техническое обслуживание ГУ-9977-00 согласно эксплуатационной документации на установку. В комплект гидроустановки входят штатные средства измерений: манометр серии 20 ТМ-520 (0-10) МПа с диапазоном измерений (0÷10) МПа, класс точности 1,0; (по Государственному реестру № 25913-08 от 09.12.2018) и термометр ТКП-60С(-25-75)-1,5-1,6-А с диапазоном измерений от

-25°C до +75°C, класс точности 1,5 (по Государственному реестру № 16942-98 от 01.01.2003). Они прошли метрологическое обслуживание (калибровку) в соответствие с действующими методиками и имели отметки о его прохождении – оттиск калибровочного клейма на лицевой панели и в эксплуатационной документации.

В процессе метрологической экспертизы – проведенной ФГУП ГосНИИ ГА также до начала работ по аттестации установлено, что эксплуатационная документация на ГУ-9977-00 соответствует требованиям ОСТ 54-3-156.66-94 [6] и РМГ 63-2003 [7], в том числе и требованиям государственных стандартов единой системы конструкторской документации [8], [9]. Однако при проведении нормоконтроля эксплуатационной документации выявлен ряд недостатков и несоответствий нормативным требованиям, а именно в тексте РЭ даны ссылки на недействующие (отмененные) государственные стандарты и другие нормативные документы; обозначение единиц физических величин не соответствовало требованиям ГОСТ 8.417 [9]. При этом выявленные несоответствия устраниены разработчиком гидроустановки в период проведения аттестации.

Произведен расчет (табл. 2) показателей достоверности - предельно допускаемых значений погрешностей $\Delta_{\text{доп}}$ аттестуемых характеристик гидроустановки ГУ-9977-00.

Таблица 2

Наименование аттестуемой характеристики гидроустановки ГУ-9977-00	D	K_t	$\Delta_{\text{доп}}$
1. Абсолютная суммарная погрешность измерения давления рабочей жидкости, кгс/см ²	10	2,5	4
2. Абсолютная суммарная погрешность измерения температуры рабочей жидкости, °C	7,5	2,5	3

Проверка работоспособности проводилась на одном из сибирских авиаремонтных заводов путем подключения гидроустановки ГУ-9977-00 к основной и дублирующей гидросистемам

(рис. 1 и 2) вертолета Ми-8АМТ бортовой № RF-28967 в соответствии с Руководством по технической эксплуатации вертолета. В ходе проверки установлено, что работа гидроустановки удовлетворяет требованиям эксплуатационной документации: вращение электродвигателя равномерное без заеданий, звук работы однотипный, все соединения испытуемой гидроустановки герметичны.



Рис. 1. Проверка работоспособности гидроустановки ГУ-9977-00 (в нижнем левом углу - профиль аттестуемой гидроустановки; штуцеры зарядных шлангов подключены к входам «зарядка гидросистемы» вертолета Ми-8АМТ)



Рис. 2. Лицевая сторона приборной панели гидросистемы в кабине экипажа вертолета Ми-8АМТ (указатель давления основной гидросистемы показывает наличие давления, создаваемого ГУ-9977-00)

По результатам аттестации подтверждено для $P_d = 0,95$ соответствие (табл. 3) фактически воспроизводимых (задаваемых) значений рабочих характеристик гидроустановки ГУ-9977-00 требованиям эксплуатационной документации на вертолеты, а также технического задания и руководства по эксплуатации на гидроустановку.

Таблица 3

Наименование аттестуемых характеристик	Значения аттестуемых характеристик	
	Действительные	Нормируемые
1. Рабочее давление нагнетания, кгс/см ² (МПа)	70 (7,0)	не более 65 ⁺⁸ ⁻² (6,5 ^{+0,8}) ^{-0,2}
2. Продолжительность непрерывной работы установки, мин	40	не более 40
3. Перерыв для охлаждения, мин	16	не менее 15
4. Производительность агрегата при давлении нагнетания 70 кгс/см ² (7 МПа) при температуре рабочей жидкости 25 °C, л/мин	9,2	не менее 8

Примечания: 1) Давление срабатывания предохранительного агрегата ГА77В составляет от 4,5 МПа (нижний предел срабатывания) до 6,8 МПа (верхний предел срабатывания);

2) Время непрерывной работы установки – соответствует требованиям Руководства по эксплуатации ГУ-9977-00 и Технического задания на нее.

В ходе проведения аттестации возникла необходимость в измерении параметров вибрации, создаваемой установкой ГУ-9977-00 в процессе работы. Необходимость измерений была обусловлена вхождением в комплект установки двух единиц средств измерений: манометра и термометра манометрического, относящихся к категории виброустойчивых. При этом уровень создаваемой вибрации в документации на ГУ-9977-00 не нормирован, что не позволяло оценить соответствие условий работы манометра и термометра требованиям их разработчиков (изготовителей).

Названные средства измерений относятся к категории виброустойчивых и термостойких (в первую очередь, по отношению к отрицательным температурам). Однако чтобы оценить возможность их применения в комплекте гидроустановки необходимо знать, а какую же вибрацию создает сама установка - т.е. создаваемые ею значения вибрации не должны превышать регламентированных в описании типа средства измерений по Государственному реестру. При этом для термометра допускаемое значение амплитуды перемещения составляет 0,75 мм в диапазоне частот до 700 Гц.

Для проведения работ с использованием технологического стенда для прокачки была собрана измерительная схема (рис. 3) контроля основных параметров установки (в том числе, рабочего давления нагнетания, режимов работы и других), регламентированных в руководстве по эксплуатации гидроустановки, а также параметров вибрации



Рис. 3. Измерительная схема для контроля основных параметров гидроустановки и параметров вибрации (слева – ГУ-9977-00, передняя панель снята; справа – технологический стенд для прокачки)

Измерение вибрации проводилось с использованием анализатора типа ПР-200ЕХ проведены измерения параметров вибрации (виброскорость, амплитуда смещения, частота колебаний), возникающей при работе ГУ-9977-00. Измерения проводились с датчиком пьезокерамическим в трех плоскостях колебаний У, Х и Z. Задача - выявление максимальных значений возникающей при работе ГУ-9977-00 вибрации. При этом по координате У измерения проводились в двух точках - в центре пересечения диагоналей верхней панели корпуса аттестуемой установки и ребре жесткости на уровне проекции; по оси X - при установке датчика на боковой панели, а по оси Z - на лицевой панели.

Вид спектра вибрации по вертикальной (У) составляющей при установке датчика на ребре жесткости на уровне проекции представлен на рис. 4, на котором по оси абсцисс приведены значения частоты вибрации (в килогерцах), а по оси ординат - значения виброскорости (в мм/с). Из рисунка видно, что полученные значения виброскорости в диапазоне частот до 1 кГц. не превышают 2,1 мм/с, что для требуемого диапазона частот находится значительно ниже по параметру смещение, чем допускаемое 0,75 мм. Аналогичные результаты получены и для других плоскостей колебаний. Таким образом подтверждено нахождение параметров вибрации в допускаемых пределах, регламентированных разработчиками (изготовителями) манометров ТМ-521 и термометров манометрических ТКП-60С, входящих в комплект ГУ-9977-00.

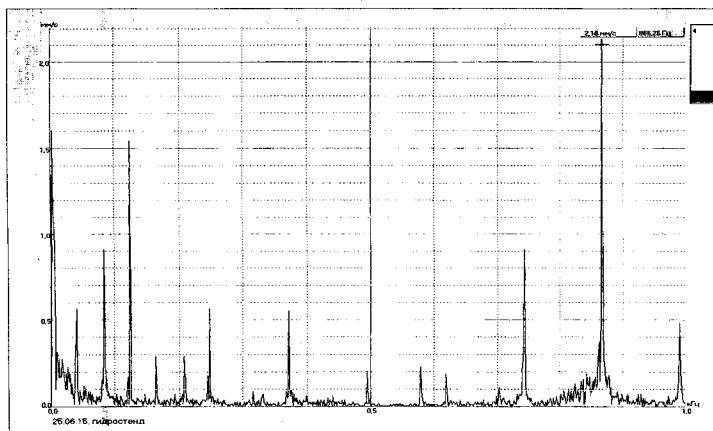


Рис. 4. Результаты измерений вибрации при работе гидроустановки ГУ-9977-00

Создаваемая установкой вибрация значительно ниже предельно допускаемых значений, регламентированных длявиброустойчивых средств измерений (манометра и термометра), входящих в комплект ГУ-9977-00. Кроме того экспертным путем (на основании анализа технической документации) подтверждена работоспособность ГУ-9977-00 в заданном диапазоне температур.

В ходе проведения аттестации установлено, что рабочие характеристики гидроустановки ГУ-9977-00 соответствуют требованиям эксплуатационной документации на вертолеты, и она может применяться для работ по техническому обслуживанию гидросистем вертолетов Ми-8, Ми-17 и их модификаций в условиях эксплуатирующих и ремонтных предприятий воздушного транспорта.

Для исполнения требований ГОСТ Р 8.568-97 [6] и ОСТ 54-3-1572.80-2001 [6] / по результатам первичной аттестации гидроустановки ГУ-9977-00 был оформлен протокол аттестации и Аттестат.

При этом разработчику была дана следующая рекомендация: для обеспечения функционирования ГУ-9977-00 при температуре от -45 до + 60 °C: внутренняя полость манометра ТМ-521 должна заполняться на заводе-изготовителе демпфирующей жидкостью (силиконом). Внутренняя полость манометра ТМ-521, входящего в комплект установки ГУ-9977-00 зав. № 141204, на котором проводилась аттестация, заполнена изготавителем прибора глицерином ПК-94, рабочий диапазон при использовании которого составляет от -20 до +60 °C.

Результаты аттестации подтвердили, что гидроустановка ГУ-9977-00 с доверительной вероятностью Рд = 0,95 обеспечивает достоверность задания (поддержания) рабочих режимов проверки гидросистемы вертолётов Ми-8, Ми-17 и их модификаций, регламентированных в эксплуатационной документации на вертолеты.

Технические условия на поставку (ТУ) ГУ-9977-00 не разрабатывались по причине мелко серийного производства и возможности осуществлять поставку в соответствии с требованиями технического задания и руководства по технической эксплуатации на установку, содержащие необходимые технические и иные требования.

Выводы

Таким образом ФГУП ГосНИИ ГА разработана общая методология проведения аттестации и метрологических исследований стенового оборудования, для технического обслуживания и ремонта вертолетов Ми-8, Ми-17 и их модификаций; установлен порядок (алгоритм) определения характеристик достоверности контроля параметров пяти бортовых систем вертолетов с использованием упомянутых в настоящей публикации стендов. Проведены исследования и оценка фактических значений рабочих характеристик девяти типов стенового оборудования.

При проведении работ по аттестации учтены метрологические риски, возникающие при производстве авиационной деятельности на воздушном транспорте с учетом ГОСТ Р 56116 [12] и публикации [13].

Аттестованное стеновое оборудование отвечает требованиям ГОСТ Р 8.568-97 [10], ОСТ 54-3-1572.80-2001 [11] и ГОСТ Р 55847 [5] и может быть рекомендовано для применения при выполнении работ по ТОиР бортовых систем вертолетов Ми-8, Ми-17 и их модификаций в условиях предприятий воздушного транспорта.

Для обеспечения достоверности контроля бортовых систем вертолетов Ми-8, Ми-17 и их модификаций с использованием аттестованного стенового оборудования необходимо проведение периодического метрологического обслуживания (калибровки или поверки) встроенных средств измерений из комплекта поставки стенового оборудования.

Метрологическое обслуживание средств измерений из комплекта стенового оборудования следует проводить в метрологических службах, подтвердивших свою техническую компетентность либо в соответствии с документами государственной системы обеспечения единства измерений, либо РД 54-3-152.51-97 [15], либо иных действующих нормативных документов, а также имеющих систему качества, соответствующую положениям ГОСТ ИСО/МЭК 17025 [16].

При проведении аттестации подтверждена работоспособность девяти типов стенового оборудования и их пригодность для применения при проверке и обслуживании бортовых систем вертолетов Ми-8, Ми-17 и их модификаций в условиях организаций по ТОиР АТ [17].

Отечественные разработчики и производители успешно реализуют задачу модернизации парка стенового оборудования для проведения работ по ТОиР вертолетного парка.

Литература

1. О внедрении в организациях гражданской авиации государственного стандарта Государственная система обеспечения единства измерений. Аттестация испытательного оборудования. Основные положения. /Распоряжение Минтранса РФ от 13.11.2000 г. № 71/р
2. Богоявленский А.А., Боков А.Е. Измерения температуры газов за турбиной при испытаниях авиадвигателей после ремонта. // Мир измерений. - 2014. - № 11. - С. 7-14.
3. Богоявленский А.А., Боков А.Е. Метрологическая аттестация методики измерения поля температур газов за турбиной при испытаниях двигателей РУ-19А-300 после ремонта. // Научный вестник ГосНИИ ГА. - М., 2014. - № 4 (№ 315). - С. 24-29.
4. Богоявленский А.А. Аттестация испытательного оборудования узлов и агрегатов авиационной техники // Научный вестник МГТУ ГА. - М., 2014. - № 199 (1). - С. 126-133.
5. ГОСТ Р 55847-2013. Воздушный транспорт. Система технического обслуживания и ремонта авиационной техники. Контроль параметров технологического оборудования. Основные положения.
6. ОСТ 54-3-156.66-94. Отраслевая система обеспечения единства измерений (ОСОЕИ). Метрологическая экспертиза нормативной и технической документации.

7. РМГ 63-2003. Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). Обеспечение эффективности измерений при управлении технологическими процессами. Метрологическая экспертиза технической документации.
8. ГОСТ 2.601-2013. Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Эксплуатационные документы.
9. ГОСТ 2.610-2006. ЕСКД. Правила выполнения эксплуатационных документов.
10. ГОСТ Р 8.568-97. ГСИ. Аттестация испытательного оборудования. Основные положения.
11. ОСТ 54-3-1572.80-2001. ОСОЕИ. Аттестация испытательного оборудования. Порядок проведения.
12. ГОСТР 56116-2014. Воздушный транспорт. Система менеджмента безопасности авиационной деятельности. Метрологические риски. Основные положения.
13. Богоявленский А.А., Боков А.Е. Постановка задачи разработки методов управления метрологическими рисками негативных ситуаций в авиационной деятельности. // Мир измерений. - 2013. - № 10. - С. 3-7.
14. ГОСТ 8.417-2002. ГСИ. Единицы физических величин.
15. РД 54-3-152.51-97. ОСОЕИ. Порядок аккредитации метрологических служб предприятий гражданской авиации на право калибровки специальных средств измерений (введен в действие указанием Федеральной авиационной службы от 10.07.97 № 55/у).
16. ГОСТ ИСО/МЭК 17025-2009. Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий.
17. Богоявленский А.А., Боков А.Е. Стендовое оборудование для технического обслуживания вертолетов Ми-8, Ми-17 и его метрологические исследования. // Мир измерений. - 2015. - № 4. - С. 12-20.

УДК 629.78

**МЕТОДЫ ИМИТАЦИИ НЕВЕСОМОСТИ И ОСОБЕННОСТИ ОТРАБОТКИ
НАДЁЖНОСТИ РАЗВЁРТЫВАНИЯ КРУПНОГАБАРИТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ
АВТОМАТИЧЕСКИХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ**

В.М. Михалкин

Заместитель директора – главный инженер

Отраслевого центра крупногабаритных трансформируемых механических конструкций

АО «Информационные спутниковые системы им. ак. М.Ф. Решетнёва»

Г.В. Двирный

К.т.н., инженер по наладке и испытаниям

Отраслевого центра крупногабаритных трансформируемых механических конструкций

АО «Информационные спутниковые системы им. ак. М.Ф. Решетнёва»

В статье представлен краткий обзор методов имитации невесомости, задачи и особенности отработки надёжности развёртывания крупногабаритных конструкций автоматических космических аппаратов (АКА). Показаны основные специализированные стенды имитации условий невесомости, которые обеспечивают компенсацию влияния сил тяжести на функциональные узлы к механических устройств, а также системы контроля геометрических параметров конструкций на различных этапах наземной отработки крупногабаритных трансформируемых конструкций космических аппаратов, применяемых в АО «Информационные спутниковые системы им. ак. М.Ф. Решетнёва».

В АО ИСС применяется полный комплекс стендового оборудования необходимый для проведения всего объёма наземной отработки различных конструкций АКА.

UDC 629.78

**ZERO-G IMITATION' METHODS AND DISTINCTIVE FEATURES OF THE REALIABILITY
DEVELOPMENT TESTS FOR THE AUTOMATIC SPACECRAFTS LARGE-SIZED FOLDABLE
STRUCTURES**

V.M. Michalkin

Deputy of director - chief engineer,

Industrial Center of Large-Sized Foldable Mechanical Structures,

JSC "Academician M.F. Reshetnev "Information satellite systems"

G.V. Dvirny

PhD in Technical Science, Maintenance and Test Engineer

Industrial Center of Large-Sized Foldable Mechanical Structures,

JSC "Academician M.F. Reshetnev "Information satellite systems"

This article provides a brief overview of the zero-g simulation methods, issues and distinctive features of the reliability development tests for automatic spacecrafts large-sized foldable structures (ASCs). The article describes the main designated zero-gravity simulation test benches ensuring the compensation of gravity having impact on functional units of a certain mechanical system as well as monitoring systems of the structures geometry during any ground experimental tests phase in the Industrial Center of Large-Sized Foldable Mechanical Structures.

The ground experimental facilities of the Industrial Center enable it to perform the entire cycle of ground testing on the ASCs different structures.

УДК 629.78

**МЕТОДЫ ИМИТАЦИИ НЕВЕСОМОСТИ И ОСОБЕННОСТИ ОТРАБОТКИ
НАДЁЖНОСТИ РАЗВЁРТЫВАНИЯ КРУПНОГАБАРИТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ
АВТОМАТИЧЕСКИХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ**

В.М. Михалкин

Заместитель директора – главный инженер

Отраслевого центра крупногабаритных трансформируемым механическим конструкций

АО «Информационные спутниковые системы им. ак. М.Ф. Решетнёва»

Г.В. Двирный

К.т.н., инженер по наладке и испытаниям

Отраслевого центра крупногабаритных трансформируемым механическим конструкций

АО «Информационные спутниковые системы им. ак. М.Ф. Решетнёва»

В процессе наземной экспериментальной отработки (НЭО) все трансформируемые конструкции из состава АКА должны быть отработаны на соответствие предъявляемым техническим требованиям, в том числе необходимо выполнить комплексную проверку функционирования механического устройства (солнечная батарея, рефлектор или др.) в составе а АКА. А также должна выполняться проверка функционирования механических устройств при экстремальных температурах и вакууме [1].

Необходимость систем имитации невесомости обусловлена тем, что механические системы проектируются и изготавливаются с учетом функционирования в условиях открытого космоса, где отсутствует сила земного тяготения, атмосферное давление, влажность и т.д.

Одними из основных задач НЭО при создании крупногабаритных трансформируемым механических систем (КТМС) являются:

- высокоточное определение баланса и запаса внутренних сил и/или моментов в механизмах трансформируемым систем, влияющие на надёжность развёртывания, при нормальных условиях и в условиях вакуума и экстремальных температурах эксплуатации;
- комплексное развёртывание полномасштабного образца КТМС со штатной динамикой с имитацией условий невесомости, в том числе отработка логики раскрытия, срабатывания внутренних механизмов КТМС, при нормальных условиях и в условиях вакуума и экстремальных температурах эксплуатации;
- отработка стабильности геометрических характеристик (термодеформации, гигродеформации, процессы релаксации и др.) элементов конструкций КТМС, а также твердотельных разместабильных рефлекторов антенных систем;
- отработка стабильности геометрических параметров КТМС в развёрнутой конфигурации с имитацией условий невесомости, в том числе многоточечной имитацией невесомости для элементов КТМС малой жёсткости и большой протяжённости, как при нормальных условиях, так и в условиях вакуума и экстремальных температур эксплуатации;
- отработка жесткостных и модальных характеристик КТМС поэлементно и на полноразмерных моделях с имитацией невесомости и компенсацией присоединённых масс стенового оборудования;
- отработка методологии юстировки КТМС в составе АКА без воссоздания полномасштабной рабочей конфигурации АКА при изготовлении;
- создание и отработка специализированного стенового оборудования имитации невесомости, а также внедрение технологий контроля параметров штатной продукции от уровня отдельных элементов и механических устройств до готового образца КТМС [2].

Для решения перечисленных задач создаются специализированные стенды имитации условий невесомости, рабочие места, системы контроля геометрических характеристик, которые обеспечивают компенсацию влияния сил тяжести на функциональные узлы конкретной механической системы, производятся юстировочные работы. Такие специализированные стенды и системы входят в состав рабочих местами для сборки и настройки крупногабаритных конструкций.

На рисунке 1 показан пример стендового оборудования для высокоточного определение запасов внутренних сил и моментов в механизмах КТМС в вакууме при экстремальных температурах эксплуатации с системой контроля силовых факторов, имеющей следующие основные технические характеристики: диапазон измеряемого момента статического 0.1-100 (Нм), диапазон измеряемого усилия сжатия-растяжение 1-1000 (Н), предел основной погрешности $\leq 0,5\%$ [3].



Рисунок 1 – Стендовое оборудование для термовакуумных испытаний.

Наш опыт проведения проверок комплексного раскрытия многозвенных крупногабаритных конструкций космических аппаратов составляет более 30 лет. Комбинации применяемых кинематических схем компенсации силы тяжести в значительной степени зависят от размеров, масс, жёсткости раскрываемых элементов, от логики функционирования, конструктивно возможных траекторий движения выбранных точек подвешивания (рисунок 2).

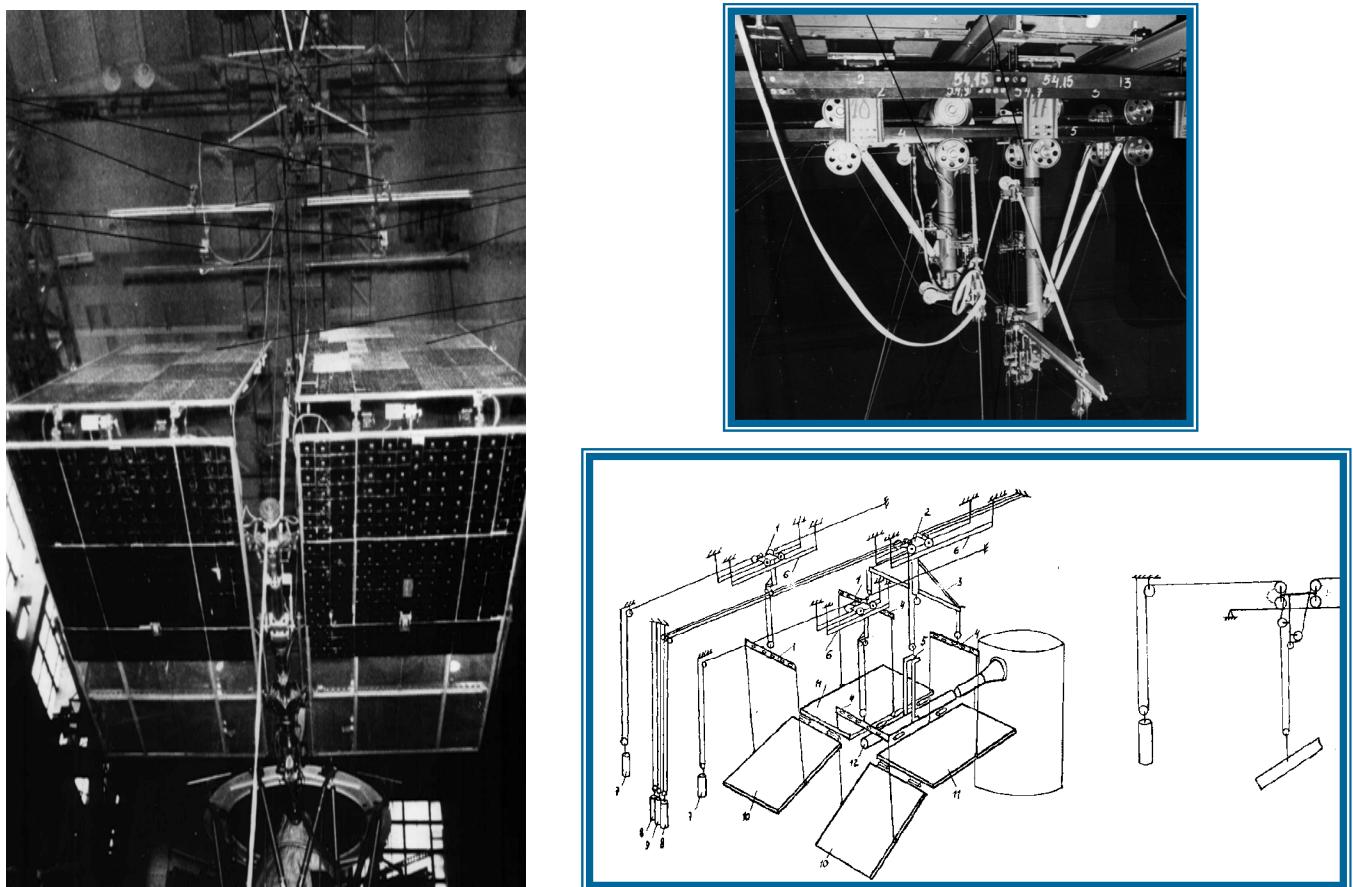


Рисунок 2 – Имитация невесомости при комплексной проверке функционирования многозвездного трансформируемого крыла солнечной батареи 1986 г.

В настоящее время создан и применяется несколько универсальных стендов имитации невесомости для проверки функционирования многозвездных трансформируемых механических систем [4].

Компенсация влияния веса или «имитация невесомости» применяется для решения ряда задач:

- проверка функционирования. Срабатывание и перевод элементов МС из транспортировочного положения в рабочее с контролем необходимых параметров.
- подтверждение параметров надежности функционирования;
- приложение нагрузок и контроль необходимых параметров и состояния при исследовании ОИ на жесткость, прочность и надежность;
- точные измерения геометрических параметров, как для трансформируемых так и стационарных конструкций АКА;
- измерений радиотехнических параметров развёртываемых антенных систем

В АО «ИСС» разработано уникальное стендовое оборудование - с прецизионным контролем компенсирующего усилия (погрешность компенсации веса не хуже 0,2-0,4Н), см. рисунок 3, для проверок функционирования и геометрической стабильности, а также определения радиотехнических параметров антенных систем имеющих раскрываемые однозвенные рефлектора с двумя или тремя степенями свободы [5,6,7].

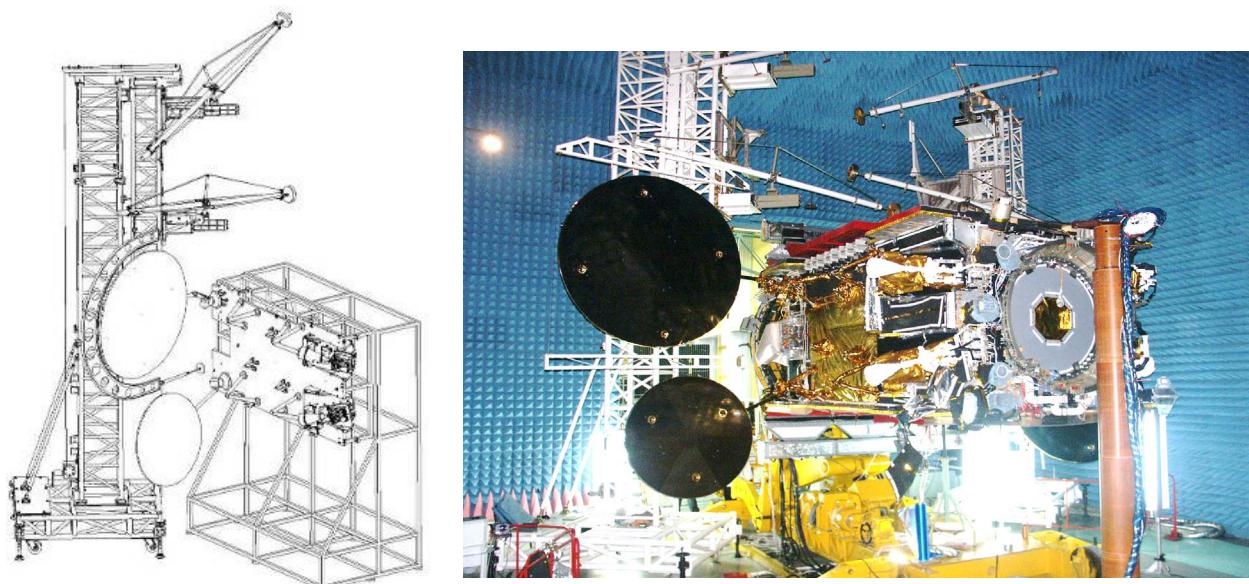


Рисунок 3 – Развёртывание антенных систем КА Экспресс АМ5 для определения радиотехнических параметров

Так же на предприятии для имитации невесомости применяются устройства обезвешивания на основе шар-баллона с гелием. В основном они предназначены для раскрытия твердотельных рефлекторов, при малых скоростях раскрытия.

(дополнить небольшим абзацем про шары)

Выводы

- Представлен краткий обзор методов имитации невесомости, задачи и особенности отработки надёжности развёртывания крупногабаритных конструкций АКА.
- Показаны основные специализированные стенды имитации условий невесомости, которые обеспечивают компенсацию влияния сил тяжести на функциональные узлы конкретной механической системы, а также системы контроля геометрических параметров конструкций на различных этапах наземной отработки - отраслевого центра крупногабаритных трансформируемых механических конструкций АО «Информационные спутниковые системы им. ак. М.Ф. Решетнёва».
- Особенности отработки надёжности КТМС АКА заключаются в том, что при решении отдельных задач НЭО необходимо:
 - компенсировать влияния веса на функциональные узлы механических устройств при проверках функционирования и определении параметров надёжности;
 - компенсировать деформации основных конструктивных элементов под действием поля силы тяжести, таких как длинномерные штанги, трансформируемые фермы рефлекторов или штанг, радиоотражающее сетеполотно рефлекторов антенных систем при сборке и прецизионной настройке, а так же при проверке радиотехнических параметров;
 - создавать индивидуально для каждого ОИ стендовое оборудование, на основе оптимально выбранных кинематических схем ОИ-стенд, оснащённое средствами прецизионного контроля геометрических и силовых параметров, а так же создавать методики настройки и аттестации создаваемого стендового оборудования, обеспечивающие компенсацию влияние веса для решения задач испытаний [8].

Литература

1. Тестоедов, Н.А. Наземная экспериментальная отработка космических аппаратов с имитацией дестабилизирующих факторов внешней среды / Н.А.Тестоедов, Е.А. Лысенко // Материалы XI Международной научной конференции, посвященной памяти академика М.Ф. Решетнёва.- Красноярск, 2007.- 24с.
2. Тестоедов, Н.А. Технология производства космических аппаратов / Н.А. Тестоедов [и др.] – Красноярск, 2009. – 352с., [4] л цв.ил. ISBN 978-5-86433-404-1.
3. «Сибирский спутник» ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнёва» №15 (369). 29 октября 2014. С. 1.
4. Кузоро, В.И. Техническая справка - По выбору схемы проверки раскрытия крыла БС с полужесткой подложкой в рабочее положение в НУ. ТС 340-362-04 / В.И. Кузоро [и др.]. – Железногорск: ОАО «ИСС», 2003. - 98с.
5. Наземные динамические испытания космических аппаратов / Б.П. Соустин [и др.]- Красноярск: НИИ ИПУ, 1999 . – 203с. ISBN5-93182-011-6.
6. Шатров, А.К. Механические устройства космических аппаратов. Конструктивные решения и динамические характеристики / А.К. Шатров, Л.П. Назарова, А.В. Машуков – Красноярск: СибГАУ, 2006 – 84с. ISBN 5-86433-285-2.
7. Чеботарев, В.Е. Проектирование космических аппаратов систем информационного обеспечения : в 2 кн. Кн. 2. Внутреннее проектирование космического аппарата / В.Е. Чеботарев – Красноярск: СибГАУ–2005.–168 с.
8. Михалкин В.М. Повышение универсальности стендов имитации условий невесомости, при использовании на раскрытия в нормальных условиях крупногабаритных трансформируемых конструкций / В.М. Михалкин, Г.В. Двирный, М.Д. Перминов // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. Материалы пятой Всероссийской конференции творческой молодежи, посвященная Дню космонавтики. - Красноярск: СибГАУ, 2009.- С. 78-80.

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОПТИМИЗАЦИИ СТЕНДОВОЙ ОТРАБОТКИ РАЗЛИЧНЫХ ЭУ И СИСТЕМ

В.И. Ковалев

К.т.н., начальник отдела системной интеграции информатизации испытаний
ОАО «НПО Энергомаш»

Представлен опыт моделирования (математического и имитационного) при разработке различных ЭУ. Предложена технология оптимизации стендовой отработки различных ЭУ и систем на базе нейронных сетей и имитационного моделирования (нейросетевое имитационное моделирование). Приведены результаты апробирования технологии нейросетевого имитационного моделирования (НИМ) применительно к задаче оптимизации энергетических характеристик ЖРД за счет использования полимерной присадки в горючем, а также для стендовой отработки лазерного зажигательного устройства. Намечены новые области применения разработанной технологии НИМ.

1. Введение

НПО «Энергомаш» является разработчиком и производителем уникального унифицированного ряда кислородно-керосиновых ЖРД (РД-171М, РД-180, РД-191, РД-181) с энергетическими и эксплуатационными характеристиками, превосходящими зарубежные и отечественные двигатели.

Следует отметить, что достижение таких высоких характеристик было обеспечено в середине прошлого века не в последнюю очередь за счет организации экспериментальной отработки узлов, агрегатов и ЖРД в целом на 70 стендах НПО «Энергомаш», что оказалось возможным только при существующих в то время объемах финансирования.

В период с 1963 по 1989 г.г. в НПО «Энергомаш» совместно с рядом организаций, при общем научном руководстве НИИТП (ныне Исследовательский Центр им. М. В. Келдыша) проводились научно-исследовательские, проектно-конструкторские и экспериментальные исследования по космическим ракетным двигателям и энергетическим установкам на основе газофазного ядерного реактора (ГФЯР) для создания газофазного ЯРД (ГФЯРД) и газофазной ЯЭУ (ГФЯЭУ). [1]

В результате выполненных исследований [2] была показана принципиальная возможность создания космических двигательных и энергодвигательных установок с беспрецедентным сочетанием высоких энергетических и энергомассовых характеристик: ГФЯРД с удельным импульсом $(2...6) \times 10^4$ м/сек при тяге десятки-сотни тонн и ГФЯЭУ электрической мощностью сотни МВт при удельной массе ≤ 1 кг/квт.

При этом, проведенные экспериментальные исследования по проблеме ГФЯР, давшие положительные результаты, носили характер математического моделирования лишь отдельных процессов [3,4,5]; комплексные же моделирование и натурные эксперименты, которые явились бы демонстрацией возможности создания ГФЯР, не были проведены, что видимо и привело в 1990 г. к закрытию этой тематики.

Однако следует отметить, что хотя время глобальных космических проектов еще не пришло, актуальной задачей в настоящее время является разработка комплексной математической модели рабочего процесса в газофазном твэле на базе современных вычислительных технологий. [6,7]

В это же время, с середины 70-х годов в НПО «Энергомаш» в кооперации с ВНЦ ГОИ, РНЦ «Прикладная химия», а также РНИИКП начались работы по созданию непрерывного химического лазера (НФ и DF-НХЛ).

Учитывая судьбу разработки ГФЯР, в первую очередь была создана специализированная стендовая база под Санкт-Петербургом, позволившая выполнить большой объем испытаний средне-размерных (мощностью до 30кВт) и крупноразмерных (мощностью не менее 300кВт) НХЛ.

При этом в процессе стендовой отработки НГ-НХЛ была предпринята попытка оптимизации (снижение количества и повышение достоверности) натурных испытаний с использованием имитационного моделирования.

В частности, был предложен метод параметрической идентификации для определения поперечных размеров сечения пятна излучения, полученных с помощью прибора сканирующего типа в условиях изменяющейся во времени мощности излучения и действия помех в реальном масштабе времени.

В рамках этой имитационной модели была реализована программная система отображения, работающая в анимационном режиме, что позволило создать интерактивную базу данных по испытаниям. [8]

Далее, для проектирования резонатора трехпроходного DF-НХЛ, возникла необходимость создания динамической имитационной модели системы экстремального регулирования (СЭР) положения оптической оси по критерию максимальной мощности. [9]

Здесь следует отметить, что до сих пор ни одна математическая модель не позволяет достаточно точно определить оптимальное положение оптической оси, а экспериментальное определение путем предварительного сканирования требует, во-первых, дополнительного технологического испытания, а, во-вторых, также не обеспечивает необходимой точности.

Созданная имитационная модель СЭР показала высокую эффективность предложенного алгоритма, позволяющего не только за 1.6 сек. выходить на максимальный уровень мощности, но и парировать любые дестабилизирующие факторы, что является определяющим при создании промышленного образца.

Кроме того, модель позволяет разработчику выбрать приемлемые конструкторские решения. В частности, подобрать характеристики шаговых приводов, а также параметры поисковых сигналов даже в условиях флюктуаций мгновенной мощности.

В этой связи возникла необходимость создания статистической имитационной модели для определения показателей точности измерений мгновенной мощности лазерного излучения, являющейся в общем случае нестационарной случайной величиной со значительной (до 40%) амплитудой флюктуаций.

Для решения этой проблемы на базе модернизированного метода Монте-Карло была предложена статистическая имитационная модель (далее модель) процесса измерений и создана методика, позволившая не только получить численные оценки показателей точности измерений мощности излучения НХЛ, но и определить необходимые характеристики измерительной аппаратуры. [10] Кроме того в рамках этой модели были предложены численные показатели точности измерений, достаточно адекватно отражающие точность измерения любых нестационарных функций времени, которые могут найти применение для оценок точности измерений быстроменяющихся параметров (БМП) при стендовой отработке новых ЭУ, когда еще нет прямой статистики.

Далее, в период с 2004 по 2012 для повышения качества и безопасности проведения огневых испытаний, был создан ряд имитационных моделей, позволивших, в частности, в сжатые сроки ввести в эксплуатацию стендовую систему функциональной диагностики (ССФД). [11]

В настоящее время, созданная на базе современных информационно-измерительных технологий ССФД (см. Рис. 1) не только обеспечивает непрерывный мониторинг и контроль основных стендовых и двигательных параметров на всех этапах проведения огневых испытаний РД-180, РД-181 и РД-191, но и позволяет обмениваться по защищенному интернет каналу (ViPNeT) информацией по испытаниям изделий РКТ с ФКП «НИЦ РКП» в реальном масштабе времени. [12]

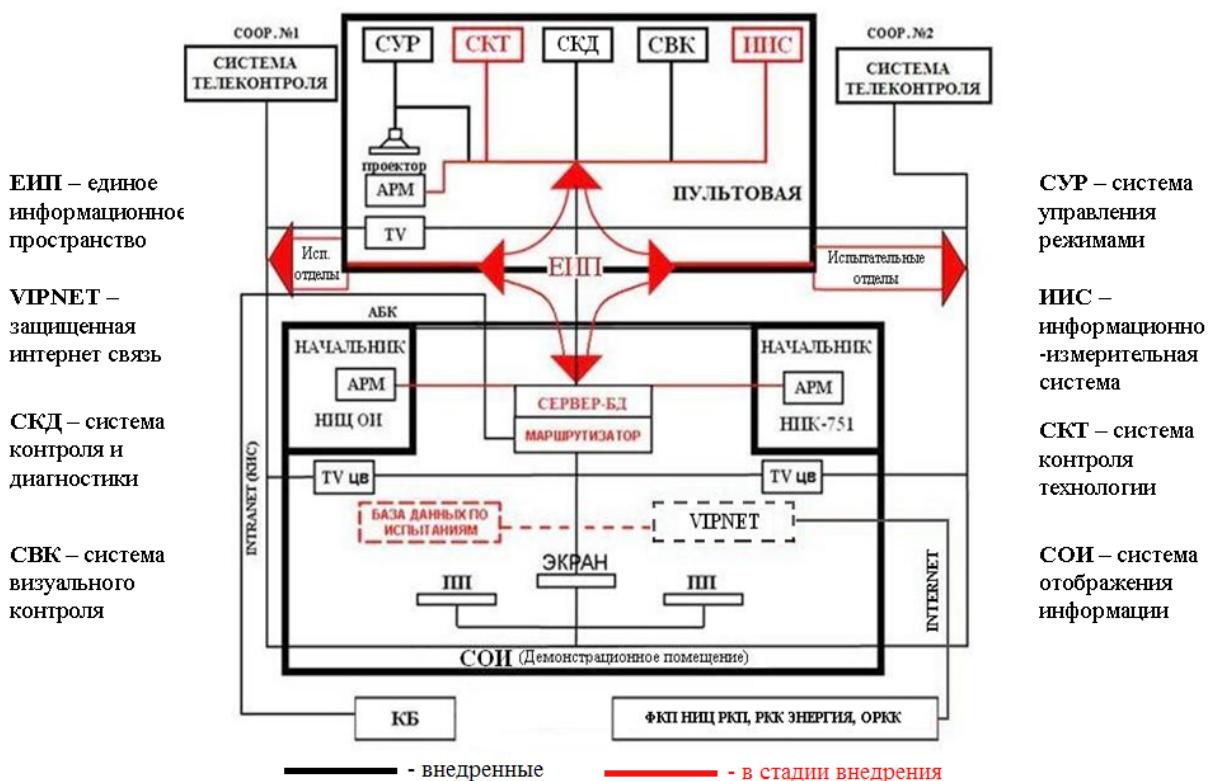


Рис. 1. Схема ССФД

2. Области применения

Применение математического моделирования (mathematical modeling) имеет ряд ограничений. Наиболее важное из них заключается в том, что математическое моделирование описывает преимущественно рабочие процессы в моделируемом объекте. Кроме того, в математическую модель включаются не все параметры, непосредственно влияющие на результат, такие как неконтролируемые, так и неучтенные в теории (незначимые).

Для описания не отдельных рабочих процессов, а системы или ЭУ в целом в настоящее время используется имитационное моделирование (simulation modeling). Здесь уже максимально учитывается влияние на объект моделирования всех параметров.

Важным преимуществом имитационных моделей является то, что в имитационном моделировании используются экспериментальные данные. При этом результаты математического моделирования могут входить в имитационную модель в форме аналитических зависимостей. Хотя обе эти модели создаются на базе математических методов, стоимость адекватной (экспериментально подтвержденной) имитационной модели, в отличие от математической, в мировой практике превышает стоимость объекта моделирования и обычно не продается.

Следует отметить, что практически создание имитационной модели является так сказать «ручной» работой, требующей определенной квалификации и больших временных затрат. При этом увеличение количества параметров может повлечь за собой рост временных затрат до слишком высокого уровня.

В этой связи, в последние годы активно проводятся исследования в области искусственных нейронных сетей применительно к задаче имитационного моделирования, в частности, с целью оптимизации стендовой отработки различных изделий.

Суть применения искусственных нейронных сетей заключается в следующем.

1. Входные параметры оптимизируемого изделия образуют факторное пространство, в котором поведение этой системы задается поверхностью отклика. Каждая точка поверхности отклика

есть, суть, значение целевого показателя оптимизации для конкретного набора значений входных параметров. Нейронная сеть представляет собой имитационную модель поверхности отклика оптимизируемого изделия. Эта модель принимает на входы все существенные параметры изделия (входные давления, температуры, расходы и т.п.). Выходами модели являются прогнозируемые целевые показатели функционирования изделия (выходные скорости, температуры, уровни вибраций, колебаний тяги и т.п.).

2. Решающие преимущества нейронной сети состоят в том, что она способна оптимально настраиваться ("обучаться") на требуемый отклик, учитывая всю имеющуюся информацию:

- математические модели (в тех областях параметров, где они применимы),
- результаты ранее проведенных натурных экспериментов,
- результаты численных расчетов по математическим моделям,
- текущие результаты проводимой в данный момент серии экспериментов.

Таким образом, математическое моделирование целесообразно использовать на этапе НИР и частично ОКР, а имитационное моделирование – на этапах ОКР и стендовой отработки изделий (СОИ). При этом для СОИ и натурных испытаний предпочтительно применять нейронное имитационное моделирование.

3. Перспективы применения

В настоящее время в НПО «Энергомаш» в рамках перспективных разработок ведется модернизация ЖРД (РД-193, РД-175, РД-195), разработка новых ЭУ (РД-192, РД-181), а также детонационной модельной камеры (ДМК) для создаваемого детонационного двигателя «керосин + кислород».

Кроме того, с целью повышения эффективности производственной деятельности ведутся работы по внедрению информационных технологий в информатизацию управления производственной деятельностью предприятия. В частности, на базе информационно-измерительных технологий и имитационного моделирования и с учетом опыта внедрения ССФД начата поэтапная работа по созданию имитационной модели интегрированной системы управления предприятием (ИСУП) в НПО «Энергомаш». [13]

Создание адекватной (экспериментально подтвержденной) имитационной модели ИСУП позволит не только оптимизировать состав и облик ИСУП, но и может послужить образчиком для создания с учетом практики использования защищенного интернет канала связи (ViPNeT) отраслевой ИСУП, включая соответствующий центр управления предприятиями отрасли. [13,14]

Необходимо отметить, что в настоящее время в области планирования экспериментов появились прикладные разработки, основанные на нейронных сетях, позволяющие существенно сократить сроки и стоимость экспериментальных работ. Действительно, в последнее десятилетие предложены десятки архитектур нейронных сетей и алгоритмов обучения. Разработаны принципы тестирований нейронных сетевых моделей, а также сформулированы элементы технологии их применения [15].

Полученный опыт может быть использован также в НПО «Энергомаш» для оптимального планирования стендовой отработки ДМК. [16]

Вместе с тем, при решении конкретных прикладных задач по созданию имитационных моделей с использованием информационных и нейронных сетевых технологий, необходимо учитывать следующее:

- при внедрении информационных технологий, в отличие от других, важно знать «что» делать, а не «как», т.к. последнее не представляет особых трудностей, но требует высокой квалификации исполнителя.
- при создании нейронных имитационных моделей первоочередной задачей является разработка или адаптация алгоритма нейронного сетевого программирования с учетом особенностей объекта моделирования.

Здесь необходимо отметить, что прямое применение готовых, в том числе зарубежных, коммерческих пакетов может не только приводить к трудно интерпретируемым результатам, но и дискредитировать идею развития работ по имитационному моделированию на предприятии.

4. Применение технологии НИМ

В настоящее время, как за рубежом, так и в России, применение технологии НИМ показало высокую эффективность не только при планировании экспериментов и обработке их результатов, но и при разработке новых изделий РКТ.

В частности можно отметить разработки центров NASA, в которых технология НИМ нашла применение при оптимизации элементов конструкции и режимов ракетных двигателей [17].

В России технология НИМ нашла применение, в частности, при оптимизации состава химической смеси в области переработки нефти, а также при выявлении дефектов магистральных трубопроводов при транспортировке нефти. Здесь необходимо также отметить одно из полученных решений на базе технологии НИМ проблемы выявления неисправных датчиков в системах диагностики, защищенную патентом [18].

В настоящей работе предпринята попытка адаптации технологии НИМ к задаче обработки экспериментальных данных с целью подтверждения прогностических возможностей технологии НИМ по уже выполненным экспериментам, во-первых, и проверки возможностей технологии НИМ применительно к проблеме оптимизации стендовой отработки нового изделия, во-вторых.

В НИК-751 технология НИМ была апробирована при обработке результатов экспериментов на модельной установке по отработке возможности воспламенения газообразной смеси «кислород-керосин» с помощью лазера (ЛЗУ). Целью эксперимента было определение оптимальных параметров модельной установки, характеристик лазера и топологии точки его фокусировки [19].

В настоящей работе в рамках отработки технологии НИМ была проверена возможность прогнозирования только одного из параметров модельной установки.

Далее, при обработке полученных экспериментальных данных по введению в горючее полимерных добавок (ПИБ) возможности технологии НИМ были проверены для получения непрерывной картины зависимости напорной характеристики насосного агрегата РД-170 для всех концентраций в оптимальном диапазоне [20].

Особый интерес представляет разработка технологии НИМ для решения задачи оптимального планирования (с учетом математической модели) стендовой отработки ДМК. По мере набора экспериментальных данных по ДМК будет поставлена задача и технология НИМ пройдет необходимую апробацию с целью создания адекватной НИМ для ДМК.

4.1. Применение технологии НИМ для решения задачи оптимизации параметров модельной установки для отработки ЛЗУ

Процесс разработки и принятия решения об использовании современных элементов ракетных двигателей, таких как лазерное зажигательное устройство (ЛЗУ), требует проведения большого количества испытаний.

Для сокращения материальных и временных затрат представляется актуальным применение технологии НИМ для прогнозирования отклика на входное воздействие как системы в целом, так и отдельных ее элементов, позволяющее сократить количество натурных испытаний.

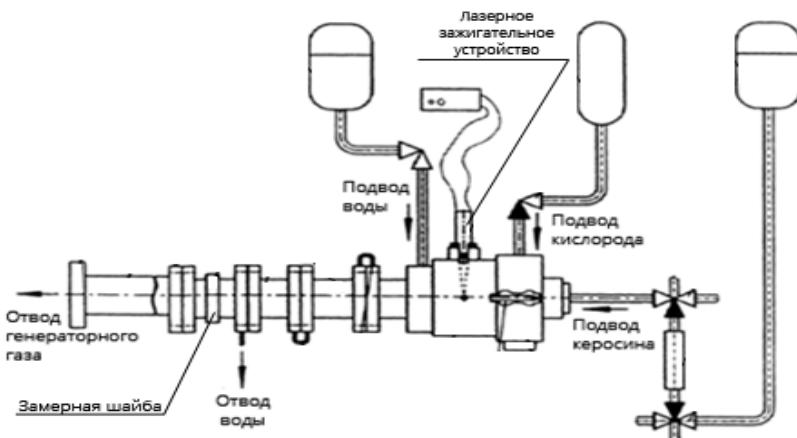


Рис. 2. Модельная установка с ЛЗУ

В данном исследовании в качестве прогнозируемого параметра была выбрана температура газа в замерной шайбе модельной установки с лазерным зажигательным устройством. Выбор этого параметра обоснован тем, что его значение является одним из определяющих условий результата (исхода) эксперимента в целом (успех/неуспех). Кроме того данные по этому параметру имеются для всех испытаний (датчик не выходил из строя ни в одном испытании).

Этап подготовки исходных данных

По данным, полученным в ходе испытаний, было построено факторное пространство, включающее в себя измеряемые параметры модельной установки.

В первую группу включены 4 параметра, обозначим ее $A = \{A_1, A_2, A_3, A_4\}$, где ,
 $A_j, j = 1, 2, 3, 4$, – вектор-столбцы $A_j = (a_i^j)$;

i – порядковый номер эксперимента $i = 1, \dots, n$, n – общее число экспериментов;

$a_i^1 \in [15.18; 24.91]$ – температура горючего до мерного участка (измерялась в $^{\circ}\text{C}$);

$a_i^2 \in [74.11; 198.6]$ – давление горючего перед мерным участком (kgs / cm^2);

$a_i^3 \in [0.1016; 2.15]$ – расход окислителя (kg / s);

$a_i^4 \in [0.1065; 0.32]$ – расход горючего (kg / s).

Во вторую группу включено 4 параметра, обозначим ее $B = \{B_1, B_2, B_3, B_4\}$, где:

$B_j, j = 1, 2, 3, 4$, – вектор-столбцы $B_j = (b_i^j)$;

i – порядковый номер эксперимента $i = 1, \dots, n$, n – общее число экспериментов;

$b_i^1 \in [0.325; 58.51]$ – соотношение расходов компонентов (kg / s);

$b_i^2 \in [226.71; 322.6]$ – давление в емкости окислителя (kgs / cm^2);

$b_i^3 \in [74.82; 203.14]$ – давление в емкости горючего (kgs / cm^2);

$b_i^4 \in [117.46; 161.66]$ – давление в емкостях охлаждающей жидкости (kgs / cm^2).

Назовем $X = A \cup B$ множеством входных параметров. Его можно задать матрицей

$$X = \begin{pmatrix} a_1^1 & \dots & a_1^k & b_1^1 & \dots & b_1^l \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_n^1 & \dots & a_n^k & b_n^1 & \dots & b_n^l \end{pmatrix}$$
, где k – число параметров первой группы факторного пространства, l – число параметров второй группы. Число строк матрицы равно n , число столбцов $m = k + l$. В данном случае $n = 29$, $m = 8$.

В данной работе был выбран единственный прогнозируемый выходной параметр – температура газа в замерной шайбе. Группу $Y = \{y_i\}$ назовем множеством выходных параметров. Здесь:

i – порядковый номер эксперимента $i = 1, \dots, n$, n – общее число экспериментов;

$\in [64.02; 993.52]$ – температура газа в замерной шайбе (измерялась в $^{\circ}\text{C}$).

$$Y = \begin{pmatrix} y_1 \\ \dots \\ y_n \end{pmatrix}, n = 29.$$

Множество выходных параметров представляется в виде

Этап анализа факторного пространства и выбора переменных

В рамках данной работы не является целесообразным отбрасывание каких-либо параметров из факторного пространства, так как матрица X содержит всего 8 столбцов. Однако с целью визуализации распределения данных, многомерное факторное пространство можно представить младшими счетами РС1, РС2 [21], которые соответствуют проекции совокупности входных данных X на первые две главные компоненты.

В анализе участвовали данные множества входных параметров по всем 29 испытаниям (отмечены символом * с указанием номера испытания на Рис. 3).

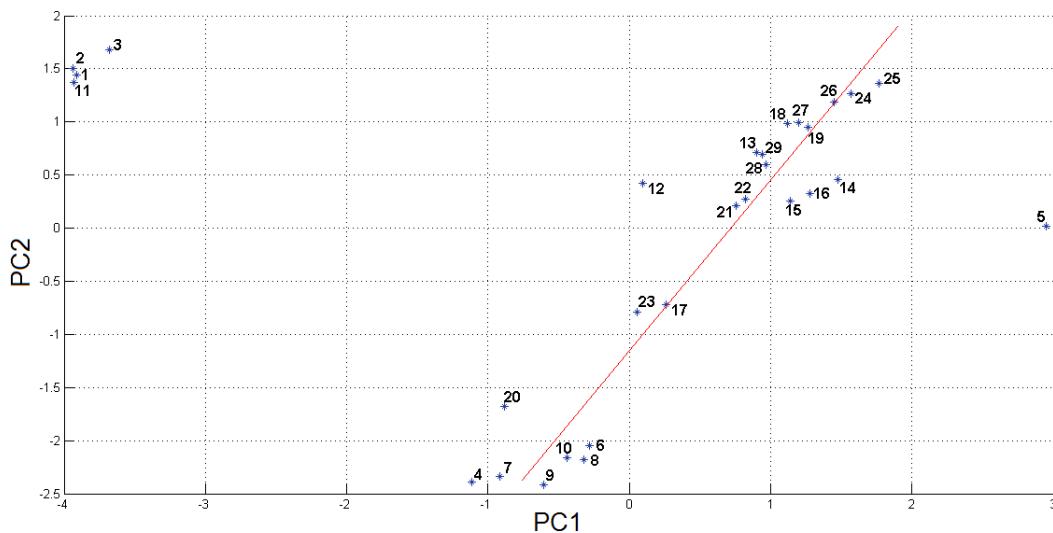


Рис. 3. Демонстрация зависимости в распределении экспериментальных данных

Анализ данных, представленных на Рис. 3, позволяет сделать вывод, что основной объем данных образовал кластер, расположенный вдоль линии. Это позволяет сделать предположение о возможности построения прогноза выходного параметра по совокупности имеющихся экспериментальных данных

Этап подготовки факторного пространства

Данные, используемые при обучении нейронной сети, нормируются [22] в соответствии с областью значений функции активации, в качестве которой используется гиперболический тангенс

$$f(x) = \text{th}(x) = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}}$$

Начальная инициализация свободных параметров проводилась методом Нгуен-Видроу [23].

Этап построения модели нейронной сети

При относительно малой размерности обучающей выборки (что имеет место в данном исследовании) предпочтение следует отдать сетям типа MLP.

Число связей в скрытом слое сети MLP определяется формулой:

$$\frac{20}{1 + \log_2 20} \leq L_w \leq 211$$

Число связей сети L_w лежит в диапазоне $4 \leq L_w \leq 211$. Таким образом, с учетом округления до целого число скрытых нейронов сети L лежит в диапазоне $1 \leq L \leq 23$.

Принимая во внимание эмпирическое правило, согласно которому количество связей в сети должно быть как минимум на порядок меньше количества обучающих примеров [15], примем $L = 3$. Использование значений $L < 3$ приводит к ухудшению обобщающих способностей сети.

Топология получившейся нейронной сети показана на Рис. 4.

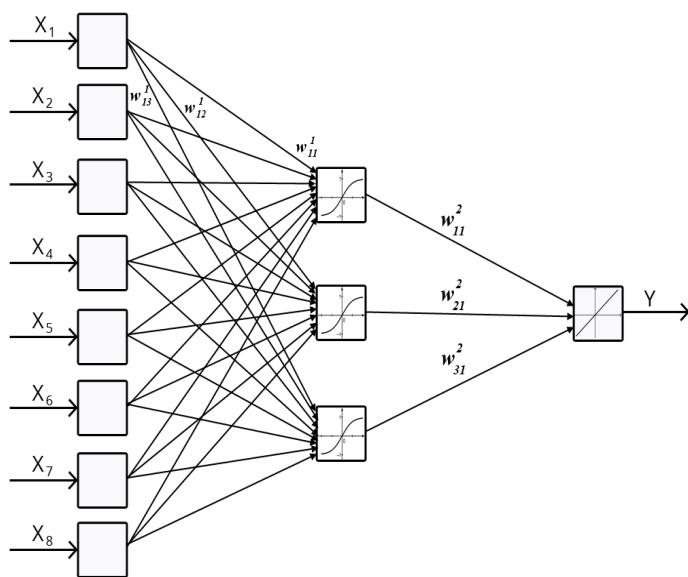


Рис. 4. Топология нейронной сети для прогнозирования температуры газа в замерной шайбе ЭУ с ЛЗУ

Этап обучения нейронной сети.

Построение прогноза температуры газа в замерной шайбе

Для создания прогностической модели использовались 23 набора данных из имеющихся 29, полученных в результате огневых испытаний ЛЗУ, поскольку в 6 испытаниях имелись пропуски в первой и второй группах факторного пространства.

Каждый набор представляет собой пару: входной вектор (строка из матрицы входных параметров X) – выходное значение (соответствующее значение из вектора выходных параметров Y).

Для обучения нейронной сети использовались 20 из 23 наборов входных данных. Оставшиеся 3 набора применялись для независимого тестирования сети.

Обучение проводилось с использованием алгоритма обратного распространения ошибки. Процедура обучения завершается либо при достижении ошибки заданного значения, либо по окончании 50 эпох обучения. Результат обучения представлен на Рис. 5. Ось абсцисс соответствует экспериментальным данным, ось ординат – расчетным. Соответствие экспериментальных данных и полученных при моделировании для каждого испытания отмечено на рисунке символом «*k», где $k = 1, \dots, 20$ – номер набора данных. Прямая – линия желаемого результата (тренд).

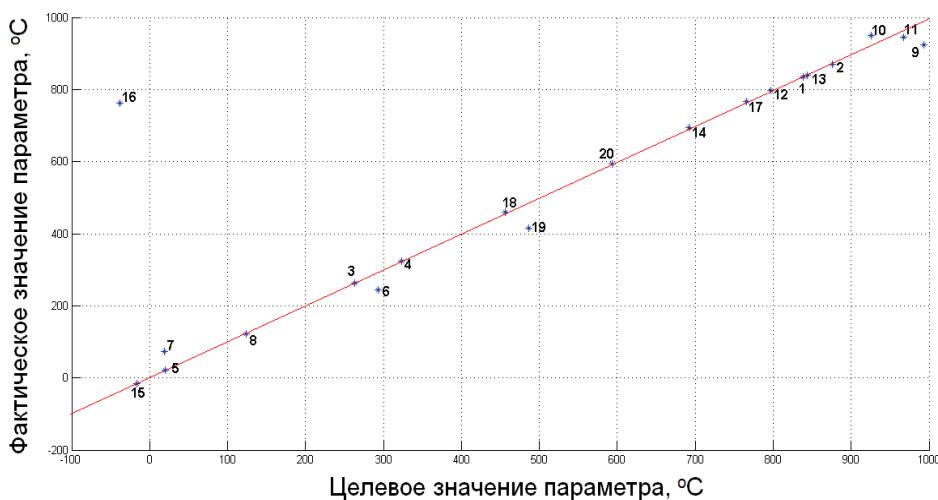


Рис. 5. Результат обучения нейронной сети

Далее, на вход сети подаются оставшиеся три набора входных данных, не принимавшие участия в ее обучении, для проверки адекватности модели. Для первого набора данных: целевое значение равно $449.47^{\circ}\tilde{N}$, спрогнозированное нейронной сетью значение – $415.41^{\circ}\tilde{N}$, для второго набора данных: целевое значение – $650.73^{\circ}\tilde{N}$, спрогнозированное значение – $621.47^{\circ}\tilde{N}$, для третьего набора данных: целевое значение $492.87^{\circ}\tilde{N}$, спрогнозированное – $514.69^{\circ}\tilde{N}$.

Таким образом, максимальное отклонение данных обучения от тренда порядка 15%, а тестового множества менее 8%.

Сеть хорошо обучилась на множестве из 20 пар и результаты тестирования приемлемы. Однако присутствует точка, удаленная от тренда (точка 16 на Рис. 5). Наличие этой точки объясняется малым количеством обучающих наборов с отрицательным значением выходного параметра. Поэтому можно сделать предположение, что сеть обучалась в основном на положительных примерах и, как следствие, плохо реагирует на входные данные, соответствующие испытаниям с отрицательным исходом. Тем не менее, значительное отклонение при обучении наблюдается всего у одной обучающей пары с отрицательным результатом (точка 16 на Рис. 5). С увеличением числа проведенных испытаний (в том числе с отрицательным исходом) возможно расширение факторного пространства и, как следствие, улучшение построенной модели.

Предварительные выводы

В работе представлено построение нейросетевой прогностической модели на базе экспериментальных данных, способной выделять функциональные связи между параметрами без какой либо априорной информации о природе этих связей. В данном случае построенная модель позволяет получить прогноз выходного параметра – температура газа в замерной шайбе с ошибкой не более 8% соответствующего результатам испытания модельной установки с лазерным зажиганием.

Все это подтверждает принципиальную возможность создания прогностических моделей различных узлов и агрегатов, разрабатываемых изделий РКТ, с использованием технологии НИМ и на основании имеющейся базы данных проведенных испытаний.

4.2. Адаптация НИМ для задачи оптимизации применения полимерных присадок к горючему

Актуальность

Характеристики жидкостных ракетных двигателей во многом определяются совершенством топливной системы. Гидравлический тракт системы подачи современных ЖРД состоит из элементов, которые повышают полное давление рабочего тела (насосные агрегаты) и элементов, в которых оно безвозвратно теряется в виде гидравлических потерь (клапаны, регуляторы) и сопротивления трения (топливные магистрали, тракты охлаждения) [25].

Соответственно улучшить характеристики топливной системы можно двумя путями:

1. Увеличить КПД центробежных насосов.
2. Снизить гидравлические потери в элементах системы.

Увеличение КПД центробежных насосов, при сохранении остальных его параметров на прежнем уровне, является чрезвычайно сложной задачей. Причем сложность этой задачи пропорциональна уровню КПД, достигнутому на данный момент.

Что же касается потерь трения, то они находятся в зависимости от числа Рейнольдса и шероховатости стенок. Однако технологии изготовления материальной части на предприятиях отрасли весьма высоки, поэтому резервов в этом направлении не имеется [25].

В такой ситуации представляет интерес исследование эффекта Томса. Это явление заключается в снижении гидродинамического сопротивления трения при течении около стенки разбавленных растворов высокомолекулярных полимеров [20].

Введение в жидкость полимерных присадок оказывает положительное влияние на характеристики центробежных насосов, а именно:

- Возрастает напор.
- Снижается потребляемая мощность.
- Улучшаются кавитационные характеристики.
- Снижается интенсивность кавитационной эрозии.

Однако, несмотря на несомненную практическую пользу эффекта Томса, сложность процессов проходящих в топливной системе ЖРД, создает определенные трудности для построения их математических моделей. В этой связи, для определения оптимальной концентрации полимерной добавки необходимо проведение значительного количества огневых испытаний.

В ходе изучения влияния полимерных присадок на характеристики ЖРД, в НПО Энергомаш были произведены огневые испытания четырех образцов ЖРД. В качестве присадки был использован полимер полизобутилен. Всего было получено 50 экспериментальных реализаций.

Огневые испытания трех образцов прошли в два этапа: первый – испытание на топливе без присадок, второй – испытание с некоторой концентрацией полимерной добавки в горючем.

Эксперимент с четвертым образцом был оба раза проведен на топливе с присадкой. В первом случае концентрация составила 0.005%, а во втором 0.02 %. То есть без нулевой концентрации.

В этой связи возникла целесообразность применения технологии НИМ, позволяющей строить математические (прогностические) модели для всех (включая нулевые) уровни концентраций.

Постановка задачи

В данном исследовании, на основе данных, полученных в натурных испытаниях (НИ), строится прогностическая модель давления H , (м) в турбонасосном агрегате (ТНА) при различных скоростях потока V , (л/с), и концентрациях присадки C , (%). В математической интерпретации данную задачу можно свести к нахождению функциональной зависимости $H : H = f(V, C)$.

Затем, с применением полученной модели, можно будет определить оптимальную концентрацию полимерной присадки к горючему, исходя из соображений максимального прироста давления.

Этап подготовки исходных данных

Показания скорости потока с соответствующими показаниями давления в ТНА измерялись как на топливе без присадок, так и со следующими значениями концентраций полизобутилена: 0.005, 0.05, 0.08 и 0.095%.

Результаты испытаний для каждого образца ЖРД РД-170 изображены на Рис. 6,7,8,9.

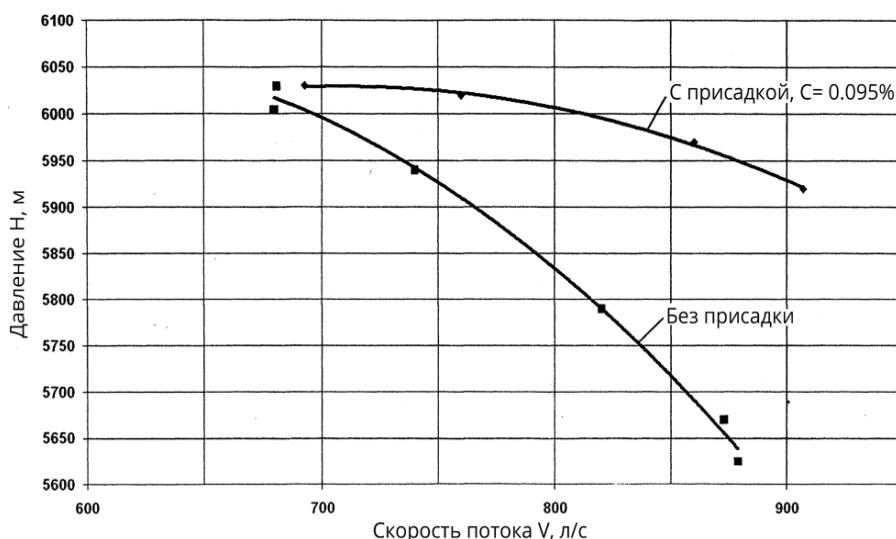


Рис. 6. Результат натурных испытаний образца Б082 РД-170

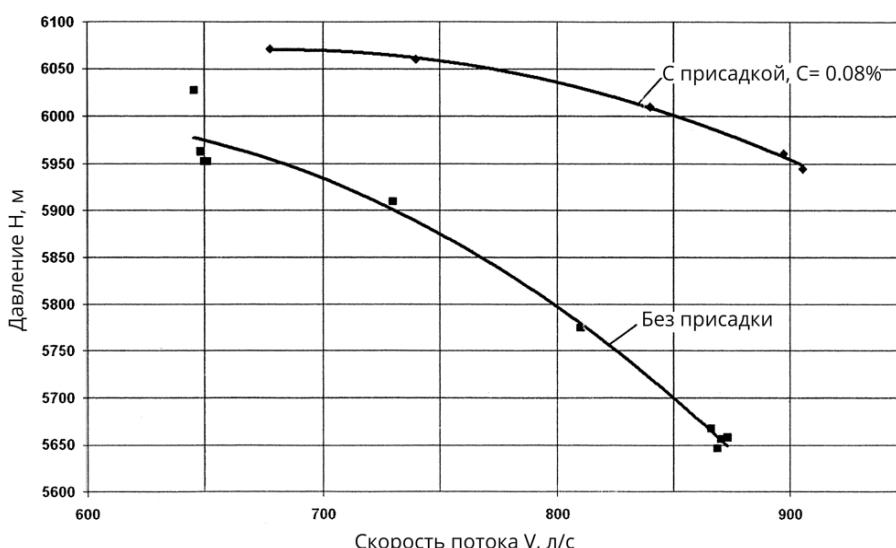


Рис. 7. Результат натурных испытаний образца Б084 РД-170

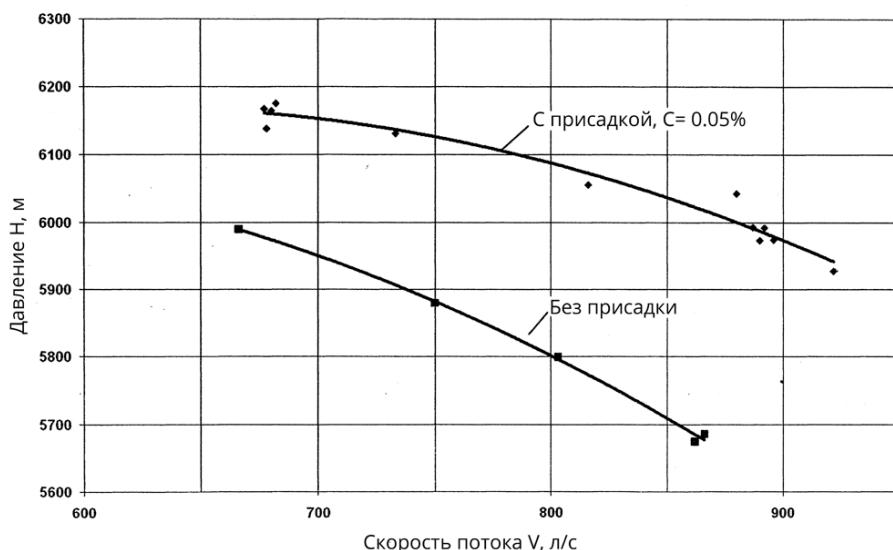


Рис. 8. Результат натурных испытаний образца В009 РД-170

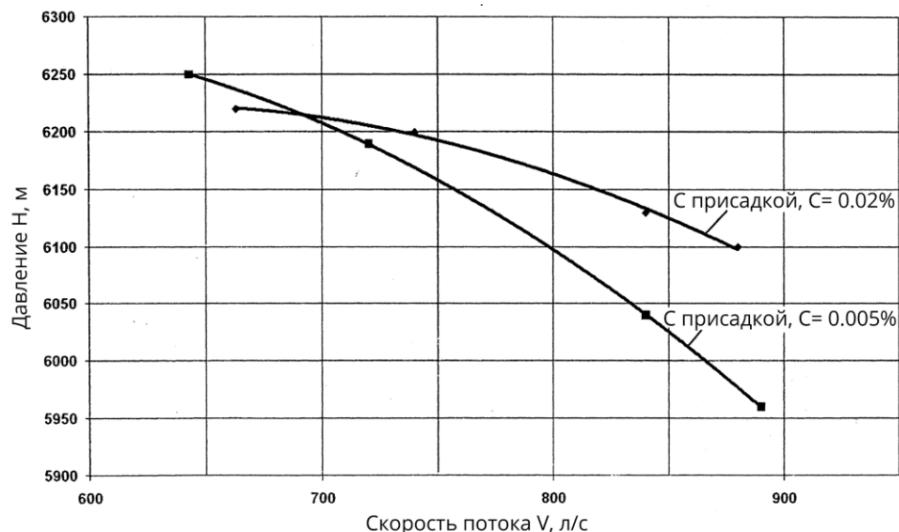


Рис. 9. Результат натурных испытаний образца В017 РД-170(6)

Каждая точка на графиках соответствует результату измерения величины давления и скорости потока в зависимости от концентрации в ТНА ЖРД РД-170. Всего имеется 50 точек.

По результатам НИ строится факторное пространство, состоящее из трех групп.

Первая группа – входные параметры: концентрация и скорость потока. Обозначим первую группу $X = \{x_1, x_2\}$, где $x_1 \in [0; 0.95]$ - концентрация присадки (измерялась в %), $x_2 \in [643; 922]$ - скорость потока в ТНА (измерялась в л/с).

Вторая группа – попутные измерения. В данном исследовании попутные измерения не использовались.

Третья группа – выходные параметры. Обозначим ее $Y = \{y\}$, где $y \in [5625; 6250]$ - давление в ТНА (измерялось в м).

Таким образом, факторное пространство есть множество $V = X \cup Y$.

Этап анализа факторного пространства

Графики результатов НИ имеют схожий вид. График для образца В017 (Рис. 9) при концентрации 0.005 убывает слишком быстро.

Результаты испытаний на горючем без присадки для всех образцов РД-170 практически идентичны. Для образца В017 испытаний без присадки не проводилось, однако было проведено испытание с малой концентрацией полимера равной 0.005. Из графика очевидно, что полученная кривая при концентрации 0.005 значительно отличается от результатов ОИ при концентрациях равных нулю.

Таким образом, из анализа исходных данных можно сделать вывод о том, что данные, полученные при концентрации присадки 0.005, не могут рассматриваться в качестве приближения нулевой концентрации для образца В017.

Этап подготовки факторного пространства

Прежде чем использовать факторное пространство в качестве данных для построения нейронной сети необходимо произвести его предварительную подготовку.

Данные, используемые при обучении нейронной сети, нормируются в соответствии с областью значений функции активации, в качестве которой используется сигмоидальная функция. В нашем случае входные параметры принимают как положительные, так и отрицательные значения, поэтому в качестве функции активации выбран гиперболический тангенс $f(x) = \text{th}(x) = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}}$.

Эта функция непрерывно дифференцируема на всей числовой оси $f'(x) = 1 - \text{th}^2(x)$ и позволяет решать проблему шумового насыщения, что является необходимым для корректного функционирования алгоритмов обучения.

Инициализация проводилась методом Нгуен-Видроу [23].

Этап построения модели нейронной сети

При относительно малой размерности обучающей выборки (что имеет место в данном исследовании) предпочтение следует отдать сетям типа MLP [24]. Оценка количества связей сети, с учетом количества экспериментальных реализаций имеет вид:

$$5 \leq L_w \leq 205.$$

Число нейронов в скрытом слое:

$$1 \leq L \leq 68.$$

С учетом этой оценки, а также принимая во внимание эмпирическое правило, согласно которому число скрытых нейронов в сети должно быть как минимум на порядок меньше числа обучающих примеров, примем количество скрытых нейронов равное 5.

Таким образом, нейронная сеть типа MLP имеет вид:

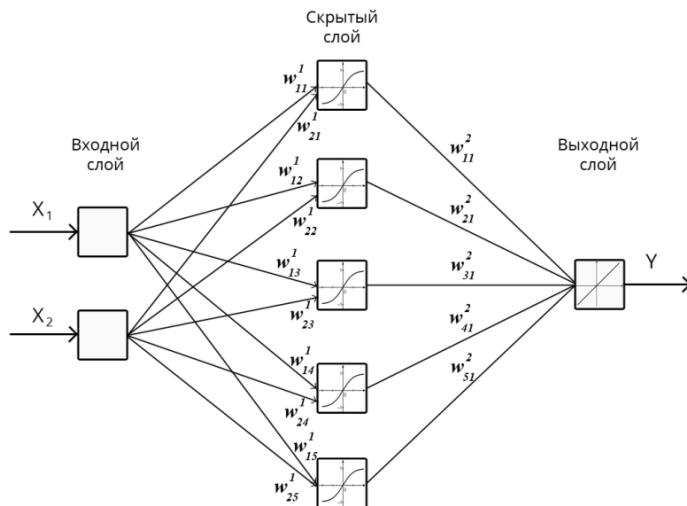


Рис. 10. Нейронная сеть для прогнозирования давления в ТНА.

Здесь w_{ij}^k - вес связи нейрона i слоя k с нейроном j слоя $k+1$.

Этап обучения нейронной сети

Обучение нейронной сети типа многослойный персептрон проводилось по методу обратного распространения ошибки.

Ошибка обучения составила менее 1%, что является приемлемым результатом.

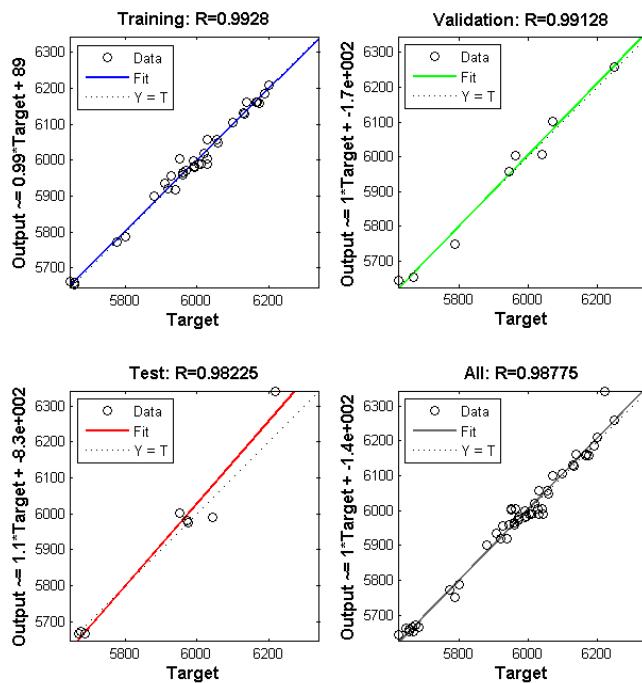


Рис. 11. Результаты обучения нейронной сети

На рисунках соответственно использованы следующие обозначения: Target – целевое значение выхода нейронной сети, Output – фактическое значение выхода нейронной сети, Data – экс-

perimentальные данные, Fit – прямая линия, проходящее через центр облака данных, – линия, соответствующая совпадению целевых и фактических измерений, Training – результат обучения, Validation – результат проверки на переобучение, Test – результат проверки на тестовом множестве, All – общий результат, R – показатель отношения значения выхода нейронной сети к целевому значению. При $R=1$ существует точная линейная зависимость между выходом нейронной сети и целевым значением, если же R близко к 0, то между этими значениями линейной зависимости нет.

Полученные в результате моделирования весовые коэффициенты были получены из MATLAB и применены для программирования модели.

Описание программной среды прогнозирования в ТНА

Модель реализована в виде программного модуля в среде разработки NI Lab Windows CVI на языке С.

Пользовательский интерфейс позволяет выполнить несколько действий:

1. Построить график зависимости давления от скорости потока для фиксированной концентрации
2. Построить график зависимости эффективности от диапазона концентраций [0, 0.1]
3. Построить график зависимости эффективности от диапазона концентраций [0, 0.1] для различных режимов работы ТНА.

Вид пользовательского интерфейса программного модуля с возможными вариантами выбора действия представлен на Рис. 12.

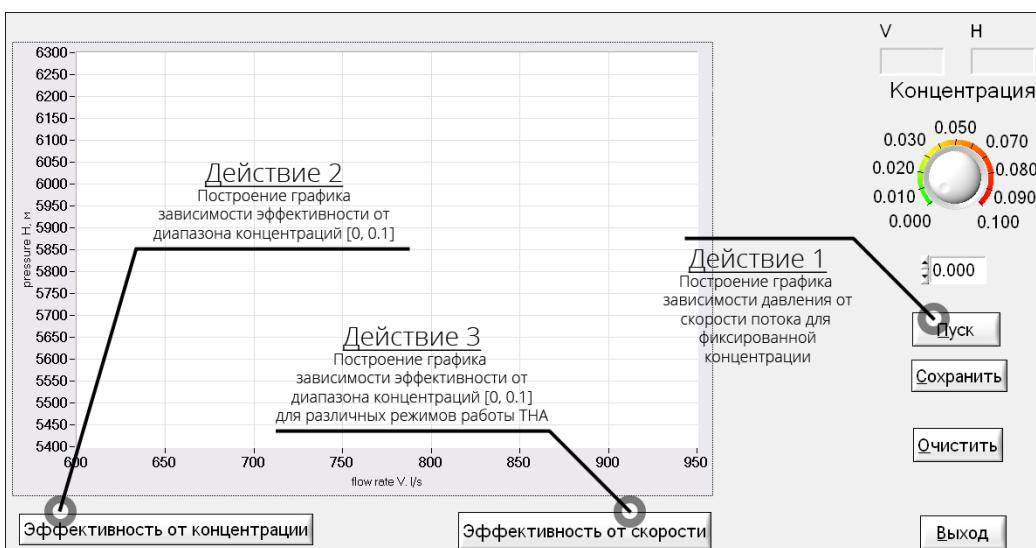


Рис. 12. Вид пользовательского интерфейса программного модуля

Для построения графика зависимости давления от скорости потока (Действие 1), необходимо выбрать нужную концентрацию с помощью кругового элемента управления, либо ввести значение с клавиатуры.

Основные управляющие элементы для построения графика зависимости давления от скорости при фиксированной концентрации изображены на Рис. 13.

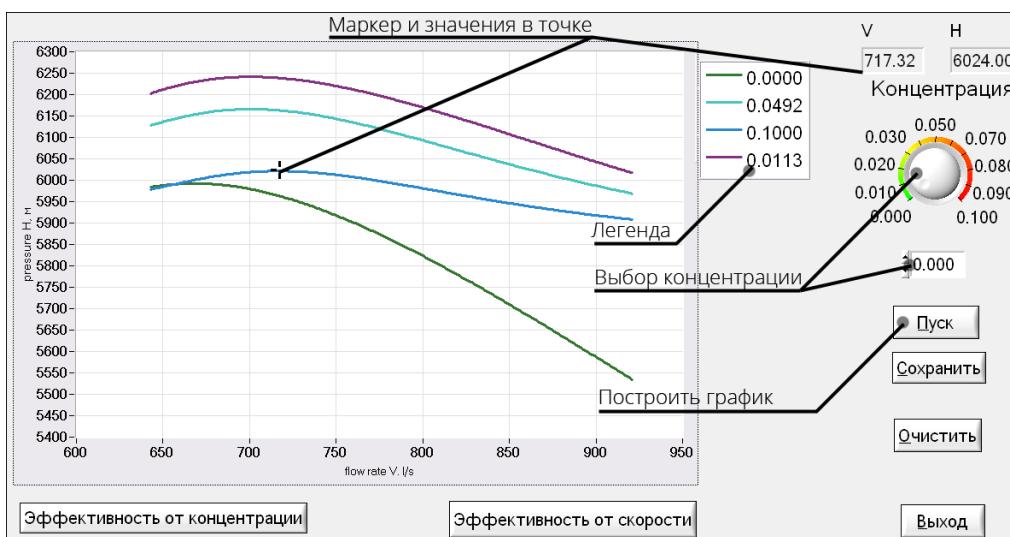


Рис. 13. Элементы управления

Построение прогноза давления в топливном насосе с применением программного модуля

Для нахождения предположительной оптимальной концентрации, с использованием модели, был построен прогноз давления в зависимости от скорости для всех концентраций присадки в диапазоне от 0 до 0.1 с шагом 0.001. В результате было получено 100 массивов данных, содержащих конечное число значений давления. На основе этих данных был найден прирост давления относительно топлива без присадки (в дальнейшем именуемый эффективность), по следующей формуле:

$$A = \frac{\sum_{i=0}^N \frac{|H_{C_i} - H_{0_i}|}{H_{0_i}} \cdot 100\%}{N}$$

где A – эффективность [%], H_{0_i} – значение давления в i -ой точке для горючего без присадки [м], H_{c_i} – значение давления в i -ой точке для горючего с концентрацией присадки C [м], $N = 279$ – число точек для значений скорости потока от 643 (л/с) до 922 (л/с) с шагом 1.

На Рис. 14 представлен график зависимости эффективности от концентрации и режима по расходу (действие 3 программного модуля).

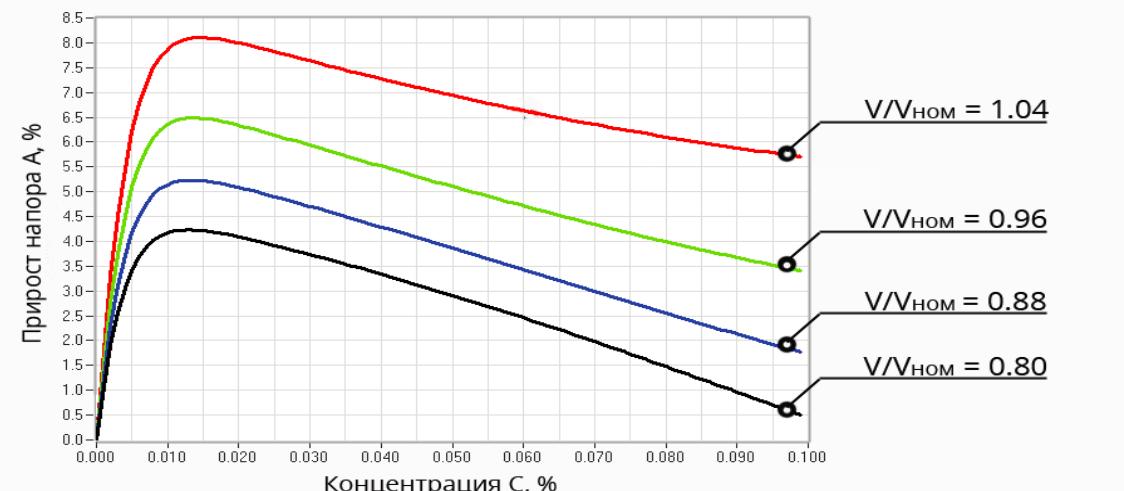


Рис. 14. Зависимость эффективности от концентрации и режима по расходу

Из Рис. 14 видно, что для текущих значений скоростей, наибольший прирост давления теоретически достигается при концентрации присадки в диапазоне от 0.01 до 0.02 %

Результаты исследования

К результатам исследования можно отнести следующее:

- На основе НИМ построена и программно реализована прогностическая модель давления в ТНА в зависимости от концентрации и скорости потока;
- На основе полученной модели и в рамках имеющихся экспериментальных данных, найдена минимальная концентрация полимерной присадки, при которой достигается максимальный прирост давления в ТНА, что позволяет повысить удельный импульс ЖРД.
- Полученные результаты для определения оптимального уровня концентрации полимерной добавки целесообразно проверить на контрольном эксперименте.

5. Выводы

1. Стендовую отработку новых изделий, а также разработку и внедрение различных систем предлагается проводить с использованием различных видов моделирования и преимущественно собственными силами.

2. Развитие работ по моделированию, не требуя капитальных вложений, позволит не только умножить научно-технический потенциал предприятия, но и может сократить расходы за счет снижения сроков и стоимости разработки и внедрения различных изделий и систем.

3. Математическое моделирование целесообразно применять на этапе НИР, а на этапе стендовой отработки новых изделий – имитационное моделирование с использованием нейронных сетей.

4. Полученный опыт использования технологии НИМ позволяет говорить о высокой эффективности его применения и возможности внедрения в сжатые сроки технологии НИМ применительно к задачам прогнозирования и оптимального планирования экспериментов, в частности по целевым техническим заданиям.

Литература

1. Иевлев В.М. Некоторые результаты исследований по газофазному полостному ядерному реактору. // Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт. 1977. №6. С. 24-31.
2. Глинник Р.А., Лиознов Г.Л., Петров В.Н. и др. Ядерная электродвигательная установка на основе высокотемпературного газофазного реактора для пилотируемой экспедиции к Марсу. // Ракетно-космическая техника Научно-технический сборник. Вып. 1(134). Ракетные двигатели и энергетические установки. НИИТП. 1992. №1. С. 75-91.
3. Ковалев В.И., Лущик В.Г., Рудяк В.Н., Якубенко А.Е. Теоретическое исследование процессов в рабочей камере экспериментальной ампулы для испытаний модельных тепловыделяющих элементов газофазного ядерного реактора. Часть I. Постановка задачи и методика расчета. Часть II. Результаты расчета и их анализ. // Труды КБЭМ. №14. 1984. С. 279-330.
4. Жакин А.И., Ковалев В.И., Лущик В.Г., Якубенко А.Е. Тепловая конвекция в замкнутой цилиндрической полости с интенсивным внутренним тепловыделением при наличии продольного магнитного поля. // Известия РАН, МЖГ, 1992, С. 11-18.
5. Ковалев В.И., Лущик В.Г., Сизов В.И., Якубенко А.Е. Трехпараметрическая модель турбулентности: численное исследование пограничного слоя в сопле с завесным охлаждением. // Известия РАН, МГЖ, 1992, С. 48-57.
6. Коротеев А.С., Семенов Ю.П., Семенов В.Ф. и др. Космическая техника и космонавтика в решении экологических проблем мировой энергетики в XXI веке. // Известия РАН, серия Энергетика, 2006, №1, С. 142-155.
7. Лиознов Г.Л., Лущик В.Г. Опыт и перспективы проектно-конструкторских исследований газофазных ЯРД и ЯЭУ // Известия РАН, серия Энергетика, 2013, №6, С. 31-47.
8. Ворушкин Д.Ю., Калинчук В.Н., Ковалев В.И. Метод параметрической идентификации для обработки параметров излучения сканирующим прибором. // Труды НПО "Энергомаш". М., 2000. № 18. С. 375-398.
9. Калинчук В.Н., Ковалев В.И., Пирогов Н.А. Экстремальное регулирование положения оптической оси резонатора непрерывного химического лазера. // Труды НПО "Энергомаш". М., 2000. № 18. С. 398-409.
10. Акимов Н.В., Ковалев В.И. Показатели точности измерений нестационарных процессов и их оценка на основе статического имитационного моделирования. Часть I. Методическое обоснование. // Труды НПО "Энергомаш". М., 2001. № 19. С. 280-294.
11. Ковалев В.И. Имитационное моделирование – эффективное средство стендовой отработки различных ЭУ. // Материалы X Всероссийской конференции НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, г. Миасс, 2013, С. 176-188.
12. Ковалев В.И., Худяков В.Н. Опыт стендовой отработки различных энергетических установок и систем на базе имитационного моделирования. // Труды НПО "Энергомаш". М., 2012. № 29. С. 328-341.
13. Квак В.И., Ковалев В.И., Худяков В.Н. Стендовая система функциональной диагностики ракетных двигателей на основе информационно-измерительных технологий и имитационного моделирования. // Мир измерений. М. 2013, №9, С. 32-36.
14. Ковалев В.И. Имитационное моделирование – эффективное средство разработки различных систем и ЭУ. // Сборник выступлений на Международной научно-технической конференции «Aerospace Testing», г. Москва, 2014. С. 222-230.
15. Саймон Хайкин Нейронные сети. Полный курс. Перевод с англ. «Вильямс», 2006, 1104 стр.

16. Ковалев В.И., Пастухов А.А. и др. Разработка и внедрение технологии имитационного моделирования применительно к задачам оптимизации разработки различных систем и ЭУ. // Труды НПО "Энергомаш". М., №32. в печати. Ч.I МЕТОДОЛОГИЯ. Ч.II РЕАЛИЗАЦИЯ.
17. Neural network and response surface methodology for rocket engine component optimization. Rajkumar Saidyanathan, Florida, Univ., Gainesville, Marshall Space Flight Centre, Huntsville, Al. DOI: 10/2514/6.2000-4880. Publication Date: 06 September 2000-08, September2000.
18. Терехов С.А. Автоматизированная система выявления неисправных датчиков среди датчиков, предназначенных для контроля технологических процессов. Патент РФ на полезную модель №121944 от 13.07.2012г.
19. Белов Е.А., Голиков А.Н. и др. Экспериментальное исследование влияния расположения зоны фокусировки лазера на воспламенение топлива кислород-керосин. // Труды НПО «Энергомаш». М., 2013. № 31. С. 120–134.
20. Гапонов В.Д. О возможной деструкции полимерной присадки к горючему в кислородно-керосиновых ЖРД. // Труды НПО «Энергомаш». М., 2010. № 27. С. 95–114.
21. Айвазян С.А., Бухштабер В.М., Енюков И.С., Мешалкин Л.Д. Прикладная статистика. Классификация и снижение размерности. – М.: Финансы и статистика, – 1989. – 607с.
22. Медведев В.С., Потемкин В.Г. Нейронные сети. / Медведев В.С., Потемкин В.Г. – Москва: Диалог МИФИ, – 2001. – 496с.
23. LeCun Y. Efficient Learning and Second-order Methods /LeCun Y. – MA: MIT Press, – 1993. – 71pp.
24. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс. – 2-е изд. – Москва: издательский дом Вильямс, – 2008. – 1104с.
25. Гапонов В.Д., Каналин Ю.И. Возможность использования присадок высокомолекулярных полимеров для улучшения характеристик энергетических установок, Технический отчет, НПО Энергомаш, 1989

УДК 537.2: 621.45

**РАЗРАБОТКА МЕТОДА ФОРМИРОВАНИЯ СОВОКУПНОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ ПОВЕРХНОСТИ
ИЗ ФРАГМЕНТОВ ИЗОБРАЖЕНИЙ И РАСШИФРОВКИ ТЕРМОПОКРЫТИЙ**

А.А. Кобцева

Инженер ФГУП «ЦИАМ им. П. И. Баранова», студент 6 курса ФАЛТ МФТИ

Соавторы: М.Р. Мирная, А.С. Сорожкин, К.А. Иванов

ФГУП «ЦИАМ им. П. И. Баранова»

Обзор исследований отд. 010 ЦИАМ возможности использования промышленного видеодендроскопа OLYMPUS Iplex FX в качестве фотографирующей техники для исследования температурных полей частей двигателей.

UDC 537.2: 621.45

**THE DEVELOPMENT OF THE METHOD OF FORMING COMBINED IMAGE OF AVIATION
ENGINES SURFACE AND THERMOCOVERING DECRYPTION FROM ITS FRAGMENTS**

A. A. Koftseva

MIPT 6 year student, engineer, CIAM

Co-authors: M. R. Mirnaya, A. S. Sorozhkin, K. A. Ivanov.

CIAM

Overview of the researches made by dep. 010 CIAM of possibility of using industrial endoscope OLYMPUS Iplex FX as photographing equipment for observation of aviation engines temperature fields.

Создание и доводка двигателей требует измерения высокотемпературных полей на поверхностях элементов ГТД, которое можно успешно осуществлять с помощью многопереходных термокрасок, которые имеют несколько цветовых переходов в широком интервале температур.

К цветовым термоиндикаторам относятся вещества или устройства, обладающие способностью резко изменять свой цвет при определенной температуре, называемой критической или температурой перехода. Термокраска представляет собой суспензию термочувствительных соединений, наполнителей, связующих и растворителей, которая после нанесения на любую твердую поверхность затвердевает при высыхании в виде тонкого слоя и изменяет свой цвет при температуре перехода, что позволяет использовать всю поверхность как температурный датчик и измерять температуру в неограниченном числе точек и, что даёт возможность построить изотермы температурных полей.

Термоиндикаторы почти не влияют на количество излучаемого поверхностью тепла и на распределение температуры по исследуемому изделию, следовательно, получаемая при исследовании наглядная информация о распределении температур по поверхности не содержит искаложений, связанных с установкой температурных датчиков. Термокраски позволяют измерять температуру поверхностей любой формы, что позволяет использовать их в местах, недоступных для других средств измерения. Термокраски экономичны и просты в использовании, легко наносятся на поверхность, но позволяют определять лишь максимальное значение температуры. Погрешность измерений с их использованием составляет на изотерме 6°C. Осмотр поверхности возможен только после окончания испытаний, в тоже время, фиксация изменений на цифровые носители с целью последующей обработки требует применения дополнительной аппаратуры [1]. Тем не менее, эти особенности нельзя называть недостатками, так как они лишь определяют круг задач, для которых пригодны термокраски.

Температура относится к тем физическим величинам, определение которых связано с использованием каких-либо свойств вещества, поддающихся непосредственному измерению. В случае термокрасок таким критерием является изменение цвета. Идентификация цвета в испытаниях с применением красок чаще всего проводится методом визуального сличения цвета с цветовым эталоном. При использовании многопереходных термокрасок, имеющих как контрастные (фиолетовый – зеленый, белый – оранжевый), так и оттеночные (сиреневый – светло-сиреневый) цветовые переходы, повышаются требования к оператору по опыту работы и цветовому зрению. Поскольку нет двух людей, идентично воспринимающих цвет, такой метод может привести к значительным ошибкам в определении цвета, а, следовательно, и температуры. В ЦИАМ была разработана методика, включающая в себя компьютерную расшифровку температурных полей по цифровой фотографии поверхности с термокраской [2].

Законы оптического смешения цветов дают возможность записать цветовые равенства, то есть однозначно обозначить любой цвет уравнениями. Приняв за основные цвета R – красный (red), G – зеленый (green), и B – синий (blue), цвет Φ любого излучения можно получить путем смешения цветов R, G и B, взятых в некоторых определенных пропорциях, что выражается уравнением вида (1)

$$\Phi = r'R + g'G + b'B \quad (1)$$

где r' , g' и b' – координаты цвета, указывающие, в каких количествах смешиваются излучения единичных основных цветов [3].

Целью компьютерной обработки результатов эксперимента является изображение исследуемой поверхности с нанесенными на нее контрастными цветовыми зонами, соответствующими различным температурам перехода. Для этого термоиндикаторное покрытие фотографируется на цифровой носитель. Оператор обрабатывает изображение, меняя его яркость и контрастность таким образом, чтобы цветовые зоны были четко различимы, и отмечает приблизительное местоположение цветовых зон. Затем выделяется пиксель изображения, имеющий характерный для данной цветовой зоны цвет, программа сравнивает цветовые координаты r', g' и b' близлежащих пикселей и автоматически выделяет зону, состоящую из пикселей, координаты которых отличаются от координат выбранного пикселя на величину, не большую, чем значение параметра t , называемого допуском и задаваемого оператором вручную исходя из качества изображения и чистоты поверхности с термоиндикаторным покрытием. Затем выделенная зона заливается цветом, определенным цветовым атласом, после заливки всех цветовых зон получается желаемый результат (рис. 1). Данный метод отрабатывался при проведении испытаний элементов камеры горения на различных материалах.

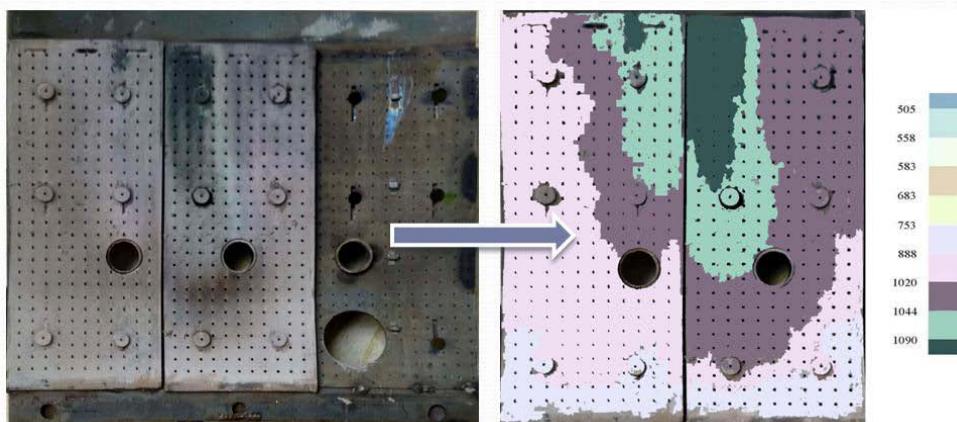


Рис.1. Обработанный и необработанный вариант результата эксперимента

Поскольку такой метод предусматривает расшифровку температурных полей по цифровой фотографии, необходимо рассмотреть аппаратуру, необходимую для качественной съемки. На данный момент в ЦИАМ для этих целей используется цифровой фотоаппарат. Однако такая съемка поверхности имеет существенные ограничения, а именно:

- фотографирование поверхности возможно только после разборки двигателя;
- невозможно фотографирование в труднодоступных местах;
- качественная расшифровка возможна лишь тогда, когда поверхность объекта плоская или близка к плоской. В противном случае искажения освещения на поверхности приводят к ошибкам в расшифровке.

Чтобы преодолеть эти ограничения, были рассмотрены имеющиеся методы неразрушающего визуально-оптического контроля, которые широко используются для оценки технического состояния авиадвигателей в процессе их обслуживания на земле, в частности, использование гибких видеоэндоскопов.

Применение эндоскопов имеет ряд очевидных преимуществ, таких как возможность съемки без разборки двигателя и фотографирование в труднодоступных местах, возможность фиксирования изображений поверхности на цифровые носители. К недостаткам использования этого оборудования для расшифровки температурных полей следует отнести источники света, воспроизводящие «голубовато-белый» или «зеленовато-белый» свет, что может существенно влиять на расшифровку температурного поля, а также частую невозможность визуально оценить чистоту поверхности с нанесенным на нее покрытием и отличить ржавчину, масло и другие загрязнения от цветовых зон. С первым недостатком можно бороться, если в используемом эндоскопе предусмотрена автоматическая настройка баланса белого цвета, которая призвана компенсировать искажения цветов, вызванные освещением объекта разными источниками и привести к стандарту освещения. Также ряд эндоскопов оборудованы вспомогательными инструментами для очистки поверхности от загрязнений, что должно помочь справиться со вторым недостатком.

На рис. 2 изображен пример съемки термоиндикаторного покрытия с применением видеоэндоскопа. При расшифровке был идентифицирован цветовой переход, соответствующий 753°C . После разборки отсеков было обнаружено, что термоиндикаторное покрытие в этом месте было загрязнено ржавчиной, которая при таком освещении приняла цвет зоны термоиндикаторного покрытия, соответствующей определенной температуре.

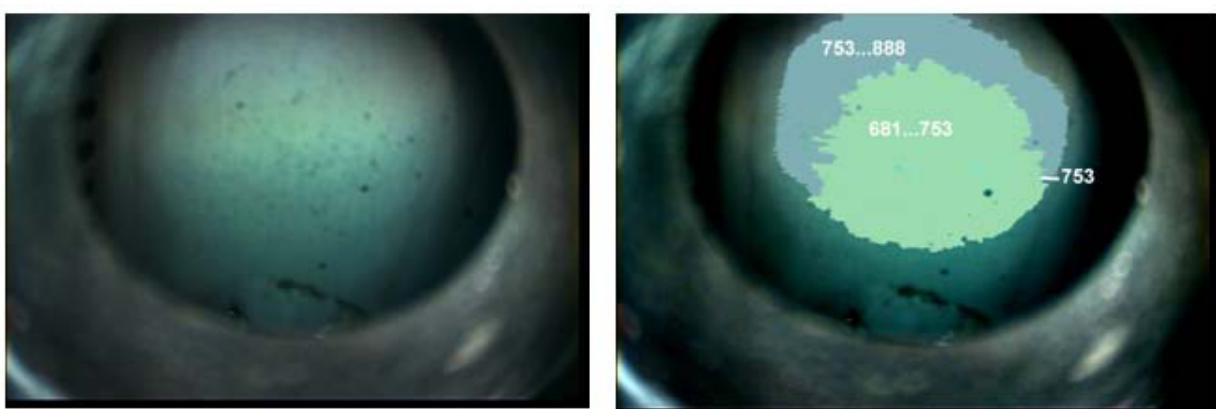


Рис.2. Съемка термоиндикаторного покрытия с помощью видеоэндоскопа

В ЦИАМ был проведен ряд экспериментов, подтверждающих целесообразность применения видеоэндоскопов в качестве фотографирующей техники при исследовании температурных полей с помощью термокрасок. Во всех проведенных исследованиях использовался промышленный видеоэндоскоп OLYMUS IPLEX FX.

В первую очередь были сделаны выводы о необходимости проведения аттестации процедуры съемки термоиндикаторных покрытий с помощью видеоэндоскопа, поскольку разрешающая способность последнего существенно меньше показателей фотоаппарата Canon EOS 5D Mark II, который используется для фотографирования термоиндикаторных покрытий в настоящее время.

Было проведено фотографирование одних и тех же образцов термоиндикаторных покрытий фотоаппаратом (рис. 3) и видеоэндоскопом (рис. 4). При этом использовалась возможность регулировки баланса белого цвета, представленная в данной модели видеоэндоскопа.



Рис.3. Изображения, сделанные фотоаппаратом

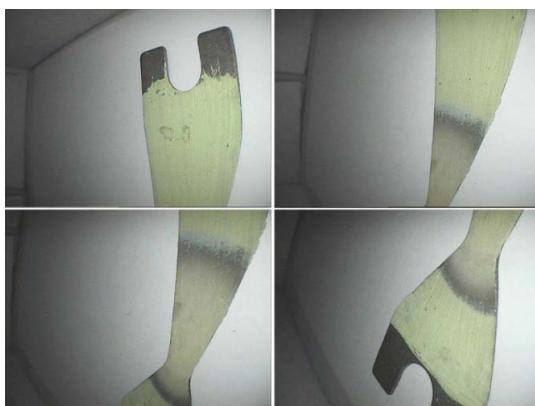


Рис. 4. Изображения, сделанные эндоскопом в условиях ограниченного пространства и освещения светодиодом

Очевидно, что эндоскоп ввиду условий использования снимает покрытия с неудобных позиций: объектив часто находится под углом к поверхности или на очень близком расстоянии от нее, даже небольшие по площади образцы (12 см^2 каждый) удается снять видеоэндоскопом лишь кусочно. Это приводит к необходимости разработки программного обеспечения для панорамной «склейки» отдельных фрагментов изображений термопокрытия для получения качественной развертки исследуемой поверхности с целью дальнейшей расшифровки температурного поля.

В настоящее время очистка поверхностей производится вручную, с помощью резиновых канцелярских ластиков. Для очищения с помощью эндоскопа нужно приспособление для ластика и приспособление для кисточки, чтобы убирать остатки резины после стирания. Было решено для обеих целей использовать имеющийся вспомогательный инструмент External Retrieval Tool (alligator type) ERT-218-A (рис. 5).



Рис. 5. Инструмент ERT-218-A (второй слева)



Рис. 6. ERT-218-A с кисточкой, стирательной резинкой и прикрепленный к направляющей трубке

ERT-218-А захватывает ластик или кисточку зажимом типа «крокодил» (на рис. 6 для неподвижности ластика так же закреплен клейкой лентой), крепится к направляющей трубке зонда специальными зажимами и представляет собой неподвижное продолжение направляющей трубы и секции изгиба, которое можно перемещать вместе с трубкой, проталкивая всю конструкцию вперед или назад.

Была выработана методика очистки поверхности (здесь и в последующих экспериментах загрязнения моделировались нанесением слоя графита на поверхность):

1. Поверхность осматривается, оценивается масштаб и степень загрязнения
2. Проводится очистка ластиком, поверхность повторно осматривается
3. При необходимости по усмотрению оператора трубка вынимается, меняется ластик, проводится дальнейшая обработка поверхности;
4. Направляющая трубка зонда вынимается, ластик заменяется кисточкой, убираются остатки резины;
5. Поверхность фотографируется, изображение обрабатывается.

Ряд экспериментов показали, что при незначительных загрязнениях такая процедура очистки практически идентична ручной обработке поверхности. В случаях же очень сильного загрязнения методика уступает ручной очистке.

На рис. 7 приведены результаты эксперимента по очистке поверхности, проведенного в условиях ограниченного пространства, а на рис. 8 – фотографии очищенного покрытия.



Рис. 7. Очистка поверхности в условиях ограниченного пространства



Рис. 8. Фотографии очищенного покрытия

На рис. 9 представлены результаты съемки термоиндикаторного покрытия в труднодоступных местах.



Рис. 9. Съемка термопокрытий в труднодоступных местах

Заключение

Видеоэндоскопы могут быть успешно применены в качестве фотографирующей техники для исследования температурных полей частей двигателей при соблюдении ряда условий. В результате работы сформулированы основы метода использования видеоэндоскопа OLYMPUS Ipex FX в подобных задачах и формирования совокупного изображения поверхности из фрагментов изображений и расшифровки термопокрытий, а также проведено опробование метода в лабораторных условиях.

Литература

1. Абрамович Б. Г., Карташев В. Ф. «Цветовые индикаторы температуры». М.: Энергия, 1978. – 216с., ил.
2. Мирная М. Р., Иванов К. А., Бородако В. В. «Разработка атласа цветовых зон термоиндикаторных красок ТК-19 и ТК-20 и опробование его практического применения в реальном эксперименте», ТО № 010-4016, 2002 г.
3. Джадд Д., Вышецки Г. «Цвет в науке и технике», М.: «Мир», 1978. – 592 с.

Сведения об авторах

Кобцева А.А., инженер ФГУП «ЦИАМ им. П.И.Баранова, студент 6 курса ФАЛТ МФТИ

Сорожкин А.С., инженер ФГУП, «ЦИАМ им. П.И. Баранова

Мирная М.Р., ведущий конструктор, ФГУП «ЦИАМ им. П.И. Баранова

Иванов К.А., ведущий инженер, ФГУП «ЦИАМ им. П.И. Баранова

**ВНЕДРЕНИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ НА ВСЕХ ЭТАПАХ
ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА АВИАЦИОННОЙ И РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ**

А.С. Комшин А.С., к.т.н., доцент

М.И. Киселёв, д.ф.-м.н., профессор

В.И. Пронякин, д.т.н., заведующий кафедрой

МГТУ им. Н.Э. Баумана

В ХХ веке получили свое развитие четвертый и пятый технологические уклады. Для нашей страны вторая половина века характеризовалась периодом промышленного подъема. Начало ХХI ознаменовало переход из пятого в шестой технологической уклад. По мере развития технологий приобретают свою значимость такие направления, как наноэлектроника, наноматериалы, нанобиотехнология, наносистемы. При этом технологический прорыв возможен только при развитии элементов нано-, био- и информационных технологий, модернизации промышленности и существенном повышении точности измерений в рамках шестого уклада.

Установлено, что максимальная точность измерений, достигаемая аппаратурой, размещённой в лаборатории, определяется уровнем её энергообеспечения. Своебразие энергетического обеспечения процедуры измерения проявляется и в том, что в отличие от целого ряда фундаментальных соотношений неопределённостей, характерным примером которых может служить известное соотношение для неопределённостей координат и импульсов, аналогичное соотношение для неопределённостей энергии и времени не является фундаментальным и может быть преодолено современными техническими средствами в режиме дискретных стробоскопических отсчётов.

Вместе с тем, разработанный перспективный фазохронометрический метод является одной из модификаций стробоскопического подхода и открывает возможности информационно-метрологического сопровождение работы машин и механизмов циклического действия в энергетике, на транспорте и в других отраслях отечественной техники. Дальнейшим развитием данного подхода должно явиться создание Национальных систем прогнозирующего мониторинга и аварийной защиты объектов Единой Энергетической Системы России, а также метрологического обеспечения полного жизненного цикла отечественных машин и механизмов.

Точность, быстродействие и полнота получаемых характеристик функционирования энергетических систем в сочетании с математическими моделями обеспечивают как контроль развития аварийных ситуаций, так и контроль остаточного ресурса.

Эксплуатация всей совокупности объектов машиностроительного комплекса страны требует создания надежно налаженной системы измерительно-вычислительного прогнозирующего мониторинга. Это позволит обеспечить систематическую оценку технического состояния и остаточного ресурса каждого ответственного технического объекта, его аварийной защиты и своевременного вывода из режима эксплуатации.

Основу математического обеспечения функционирования производственного комплекса в целом должны составить многофакторные математические модели функционирования промышленных объектов. Итогом такого рода модернизации должны явиться не только более рациональный жизненный цикл эксплуатации техники, но и наиболее совершенный замкнутый цикл оборота металла, включая заготовительный, производственный, эксплуатационный, утилизационный этапы с последующим возвращением на заготовительный этап. Тем самым можно будет гарантировать минимальный ущерб экологии.

В ближайшие годы необходимо также решение целого ряда фундаментальных теоретических и прикладных задач для обеспечения существенного прорыва в развитии и освоении ближнего космоса, таких как: разработка суперсовременных систем дистанционного зондирования Земли; разработка сверхскоростных систем передачи широкополосной информации; управление кос-

мическими аппаратами на дальних орbitах при реализации лунной программы и обеспечении пилотируемого полета на Марс и т.п.

Безусловно, насыщение космических бортовых систем и комплексов наземного управления космическими аппаратами прецизионными встроенными измерительными системами в сочетании с высоким уровнем математического обеспечения эксплуатации позволит на новом метрологическом и научно-техническом уровне решать настоящие и будущие задачи отечественной космонавтики и ее дальнейшего развития.

Научное направление: «Информационно-метрологическое сопровождение создания и эксплуатации циклических машин и механизмов на основе прецизионного хронометрического анализа фазы рабочего цикла», развиваемое в МГТУ им. Н.Э. Баумана в рамках научно-образовательного инжинирингового центра «Прецизионное метрологическое обеспечение машиностроения», является новым инновационным подходом к решению проблем функционирования и диагностики циклических машин и механизмов, представляющего собой реализацию TIMES-технологий в рамках шестого технологического уклада. Развиваемый метод зарекомендовал себя в экспериментальных исследованиях турбоагрегатов, часовых механизмов, подшипников, ДВС, редукторов и т.п.

УДК 006.354

**ОБЗОР ЗАКОНОДАТЕЛЬНОЙ И НОРМАТИВНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ,
РЕГЛАМЕНТИРУЮЩЕЙ ТРЕБОВАНИЯ И ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ
ПОДТВЕРЖДЕНИЯ СООТВЕТСТВИЯ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СРЕДСТВ
ИЗМЕРЕНИЙ**
Д.П. Бачурин
ФГБУ «ГНМЦ» Минобороны России
А.В. Яшин
Д.т.н., ФГБУ «ГНМЦ» Минобороны России

В докладе представлены результаты анализа нормативно-правовой базы, действующей в области задания требований и оценки соответствия программного обеспечения средств измерений. Кроме того, в докладе освещены требования государственных стандартов в области программного обеспечения средств измерений, вводимых в действие с марта 2016 года.

В настоящее время большинство средств измерений (СИ) функционируют под управлением программного обеспечения (ПО). Применение ПО в составе СИ позволяет повысить эффективность их целевого применения. С ростом степени автоматизации процесса измерений актуальными являются задачи задания требований к ПО СИ и оценки соответствия ПО СИ предъявляемым требованиям. В настоящее время в Российской Федерации нормативно-правовая база, регламентирующая вопросы применения ПО СИ, включает законодательные, руководящие и нормативно-технические документы. К наиболее значимым документам, на наш взгляд, относятся:

Федеральный закон РФ от 26 июня 2008 №102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений»;

Приказ Минпромторга России от 30 ноября 2009 г. №1081;

ГОСТ Р 8.654-2009 ГСИ. Требования к программному обеспечению средств измерений. Основные положения (с 01.03.2016 года заменен на ГОСТ Р 8.654-2015);

ГОСТ Р 8.883-2015 ГСОЕИ. Программное обеспечение средств измерений. Алгоритмы обработки, хранения, защиты и передачи измерительной информации. Методы испытаний. (вводится в действие с 01.03.2016 года);

ГОСТ Р 8.674-2009. ГСИ. Общие требования к средствам измерений и техническим системам и устройствам с измерительными функциями. Основные положения;

ГОСТ Р 8.596-2002. ГСИ. Метрологическое обеспечение измерительных систем. Основные положения;

ГОСТ Р 8.839-2013 ГСОЕИ. Общие требования к измерительным приборам с программным управлением;

МИ 2955 – 2010 ГСИ. Типовая методика аттестации программного обеспечения средств измерений;

МИ 3286-2010 Проверка защиты программного обеспечения и определение ее уровня при испытаниях средств измерений в целях утверждения типа;

Р 50.2.77-2014 Рекомендации по метрологии. Государственная система обеспечения единства измерений. Испытания средств измерений в целях утверждения типа. Проверка защиты программного обеспечения.

Отдельное внимание следует уделить документам, вводимым в действие с марта 2016 года. Так взамен ГОСТ Р 8.654-2009 вводится в действие его измененная редакция. В новой редакции

**Автоматизация экспериментальных исследований и испытаний авиационной
и космической техники в условиях импортозамещения**

стандарта уточнены (актуализированы) основные термины и определения (метрологическая значимость ПО, защищенный интерфейс, и др.), введены новые термины, позволяющие более полно описать требования к ПО СИ (исполняемый код, подтверждение соответствия (сертификация) ПО СИ и др.), уточнены и конкретизированы требования, предъявляемые к ПО СИ.

С 01 марта 2016 года вводится в действие ГОСТ Р 8.883-2015. В стандарте подробно изложена методология проведения подтверждения соответствия ПО СИ, базирующаяся на положениях МИ 2955-2010 и МИ 3286-2010. В стандарте даны конкретные рекомендации как разработчикам ПО СИ так и организациям (экспертам), проводящим оценку соответствия ПО СИ, по реализации и проверке требований, предъявляемых к ПО СИ ГОСТ Р 8.654. Введение в действие данного стандарта во многих случаях позволит исключить субъективные оценки при проведении проверок (тестировании) ПО СИ.

К основным недостаткам указанных нормативных документов, на наш взгляд, следует отнести:

1. Оценка влияния программного обеспечения на результаты измерений не является обязательной.
2. В документах не указаны рекомендуемые алгоритмы расчета контрольных сумм при проведении идентификации метрологически значимых частей ПО.
3. Состав и содержание документации, представляемой на аттестацию не конкретизированы. Указано, что ПО СИ должно сопровождаться документацией, соответствующей требованиям международных документов, ГОСТ Р 8.654 (не содержит чётких требований к составу документации) и других нормативных документов, относящихся к программной документации.

УДК 681.2.088.6

МОДИФИКАЦИЯ МЕТОДА РЕМЕЗА ДЛЯ УСТАНОВЛЕНИЯ ЛИНЕЙНЫХ ГРАДУИРОВОЧНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

М.А. Левченко

К.т.н., доцент, ведущий научный сотрудник ФГУП «ЦАГИ»

М.М. Левченко

Младший научный сотрудник ФГУП «ЦАГИ»

Предложен простой алгоритм минимаксной линейной аппроксимации градуировочной характеристики средств измерений, упорядоченный поиск базисов в котором осуществляется по методу Ремеза. Алгоритм состоит из двух частей. Первая его часть предназначена для поиска границ области существования множества оптимальных градуировочных характеристик. При этом из рассмотрения исключаются базисы, которые не могут быть экстремальными, остается лишь необходимый для поиска единственного решения задачи базис. Вторая часть алгоритма осуществляет упорядоченный поиск единственного решения – оптимальной, либо лучшей среди оптимальных градуировочной характеристики.

Метрологический аналог чебышевской интерполяции [1] реализуют посредством минимизации нормы

$$\|\Delta\| = \max_{j=1,m} (\left| \alpha_j \right| + \beta_j), \quad (1)$$

где: α_j, β_j – оценки систематической составляющей и принятой во внимание доли случайной составляющей погрешности средства измерений (СИ); m – количество точек x_j диапазона измерений, и используют для установления градуировочной характеристики (ГХ) средства измерений. Оптимальность такой ГХ заключается в том, что вычисленная с ее использованием максимальная оценка погрешности

$$\tilde{\Delta}_{j \max} = \pm (\left| \alpha_j \right| + \beta_j),$$

характеризующая СИ, минимальна.

Метрологический аналог чебышевской интерполяции может быть реализован путем перебора множества базисов [2], с помощью линейного программирования [3], либо посредством минимизации негладкой функции [4]. Однако указанные подходы и известные в литературе компьютерные программы (см., например, [5]) обеспечивают получение оптимальной ГХ, расположенной на границе области существования множества оптимальных ГХ, а такие множества нередко существуют.

В связи с большим распространением СИ, имеющих линейную ГХ, рассмотрим простой алгоритм минимаксной линейной аппроксимации ГХ как индивидуально для конкретного СИ, так и

для группы, состоящей из однотипных СИ. Отличительными чертами этого алгоритма, реализующего метрологический аналог чебышевской интерполяции, является его наглядность, возможность обобщения на случаи нелинейной аппроксимации ГХ и применения в не зависящих от распределения результатов измерений информационных технологиях установления ГХ СИ.

При линейной ГХ имеем

$$\alpha_j = a + bx_j - \bar{y}_j, \quad j = \overline{1, m}.$$

В прямоугольной декартовой системе координат $Oab\Delta$ функции $\Delta_j = |\alpha_j(a, b)| + \beta_j$ геометрически интерпретируются в виде двугранных углов. Ребра этих углов параллельны плоскости Oab , находятся над ней на разных высотах β_j и скрещиваются между собой. В результате пересечения граней углов образуется граненая чашеобразная полость. Дно полости соответствует минимуму нормы (1).

При наличии единственной оптимальной ГХ дно представляет собой вершину многогранного угла. Если это трехгранный угол, то мы имеем дело с одним экстремальным базисом. Большее число граней угла говорит о наличии нескольких экстремальных базисов.

Дно полости может представлять собой отрезок прямой, являющейся ребром угла, отвечающего апликате β_{\max} . В таком случае этот отрезок есть не что иное как область существования множества оптимальных ГХ. Числом граней многогранных углов, вершинами которых являются концы отрезка, определяется наличие одного-двух или, что теоретически возможно, нескольких экстремальных базисов. Этим базисам соответствуют оптимальные ГХ, отвечающие концам отрезка (границам области существования множества оптимальных ГХ).

В качестве примера на рисунке 1 представлена донная часть полости, отвечающая множеству оптимальных ГХ при $j = \overline{1, 3}$ и $\beta_2 = \beta_{\max}$. Границы углов 1 и 3 пересекают ребро угла 2. Трехгранные углы, вершинами которых являются концы отрезка MN, отвечают экстремальным базисам (1,2) и (3,2). Вершины аналогичных трехгранных углов (они на рисунке 1 не показаны) расположены ниже ребра угла 2 и отвечают одному и тому же базису (1,3), если $\beta_1 \neq \beta_2$. При $\beta_1 = \beta_3$ ниже ребра угла 2 расположена вершина четырехгранныго угла.

Ни один из базисов, характеризующихся многогранными углами, вершины которых расположены ниже ребра угла, отвечающего β_{\max} , не может быть экстремальным, а поэтому их все следует исключить из рассмотрения. Такую операцию выполняет первая часть алгоритма в процессе поиска границ области существования множества оптимальных ГХ, одновременно осуществляя выбор начального базиса на случай, если задача имеет единственное решение.

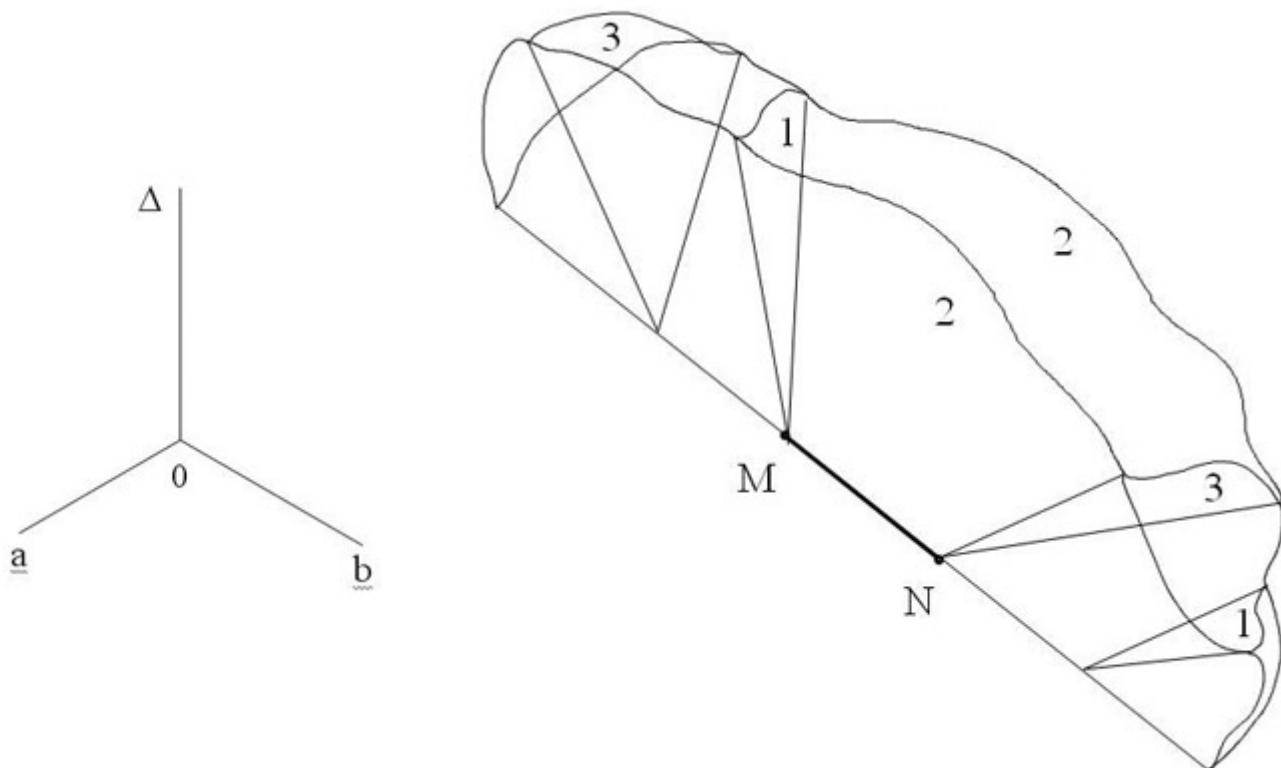


Рисунок 1

При рассмотрении первой части алгоритма воспользуемся следующими обозначениями:
 $X_{\Delta}, \bar{y}_{\Delta}, \beta_{\Delta} = \beta_{\max}$, – данные $\angle \Delta$ (здесь и ниже по тексту символом \angle обозначен двугранный угол), отрезок ребра которого может являться дном полости; x_T, \bar{y}_T, β_T – данные $\angle T$, грани которого пересекают ребро $\angle \Delta$.

1. Назначаем b_{\min} весьма малым, а b_{\max} весьма большим. Запоминаем номер $\angle \Delta$: N_{Δ} .

2. Для $\angle T$ вычисляем значения b_{Δ}, b_{Π} , пользуясь системами уравнений

$$\begin{pmatrix} 1 & x_{\Delta} \\ 1 & x_T \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a_{\Delta} \\ b_{\Delta} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \bar{y}_{\Delta} \\ \bar{y}_T + \beta_T - \beta_{\Delta} \end{pmatrix}; \quad \begin{pmatrix} 1 & x_{\Delta} \\ 1 & x_T \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a_{\Pi} \\ b_{\Pi} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \bar{y}_{\Delta} \\ \bar{y}_T - \beta_T + \beta_{\Delta} \end{pmatrix}. \quad (2)$$

3. Упорядочиваем значения b_{Δ} и b_{Π} , получаем $b_{(1)} < b_{(2)}$.

4. Если $b_{(1)} > b_{\min}$, то присваиваем величине b_{\min} значение $b_{(1)}$ а величине $N_{b_{\min}}$ значение N_T .

5. Если $b_{(2)} < b_{\max}$, то присваиваем величине b_{\max} значение $b_{(2)}$, а величине $N_{b_{\max}}$ значение N_T .

6. Сменив $\angle T$, повторяем операции 2-5.

7. Перебрав указанным образом $(m - 1)$ углов, сравниваем b_{min} и b_{max} . При $b_{min} = b_{max}$ задача имеет единственное решение, и коэффициент b наклона оптимальной ГХ найден. Далее находим значение a , пользуясь одной из систем уравнений (2). При $b_{min} < b_{max}$ найдены граничицы области существования множества оптимальных ГХ. Усредняя значения b_{min} и b_{max} , находим значение b , далее находим значение a . При $b_{min} > b_{max}$ задача имеет единственное решение, для упорядоченного поиска которого, начиная с начального базиса $(N_d, N_{b_{min}}, N_{b_{max}})$, служит вторая часть алгоритма.

Упорядоченный поиск осуществляем среди базисов, характеризующихся многогранными углами, вершины которых расположены выше ребра угла, отвечающего β_{max} . Переход от одного базиса к другому выполняем по методу (способу) Е.Я. Ремеза (см., например, [6]). При этом значение $\rho = |h|$ (см. ниже выражение (3)) все время возрастает, а быстрая сходимость процесса поиска обусловлена целенаправленным перебором базисов, заключающимся в том, что многие базисы в переборе не участвуют.

При рассмотрении второй части алгоритма воспользуемся обозначениями , $x_L, \bar{y}_L, \beta_L; x_D, \bar{y}_D, \beta_D; x_P, \bar{y}_P, \beta_P$, представляющими собой данные $\angle L, \angle D, \angle P$, образующих базис, причем $x_L < x_D < x_P$.

1. Вычисляем значение h дважды, пользуясь выражением

$$h = \frac{(\pm 1) \cdot (g[x_D, x_P] - g[x_L, x_D]) + \bar{y}[x_D, x_P] - \bar{y}[x_L, x_D]}{\psi[x_D, x_P] - \psi[x_L, x_D]}, \quad (3)$$

включающим в себя разделенные разности первого порядка:

$$\begin{aligned} g\left[\begin{matrix} x_D \\ x_P \end{matrix}\right] &= \pm \left(\beta_P + \beta_D \right) / \left(x_P - x_D \right); \\ \bar{y}\left[\begin{matrix} x_D \\ x_P \end{matrix}\right] &= \left(\bar{y}_P - \bar{y}_D \right) / \left(x_P - x_D \right); \\ \psi\left[\begin{matrix} x_D \\ x_P \end{matrix}\right] &= \pm 2 / \left(x_P - x_D \right). \end{aligned}$$

Для последующего использования выбираем большее по абсолютной величине значение h , удовлетворяющее условию $\operatorname{sgn} h = \operatorname{sgn} (\pm 1)$, где (± 1) – множитель в выражении (3).

2. Вычисляем значения a и b , решая, например, систему уравнений

$$\begin{pmatrix} 1 & x_{\text{Л}} \\ 1 & x_{\Pi} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a \\ b \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} g_{\text{Л}} - h + \bar{y}_{\text{Л}} \\ g_{\Pi} - h + \bar{y}_{\Pi} \end{pmatrix},$$

где: $|g_{\text{Л}}| = \beta_{\text{Л}}$, $|g_{\Pi}| = \beta_{\Pi}$, $\operatorname{sgn} g_{\text{Л}} = \operatorname{sgn} g_{\Pi} = \operatorname{sgn} h$.

3. Вычисляем значения функций $\alpha_j = \alpha_j(a, b)$ и $\Delta_j = |\alpha_j| + \beta_j$ при $j = \overline{1, m}$, затем определяем $\angle M$, который характеризуется величиной $\Delta_M = \Delta_{j \max}$.

4. Среди $|h|, \Delta_{\text{Л}}, \Delta_{\text{Ц}}, \Delta_{\Pi}$ находим наибольшее, обозначим его M , значение.

5. Если $\Delta_M \leq M$, то решение задачи найдено. В противном случае сохраняем $\operatorname{sgn} \alpha_j(a, b)$ для $\angle L, \angle C, \angle P, \angle M$, а затем осуществляем смену базиса: меняем один из углов в имеющемся базисе на $\angle M$.

6. Повторяем операции 1-5.

Ниже приведены условия и отвечающие им схемы замены угла в базисе:

$x_M < x_{\text{Л}}$:

$$\begin{array}{lll} \operatorname{sgn} \alpha_M = \operatorname{sgn} \alpha_{\text{Л}} & \dots & \angle M \Rightarrow \angle L \\ \operatorname{sgn} \alpha_M \neq \operatorname{sgn} \alpha_{\text{Л}} & \dots & \angle C \Rightarrow \angle P; \quad \angle L \Rightarrow \angle C; \quad \angle M \Rightarrow \angle L \end{array}$$

$x_{\text{Л}} < x_M < x_{\text{Ц}}$:

$$\begin{array}{lll} \operatorname{sgn} \alpha_{\text{Л}} = \operatorname{sgn} \alpha_M & \dots & \angle L \Leftarrow \angle M \\ \operatorname{sgn} \alpha_{\text{Л}} \neq \operatorname{sgn} \alpha_M & \dots & \angle M \Rightarrow \angle L \end{array}$$

$x_{\text{Ц}} < x_M < x_{\Pi}$:

$$\begin{array}{lll} \operatorname{sgn} \alpha_{\text{Ц}} = \operatorname{sgn} \alpha_M & \dots & \angle C \Leftarrow \angle M \\ \operatorname{sgn} \alpha_{\text{Ц}} \neq \operatorname{sgn} \alpha_M & \dots & \angle M \Rightarrow \angle C \end{array}$$

$x_{\Pi} < x_M$:

$$\begin{array}{lll} \operatorname{sgn} \alpha_{\Pi} = \operatorname{sgn} \alpha_M & \dots & \angle P \Leftarrow \angle M \\ \operatorname{sgn} \alpha_{\Pi} \neq \operatorname{sgn} \alpha_M & \dots & \angle L \Leftarrow \angle C; \quad \angle C \Leftarrow \angle P; \quad \angle P \Leftarrow \angle M \end{array}$$

Заметим, что в новом базисе, как и в старом, чередуются знаки у значений $\alpha_{\text{Л}}, \alpha_{\text{Ц}}, \alpha_{\text{П}}$.

Рассмотрим далее применение описанного выше алгоритма в не зависящих от распределения результатов измерений информационных технологиях установления ГХ СИ.

Оптимизирующие непараметрические методы. Представим в непараметрической постановке [7] математическую формулировку минимаксной задачи установления ГХ в виде

$$\min \|\Delta\|_{NP}, \quad \|\Delta\|_{NP} = \max_{j=1, m} [|P_r(A, x_j) - y_{(1)j}|, |P_r(A, x_j) - y_{(2n)j}|], \quad (4)$$

где $P_r(A, x)$ - алгебраический полином первого порядка, используемый для аппроксимации результатов измерений; $y_{(1)j}, y_{(2n)j}$ - крайние члены вариационного ряда, который образован из результатов измерений в точке x_j диапазона измерений.

Отметим, что соотношения (4) отвечают как индивидуальному СИ, так и группе однотипных СИ, однако в последнем случае индекс $2n$ следует заменить на индекс $2n\ell$.

Если обозначить

$$\bar{y}_j = (y_{(2n)j} + y_{(1)j})/2; \quad \beta_j = (y_{(2n)j} - y_{(1)j})/2,$$

то при условии $y_{(2n)j} > y_{(1)j}$ правое из соотношений (4) эквивалентно соотношению [1]

$$\|\Delta\| = \max_{j=1, m} (|\alpha_j + \beta_j|, |\alpha_j - \beta_j|).$$

Следовательно, оптимизационная задача (4) может быть решена с помощью описанного выше алгоритма.

Оптимизирующие ℓ_p -методы. Формулируем минимаксную задачу установления ГХ СИ с использованием оценки \tilde{p} показателя степени, характеризующего вид конкретного симметричного экспоненциального распределения (см., например, [8]) результатов измерений, следующим образом:

$$\min \|\Delta\|_{LP}, \quad \|\Delta\|_{LP} = \max_{j=1, m} \left[|P_r(A, x_j) - \hat{a}_j| + \frac{\kappa(2n, \tilde{p}, P, \pi)}{\lambda} \left(\frac{\tilde{p}}{2n-1} \varphi_{j \min} \right)^{\frac{1}{\tilde{p}}} \right], \quad (5)$$

где $P_r(A, x)$ – алгебраический полином первого порядка, используемый для аппроксимации результатов измерений; \hat{a}_j – оценка центра распределения результатов измерений в точке x_j диапазона измерений; $\kappa(2n, \tilde{p}, P, \pi)$ и $\tilde{\lambda} = [\Gamma(1/\tilde{p})/\Gamma(3/\tilde{p})]^{1/2}$ образуют [9] предварительно вычисляемый с использованием гамма-функций множитель; $\varphi_{j \min} = \sum_{i=1}^{2n} |y_{ij} - \hat{a}_j|^{\tilde{p}}$ – отвечающее \hat{a}_j значение функционала φ_j .

Если обозначить

$$\alpha_j = P_r(A, x_j) - \hat{a}_j; \quad \beta_j = \frac{\kappa(2n, \tilde{p}, P, \pi)}{\tilde{\lambda}} \left(\frac{\tilde{p}}{2n-1} \varphi_{j \min} \right)^{\frac{1}{p}}, \quad (6)$$

то соотношение из (5) для $\|\Delta\|_{LP}$ совпадает с соотношением (1).

При замене в обозначениях (6) индекса $2n$ на индекс $2n\ell$, получим формулировку минимаксной задачи, отвечающей группе однотипных СИ:

$$\min \|\Delta^*\|_{LP}, \quad \|\Delta^*\|_{LP} = \max_{j=1, m} (|\alpha_j + \beta_j|, |\alpha_j - \beta_j|). \quad (7)$$

Минимаксные задачи (5) и (7) могут быть решены с помощью описанного выше алгоритма. Однако приведенными формулировками рекомендуется пользоваться лишь при наличии устойчивой оценки \tilde{p} [10].

Оптимизирующие методы компактного оценивания. Сущность методов минимаксной аппроксимации ГХ СИ, в которых применяется, в частности, алгоритм ММКМЕДС (см., например [11]), заключается в использовании выборочных медиан в качестве центров группирования результатов измерений в точках x_j диапазона измерений. В решении минимаксной задачи установления ГХ (см., например, формулировку (1)), как и требует метод максимума компактности (ММК), участвуют результаты косвенных измерений: медианы и средние квадратические отклонения, отвечающие точкам $j=1, m$. Экстремальный базис при интерполяции включает в себя пробные и контрольную медианы. Ротация контрольной медианы выполняется по методу Ремеза. В качестве минимального модуля невязки выступает максимальная оценка погрешности СИ.

При таких условиях рассмотренный выше минимаксный алгоритм рекомендуется к применению при компактном оценивании. В результате получим минимальные значения норм $\|\Delta\|_{CP}$ или $\|\Delta^*\|_{CP}$ путем решения минимаксных задач (1) или (3) соответственно.

Выводы

Суть алгоритма установления линейной градуировочной характеристики средства измерений, использующего метрологический аналог чебышевской интерполяции, заключается в принятии во внимание случайных погрешностей средства измерений на дискретном множестве всех точек диапазона измерений при оптимизации основной погрешности одновременно с определением коэффициентов градуировочной характеристики. Алгоритм, в основу которого положен модифицированный метод Ремеза, предназначен для установления градуировочных характеристик индивидуальных и групп однотипных средств измерений. Данный алгоритм легко встраивается в

известные, отличающиеся друг от друга средствами обеспечения независимости от распределения результатов измерений, информационные технологии установления градуировочных характеристик.

Литература

1. Левченко М.А. *Метрологический аналог чебышевской интерполяции и его практические приложения* // Сб. докладов Всероссийской науч.-техн. конф. «Метрологическое обеспечение испытаний и измерений в авиационно-космической промышленности». - М.: ИТЕ-ЦАГИ, 2013. - С. 170-179.
2. Пилибосян Ф.Э. *Минимаксная регрессия* // Алгоритмическое и программное обеспечение прикладного статистического анализа: Учен. записки по статист., т. 36. - М.: Наука, 1980. - С. 100-111.
3. Ремез Е.Я. *Основы численных методов чебышевского приближения*. - Киев: Наукова думка, 1969. - 624 с.
4. Поляк Б.Т. *Введение в оптимизацию*. - М.: Наука, 1983. - 384 с.
5. Roberts F.D.K. *An algorithm for minimal degree linear Chebyshev approximation on a discrete set* // Int. J. num. Meth. Eng. - 1976. - V. 10, № 3. - P. 619-635.
6. Лоран П.-Ж. *Аппроксимация и оптимизация*. - М.: Мир, 1975. - 496 с.
7. Wilks S.S. *Determination of sample sizes for setting tolerance limits* // The Annals of Math. Statist., Michigan. - 1941. - V. XII, № 1. - P. 91-96.
8. Новицкий П.В., Зограф И.А. *Оценка погрешностей результатов измерений*. - Л.: Энергоатомиздат, 1991. - 304 с.
9. Солопченко Г.Н. *Дробно-линейная аппроксимация коэффициентов, используемых для устойчивого интервального определения и контроля характеристик погрешности средств измерений* // Измерительная техника. - 1992. - № 1. - С. 3-5.
10. Солопченко Г.Н., Собенников В.Л. *Экспериментальное сравнение двух не зависящих от распределения методов интервального оценивания характеристик погрешности* // Измерительная техника. - 1994. - № 1. - С. 8-10.
11. Левин С.Ф. *Метод максимума компактности и комплексные измерительные задачи* // Измерительная техника. - 1995. - № 7. - С. 15-21.

Ведущий научный сотрудник ФГУП «ЦАГИ»,

кандидат технических наук, доцент

Левченко Михаил Александрович

Младший научный сотрудник ФГУП «ЦАГИ»

Левченко Марта Михайловна

УДК 539.381

**ПРЕДСТАВЛЕНИЕ И АНАЛИЗ ДАННЫХ ТЕНЗОМЕТРИИ В ПРОЦЕССЕ ПРОВЕДЕНИЯ
СТАТИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ НА ПРОЧНОСТЬ**

Д.В. Курулюк

Аспирант, младший научный сотрудник

Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского

В настоящей работе описывается программный модуль, разработанный для обеспечения визуализации тензометрии в режиме реального времени, а также выполнения экспресс-анализа этих данных в ходе проведения статических испытаний на прочность. Эффективность модуля была показана при проведении испытаний в ЦАГИ за последние три года. Модуль использовался совместно с системой измерения «СТММ», которая используется в ЦАГИ при проведении статических испытаний на прочность.

UDC 539.381

**REPRESENTATION AND ANALYSIS OF TENSOMETRY DATA
IN THE COURSE OF STATIC STRENGTH TESTS**

D.V. Kurulyuk

Post-graduate student, junior scientific worker

Central Aerohydrodynamic Institute (TsAGI)

Described in this paper is the software module developed to provide real-time tensometry visualization and express analysis in the course of static strength tests. Efficiency of this module was proved in tests conducted in TsAGI in the last three years. Tensometry visualization module was used in combination with data measurement and acquisition system "STMM", which is applied in TsAGI for static strength tests.

УДК 539.381

**ПРЕДСТАВЛЕНИЕ И АНАЛИЗ ДАННЫХ ТЕНЗОМЕТРИИ В ПРОЦЕССЕ ПРОВЕДЕНИЯ
СТАТИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ НА ПРОЧНОСТЬ****Д.В. Курулюк****Аспирант, младший научный сотрудник****Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского**

Целью настоящей работы было создание удобного и наглядного способа визуализации, при котором специалист, ведущий статические испытания самолета, смог бы быстро получить и оценить интересующие его данные, а также сориентироваться в картине эксперимента в целом. Для этого был создан «Модуль визуализации тензометрии», ниже как Модуль.

Основной концепцией Модуля является отображение данных тензометрии не только в табличной форме, но и на схемах расположения датчиков, которые для каждого конкретного изделия подготавливаются заранее в среде AutoCad и переводятся в графический формат.

На рис. 1 представлен интерфейс Модуля. При работе с Модулем у оператора имеется возможность выбрать необходимую схему и наблюдать за данными тензометрии в режиме реального времени. Каждый отдельный тензодатчик обозначается цветным прямоугольником, причем его местоположение на схеме соответствует реальному положению датчика на конструкции. В левую часть прямоугольника выводится номер датчика, в правую – текущее значение на нем. Настройки модуля позволяют в качестве выводимых на экран значений выбирать любые величины, доступные в программе измерений, например: напряжения, измеренные и линеаризованные, деформации, измеренные и линеаризованные, и т.д. При выполнении отсчета автоматически выполняется обновление данных. При необходимости можно увеличивать и уменьшать масштаб просматриваемой схемы. Также одной из важных опций является автоматическое открытие схемы и подсветка области, в которой находится датчик с максимальным значением. Это позволяет оператору быстро отследить максимально нагруженные места конструкции.

Как правило, для отдельных элементов конструкции известна заранее расчетная максимальная нагрузка. На основании этих данных, можно получить оценочные максимальные напряжения (деформации) на отдельных тензодатчиках. Полезной информацией в ходе проведения эксперимента являются результаты сравнения текущего напряжения (деформации) с расчетным максимальным для каждого отдельного тензодатчика. Подобный экспресс-анализ экспериментальных данных также реализован в созданном Модуле. В качестве визуализации используется градиентный переход цвета для отображения тензодатчиков на схеме: светло-зеленые оттенки цвета используются для обозначения датчиков с низким напряжением, желтые – со средним, а красные – с большим, близким к критическому.

Как известно, при статических испытаниях тензодатчики объединяются в розетки, что позволяет получать более подробную информацию о сложнонапряженном состоянии в локальных частях конструкции. После обработки полученных данных в месте расположения розетки доступны такие важные характеристики, как: направления осей главных напряжений, максимальные и минимальные значения нормальных и касательных напряжений. Модуль обеспечивает визуализацию этих данных (при наличии розеток) в специальной таблице, расположенной непосредственно на схеме изделия.

Интерфейс модуля позволяет также просматривать графики зависимости напряжения от приложенной нагрузки для любого тензодатчика. Для каждого датчика строится как измеренное, так и линеаризованное значения напряжения. Помимо этого на основе текущих данных для каждого датчика рассчитывается прогнозное значение напряжения при нагрузке 100% (с учетом линейности деформации). Если это значение в процессе испытаний превысит максимально допустимое

для данного датчика, то модуль выдает предупреждение, на которое оператор должен обратить внимание. Таким образом, оператор получает больше информации, на основе которой может принимать решения о дальнейшем ходе испытаний.

Если до эксперимента был проведен расчет, и были получены соответствующие значения напряжений для различных процентов нагружения, то эти данные также могут визуализироваться с помощью модуля при выборе соответствующего режима просмотра. Это позволяет сопоставить расчетную модель с экспериментальными данными непосредственно во время проведения эксперимента.

Таким образом, в качестве основных достоинств Модуля можно выделить:

- упорядочивание большого объема данных тензометрии в удобной и наглядной форме, что существенно улучшает восприятие отображаемой информации;
- возможность спрогнозировать места разрушения конструкции, а также сопоставить расчетную модель с экспериментальными данными непосредственно в процессе проведения эксперимента;
- возможность оперативного выбора интересующей схемы расположения датчиков, что позволяет ведущему испытаний лучше представлять текущую картину эксперимента в целом, адекватно реагировать на критические ситуации.

Созданный Модуль успешно внедрен в состав программного обеспечения комплекса по проведению статических испытаний на прочность в НИО-3 ЦАГИ. Его работоспособность протестирована при испытаниях самолетов RRJ-100, «Рыбачок», а также композитного отсека фюзеляжа перспективного самолета, проведенных НИО-3 в 2013-2014 гг. При этом было наложено подключение модуля к системам измерения «СТММ» и «Прочность».

Литература

1. Баранов А.Н. Статические и теплопрочностные испытания летательных аппаратов // Издательский отдел ЦАГИ. – 2009.
2. Мохов В.Ф. Методики подготовки и проведения статических испытаний натурных авиационных конструкций // Труды ЦАГИ, выпуск 2615. – 1995.
3. Серезнов А.Н. Измерения при испытаниях авиационных конструкций на прочность. Машиностроение, 1976.

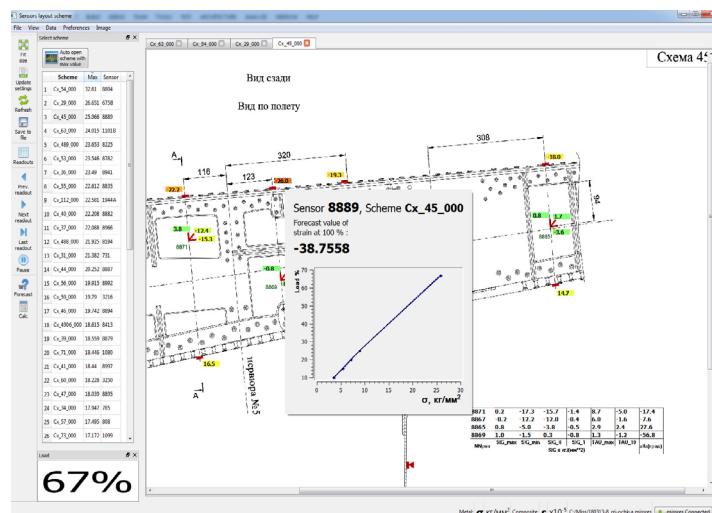


Рис. 1. Интерфейс «Модуля визуализации тензометрии»

УДК 534.1

**СОЗДАНИЕ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО МОДАЛЬНОГО АНАЛИЗА СЛОЖНЫХ
МЕХАНИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ**

С.М. Николаев, аспирант, каф. «Прикладная механика», МГТУ им. Н. Э. Баумана

С.А. Воронов, д.т.н., профессор, каф. «Прикладная механика», МГТУ им. Н. Э. Баумана

П.С. Воронов, инженер, НИИ АПП, МГТУ им. Н. Э. Баумана

В условиях постоянно растущих требований к надёжности и экономичности высокотехнологичных изделий интерес к экспериментальному модальному анализу, как к составной части комплексного автоматизированного подхода, увеличивается. На сегодняшний день, отечественных программно-аппаратных комплексов для автоматизации модальных испытаний и идентификации модальных параметров не существует. Суть работы заключается в разработке программного комплекса ModalView, предназначенного для автоматизации экспериментального модального анализа сложных механических конструкций. Работа включает в себя разработку и отладку специализированных математических методов и их внедрение в программное обеспечение, а также интеграцию программных модулей и аппаратного обеспечения для модальных испытаний. Комплекс ModalView может быть внедрён на предприятия аэрокосмической, оборонной, авиастроительной и других высокотехнологических отраслей российской промышленности в условиях импортозамещения.

UDC 534.1

EXPERIMENTAL MODAL ANALYSIS SOFTWARE DEVELOPMENT

S.M. Nikolaev, PhD student, «Applied mechanics» department, BMSTU

S.A. Voronov, Doctor of Sciences, professor, «Applied mechanics» department, BMSTU

P.S. Voronov, engineer, Manufacturing Automation Research Institute, BMSTU

Experimental modal analysis as a part of complex automated approach is a promising research area as the high-tech product reliability requirements are extremely high. There are no Russian software/hardware systems for experimental modal analysis and modal parameters identification. ModalView software has been developed for complicated mechanical structures experimental modal analysis automation. The special mathematical methods and algorithms were implemented in ModalView software. Besides, the developed software has been integrated with hardware for test data acquisition. ModalView software is highly recommended to be used in Russian aerospace, automotive and defense corporations in import substitution conditions.

Научно-техническая проблема заключается в необходимости получения достоверных численных моделей динамики различных механических конструкций и изделий. Достоверные численные модели могут быть использованы для прогнозирования ресурса изделия, для расчета его эксплуатационных характеристик или для оптимизации конструкции изделия. Численная модель, способная точно описать динамику конструкции может быть получена только при использовании комплексного расчетно-экспериментального подхода к процессу моделирования. Моделирование динамики механических конструкций осложняет наличие большого количества неопределенных параметров системы, особенно при работе со сложными, сборочными конструкциями. Данные параметры могут быть определены только по результатам специальных модальных испытаний. Таким образом, для получения достоверных численных моделей динамики механических конструкций необходимо разработать методику проведения модальных испытаний, методы идентификации так называемых модальных параметров по результатам испытаний, а также методы уточнения расчетных моделей с помощью модальных параметров. Разработанные методы должны быть реализованы в программно-аппаратном комплексе и позволять в короткие сроки получать точные модели любых механических конструкций. В состав программно-аппаратного комплекса должен также входить модуль управления модальными испытаниями. Использование комплекса позволит инженерам-расчетчикам быстро и эффективно уточнить построенную численную модель конструкции, а инженерам-испытателям проводить модальные испытания в полуавтоматическом режиме. Таким образом, предлагаемый комплекс может выполнять роль связующего звена между инженерами-расчетчиками и инженерами-испытателями, и существенно сократить время на разработку сложных изделий в различных отраслях промышленности.

Модальными параметрами системы являются её собственные частоты и собственные формы колебаний, коэффициенты демпфирования, а также динамические жесткости. Задача идентификации указанных параметров по результатам модальных испытаний является обратной задачей статистической механики и требует применения специальных подходов, которые минимизируют погрешность оценки параметров при ограничении на количество известной информации. Решение данной задачи сильно усложняется при рассмотрении сборочных конструкций с наличием многочисленных конструктивных элементов, точное описание которых не представляется возможным.

Модальные параметры являются базовыми характеристиками любой механической конструкции, поэтому задача определения данных параметров является исключительно важной для прогнозирования поведения конструкции под действием эксплуатационных нагрузок, переменных во времени.

В последнее десятилетие во многих отраслях машиностроения наблюдается тенденция к увеличению автоматизации циклов разработки, проектирования и производства изделий. Автоматизация проектирования особенно актуальна в аэрокосмической промышленности, где предъявляются повышенные требования к качеству изделий. В настоящее время, отечественные предприятия, вовлеченные в разработку и производство высокотехнологичной продукции также стремятся повысить степень автоматизации и компьютеризации производства. Данная тенденция приводит к тому, что на большинстве предприятий по выпуску высокотехнологичной продукции в аэрокосмической отрасли, активно внедряются современные программные комплексы автоматизированного проектирования CAD/CAM/CAE. Использование подобных комплексов облегчает взаимодействие инженеров-конструкторов, инженеров-технологов и инженеров-прочнистов, а также позволяет сократить количество итераций цикла доводки изделия за счет применения современных методов оптимального проектирования. К численной модели (модель метода конечных элементов – CAE-модель), при этом, предъявляются требования адекватного описания поведения соответствующей конструкции. Для этого необходимо, чтобы результаты математического моделирования, например собственные частоты соответствовали соответствующим результатам экспериментальных исследований. Стоит отметить, что собственные частоты и формы колебаний, полученные с помощью моделирования всегда будут в той или иной степени отличаться от соот-

ветствующих экспериментальных значений. Таким образом, чтобы подтвердить адекватность модели необходимо выполнить сопоставление результатов моделирования и результатов модальных испытаний.

Современное состояние проблемы

Программно-аппаратные комплексы для автоматизации экспериментального модального анализа получили широкое распространение в различных отраслях промышленности по всему миру. Методы и алгоритмы идентификации модальных параметров и уточнения расчетной модели реализованы во множестве специализированных программных комплексах. Большинство из них разработаны европейскими и американскими коллективами и применяются для решения научно-исследовательских задач. Среди зарубежных университетов, занимающихся данной задачей, стоит выделить университеты University of Cincinnati, The Ohio State University, Imperial College, Ecole Polytechnique, Leuven Katholieke Universiteit и др. В нашей стране, данной тематикой активно занимались в ЦАГИ, РКК Энергия, НПО Машиностроения, МГТУ им. Н. Э. Баумана. Несмотря на большое количество научно-технических разработок в данной области, на рынке существует лишь несколько коммерческих продуктов. Среди них стоит выделить программные продукты FEMTools, MEScope, Brue&Kjear Pulse и линию продуктов LMS. Бельгийская компания LMS, основанная выходцами из Leuven Katholieke Universiteit фактически является монополистом в области создания программно-аппаратных комплексов для автоматизации экспериментального модального анализа и удерживает большую часть данного сегмента рынка высоких технологий. Зарубежные предприятия автомобильной, аэрокосмической, оборонной и других отраслей промышленности, такие как Airbus, Boeing, BMW, Bosch, Siemens, Alstom, GE и т.д. активно используют продукцию компании LMS для увеличения эффективности проектирования новых изделий. Подобных комплексов российского производства на сегодняшний день не существует.

На сегодняшний день многие отечественные предприятия, производящие высокотехнологическую продукцию нуждаются в приобретении комплексов для автоматизации экспериментального модального анализа и уточнения моделей. Постоянно ожесточающиеся требования к качеству, надежности, а также экономичности изделий приводят к возрастанию интереса к автоматизации циклов проектирования и разработки. Одним из важнейших этапов автоматизации проектирования сложных изделий, является экспериментальный модальный анализ. Как уже было сказано выше, без проведения модальных испытаний и корректной интерпретации результатов испытаний невозможно построить адекватную численную модель конструкции – основу автоматизированного проектирования. В текущих экономических условиях, особенно актуальным является создание отечественного универсального продукта для автоматизации экспериментального модального анализа, который позволит снизить зависимость российской промышленности от зарубежных компаний.

Описание структуры программно-аппаратного комплекса ModalView

Основу работы составляет разработка специализированного программного обеспечения для управления модальными испытаниями, идентификации модальных параметров и уточнения расчетных моделей. Создаваемое программное обеспечение можно условно разделить на три модуля.

Модуль работы с аппаратным обеспечением для непосредственного выполнения модальных испытаний. Данный модуль должен обеспечивать управление модальными испытаниями, контроль возбуждающего воздействия, сбор данных со всех каналов измерения, а также первичную обработку результатов испытаний и их хранение. Программное обеспечение должно взаимодействовать с аппаратным обеспечением комплекса, таким как платы ЦАП/АЦП. Модуль должен иметь дружественный интерфейс для быстрой и удобной настройки испытаний. В настоящее время модуль работы с аппаратным обеспечением ModalView.Test находится в разработке.

Модуль идентификации модальных параметров по результатам модальных испытаний. Задача идентификации указанных параметров по результатам испытаний является обратной задачей статистической механики и требует применения специальных подходов, которые минимизируют погрешность оценки параметров при ограничении на количество известной информации. В данном модуле реализованы специализированные алгоритмы, основанные на теории идентификации и статистической механики [1 - 3]. Результатом работы модуля являются такие параметры системы как собственные частоты и формы колебаний, а также коэффициенты демпфирования для каждой собственной формы колебаний системы. Сложность задачи усугубляется наличием шумов в результатах измерений, а также неполнотой информации, которая является следствием ограниченных возможностей измерительной аппаратуры. Неотъемлемой частью модуля должен быть пользовательский интерфейс с настройками алгоритмов идентификации и графическим представлением результатов идентификации. В настоящее время модуль ModalView.Identification находится на стадии разработки и внедрения пользовательского интерфейса.

Модуль автоматизированного уточнения расчетных моделей. После идентификации модальных параметров, появляется возможность выполнить итерационную процедуру уточнения модели, в ходе которой значения параметров модели (физические и геометрические) эволюционируют к значениям, при которых отклонение результатов расчёта от результатов эксперимента по соответствующим откликам (собственные частоты и формы колебаний) стремится к минимуму. Таким образом, задача сводится к многокритериальной, многопараметрической оптимизации.

В случае настройки динамических моделей в качестве экспериментальных данных, выступают собственные частоты, формы колебаний и параметры демпфирования, определенные в модуле идентификации модальных параметров или в сторонних приложениях (LMS.TestLab, DataPhysics SignalCalc). В течение трёх последних десятилетий, идея уточнения конечно-элементной модели с использованием данных экспериментального модального анализа видоизменилась от попыток непосредственной ручной калибровки малого количества параметров модели по отдельным собственным частотам конструкции, до полуавтоматических итерационных методов, позволяющих осуществить настройку одновременно для большого количества собственных частот и форм колебаний за счет подбора поля эквивалентных механических свойств в выбранных областях конструкции. В данной работе предлагается использовать подход к уточнению модели на основе анализа чувствительности [4,5]. В рамках данного подхода, перед началом уточнения проводится анализ чувствительности, который указывает какие параметры модели наиболее целесообразно корректировать для достижения наилучшей сходимости с результатами эксперимента [6 - 9]. Следует отметить, что создаваемое программное обеспечение не ставит своей целью создания численной модели конструкции и выполнения численного моделирования её динамического поведения. Данная задача решается в промышленных расчётных комплексах с помощью метода конечных элементов. Таким образом, разрабатываемое программное обеспечение должно позволять импортировать результаты расчета из промышленных программных комплексов, таких как Ansys, Patran/Nastran, Abaqus. В настоящее время, модуль для автоматизированного уточнения моделей по результатам модальным испытаний ModalView.Updating разработан в базовой версии. На рис.1 представлена блок схема алгоритма уточнения модели, реализованного в программном обеспечении ModalView.

**Автоматизация экспериментальных исследований и испытаний авиационной
и космической техники в условиях импортозамещения**

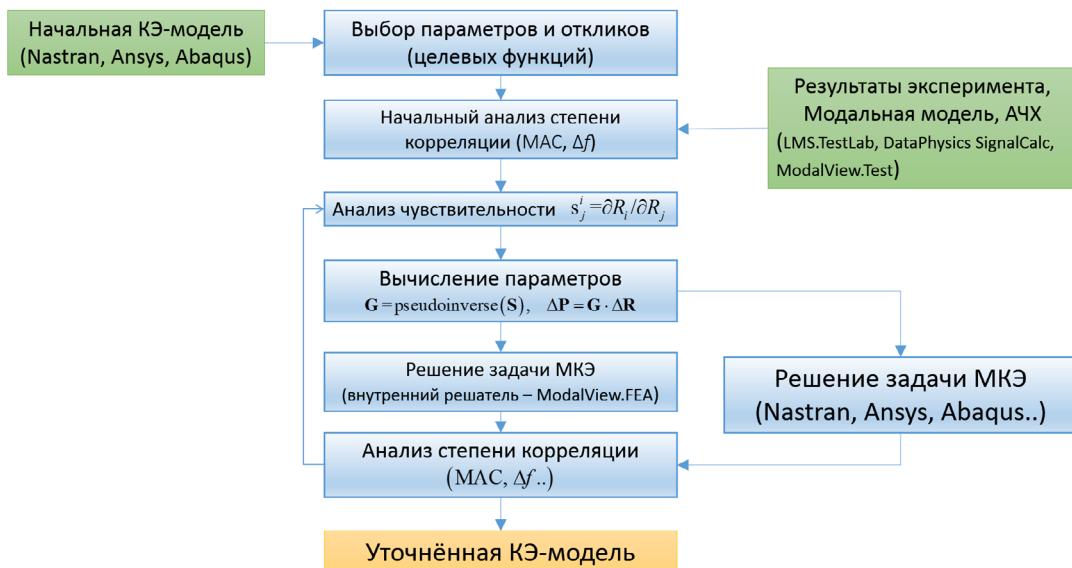


Рисунок 1 – Блок-схема алгоритма уточнения модели

Наличие пользовательского интерфейса также является очень важной частью данного модуля. Сложность в создании интерфейса для уточнения расчетных моделей состоит в том, что для визуализации численных моделей необходимо использование графического ядра, которое позволяет осуществлять просмотр и редактирование трехмерных объектов сложной формы. На рис. 2 представлен пример визуализации собственной формы колебаний изделия аэрокосмической промышленности.

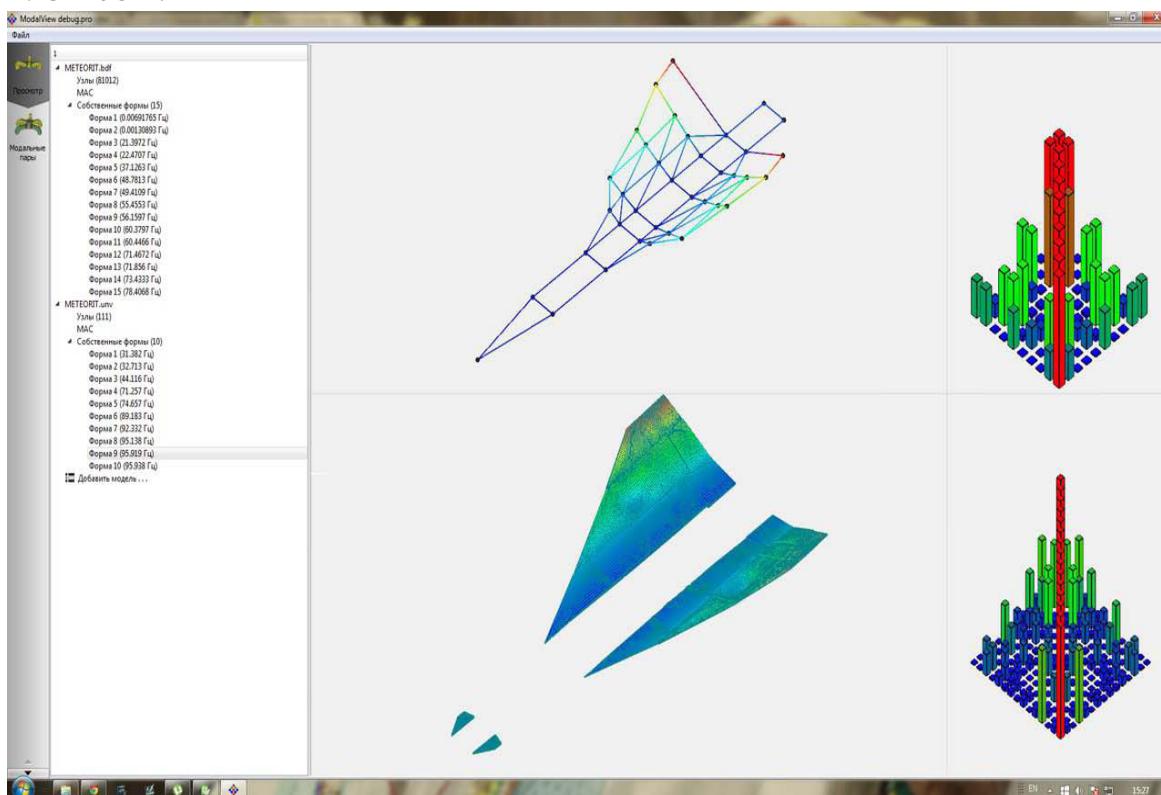


Рисунок 2 – Собственная форма колебаний конструкции, слева – результаты, полученные с помощью МКЭ, справа – по результатам модальных испытаний

Программное обеспечение ModalView оснащено различными надстройками, помогающими пользователю выполнить уточнение модели максимально быстро. Одной из таких возможностей является автоматическое сопоставление собственных форм колебаний конструкции, полученных с помощью МКЭ и с помощью модальных испытаний (рис.3).

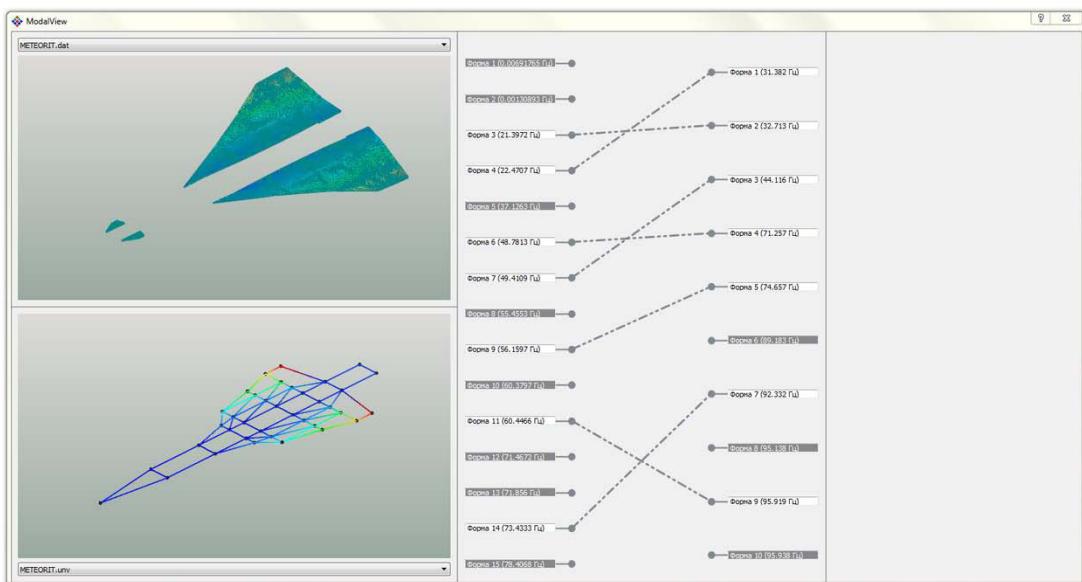


Рисунок 3 – Визуализация модуля выбора пар собственных форм колебаний

Заключение

Результатом работы программы является уточненная конечно-элементная модель конструкции, а также заключение о степени соответствия результатов моделирования и результатов модальных испытаний до и после процедуры уточнения. Уточненную численную модель изделия можно использовать как для оптимизации конструкции, так и для расчета его эксплуатационных характеристик.

Таким образом, разработанное программное обеспечение ModalView позволяет инженерам-расчетчикам быстро оценивать степень точности созданных расчетных моделей и уточнять их в автоматизированном режиме, а инженерам-испытателям автоматизировать и ускорять процесс проведения испытаний. Сфера применения программного комплекса ModalView включает в себя предприятия аэрокосмической, авиастроительной, оборонной и других высокотехнологичных отраслей российской промышленности.

Список литературы

1. D.J. Ewins *Modal Testing: Theory, Practice and Application*. - Baldock: Research Studies Press LTD, 2nd edition, 2000.
2. W. Heylen, S. Lammens and P. Sas. *Modal Analysis Theory and Testing*. Leuven: KUL Press, 1997.
3. Brown D., Allemang R., "The Modern Era of Experimental Modal Analysis", *Sound & Vibration Magazine*, January 2007
4. M. I. Friswell, J. E., Mottershead, "Finite element updating in structural dynamics", *Dordrecht, Kluwer Academic Press*, 1999.
5. Dascotte E., *Model updating for structural dynamics: past, present and future outlook, International Seminar on Modal Analysis, September 10-12, 2011, Leuven, Belgium*.

6. Avitabile, P. "Twenty Years of Structural Dynamic Modification – A Review", *Sound and Vibration*, January 2003.
7. Nikolaev S., Kiselev I., Voronov S. Mechanical system finite element model refinement using experimental modal analysis. *Proceedings of the 5-th International Operational Modal Analysis Conference*. Guimaraes. 2013. May 13-15. pp. 167-170
8. Dascotte E., "The Use of FE Model Updating and Probabilistic Analysis for Dealing with Uncertainty in Structural Dynamics Simulation", *Proceedings of the 2003 Japan Modal Analysis Conference (JMAC)*, September 10-12, 2003, Tokyo, Japan.
9. C. Mares, J. E. Mottershead, M. I. Friswell. Stochastic model updating: Part 1 — theory and simulated example. *Mechanical Systems and Signal Processing*. 2006. V. 20, № 7. 2275-2296.

ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ РИСКАМИ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ЛЕТНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

В.В. Бондарцев, к.т.н., Т.Г. Токмакова, А.А. Бордуков,
ОАО «ЛИИ им. М.М. Громова»

В последнее время проблема управления проектами лётных испытаний на разных уровнях общности - от разработки бортовых измерительных систем до проведения самих лётных экспериментов - приобретает новую динамику. А именно, происходит интенсивное внедрение научных идей по управлению проектами в авиационную практику.

Проект – это уникальный процесс с четко определёнными целями, имеющий ограничения календарным планом и бюджетом.

Управление проектами – это приложение знаний, навыков, инструментов и методов к операциям проекта для удовлетворения требований, предъявляемых к проекту.

Основными структурами представления проекта находящие широкое применение в конкретной управленческой деятельности являются:

- Иерархическая структура вложенных работ(WBS)
- Диаграммы Ганта
- Ресурсно-стоимостные диаграммы
- Сетевые методы представления проекта

Процессы проектирования и разработки бортовых средств измерений всегда сопряжены с факторами неопределенности внутренней и внешней среды, которые могут привести к ухудшению качественных показателей конечных измерительных средств, к увеличению затрат, смещению сроков, что в практике испытаний летательными аппаратами недопустимо. Одним из методов уменьшения влияния факторов, приводящих к негативным вариациям, является систематическое управление рисками на протяжении всего жизненного цикла создания бортовых средств измерений.

Под риском будем понимать неопределенное событие или условие, наступление которого отрицательно или положительно сказывается на целях проекта.

Для того что бы проект остался в рамках бюджета необходимо предвидеть возможные источники риска и заблаговременно пытаться их устраниить, а не бороться с последствиями риска, когда стоимость разработки и усилия на устранение последствий становятся слишком дорогими. Для достижения успеха на протяжении всего проекта создания бортовых средств измерений необходимо предпринимать предупредительные меры по управлению рисками.

Управление рисками – это процессы, связанные с идентификацией, анализом рисков и принятием решений, которые включают максимизацию положительных и минимизацию отрицательных последствий наступления рисковых событий. Концептуальная схема управления рисками показана на рисунке 1.

**Автоматизация экспериментальных исследований и испытаний авиационной
и космической техники в условиях импортозамещения**

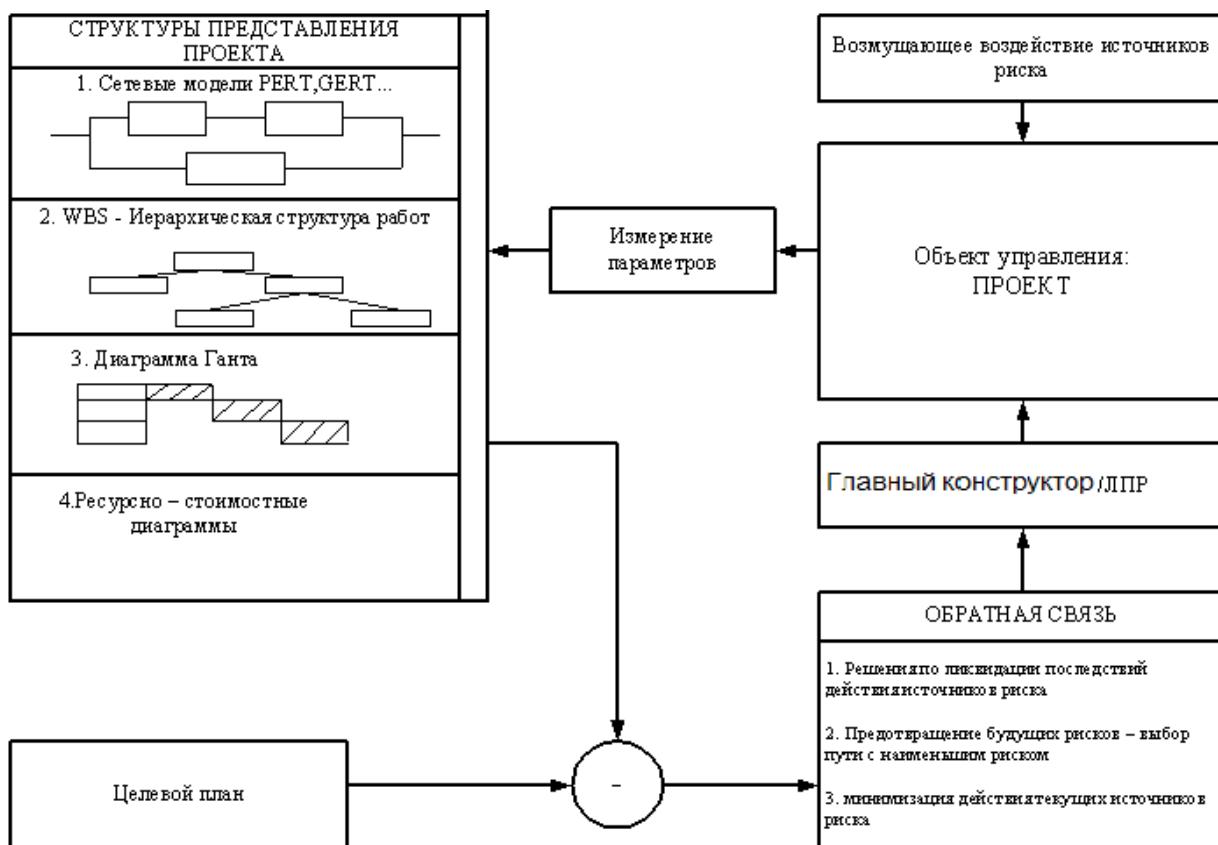


Рисунок 1- Концептуальная схема управления рисками

На проект, как объект управления, поступают возмущающие воздействия, в виде рисковых ситуаций, которые изменяют структуры представления проекта. Эти структуры возмущённого проекта сравниваются со структурами целевого проекта и вычисляется разница, в виде времени и стоимости реализованного проекта.

Риски отражают неопределенность или же недостаточный объем знаний, касающийся управления ими.

Для устранения неопределенности в области управления рисками при создании бортовых средств измерений необходимо разработать основные методы анализа рисков, разработать алгоритм управления рисками и его программно реализовать.

Основными этапами в области управления рисками являются:

- идентификация рисков
- анализ рисков
- реагирование на риски

Идентификация рисков предусматривает определение рисков, способных повлиять на проект, и документальное оформление их характеристик.

Анализ рисков разделяются на качественный и количественный.

Качественный анализ рисков показан на Рисунке 2а включающий в себя расстановку приоритетов для идентифицированных рисков на основании вероятности их возникновения и влияние на достижение целей проекта. При оценке воздействия риска определяется потенциальный эффект, который он может оказать на цель проекта. Оценка важности рисков и

приоритетности для их обработки осуществляется с помощью матрицы «Вероятности-потери». В которой область тёмно – серого цвета соответствуют высокому риску, область серого цвета – среднему риску и область светло-серого цвета малому риску.

Количественный подход, представленный на рисунке 26 в условиях неопределенности использует оценку эффекта тех рисков, которые в процессе качественного анализа были квалифицированы как потенциально или существенным образом влияющие на конкурентоспособные свойства проекта. В ходе этого процесса используются такие методы, как:

- анализ чувствительности
- анализ дерева решений.
- моделирование и имитация проекта

Анализ чувствительности помогает определить, какие риски обладают наибольшим потенциальным влиянием на проект.

Дерево решений – это диаграмма, описывающая действия при выборе той или иной альтернативы. Диаграмма объединяет ожидаемую стоимость решения, вероятность возникновения всех возможных сценариев, а также прибыли или убытки на каждом альтернативном логическом пути.



Рисунок 2- Методы анализа рисков

Моделирование и имитация проекта использует целостную модель проекта для определения последствий от воздействия рассмотренных неопределенностей на результаты проекта в целом. Моделирование обычно проводится с помощью метода Монте-Карло. Результатом моделирования является распределение времени всего проекта и распределение стоимости проекта. Метод Монте-Карло используется именно в таких ситуациях, когда есть разброс вероятностей. Метод Монте-Карло состоит в нахождении случайной выборки вероятностных значений и вычислении конечной стоимости и сроков выполнения проекта для этой выборки. Время и стоимость проекта пересчитываются исходя из различных допущений по времени и затратам для отдельных задач от 500 до нескольких тысяч раз на основании случайной выборки из возможных оценок. В результате строится график вероятности завершения проекта в определенное время или в пределах определенного бюджета. Понятно, что этот подсчет можно осуществить и вручную,

**Автоматизация экспериментальных исследований и испытаний авиационной
и космической техники в условиях импортозамещения**

однако количество вычислений, которое при этом надо будет проделать, довольно объёмно. Рассмотренные методы анализа рисков приведены на следующем рисунке 2.

Следующим этапом в области управления рисками является планирование реагирования на возникшие риски. Планирование реагирования на риски – это применения стратегий снижения отрицательного воздействия рисков на проект. Основными стратегиями снижения риска являются:

- уменьшение риска
- передача риска
- принятие риска
- уклонение от риска

С учётом рассмотренных методов анализа рисков был разработан алгоритм управления рисками приведённый на рисунке 3. Алгоритм функционирует следующим образом:

Из системы идентификации рисков задаётся набор рисков, связанных с выполнением проекта, который передаётся в систему качественного анализа.

Также в систему качественного анализа передаются данные из системы управления проектами, в виде основных структур представления проекта.

В системе качественного анализа описываются взаимосвязь между разными рисками и работами в проекте, задаётся вероятность возникновения риска и с помощью матрицы «Вероятность-Потери» происходит оценка важности рисков и приоритетность их обработки. Если важность риска высокая, значит риск не приемлем и происходит дальнейший анализ рисков в системе количественного анализа.

Количественный анализ происходит на основе вышеописанных методов таких как: анализ чувствительности, анализ дерева решений, имитации и моделировании проекта. На основе анализа результатов в виде отчетов и графиков, можно выявить и оценить потенциальные проблемы проекта, связанные с его длительностью и стоимостью и принять необходимые меры по уменьшению риска с учётом планирования реагирования на риски.

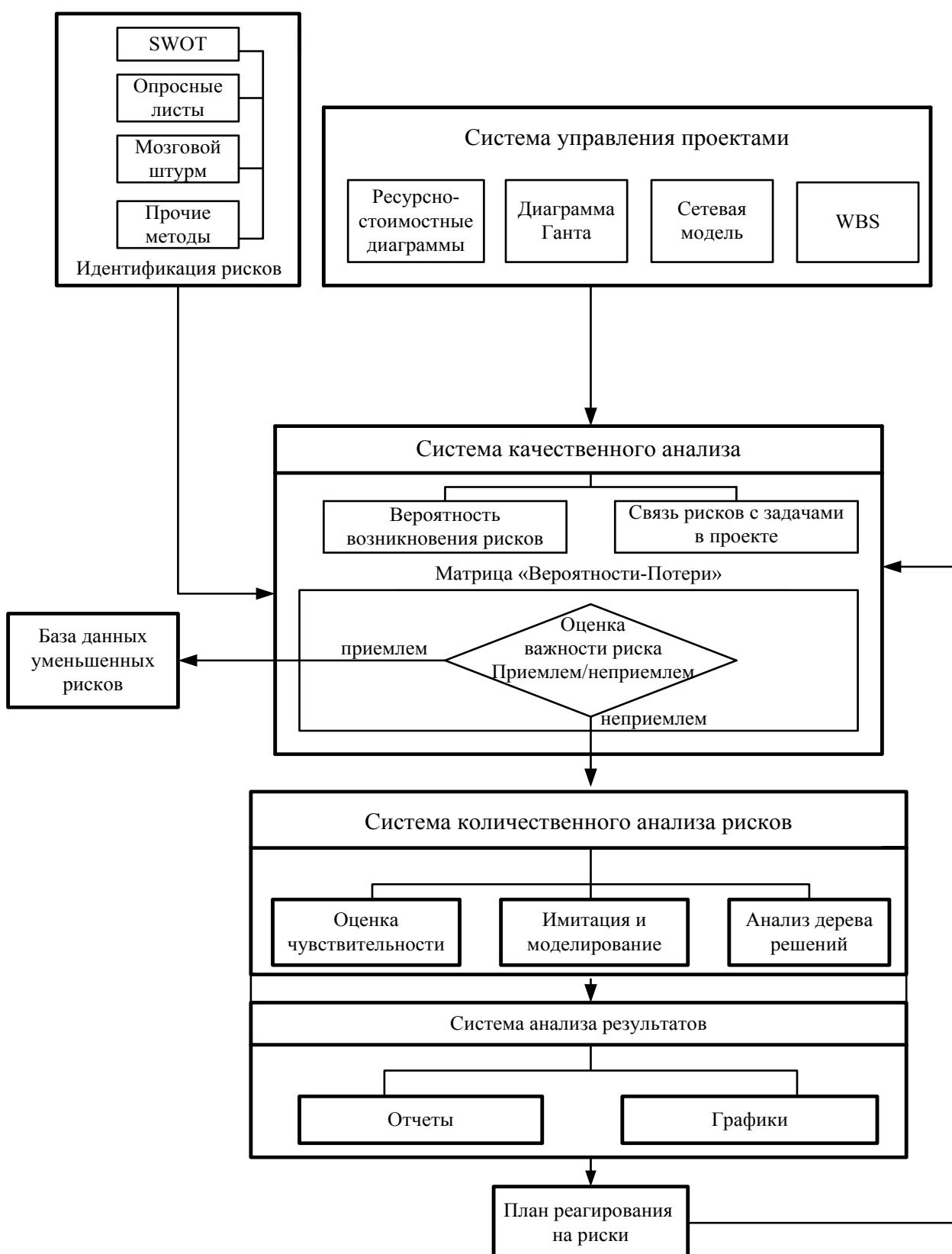


Рисунок 3 – алгоритм управления рисками

В планировании реагирования на риски каждому риску присваивается стратегия его уменьшения. Затем заново переходим в систему качественного анализа рисков, где заново оценивается важность рисков, с учётом плана реагирования. Цикл повторяется до тех пор, пока важность рисков будет приемлемой. Информация о рисках, планах реагирования заносятся в базу данных уменьшенных рисков, которая создаёт активы управления рисками. На этом цикл алгоритма управления рисками заканчивается.

На основе предложенного алгоритма было разработано программное обеспечение управления рисками, которое содержит:

- Реестр рисков;
- Качественный анализ, включающий матрицу «Вероятность – потери»;
- Количественный анализ, включающий моделирование методом «Монте-Карло».

Основным элементом входных и выходных данных в процессах является реестр рисков. Реестр рисков – список рисков, создающиеся в процессе идентификации, а в последующих процессах происходит его обновление. На основе данных из реестра рисков происходит качественный и количественный анализ.

Предложенные принципы анализа и управления риска, применяются при разработке программного обеспечения исследований проекта при создании бортовых средств измерений применяемых при проведении лётных испытаний.

Данное программное обеспечение будет включать в себя реестр рисков, качественный анализ, используя матрицу «вероятности – потери» и количественные методы, использующие оценку на основе дерева решений, и имитационное моделированием методом «Монте- Карло».

Стоит отметить, реализованное программное обеспечение, при определённой доработке может использоваться не только при создании бортовых средств измерений, но и непосредственно при проведении лётного эксперимента.

Список литературы:

1. Р.Т.Фатрелл, Д.Ф.Шафер, Л.И.Шафер «Управление программными проектами. Достижение оптимального качества при минимуме затрат», Изд-во «Вильямс», 2003г., 1064с.
2. Башуев С.Д. Автоматика и автоматизация производственными процессами, Изд-во Высш. Шк, Москва, 1992 г., 256 с
3. Куржановский А.В. Управления и наблюдение в условиях неопределенности., Изд-во Наука, Москва, 1997г., 326 стр
4. Ермаков С.М., Жиглявский А.А. Математическая теория оптимального эксперимента, Изд-во Наука, Москва, 1987 г., 296 с

Сведения об авторах

1. Бондарцев Владимир Васильевич, заместитель генерального директора по качеству – главный метролог, ОАО «ЛИИ им. М.М. Громова», к.т.н.
2. Токмакова Татьяна Георгиевна, начальник СМИИИС, ОАО «ЛИИ им. М.М. Громова»
3. Бордуков Андрей Алексеевич, начальник сектора лаборатории МОИИИС, ОАО «ЛИИ им. М.М. Громова»

ОСОБЕННОСТИ СОЗДАНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ ОЦЕНКИ УРОВНЯ КАЧЕСТВА НАЗЕМНЫХ ИСПЫТАНИЙ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

В.В. Бондарцев, М.Ю. Шумова, А.Г. Федулова, А.А. Бордуков

ОАО «ЛИИ им. М.М. Громова»

Усовершенствование воздушных судов приводит к огромным финансовым затратам не только при проектировании, конструировании, сборке на заводе изготовителе, но и на этапе проведения дальнейших летных испытаний (наземных, летных, сертификационных и т.д.).

Цель работы заключается в создании автоматизированной системы оценки уровня качества наземных испытаний летательного аппарата, что повлечет за собой снижение трудовых затрат и повышение экономической эффективности эксперимента. Одной из наиболее важных задач, которую необходимо решать на данном этапе исследования, является проведение анализа возможных подходов к созданию такой автоматизированной системы.

Для решения первоочередной задачи, а также достижения поставленной цели необходимо определиться с понятием наземной эксплуатации воздушного судна. Под наземными режимами эксплуатации принято понимать следующие режимы – это разбег, пробег с режимом торможения и передвижение летательного аппарата по рулевой и взлетно-посадочной полосам.

Для более глубокого понимания поставленной задачи необходимо детально рассмотреть, режим разбега, что он собой представляет, какие параметры влияют на его величину, а также какие силы действуют на летательный аппарат при его выполнении. Итак, как известно, любой полет, каждого летательного аппарата начинается со взлета. Взлетом называется движение летательного аппарата с ускорением от момента начала его разбега до момента набора высоты не более 25 м.

Разбегом называется первоначальный момент взлета, представляющий движение летательного аппарата с ускорением по земле, необходимое для достижения такой скорости, при которой крыло создает подъемную силу, способную оторвать его от земли.

На современных воздушных судах разбег выполняют путем удерживания на месте с помощью тормозов главных колес шасси, далее постепенно увеличивают тягу двигательной установки до максимума. За тем отпускают тормоза, и воздушное судно начинает движение на всех колесах шасси. При достижении скорости определенной величины (для каждого типа воздушного судна она имеет свое значение) с помощью рулевого управления увеличивается угол атаки крыла и носовое колесо отрывается от земли. Дальнейшее движение воздушного судна происходит на главных колесах шасси до отрыва. Отрыв носового колеса необходим для придания летательному аппарату взлетного угла атаки [1].

В период разбега скорость увеличивается от нуля до скорости отрыва. Тогда разбег представляет прямолинейное движение с ускорением под действием неуравновешенной силы.

На летательный аппарат при совершении разбега действуют силы различного рода:

1 силы тяги двигательной установки, обозначаемая P ; в период разбега, от максимальной в сторону уменьшения;

2 сила веса воздушного судна, обозначаемая Q ; не изменяется с течением времени, направлена вниз;

3 подъемная сила, обозначаемая Y , в период разбега ее значение меняется от нуля до значения, равного Q ;

4 сила лобового сопротивления, обозначаемая X , в период разбега возрастает от нуля до определенного значения, зависящего от угла атаки, скорости воздушного судна и высоты полета;

5 нормальная сила реакции земли, обозначаемая N , в период разбега изменяет свое значение от величины, равной Q , а по мере увеличения скорости и увеличения Y , уменьшается до нуля;

6 сила трения пневматиков о грунт, обозначаемая F , зависит от величины силы трения колес шасси воздушного судна о поверхность взлетно-посадочной полосы и от N , тогда

$$F = N \times f$$

Уравнение перемещения центра тяжести летательного аппарата при разбеге будут иметь вид:

$$P - Q - F = \frac{G}{g} i_x \quad (1)$$

$$Y - G + N = 0,$$

где $i_x = \frac{dV}{dt}$ ускорение перемещения [2].

Из уравнения следует, что в направлении перемещения действует неуравновешенная сила, представляющая собой $P - (Q + F)$ и вызывающая ускорение перемещение. Нарастание скорости на разбеге станет происходить быстрее, с учетом увеличения значения величины неуравновешенной силы.

Сила трения колес шасси о взлетно-посадочную полосу равна

$$F = f \times N = f(G - Y)$$

Из формулы видно, что сила трения к концу разбега обращается в нуль, так как при отрыве летательного аппарата от взлетно-посадочной полосы $G=Y$.

Ускорение при разбеге с учетом уравнения (1):

$$i_x = g \frac{P - [Q + f(G - Y)]}{G}$$

либо

$$i_x = g \frac{P - (Q + F)_{cp}}{G}$$

С учетом, что сила тяги в процессе разбега изменяется не слишком, а сила лобового сопротивления Q при повышении скорости возрастает приблизительно пропорционально уменьшению силы P , ускоряющая сила меняется не слишком заметно.

Получается, ускорение остается на всем протяжении разбега неизменным ($i_x = const$), , тогда разбег можно считать равноускоренным движением.

В реальности значение среднего ускорения сильно зависит от значения коэффициента трения, который в свою очередь зависит от состояния поверхности взлетно-посадочной полосы.

Для расчетов можно принять

$$f^1 = \frac{(Q + F)_{cp}}{G},$$

где f^1 среднее значение коэффициента трения, который зависит от качества поверхности взлетно-посадочной полосы.

Рассматривая разбег летательного аппарата как перемещение с неизменным ускорением i_{cp} , без учета ветра: среднее значение времени разбега

$$t_{cp} = \frac{V_{cp}}{i_{cp}}$$

среднее значение скорости

$$V_{cp} = \frac{V_{omp}}{2}$$

с учетом того, что

$$L_{разб} = V_{cp} \times t$$

получим

$$L_{разб} = \frac{V_{omp}^2}{2i_{cp}} \quad (2)$$

Из (2) сделаем вывод, что, длина разбега пропорциональна квадрату скорости отрыва и обратно пропорциональна среднему ускорению при разбеге.

Для приблизительной оценки влияния некоторых характеристик возможно использовать выражение (3):

$$L_{разб} = \frac{V_{omp}^2}{2g\left(\frac{P_{ct}}{G} - f\right)}, \quad (3)$$

где P_{ct} – тяговооруженность самолета, f – коэффициент трения.

Выясним воздействие основных эксплуатационных и конструктивных характеристик на длину разбега летательного аппарата.

Действие значения силы тяги силовой установки.

С повышением значения силы тяги P возрастает ускоряющая сила $P-(Q+F)$, вследствие чего возрастает ускорение и летательный аппарат на наименьшем отрезке пути приобретает скорость, равную величине скорости отрыва. Этим определяется использование того или иного режима работы двигателя.

Действие взлетного веса на величину длины разбега.

Повышение его значения увеличивает значение скорости отрыва (в этом случае необходима большая подъемная сила) и значительно уменьшается ускорение. Оба фактора повышают значение длины разбега.

Воздействие качества поверхности взлетно-посадочной полосы тесно связано с наличием силы трения колес шасси.

При разбеге по грунтовой взлетно-посадочной полосе сила трения возрастает, а ускоряющая сила уменьшается, результатом чего становится уменьшение ускорения, а значение длины

Автоматизация экспериментальных исследований и испытаний авиационной и космической техники в условиях импортозамещения

разбега возрастает. Сила трения зависит от нагрузки на колеса шасси и состояния поверхности взлетно-посадочной полосы. Использование взлетно-посадочных полос с твердым покрытием - это способ уменьшения значения длины разбега.

Воздействие механизации крыла.

Перед взлетом на большинстве передовых летательных аппаратов выпускаются щитки и закрылки во взлетное положение, для приобретения максимального значения коэффициента подъемной силы.

Воздействие направления и скорости ветра.

При встречном ветре скорость отрыва суммируется из скорости воздушного судна относительно земли и скорости ветра. Значит, разбег более эффективно совершать против ветра. В этом случае отрыв произойдет раньше тогда, как при взлете по ветру значение длины разбега увеличивается. Для уменьшения длины разбега летательного аппарата курс выбирают так, чтобы взлет совершался против ветра.

Воздействие давления и температуры воздуха.

От значений давления и температуры окружающей зависят скорость отрыва и сила тяги двигательной установки. С уменьшением значения давления возрастает скорость отрыва, а сила тяги уменьшается, что приводит к увеличению длины разбега. С увеличением значения температуры окружающего воздуха значение длины разбега увеличивается, так как увеличивается значение скорости отрыва и уменьшается значение силы тяги.

Наклон взлетно-посадочной полосы.

В случае, если взлетно-посадочная полоса имеет угол наклона, то ускорение на разбеге будет различным по сравнению с ускорением при горизонтальном разбеге [3]. Так как угол наклона оказывается на значении ускорения, значит он оказывается и на значении длины разбега.

Рассмотренные эксплуатационные и конструктивные моменты, характеризующие разбег, могут быть отнесены и к другим режимам наземной эксплуатации (пробег и передвижение летательного аппарата по взлетно-посадочной полосе). Разрабатываемая автоматизированная система обязана принимать во внимание все факторы, влияющие на летательный аппарат при наземной эксплуатации и оцениваться с учетом номенклатуры показателей качества.

Для проектирования автоматизированной системы оценки движения летательного аппарата необходимо провести анализ наиболее оптимальных подходов к решению поставленной задачи. Наиболее целесообразными в этом случае будут являться следующие два:

- создание экспертной системы оценки с полным наполнением базы знаний по характеристикам перемещения летательного аппарата на наземных режимах эксплуатации с внедрением популярного математического аппарата (математических моделей движения воздушного судна на изучаемых режимах) и программного обеспечения (оболочки);
- подход имитационного моделирования.

Перед началом анализа необходимо провести исследования принципов построения данных подходов.

Рассмотрим первых из них. Само понятие экспертной системы предполагает внедрение некоторого программного обеспечения (готовой оболочки или специально разработанного под решение поставленной задачи). Приемлемое программное обеспечение с учетом специально разработанной базы знаний, исходных данных к эксперименту и решателя (продукционных правил) производит рекомендации или заключение к поставленной задаче.

Системе задаются исходные данные для проведения эксперимента, как правило, они устанавливаются техническим заданием и параллельно обозначаются программой летных испытаний летательного аппарата. Задание исходных данных эксперимента обязательно.

С учетом исходных данных в заполненной базе знаний и созданных продукционных правил выбирается математическая модель. Избранная математическая модель и заданные исходные

данные обуславливают выбор режима наземной эксплуатации, на котором будет испытываться летательный аппарат (разбег, пробег, движение по рулевой полосе). Далее итогами выбора автоматизированная система выдает результат проведения эксперимента, воплощенный показателями качества. Так как планируется использовать полную номенклатуру свойств, характеристик показателей качества испытываемого объекта, то итоговый результат должен быть достаточно информативен.

Для высокой продуктивности работы создаваемой автоматизированной системы важна детальная проработка отдельных элементов. Задаваемые исходные данные должны подразумевать изначально тот режим, на котором будет проводиться испытание летательного аппарата.

База знаний в системе должна иметь возможность хранения долговременных данных, охватывающих решаемую задачу. В базу знаний должны войти все конструктивные и эксплуатационные характеристики и параметры, действующие на летательный аппарат, находящийся на наземных режимах эксплуатации.

Решатель (продукционные правила). Применяя исходные данные, а также данные экспериментов, проводимых до настоящего эксперимента, оказавшиеся в рабочей памяти и данные из базы знаний, реализует очередность решения, которые станут совместимы с заданными параметрами исходных данных и приведут к правильному выбору применяемой математической модели, а также грамотному решению задачи.

В экспертной системе имеют место быть: компонент приобретения знаний, объяснительный компонент и диалоговый компонент. Компонент приобретения знаний даст возможность дополнять спроектированную систему свежими данными, зависящими от типа испытываемого летательного аппарата, что в свою очередь обеспечит гибкость создаваемой системы и позволит ведущему инженеру, проводящему эксперимент решать задачи «нетривиального» типа. Объяснительный компонент дает возможность ведущему инженеру ответить о том, от чего система пришла к этому заключению или почему эксперимент не удался, какими знаниями базы данных и продукционными правилами она.

Диалоговый компонент вводится для более удобного общения ведущего инженера с системой в период проведения эксперимента, так и в процессе сбора знаний и получения итогов решения поставленной задачи. Математические модели, которые станут выбираться системой в ходе решения, использованы в виде готовых уравнений движения летательного аппарата (математических моделей), в зависимости от режима испытаний.

Планируемая номенклатура показателей качества будет создаваться на основе норм летной годности, с учетом параметров воздействующих на летательный аппарат, испытываемом на том или ином режиме эксплуатации. Главными, изываемых показателей, являются надежность и экономические показатели. Оценка показателей качества будет осуществляться с учетом разработанных калиметрических шкал.

Подытоживая можно сделать вывод о том, что экспертная система работает в строго обозначенной области, ограниченной базой знаний и продукционными правилами, данных, которые уже накоплены в результате проведения предыдущих экспериментов и использует их для решения поставленной задачи ограниченной специфики.

Второй подход – проектирование автоматизированной системы с помощью имитационного моделирования. Само понятие имитационного моделирования подразумевает возможность изучения сложных многокомпонентных систем, которые подвержены переменам с течением времени. При проектировании основное место занимают причинно-следственные взаимосвязи между указанными параметрами системы, причем уделяется особое внимание обратной связи между ними. Рассматриваемая система имеет возможность симуляции числовых значений (в нашем случае числовых значений показателей качества, заданных с помощью калиметрических шкал и норм летной годности) с помощью которой в виде графика или таблицы отображается реакция системы на задаваемые данные. Одним из нюансов является то, что разработанная

Автоматизация экспериментальных исследований и испытаний авиационной и космической техники в условиях импортозамещения

система должна вести себя не только как реальный испытываемый объект. В работе намечается создание количественной модели с использованием имитационного моделирования. Этот способ подходит под разработку автоматизированной системы испытаний летательного аппарата на наземных режимах эксплуатации.

Таким образом, данный подход позволяет принять во внимание взаимосвязь между параметрами системы, временные изменения в динамике ее развития, что дает возможность более структурировано рассматривать проблемные факторы и пути их решения.

Заключение.

Для снижения уровня трудозатрат и увеличения экономической эффективности эксперимента разработка автоматизированной системы оценки движения летательного аппарата является достаточно актуальной. Для достижения поставленной цели наиболее целесообразно будет спроектировать интегрированную автоматизированную систему, в которую должны войти экспертная система и система имитационного моделирования. В большинстве случаев экспертные системы и системы имитационного моделирования применяют для решения различного рода задач, но часто возникает необходимость их интегрированного применения. Экспертные системы обладают высоким быстродействием. Это связано с тем, что в них запрограммирован опыт решения типовых задач. При возникновении аналогичных задач экспертные системы тоже достаточно эффективны, но в нестандартных случаях (новых условиях) они уступают системам имитационного моделирования.

При небольшом количестве параметров, системы имитационного моделирования показывают высокую производительность, которая сочетается с высокой точностью.

Создание интегрированной системы, включающей возможности экспертной системы и системы имитационного моделирования, позволит значительно расширить круг решаемых задач, увеличить быстродействие и точность.

Библиографический список

1. А.И. Гудков, П.С. Лешаков, Л.Г. Райков *Внешние нагрузки и прочность летательных аппаратов*. – М.: Оборонгиз, 1963. – 480 с.
2. Л.Х Коクунина *Основы аэродинамики*. – М.: Транспорт, 1976. – 208 с.
3. А.И. Макаревский *Прочность самолета*. – М.: Машиностроение, 1975. – 281 с.

Сведения об авторах

1. Бондарцев Владимир Васильевич, заместитель генерального директора по качеству – главный метролог, ОАО «ЛИИ им. М.М. Громова», к.т.н.
2. Шумова Марина Юрьевна, начальник службы управления качеством, ОАО «ЛИИ им. М.М. Громова»
3. Федулова Анастасия Геннадьевна, инженер 1-ой категории службы управления качеством, аспирантка ОАО «ЛИИ им. М.М. Громова»;
4. Бордуков Андрей Алексеевич, начальник сектора лаборатории МОИИС, ОАО «ЛИИ им. М.М. Громова»

**РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ СОЗДАНИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ, АВАРИЙНОЙ
ЗАЩИТЫ И ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ДИАГНОСТИКИ ДЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ
АГРЕГАТОВ ПЕРСПЕКТИВНОЙ АВИАЦИОННОЙ И РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ
(НА ПРИМЕРЕ ЖРД)**

А.А. Егоров

К.т.н., профессор, АВН РФ, заместитель директора по научной работе

НПК «Вычислительная техника и информатика» МАИ, главный редактор журнала

«Автоматизация и IT в энергетике»

Д.А. Сурков

К.т.н., доцент, руководитель «Научно-исследовательской лаборатории внедрения

инновационных технологий» НПК ВТИ МАИ

Основой технологии создания систем является системотехника, которая охватывает процессы создания спецификаций, проектирования, разработки, тестирования, внедрения и сопровождения систем как единого целого. **Системотехника** это инженерная дисциплина, появившаяся как аналог системной инженерии (англ. *Systems Engineering*) — направления науки и техники, охватывающего проектирование, создание, испытание и эксплуатацию сложных систем технического и социально-технического характера. В 1961 г. в СССР вышел перевод первой в мире книги по системной инженерии Г. Х. Гуда и Р. Э. Макола «System engineering»(1). Авторы рассматривали системную инженерию как дисциплину, дающую ключ к разработке крупных, сложных, высокоавтоматизированных технических систем, впервые описав основные признаки систем большого масштаба и указав на то, что при их создании широко используются коллективные методы работы и возникают проблемы не только технического, но и организационно-управленческого характера на базе открытых систем.

В (2) рассмотрены вопросы определения понятия «открытых систем», их сущность, достоинства и недостатки систем, построенных на их принципах и их связь с промышленными АСУ и ИИУС.

В жизненном цикле современных информационно-измерительных и управляющих систем (ИИУС) можно выделить два этапа: этап создания этих систем и этап их эксплуатации. На первом этапе осуществляется постановка задачи, проектирование системы и ее реализация. Иначе говоря, происходит декомпозиция задачи, т. е. переход от ее постановки к реализации отдельных функций, а затем объединение отдельных функций в приложения для конечных пользователей. На этапе эксплуатации ИИУС появляется потребность в развитии ее функциональных возможностей (функционала). Существование созданной системы говорит о том, что знания о предметной области уже систематизированы. На основе этих знаний и опыта эксплуатации возникают новые задачи, приводящие к выявлению новых прикладных задач и, как следствие, к формулированию новых требований к ИИУС. Эти требования зарождаются на рабочих местах в процессе эксплуатации системы. Их накопление обычно ведет к созданию ее следующей версии.

Специалисты, занимающиеся разработкой ИИУС, и решают перечисленные выше задачи, должны быть сосредоточены не только на программном обеспечении, они должны уделять равное внимание методическому и программному обеспечению испытаний, аппаратным средствам и средствам взаимодействия с пользователями и системным окружением. Они должны думать о тех функциях, которые будет выполнять ИИУС, собственно ради которых строится система, а также о взаимодействии системы с окружающими ее системами. Примером такого взаимодействия может служить статья (3). Рассматривается вариант построения многофункциональной контрольно-проверочной аппаратуры (КПА) возвратной ракеты (ВР) на принципах системной интеграции

Автоматизация экспериментальных исследований и испытаний авиационной и космической техники в условиях импортозамещения

покупного аппаратного обеспечения, открытых технологий и международных стандартов.

В статье (4) обоснована необходимость разработки нового поколения интеллектуальных автоматизированных систем контроля и управления испытательными стендаами для наземной отработки перспективной авиационной и ракетно-космической техники. Рассмотрены объективные предпосылки рождения нового поколения информационно-измерительных и управляющих систем (ИИУС) и сформулированы принципы, на которых должны строиться интеллектуальные автоматизированные системы контроля, измерения и управления стендовых систем. Сформулированы типовые задачи технологического процесса стендовых испытаний (на примере процесса управления и регулирования ЖРД). Рассмотрены вопросы разработки технологии создания интеллектуальных автоматизированных систем контроля и управления испытательными стендаами на основе объектно-ориентированного проектирования. В заключении, отмечено требование к системам управления стендаами нового поколения. Это требование связано с решением задач планирования метрологического обеспечения стендовых систем в процессе их эксплуатации.

Рассмотрим эти проблемы на примере стендовых систем для огневых испытаний ЖРД. Новизна и сложность конструкции современных ЖРД, их большая энергонапряженность, применение новых технологий, многократность использования требуют принятия специальных мер, обеспечивающих надежность и безопасность проведения огневых испытаний двигателей. Огневые испытания являются основным источником информации о работоспособности и надежности двигателя, степени соответствия характеристик двигателя требованиям технического задания.

Сложность современных ИИУС для испытаний ЖРД постоянно возрастает. Это объясняется многими причинами (5):

- увеличением сложности объекта испытания (ДУ, КА), что приводит к необходимости контроля все большего числа различных параметров;
- увеличением уровня, длительности приложения и усложнением спектра нагрузок, действующих на объект испытания в полете, которые необходимо имитировать в процессе наземных испытаний с целью приближения условий наземных испытаний к полетным;
- ужесточением экологических требований к испытательным стендаам, исключающих техногенное воздействие на окружающую среду и обеспечивающих безопасность испытаний.

К основным задачам, которые требуют решения при разработке технологии создания современных ИИУС для стендовых испытаний ЖРД, можно отнести:

- выявление типовых функционально законченных задач измерений, контроля и управления и их элементов на основе анализа технологических процессов испытаний ЖРД;
- разработка типовых программно-аппаратных модулей, решающих функционально законченные задачи измерений, контроля и управления, а также методов интегрирования модулей в единую многоуровневую систему;
- разработка аналитических, имитационных и полунатурных моделей технологических процессов испытаний и экспериментальной отработки ЖРД;
- разработка и создание моделирующего программно-аппаратного комплекса для объективной оценки функционирования модулей системы;
- разработка и экспериментальные исследования интеллектуальной ИИУС испытательных комплексов.

С целью минимизации материальных затрат, идущих на отработку и эксплуатацию ЖРД, повышения надежности испытаний в испытательные стенды вводятся специальные автоматизированные ИИУС. К ним относятся устройства управления и регулирования ЖРД (СУР ЖРД), а также системы защиты в случае возникновения аварийных ситуаций. Как правило, последние устройства или системы условно подразделяют на активные и пассивные.

К активным системам относятся системы аварийной защиты (САЗ), обеспечивающие выключение ЖРД или перевод его на щадящий режим работы в случае возникновения аварийной или нештатной ситуации. К пассивным системам относятся системы технического диагностирования (СТД), обеспечивающие контроль состояния ЖРД в период огневых испытаний.

В (6) рассматривается построение системы оперативного контроля и предупреждения экстремальных ситуаций и ее подсистем, которое соответствует принципам построения больших адаптивных (самообучающихся) систем с накоплением (архивированием) и анализом опыта контроля экстремальных ситуаций и поэтапным совершенствованием и вводом в эксплуатацию отдельных подсистем ввода/вывода измерительных данных.

Опыт создания ИИУС испытательных комплексов позволяет выявить причины возможных неудач при их разработке:

- нечеткая и неполная формулировка требований к методическим, аппаратным и программным средствам;
- недостаточное вовлечение пользователей в работу над проектом;
- отсутствие необходимых ресурсов (людских, материальных и временных);
- неудовлетворительное планирование и отсутствие грамотного управления проектом;
- частое изменение требований и спецификаций в процессе работы над проектом;
- новизна и несовершенство используемых информационных технологий;
- недостаточная поддержка со стороны высшего руководства;
- недостаточно высокая квалификация разработчиков, отсутствие необходимого опыта создания ИИУС испытательных комплексов.

Рассмотрим основные отличительные научно-технические особенности предлагаемых подходов. Накопленный в ходе теоретических и экспериментальных исследований опыт позволил сформулировать следующие отличительные научно-технические особенности предлагаемого в проекте подхода, которые должны быть положены в основу разработки и создания нового поколения ИВУСИК:

- модульность архитектуры построения аппаратных и программных средств, в которой различные внешние блоки (модули) связываются между собой через общую магистраль;
- программируемость и конфигурирование структуры (возможность настройки системы на структуру решаемой задачи, включая дистанционные методы конфигурирования промышленных контроллеров);
- децентрализация средств измерения, управления, обработки данных и принятия решений на основе интеллектуальных сетевых решений;
- открытость и наращиваемость всех видов обеспечения системы;
- максимальная унификация, типизация и стандартизация всех функциональных подсистем, их модулей и процессов;
- использование технологий искусственного интеллекта, обеспечивающих возможность адаптации и обучения системы, накопления опыта в процессе эксплуатации;
- асинхронность взаимодействия подсистем, их модулей и процессов;
- единство методического, аппаратного и программного обеспечения всех составляющих ИИУС.

Отмеченные выше научно-технические особенности легли в основу предлагаемого принципиально нового подхода к решению проблемы автоматизации современной экспериментально - стеновой базы отработки и испытаний новой техники.

Для разработки технологии создания ИИУС предлагается использовать V-модель – это улучшенная версия классической каскадной модели. Здесь на каждом этапе происходит контроль

**Автоматизация экспериментальных исследований и испытаний авиационной
и космической техники в условиях импортозамещения**

текущего процесса, для того чтобы убедится в возможности перехода на следующий уровень. В этой модели тестирование начинается еще со стадии написания требований, причем для каждого последующего этапа предусмотрен свой уровень тестового покрытия (Рис. 1). Для каждого уровня тестирования разрабатывается отдельный тест-план, то есть во время тестирования текущего уровня, мы также занимаемся разработкой стратегии тестирования следующего. Создавая тест-планы, мы также определяем ожидаемые результаты тестирования и указываем критерии входа и выхода для каждого этапа.

В V-модели каждому этапу проектирования и разработки системы соответствует отдельный уровень тестирования. Здесь процесс разработки представлен нисходящей последовательностью в левой части условной буквы V, а стадии тестирования – на ее правом ребре. Соответствие этапов разработки и тестирования показано горизонтальными линиями.

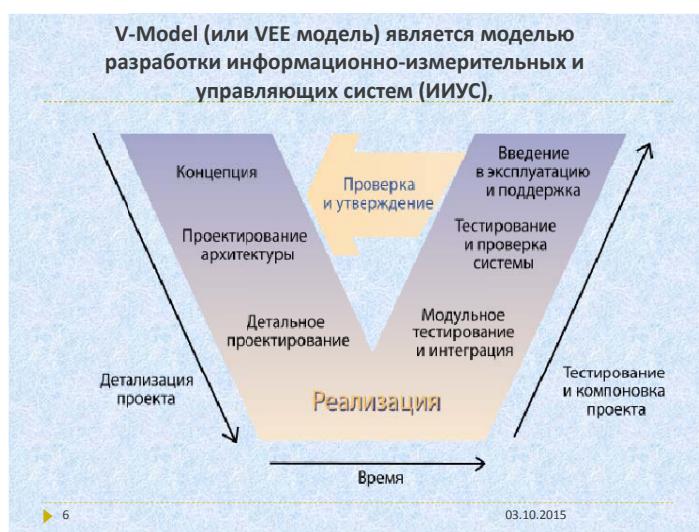


Рис. 1 V-модель разработки ИИУС

На Рис. 2 представлена структурная схема разработки технологии создания систем ИИУС, включая СУР ЖРД, САЗ ЖРД и СФД ЖРД. Она включает процедуры моделирования и разработки ИИУС, быстрого прототипирования, отладки программ на целевых контроллерах, программно-техническое моделирование в контуре обратной связи, а также комплексные испытания ИИУС.

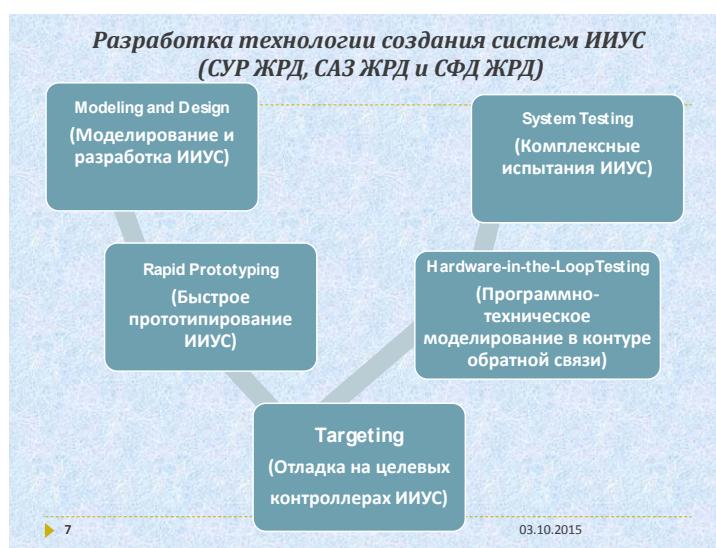


Рис. 2 Разработка технологии создания систем ИИУС с использованием процедуры прототипирования

На Рис. 3 представлена разработанная полунатурная модель испытательного стенда и объекта, как объекта измерений, регулирования и управления. (Цифровые входы, АЦП, ПЛК, ЦАП, цифровые выходы) для лабораторно-отработочных испытаний составных частей ИИУС (СУР ЖРД, САЗ ЖРД и СФД ЖРД). Она включает моделирование цифровых и аналоговых сигналов с датчиков, прием цифровых и аналоговых сигналов формируемым ИИУС на исполнительные механизмы, включая контуры регулирования (ПИД-регуляторы и т.п.).

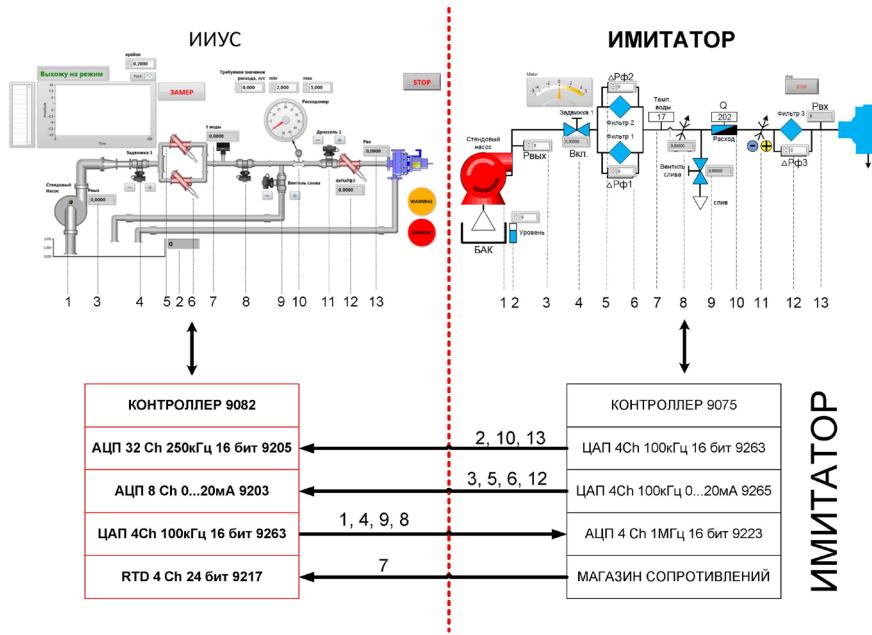


Рис. 3 Функциональная схема полунатурного моделирования ИИУС и объекта испытаний (имитатор)

Полунатурная модель ИИУС и объекта испытаний реализована на базе технологий National Instruments. Аппаратная часть, как ИИУС, так и имитатора реализована на модулях CompactRio. Специализированное ПО написано с использованием пакета LabView.

В (7) описывается процесс разработки специализированного блока формирования аэродинамических воздействий (СБ ФАВ) для реализации математической части электромеханического моделирования (ЭММ), применительно к решению задач аэроупругости.

В процессе разработки использовалась предложенная выше методика проектирования ИИУС.

Специализированный блок формирования аэродинамических воздействий предназначен для моделирования режима полета исследуемого объекта (посредством задания величин – плотности воздуха, скоростного напора и числа Maxa), т.е. анализа колебательных процессов и явления флаттера.

Задача разработки и программной реализации алгоритма (СБФАВ), представляющего собой специализированную информационно-измерительную и управляющую систему рассматривается в (8). СБФАВ позволяет реализовать возможность предварительных исследований аэродинамических воздействий на конструкцию, до проведения испытаний в аэродинамических трубах, путем приложения сосредоточенных сил к точкам конструкции по специальному алгоритму. Алгоритм моделирует поведение исследуемого объекта в воздушном потоке на разных режимах испытания. Приведены схемы алгоритма и описание его работы, а также примеры тестовых программ, реализующих передачу данных внутри информационно-измерительной и управляющей системы. Аппаратная часть СБФАВ реализована на базе модулей PXI фирмы National Instrument. Особенностью СБФАВ является высокое быстродействие контура управления, что обусловлено разработанной

Автоматизация экспериментальных исследований и испытаний авиационной и космической техники в условиях импортозамещения

архитектурой ИИУК для имитатора аэродинамических воздействий (ИАВ) с учетом сформулированных технических требований к быстродействию и точности (9). Разработка проведена на базе открытых международных модульных структурах PXI, с использованием операционных систем жесткого реального времени и структур «АЦП-ПЛИС-ЦАП». Широко используются современные технологии цифровой обработки сигналов в режиме реального времени с применением методов, построенных на применении параллельной архитектуры вычислений; проведенным преобразованием аэродинамических соотношений ИАВ из аналоговой формы в цифровую, с описанием в числах с фиксированной запятой, для реализации на ПЛИС. Разработанная методика (10) создания программного обеспечения ИИУК, реализуемого на структуре «АЦП-ПЛИС-ЦАП», для оптимизации затрачиваемых ресурсов и времени исполнения кода. Разработана математическая модель для оптимизации ресурсов ПЛИС, связывающая скорость выполнения программного кода, количество ресурсов, требуемых для его реализации и точности вычислений (целочисленный формат 8-64 разряда и числа с фиксированной запятой). В качестве программной среды широко использовалась технология LabView.

В заключении следует отметить, что National Instruments предлагает решение, которое объединяет программную и аппаратную платформу, что значительно упрощает процесс разработки любой системы за счет объединения в единое целое разных инструментов и технологий. Данный подход позволяет сосредоточиться на решении задачи с возможностью дальнейшего масштабирования системы. В случае применения решений National Instruments инженеру не надо разбираться в низкоуровневых языках программирования, графическая среда разработки LabVIEW с большим количеством библиотек и модулей многократно упрощает и ускоряет процесс разработки в любой области.

Среди особенностей среды LabVIEW можно отметить следующие:

- функционально полный язык графического программирования, позволяющий создавать программу в форме наглядной графической блок-схемы, которая традиционно используется разработчиками;
- встроенные программные средства для сбора данных, управления приборами и оборудованием, обработки сигналов и экспериментальных данных, генерации отчетов, передачи и приема данных и т. д.;
- мощное математическое обеспечение, возможность интеграции программ, написанных в среде математического пакета Matlab;
- наличие более 2000 программ (драйверов), позволяющих сопрягать разработанную программу с разнообразными физическими приборами и оборудованием различных фирм через стандартные интерфейсы;
- наличие большого количества шаблонов приложений, а также свыше 1000 примеров, позволяющих быстро создавать собственные программы, внося в них небольшие коррекции;
- высокая скорость выполнения откомпилированных программ;
- возможность работы LabVIEW под управлением операционных систем Windows2000/NT/XP/, Mac OS X, и Linux Solaris и др..

Все это подтверждает что эффективная разработка технологии создания систем управления, аварийной защиты и функциональной диагностики для технологических испытаний агрегатов перспективной авиационной и ракетно-космической техники успешно реализуется на базе решения National Instruments, которое объединяет программную и аппаратную платформы современных информационно-измерительных и управляющих систем жесткого реального времени.

Литература

1. Гуд Г.-Х., Макол Р.-Э. Системотехника. Введение в проектирование больших систем, пер. с англ., М., 1962
2. А.А. Егоров, «Открытые технологии и промышленные АСУ»: Промышленные АСУ и контроллеры №1 2003
3. Ю.Г. Алдошкин, В.Г. Черноусов (НПО им. С.А. Лавочкина), А.А. Егоров, Ю.О. Резник (МАИ) «Оценка облика контрольно-проверочной аппаратуры бортового комплекса управления возвратной ракеты проекта «ФОБОС-ГРУНТ», Журнал: Промышленные АСУ и контроллеры №5 2003
4. А.А. Егоров «Разработка нового поколения интеллектуальных автоматизированных систем контроля и управления испытательными стендами для наземной отработки перспективной авиационной и ракетно-космической техники», Журнал: Справочник инженера №10 2014 стр.13-22
5. Методология экспериментальной отработки ЖРД и ДУ, основы проведения испытаний и устройства испытательных стендов: монография [Электронный ресурс] / А.Г. Галеев, В.Н. Иванов, А.В. Катенин, В.А. Лисейкин, В.П. Пикалов, А.Д. Поляхов, Г.Г. Сайдов, А.А. Шибанов. - Электрон. текст. дан. (1 файл 9,7 Мб). - Киров: МЦНИП, 2015. - 436 с. - 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).- ISBN 978-5-00090-054-3. -
6. В.В. Князева, А.А. Егоров «Интеллектуальные системы оперативного контроля и предупреждения экстремальных ситуаций на испытательных стендах», Авиакосмическое приборостроение №2 2003
7. А.А. Константинов, А.А. Егоров, Д.А. Сурков, В.И. Смыслов Разработка специализированного блока формирования аэrodинамических воздействий на базе технологий National Instruments для решения задач аэроупругости методом электромеханического моделирования. Журнал: Авиакосмическое приборостроение №2 2015 стр. 39-44
8. А.А. Егоров, А.А. Константинов, Н.Е. Бодунков. Разработка алгоритмов и программного обеспечения специализированного блока формирования аэrodинамических воздействий для электромеханического моделирования в задачах аэроупругости. Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика №2 2014 стр. 33-38
9. Константинов А.А. Методика реализации уравнений имитатора аэrodинамических воздействий на программируемой логической интегральной схеме [Электронный ресурс]. // Труды МАИ. 2014. №77. URL: <http://www.mai.ru/science/trudy/published.php>
10. А.А. Константинова, МАИ. Диссертация на соискание ученой степени к.т.н. на тему «Исследование и разработка измерительно-информационного и управляющего комплекса для полунатурного моделирования полета летательного аппарата» http://www.mai.ru/events/defence/index.php?ELEMENT_ID=52551

**ПРИМЕНЕНИЕ ИК-ФУРЬЕ МИКРОСКОПИИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ
ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ****В.В. Репников****Специалист по применению отдела промышленного оборудования подразделения****Bruker Optics**

В настоящее время все большее распространение получают многокомпонентные полимерные системы в форме ламинатов или смесей, состоящие из частично кристаллических полимеров, сополимеров или полимеров с растворенными в них низкомолекулярными соединениями. Главной целью использования подобных систем является достижение требуемых характеристик материала благодаря реализации свойств отдельных компонентов. При этом полученные характеристики материала зависят не только от свойств используемых полимеров и наполнителей, но и от процесса производства готовой продукции, который определяет взаимодействие компонентов и конечную микроструктуру материала.

Химический состав многокомпонентных полимерных систем (в том числе многослойных пленок) и включения в их структуре могут быть напрямую исследованы и проконтролированы с помощью инфракрасной (ИК) микроскопии. Обилие инструментальных техник и методов предпоготовки делают ИК-микроскопию удобным методом разностороннего анализа полимерных материалов, их локальной структуры и зависимости получаемых характеристик от условий технологического процесса формования.

ИК-Фурье микроскопия объединяет в себе возможности микроскопического пространственного анализа с возможностями спектроскопического анализа химического состава. Получение спектральной информации с малой области исследуемого объекта достигается путем ограничения области, освещаемой ИК-лучом, с помощью непрозрачной апертуры заданного размера. В то же время информация с одной точки на поверхности не представляет интереса для изучения многокомпонентных полимерных систем. Тогда, последовательно перемещая образец шагами в соответствии с размером апертуры, можно получить спектральную информацию с области любого размера. Данная техника называется картированием. Полученная информация о распределении спектральных интенсивностей может быть соотнесена с распределением различных химических веществ по поверхности полимерного образца.

Устройство ИК-микроскопа схоже с устройством оптического микроскопа, а пути видимого и ИК-излучения парфокальны и коллинеарны. Это означает, что образец, находящийся в оптическом фокусе, будет и в фокусе ИК-излучения. При необходимости в оптический тракт микроскопа может быть установлен поляризатор. Существует три основных режима проведения измерения в ИК-микроскопии – пропускания, отражения и нарушенного полного внутреннего отражения (НПВО). В последнем случае измерение проводится как в режиме отражения, однако на пути падающего ИК-излучения помещается НПВО-кристалл, прижатый одной из граней к поверхности образца. Данный метод наиболее удобен для исследования полимерных образцов. Функция автоматического картирования предусматривает автоматизированное управление перемещением предметного столика и размером апертуры в процессе измерения.

Современный ИК-Фурье микроскоп LUMOS производства компании Bruker Optik GmbH (Германия) не требует подключения к ИК-Фурье спектрометру благодаря наличию интерферометра и источника ИК-излучения, встроенных в корпус микроскопа. LUMOS оснащен объективом с 8-кратным оптическим увеличением и высоким значением числовой апертуры для ИК-излучения – 0,6. В объектив встроен полностью автоматизированный кристалл для проведения измерений в режиме НПВО с различной степенью прижима к поверхности образца. Датчик степени прижима находится непосредственно в объективе под НПВО-кристаллом, что позволяет исследовать образцы с неоднородной по высоте поверхностью. Полностью автоматизированные предметный

столик и ножевая апертура позволяют производить картирование с шагом до 5 мкм по поверхности образца во всех режимах измерений, в том числе в режиме НПВО. Микроскоп LUMOS оснащен скоростным высокочувствительным LN-MCT-детектором ИК-излучения с охлаждением жидким азотом, который способен регистрировать до нескольких спектров в секунду. Микроскоп управляемся многофункциональным программным обеспечением OPUS, предоставляющим широкие возможности по настройке измерения и анализу полученных данных.

Одним из примеров применения ИК-микроскопии является анализ распределения органической добавки в двухслойной полимерной пленке, состоящей из слоев полиамида (PA) и полиэтилена (PE). Добавка представляет собой сумму природных соединений, где основное действующее вещество – бетулин (иначе – бетулинов: $C_{36}H_{60}O_3$) в количестве не менее 70 %. Целью анализа было определить, насколько равномерно распределен бетулин в PE-слое. Было проанализировано два образца с различным массовым содержанием бетулина – 0,5 и 2,0 %. Для исследования образцы крепились на предметный столик с помощью двухслойной липкой ленты. Измерение проводилось по поверхности PE-слоя методом НПВО. На рис. 1 показана поверхность PA/PE-пленки с содержанием бетулина 2,0 % со стороны PE. Заштрихованным зеленым квадратом показана область измерения, состоящая из 12×12 позиций с апертурой 75×75 мкм (автоматическое НПВО-картирование по поверхности образца). Точкими отмечены отдельные позиции измерения. Спектр с позиции, отмеченной синей точкой, оказался идентичным спектру полиэтилена низкой плотности, из которого изготовлен слой PE. На спектре с позиции, отмеченной зеленой точкой, проявляются линии поглощения добавки бетулина в областях спектра 880 и 1030 см⁻¹. Для определения распределения бетулина в слое PE было произведено автоматическое интегрирование распределения добавки под пиком в области 880 см⁻¹, результаты вычисления которого представлено на рис. 2. В исследованной области присутствуют как участки, не содержащие добавки бетулина, так и области с повышенным ее содержанием. Таким же образом была исследована вторая пленка – с массовым содержанием добавки 0,5 % (рис. 3). Результаты вычисления распределения бетулина в PE-слое второй пленки показан на рис. 4.

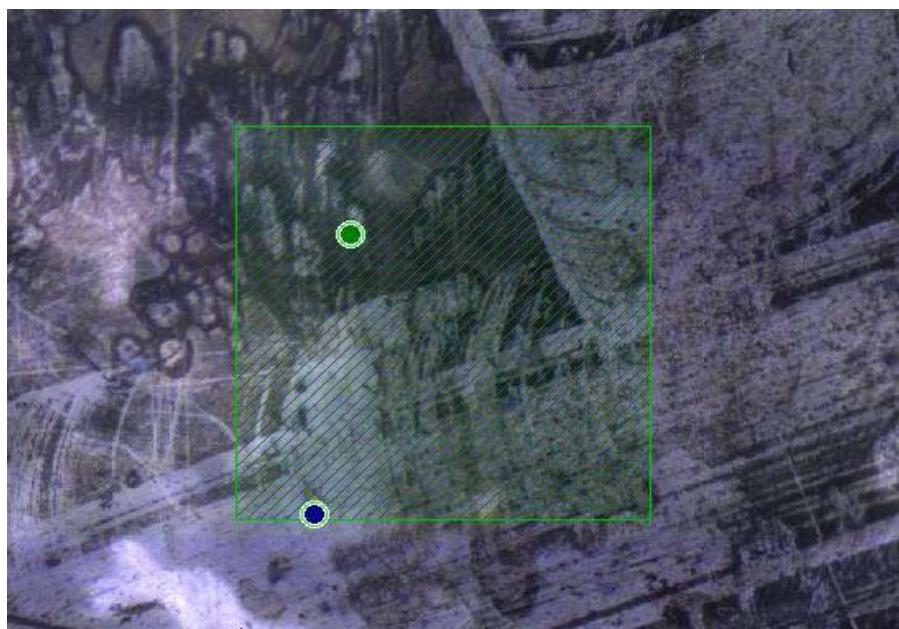


Рис. 1. Изображение поверхности двухслойной пленки PA/(PE + 2,0 % бетулина) со стороны PE.
Заштрихованный зеленым квадрат – область автоматического НПВО-картирования.

Синяя и зеленая точки – отдельные позиции измерения

**Автоматизация экспериментальных исследований и испытаний авиационной
и космической техники в условиях импортозамещения**

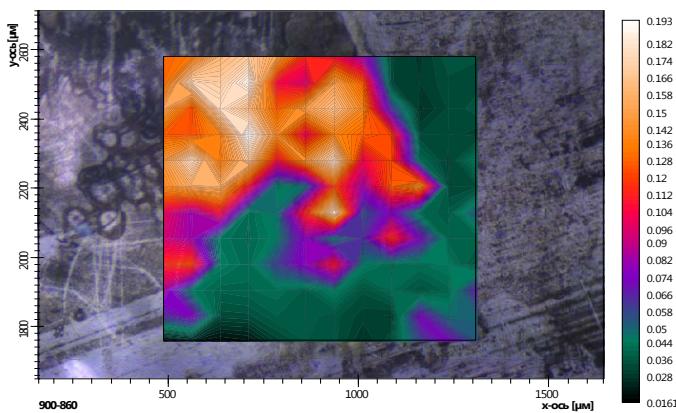


Рис. 2. Двухмерный ИК участок над видимым изображением пленки PA/(PE + 2,0 % берулина). Область интегрирования: 900–860 см⁻¹. Бело-оранжевые участки – высокое содержание берулина, черно-зеленые – низкое.

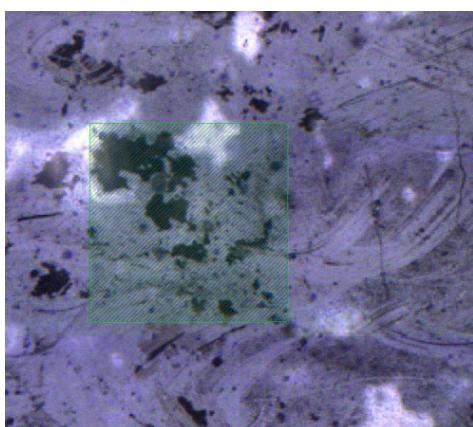


Рис. 3. Изображение поверхности двухслойной пленки PA/PA/(PE + 0,5 % берулина) со стороны PE. Заштрихованный зеленый квадрат – область автоматического НПВО-картографирования

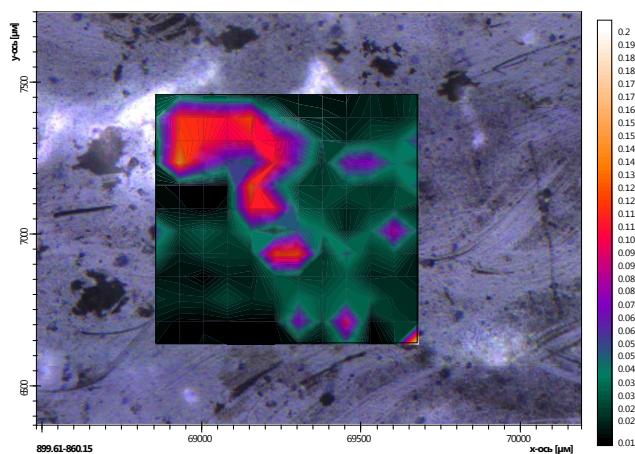


Рис 4. Двухмерный ИК-участок над видимым изображением пленки с содержанием добавки 0.5%. Область интегрирования: 900–860 см⁻¹. Красные участки – высокое содержание берулина, черно-зеленые – низкое

Другим примером применения ИК-микроскопии является анализ гомогенности покрывающего слоя меламиноформальдегидной смолы (МФС) на поверхности бесцветной полимерной пленки. Целью исследования явилось выявление дефектов покрытия и его гомогенности. В верхней части

рис. 5 приведена фотография участка покрытия размером $1,5 \times 2,0$ мм. Измерение проходило в автоматическом режиме по сетке 30×40 точек с апертурой 50×50 мкм в каждой точке. Всего было зарегистрировано 1200 спектров. Время измерения составляло 3,5 с/спектр при разрешении 4 см^{-1} . Для вычисления применялся факторный анализ по методу главных компонент, который способен выявлять даже визуально неразличимые отклонения в спектральной информации, связанные с дефектами, микровключениями и т.п. В нижней части рис. 5 показан трехмерный график вклада спектра МФС в измеренные спектры, который отображает негомогенность распределения покрытия. Наиболее высокий пик на графике относится к видимому на фотографии синему пятну.

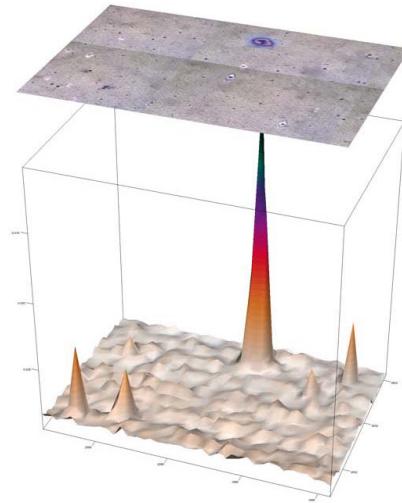


Рис 5. Фотография бесцветной полимерной пленки с покрытием из МФС (вверху) и трехмерный график, иллюстрирующий негомогенность покрытия (внизу)

ИК-Фурье микроскоп LUMOS позволяет производить измерения с пространственным разрешением до 5 мкм в автоматическом режиме для анализа химического распределения компонентов, включений и дефектов в полимерных системах. Современное программное обеспечение ИК-микроскопа LUMOS имеет широкий спектр возможностей для расчета и представления данных. Различные способы химической визуализации результатов измерений позволяют изучать взаимосвязь структуры и свойств полимерных материалов.

При подготовке статьи, помимо источников [1, 2], авторами были использованы официальные пресс-материалы компании Bruker Optik GmbH.

Репников Виктор Владимирович, специалист по применению, Bruker

УДК 621.3.08

ОБРАЗЦОВЫЙ УСИЛИТЕЛЬ – НОРМАЛИЗАТОР ДЛЯ ТЕНЗОМЕТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

К.Л. Бухаров, В.С. Волобуев, В.В. Петроневич – ФГУП «ЦАГИ»

Д.Г. Бухаров, В.М. Демидов – НИУ «МЭИ»

Работа посвящена методам и средствам решения задачи измерения сигналов тензорезисторных мостовых схем на уровне принципиально неустранимых физических эффектов.

УДК 621.3.08

HIGH PRECISION AMPLIFIER FOR STRAIN GAUGE MEASURMENTS

Bukharov K.D., Volobuev V.S., Petronevich V.V. – FGUP «TsAGI»

Bukharov D.G., Demidov V.M. – NIU «MEI»

The research is focused on methods and tools of strain gauge measurements up to physical accuracy limitations.

УДК 621.3.08

ОБРАЗЦОВЫЙ УСИЛИТЕЛЬ – НОРМАЛИЗАТОР ДЛЯ ТЕНЗОМЕТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

К.Л. Бухаров, В.С. Волобуев, В.В. Петроневич – ФГУП «ЦАГИ»

Д.Г. Бухаров, В.М. Демидов – НИУ «МЭИ»

Повышение требований к точности и информативности весового аэродинамического эксперимента при испытаниях моделей летательных аппаратов гражданского и военного назначения, возрастающие требования к допускам на массо-инерционные параметры изделий ракетно-космической области, увеличение требований к метрологическому обеспечению силоизмерительных машин, стендов для калибровки и поверки тензометрических схем на предприятиях отрасли требуют создания отечественных образцовых средств для тензометрических измерений, сопоставимых по точности с лучшими зарубежными измерительными приборами, такими как аппаратура MGC PLUS ML-30, ML-38, образцовые усилители DMP-40, DMP-41, калибратор К-148, образцовый калибратор BN-100A фирмы HBM (Германия) и др.

Погрешность измерения сигналов тензорезисторных мостовых схем ограничена снизу уровнем теплового шума тензорезистора. Для тензорезистора номиналом 400 Ом спектральная плотность теплового шума при комнатной температуре составляет порядка $20 \text{ нВ}/\sqrt{\text{Гц}}$. При измерении полезного сигнала величиной 20 мВ в полосе 1 Гц размах шума составляет $\Delta U_{pp} = 20 \text{ нВ}$. Соотношение сигнал-шум при этом составляет 120 дБ, что определяет физически неустранимый предел приведенной погрешности измерений как 0,0001%.

Совместно с НИУ «Томский Политехнический Университет», НИУ «Московский Энергетический Институт» и ООО «НПФ «Персей» был разработан опытный шестиканальный образец Аппаратуры Измерения Сигналов Тензорезисторных Мостовых Схем (АИСТ МС) и Блок Автоматической Кали-

бровки (БАК) для оперативного контроля характеристик и периодической поверки аппаратуры. Основными отличиями от аналогичных отечественных приборов, научной и технической новизной, реализованной в аппаратуре АИСТ МС, являются применение высокоточных индуктивных делителей напряжения (ИДН) в контуре автоматической подстройки измерительного канала аппаратуры.

Основные технические характеристики аппаратуры АИСТ МС приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Основные технические характеристики АИСТ МС

Наименование параметра	Значение
Основная приведенная погрешность измерения, не более, %	0,001
Диапазон измеряемого сигнала тензомоста, мВ/В	±3
Спектральная плотность собственного шума измерительного канала, не более, нВ/√Гц	50
Количество измерительных каналов, шт.	6
Напряжение питания тензомоста, В	7,07
Несущая частота питания тензомоста, Гц	225
Допустимое сопротивление тензорезисторов мостовой схемы, Ом	350...1000
Длина кабеля подключения тензомоста, не более, м	100
Частота дискретизации измеряемых сигналов, Гц	100
Частоты среза для встроенных фильтров Бесселя 4 порядка, Гц	0,02; 0,1; 0,5; 1; 2; 5
Частоты среза для встроенных фильтров Баттервортса 4 порядка, Гц	2,5; 5; 10; 20
Частоты среза для встроенных фильтров Чебышева 8 порядка, Гц	4; 8; 20
Частоты среза для встроенных фильтров RC-4, Гц	0,5; 1; 2; 5; 10; 20
Интерфейс цифровой связи с персональным компьютером	RS-485, Ethernet
Рабочий диапазон температур, °C	5...50
Климатическое исполнение	IP 54
Напряжение питания АИСТ МС – 6	220 В, 50 Гц

В 2015 г. планируется апробация в опытной эксплуатации мелкой серии приборов АИСТ МС, в 2016 г. предполагается включение аппаратуры АИСТ МС в Государственный Реестр средств измерений.

Литература

1. Волобуев В.С. Имитаторы выходных сигналов тензометрических мостовых схем. – Измерительная техника. – 1985. – № 11. – С. 42-43.

УДК 681.586'33

МАЛОГАБАРИТНЫЕ МНОГОКАНАЛЬНЫЕ ДАТЧИКИ ДАВЛЕНИЯ

В.А. Колесников

Генеральный директор ООО «Драйвер», г. Саранск;

Г.В. Бирюков

Начальник сектора ФГУП «ЦАГИ»

Приведен обзор перспективных вариантов малогабаритных преобразователей давления. Рассмотрены принципы построения, конструкция и основные технические характеристики миниатюрного многоканального преобразователя давления с цифровым интерфейсом и слотом карты памяти. Преобразователь может использоваться для измерения полей давления в экспериментальной аэродинамике и в других случаях, где необходимо измерение значений давления одновременно в большом количестве точек. Особое внимание уделено принципиальным преимуществам цифрового варианта.

UDC 681.586'33

MINIATURE PRESSURE SCANNERS

V.A. Kolesnikov – General Director of «Driver», Saransk;

G.V. Biryukov – Head of Sector, FSUE «TsAGI»

The review of perspective version of small-sized scanners of pressure is presented. The principles of construction, a design and the main technical characteristics of the miniature multichannel scanners of pressure with the digital interface and the slot of a memory card were considered. The scanners can be used for measurement of fields of pressure in experimental aerodynamics and in other cases, where is necessary measurement of values of pressure at the same time in a large number of points. The special attention is given to basic advantages of digital version.

УДК 681.586'33

МАЛОГАБАРИТНЫЕ МНОГОКАНАЛЬНЫЕ ДАТЧИКИ ДАВЛЕНИЯ

В.А. Колесников – генеральный директор ООО «Драйвер», г. Саранск;
Г.В. Бирюков – начальник сектора ФГУП «ЦАГИ»

Обеспечение достоверных измерений полей давлений является ключевым вопросом успешного проведения практически любого аэродинамического эксперимента. Для этого необходимы современные приборы – датчики и преобразователи давления. Современные требования к измерительным системам давления диктуют наличие большого количества каналов измерения давления, используемых в аэродинамическом эксперименте, исчисляемого сотнями и тысячами, в то же время, зачастую присутствует жесткое ограничение размеров и массы измерительных преобразователей. Кроме того, во многих случаях, например при исследовании явления флаттера, важное значение имеет быстродействие измерительных каналов.

Создание системы измерения полей давлений, удовлетворяющей всем требованиям, оказывается сложной технической задачей. Естественным путем миниатюризации является конструктивное объединение некоторого количества узлов.

1. Эволюция многоканальных систем измерения давления

Одним из первых инструментов создания многоканальных систем можно назвать механические коммутаторы давления. В этом случае один датчик/преобразователь давления позволял производить измерение давления в нескольких десятках точек, что в 70-е...80-е годы прошлого столетия было особенно важно, ибо датчики и преобразователи давления были громоздки и дороги. Увы, крайне низкое быстродействие, низкая надежность, высокая стоимость механических узлов и довольно большие размеры в настоящее время уже не позволяют всерьез рассматривать системы подобного рода (за исключением специфических случаев).

Значительный прогресс микроэлектроники 80-х годов позволил получить миниатюрные, недорогие и достаточно точные преобразователи давления в достаточном количестве. Хорошим примером являются чувствительные элементы давления (ЧЭД) разработки и производства НИИ «Электронприбор» г. Ярославль, являющиеся и по сей день настоящей «рабочей лошадкой» многих аэродинамических комплексов. ЧЭДы смонтированы в стандартных 28-выводных промышленных металлокерамических корпусах по 12 шт., либо по 16 шт. с встроенным в тот же корпус аналоговым мультиплексором. Для получения максимальной точности эти корпуса объединялись по два или четыре в одном модуле, теплоизолировались и термостатировались (например, т.н. «многоканальные модули давления» ММД-24, ММД-48). В этом же модуле располагался мультиплексор первого уровня, датчики температуры и некоторые другие узлы. Группа ММД подключалась к промежуточному блоку, обеспечивающему мультиплексирование второго уровня, усиление сигнала, обеспечение несколькими напряжениями питания и управление термостатами модулей.

К сожалению, система по современным меркам является довольно громоздкой и энергоёмкой. Кроме того, ЧЭД, как и любой другой компонент электронной техники, имеют свойство выходить из строя с течением времени, но в настоящее время уже не производятся. Для замены вышедших из строя модулей ЧЭД был разработан ООО «Драйвер» преобразователь давления в аналогичном корпусе – Inser 1801/12 (Рисунок 1). На их базе с использованием современных технических решений также разработаны 48-канальные преобразователи давления ММД-48 с цифровым интерфейсом и алгоритмической термокомпенсацией погрешностей.

**Автоматизация экспериментальных исследований и испытаний авиационной
и космической техники в условиях импортозамещения**

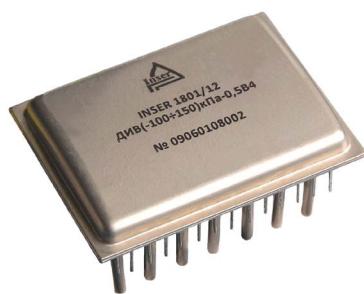


Рисунок 1. 12-канальный преобразователь давления Inser 1801/12

Современные достижения микроэлектроники позволили объединить в одном миниатюрном корпусе 32 ЧЭД, термостабилизатор, быстродействующие мультиплексоры и усилители с мощным дифференциальным выходным каскадом с высокомпреданским состоянием. Был разработан Inser 1801/32mх-z, являющийся беспрецедентным по массогабаритным показателям – порядка 0,6 г/канал и 0,2..0,25 см³/канал [1]. Низкие требования к источнику питания (однополярный 12В(±30%)) и к соединительным линиям и простая логика управления позволяют легко интегрировать этот преобразователь давления многоканальный (ПДМ) в имеющиеся системы. Термостат способствует получению хорошей точности измерений, при этом он экономичен и конструктивно автономен, т.е. не имеет никаких внешних дополнительных блоков, нуждаясь только в источнике питания. Впоследствии разработана модификация этого ПДМ с ЧЭД увеличенного размера – Inser 1811/32mх-z (т.н. «ВЕРТИКАЛЬ») и расположением всех пневмопортов на одной поверхности, что в ряде случаев удобнее при монтаже [2] (Рисунок 2).

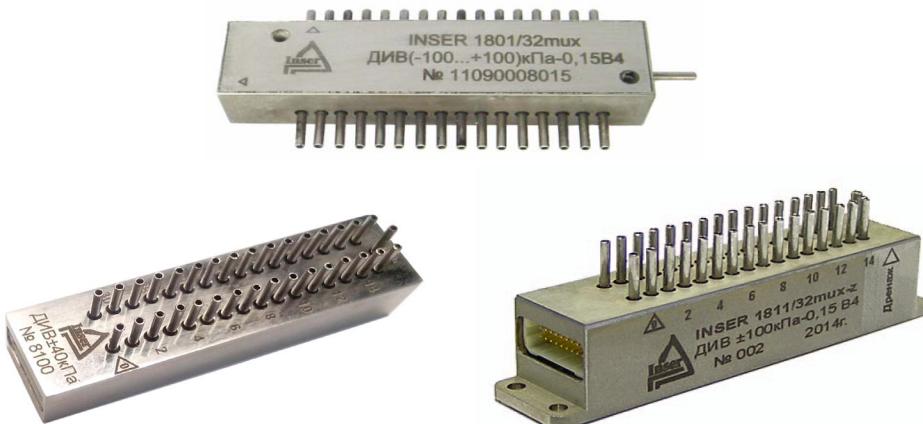


Рисунок 2. 32-канальные преобразователи давления Inser 1801/32 (сверху) и Inser 1811/32

Аналогичную конструкцию немного большего размера имеет 16-канальный ПДМ Inser 1821/16 (Рисунок 3). Он ориентирован на измерение давлений до 2 МПа и более, снабжен штуцерами с зажимным кольцом, позволяющими подключать металлические трубы 2 мм.

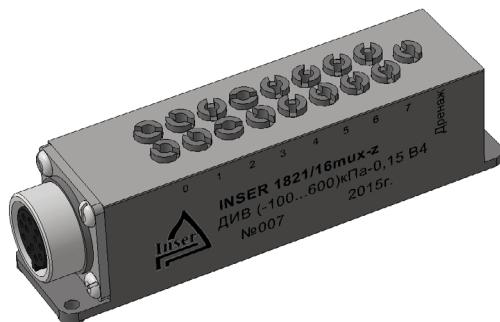


Рисунок 3. 16-канальный преобразователь давления Inser 1821/16

2 . ПДМ с цифровым интерфейсом

Но сколь совершенным не был бы полностью аналоговый ПДМ, ему будут свойственны принципиальные недостатки аналоговых устройств:

- необходимость использования высококачественных кабелей для передачи измерительной информации и дополнительных кабелей управления мультиплексированием;
- неизбежная потеря точности при передаче до измерительно-регистрирующих устройств (десятки метров кабелей, сложная электромагнитная обстановка и т.п.), что особенно заметно при высокоскоростных измерениях, когда отсутствует избыточность быстродействия элементов системы и постфильтрация уже не позволяет существенно снизить уровень шумов;
- необходимость хранения базы коэффициентов аппроксимирующих полиномов для каждого канала каждого ПДМ, что затрудняет построение больших систем, усложняет замену и т.п.;
- при использовании большого количества ПДМ с ограниченным количеством АЦП сложно получить высокую частоту считывания информации с каждого канала при сохранении низкого уровня шумов;
- невозможность получения одновременных выборок со всех ПДМ, т.е. измерений с прецельно малой разницей по времени;
- необходимость топологии сети типа «звезда» для всех или части соединительных проводников;
- невозможность использования ПДМ автономно.

Всех этих недостатков лишена новая разработка ООО «Драйвер» – ПДМ Inser 1814/32 («ВЕРТИКАЛЬ-ЦИФРА») и ПДМ на высокое давление Inser 1824/16 . Эти многофункциональные приборы оснащены быстродействующим АЦП, микроконтроллером, цифровым интерфейсом RS-485 и интерфейсом карты памяти microSD, обладают широкими функциональными возможностями и удовлетворяют большинству требований по миниатюризации, точности и быстродействию. В корпусе размером 54,3x13,3x12,3 (Inser 1814/32) смонтировано 32 чувствительных элемента (ЧЭ) давления, что составляет менее 0,3 см³ на канал. Причем в этом же корпусе имеется термостат ЧЭ, высокопроизводительный микроконтроллер, осуществляющий управление ПДМ и математическую обработку информации, высокоскоростной интерфейс RS-485. Класс точности может быть 0,1...0,25 в зависимости от диапазона давления.



Рисунок 4. ПДМ Inser 1814/32

Конструктивно ПДМ состоит из корпуса сложной формы, девяти печатных плат, четыре из которых керамические, 32-х ЧЭД на пьедесталах и 33-х пневмопортов – цилиндрических штуцеров. Корпус имеет внутреннюю теплоизолированную полость, в которой смонтированы ЧЭД и электронные узлы.

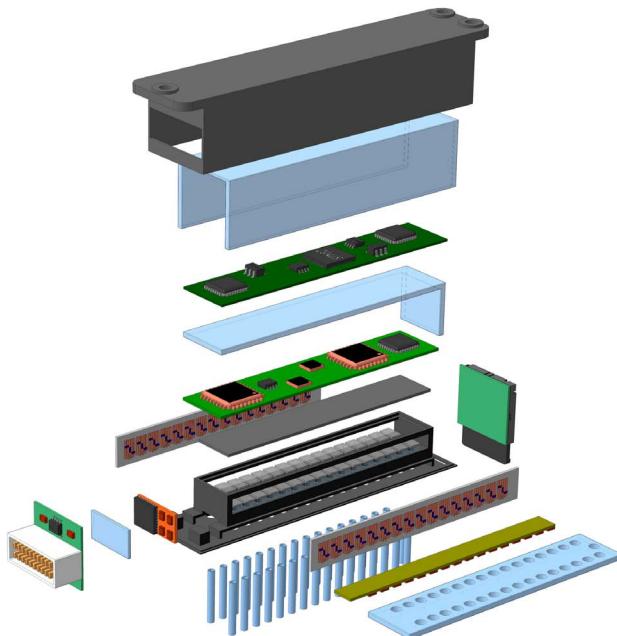


Рисунок 5. Конструкция ПДМ Inser 1814/32

Такая конструкция позволяет с высокой точностью поддерживать постоянную температуру ЧЭД и обеспечивать высокие метрологические характеристики. Если вместо режима терmostатирования используется алгоритмическая термокомпенсация двумерным полиномом, такое исполнение позволяет минимизировать градиенты температуры в области расположения ЧЭД. Полость, в которой расположены ЧЭД, герметична и сообщается со штуцером «Дренаж» (обратная полость). Она может сообщаться с атмосферой, либо в неё можно подать образцовое давление (разрежение). Таким образом, ПДМ измеряет перепад давления между общей обратной полостью и рабочими полостями ЧЭД, сообщающимися каждый со своим штуцером.

Встроенный микроконтроллер осуществляет управление ПДМ и математическую обработку информации, в том числе усреднение и вычисление полинома передаточной характеристики. Все необходимые коэффициенты аппроксимации хранятся в памяти микроконтроллера, что существенно упрощает построение больших систем и исключает путаницу.

Высокоскоростной интерфейс EIA/TIA-485-А позволяет передавать информацию со скоростью 920 кБод при длине линии свыше 100 м. Это позволяет получать данные от 10 ПДМ, подключенных к одной витой паре, с частотой более 100 Гц. При необходимости возможно использование более высокой скорости, например, 2,25МБод, но максимальная протяженность сети при этом уменьшится. ПДМ имеет индивидуальный сетевой адрес, по которому система его распознаёт и обращается к нему при считывании информации. Имеется также широковещательный адрес, при использовании которого все ПДМ в сети получают и дешифруют команду. Широковещательный адрес позволяет быстро настроить все ПДМ на тот или иной режим, произвести установку нуля, а также, что особенно важно, произвести одновременные измерения.

Оригинальным новшеством является возможность записи данных на карту памяти microSD, что позволяет использовать ПДМ без непосредственной связи с регистрирующим оборудованием. Т.е. достаточно источника питания и ПДМ с картой памяти, и мы имеем автономную полнофункциональную систему сбора данных с поля давлений! Это актуально, например, при испытаниях БПЛА в штатном режиме, парашютов, малогабаритных навесных элементов ЛА (в т.ч. отделяемых) и т.п. Запуск процесса записи на карту памяти и, соответственно, синхронизация по времени, может осуществляться различными способами, определяемыми при конфигурировании:

- командой по цифровому интерфейсу;
- через определенное время после подачи питания;
- по факту срабатывания какого-либо триггера (у ПДМ имеются вспомогательные логические входы), например, при замыкании «сухого контакта».

Конфигурирование можно произвести как по цифровому интерфейсу, так и с помощью конфигурационного файла на карте памяти, что актуально при использовании ПДМ автономно.

3. Перспективные разработки

В настоящее время в ООО «Драйвер» проводятся работы по разработке различных перспективных вариантов датчиков и преобразователей давления, в том числе на субминиатюрных ЧЭД. Например, одиночные цилиндрические датчики давления имеют размеры всего Ø1,5x8мм и Ø3x0,8мм!

Интересен вариант гибких пленочных ПДМ. Одно из исполнений (Inser 1844/32) имеет форму ленты размерами 160x14мм и толщиной всего 0,6мм! Нижняя часть ленты плоская (основа) и предназначена для монтажа на поверхность с помощью kleев или адгезионных лент. Верхняя представляет собой компаунд с плоской вершиной и краями, плавно сходящимися к основанию. Малая толщина ленты и её плавное уменьшение к краям позволяют минимизировать влияние на аэродинамическую картину.

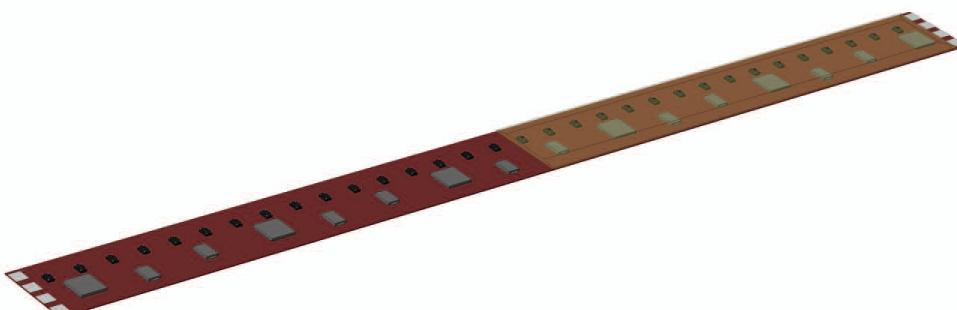


Рисунок 6. ПДМ Inser 1844/32 («ЛЕНТА»)

Автоматизация экспериментальных исследований и испытаний авиационной и космической техники в условиях импортозамещения

На ленте смонтировано 32 ЧЭ абсолютного давления и электроника сбора информации. На каждом конце ленты имеется четыре контакта (питание и цифровой интерфейс), ленты можно монтировать последовательно в единую сеть до нескольких десятков штук. Алгоритм работы схож с вариантом Inser 1814/32, т.е. подача команд и считывание информации осуществляется по-средством цифрового интерфейса EIA/TIA-485-А.

Несмотря на немного меньшую точность, перспектива использования ПДМ такого типа очевидна – значительно упрощается (в некоторых случаях фактически исключается) процесс препарирования, также возможно их использование на находящихся в эксплуатации ЛА, т.е. где препарирование невозможно принципиально.

Вариант ПДМ Inser 1851/xx имеет еще меньшие размеры (от 50x5) мм, но встроенной электроники не содержит, он ориентирован на измерение динамического давления. Каждый ЧЭ имеет свой выход, подключаемый к внешнему высокоскоростному АЦП.

Выводы

Представлен обзор различных вариантов малогабаритных преобразователей давления. Рассмотрена конструкция и особенности миниатюрного многоканального преобразователя давления с цифровым интерфейсом, особое вниманиеделено принципиальным преимуществам цифрового варианта. Рассмотрены перспективные разработки ПДМ на гибком носителе.

Все, упомянутые в статье, изделия разработаны и изготовлены в России на отечественных чувствительных элементах и с использованием преимущественно отечественных комплектующих. Это в настоящее время особенно актуально в связи со сложившейся внешнеполитической ситуацией и необходимостью активного оснащения испытательной базы российской аэродинамики отечественными системами измерения.

Литература

1. В.А. Колесников, Г.А. Капитанов, А.Е. Назаров, Г.В. Бирюков, Ю.К. Блокин-Мечталин, В.Ю. Заливако, В.Н. Чекрыгин. Инновационные технические решения микроминиатюризации многоканальных модулей давления и результаты исследования их характеристик // Материалы XXIII научно-технической конференции по аэrodинамике / Издательский отдел ЦАГИ, Жуковский. – 2012г. – С.131.
2. Г.В. Бирюков, Ю.К. Блокин-Мечталин, В.А. Колесников, А.Е. Назаров. Многоканальный преобразователь давления Inser 1800/32 // Датчики и системы. – 2014г. – №9. – С.55–58.

УДК 681.131

**ПРОБЛЕМЫ ПРИМЕНЕНИЯ ОТРАСЛЕВЫХ СТАНДАРТОВ В ОБЛАСТИ
МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИЗДЕЛИЙ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ**

В.А. Агупов

Д.т.н., заместитель директора по качеству, ПАО «Туполев»

Рассматриваются проблемы организаций авиационной промышленности, связанные с применением основополагающих отраслевых стандартов в области метрологического обеспечения изделий авиационной техники, не соответствующих требованиям действующего законодательства в области обеспечения единства измерений, а также приводятся рекомендации по решению вышеуказанных проблем.

UDC 681.131

**PROBLEMS OF APPLICATION OF INDUSTRY STANDARDS IN THE FIELD OF
METROLOGICAL PROVIDING PRODUCTS OF THE AIRCRAFT EQUIPMENT**

V.A. Agupov

Doctor of technical sciences, PJSC «Tupolev»

Deals with the problems of the organizations of the aviation industry, associated with the application of basic industry standards in the field of metrological provision of aviation products that do not meet the requirements of current legislation in the field of assurance of measurement uniformity, and also provides recommendations to address the above problems.

УДК 681.131

ПРОБЛЕМЫ ПРИМЕНЕНИЯ ОТРАСЛЕВЫХ СТАНДАРТОВ В ОБЛАСТИ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИЗДЕЛИЙ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ

В.А. Агупов

Д.т.н., заместитель директора по качеству, ПАО «Туполев»

В соответствии с принятым Федеральным законом №162-ФЗ [1] одной из задач стандартизации является обеспечение единства измерений и сопоставимости их результатов. Решению этих задач в авиационной промышленности служат документы по стандартизации в области метрологии, среди которых значительную часть занимают отраслевые стандарты, которые регламентируют метрологические требования, правила и нормы (ОСТ), особенности их реализации при создании и эксплуатации изделий авиационной техники (АТ) гражданского, военного или специального назначения. Так, например, сегодня ОСТ и дополнения к ним составляют около 30% от общего фонда нормативных документов, применяемых при выполнении государственного оборонного заказа. Следовательно, от уровня соответствия ОСТ требованиям действующего законодательства в области обеспечения единства измерений [2], во многом зависит правильность организации и реализации процессов метрологического обеспечения изделий АТ на этапах жизненного цикла. Перечень основных ОСТ в области метрологического обеспечения изделий АТ приведен в таблице 1.

Таблица 1

№ п/п	Документ по стан- дартизации	Наименование
Общие требования и положения метрологического обеспечения изделий АТ		
1	ОСТ 1 00227-77	Отраслевая система обеспечения единства измерений. Основные положения.
2	ОСТ 1 00370-96	Метрологическое обеспечение изделий авиационной техники. Основные положения
3	ОСТ 1 00336-2008	Метрологическое обеспечение изделий авиационной техники. Общие требования.
4	ОСТ 1 00425-2008	Метрологическое обеспечение постановки на производство изделий авиационной техники. Общие положения
5	ОСТ 1 00214-2005	Порядок проведения анализа состояния метрологического обеспечения изделий на предприятиях авиационной промышленности
№ п/п	Документ по стандартизации	Наименование
Методики выполнения измерений		
6	ОСТ 1 00409-2006	Методика выполнения измерений. Порядок разработки, содержание, построение и изложение.
7	ОСТ 1 02511-2006	Методики выполнения измерений. Организация и выполнение аттестации
Метрологическая экспертиза технической документации		

8	OCT 1 00221-2005	Метрологическая экспертиза технических заданий, конструкторской и технологической документации. Организация и порядок проведения.
9	OCT 1 02656-2008	Документация конструкторская и технологическая. Общие метрологические требования к разработке.
Специальные средства измерений единичного изготовления		
10	OCT 1 00441-82	Нестандартизованные средства измерений. Построение, содержание, согласование и утверждение ТЗ на ОКР
11	OCT 1 02733-93	Нестандартизованные средства измерений. Организация и порядок проведения ведомственных испытаний и метрологической аттестации
12	OCT 00427-81	Паспорт на нестандартизованные средства измерений
13	OCT 1 00231-99	Средства измерений единичного изготовления. Общие положения и порядок разработки
14	OCT 1 00442-82	Средства измерений единичного изготовления. Содержание метрологических требований в ТУ
15	OCT 1 00424-89	Средства измерений единичного изготовления. Общие требования к составлению программ испытаний и аттестации
16	OCT 1 00242-89	Система средств эксплуатационного контроля пилотируемых летательных аппаратов. Общие требования
Метрологическое обеспечение средств измерений и контроля		
17	OCT 1 00020-72	Средства измерений при испытаниях летательных аппаратов. Основные положения по нормированию МХ
18	OCT 1 00449-82	Средства измерений единичного изготовления. Построение, содержание и изложение методик калибровки
19	OCT 1 00030-87	Контроль автоматизированный. Методика определения требований к точности параметров
20	OCT 1 00340-84	Метрологическое обеспечение автоматизированных средств контроля изделий АТ. Основные положения
21	OCT 1 00405-80	Метрологическое обеспечение контрольных образцов. Основные положения
22	OCT 1 00410-81	Автоматизированная система метрологического обеспечения. Основные положения
23	OCT 1 00421-81 с изм. от июля 2000 г.	Оформление результатов поверки и калибровки СИ
24	OCT 1 00483-2006	Аппаратура контрольно-проверочная изделий авиационной техники. Требования к метрологическому обеспечению
№ п/п	Документ по стандартизации	Наименование
Метрологическое обеспечение испытательного оборудования		
25	OCT 1 00422-81	Порядок проведения работ по метрологическому обеспечению испытательного оборудования
Средства технического обслуживания самолетов (вертолетов)		

26	ОСТ 1 0006-88	Средства наземного обслуживания самолетов и вертолетов. Порядок составления и согласования перечней
27	ОСТ 1 00113-74	Порядок составления, согласования и изменения перечня наземных средств контроля самолетов и вертолетов
28	ОСТ 100137-84 с изм.1 от июля 2009 г. изм.2 от июля 2010 г.	Средства наземного обслуживания самолетов и вертолетов. Комплекты
29	ОСТ 1 00356-85	Средства технического обслуживания самолетов (вертолетов)
30	ОСТ 1 02637-87	Средства наземного обслуживания самолетов (вертолетов). Номенклатура показателей качества

Из табл.1 можно видеть, что подавляющее большинство приведенных ОСТ, с учётом дополнений к ним, выпущены и введены в действие не позднее 2008 года. Следовательно, они не учитывают новых требований Федерального закона №102-ФЗ [2], который вступил в силу с 1 января 2009 года, а также принятых в его развитие целого ряда нормативно-правовых актов, например, [3-7] и других.

Требования большинства вышеприведенных ОСТ распространяются на изделия АТ военного и гражданского назначения и согласно действующей классификации документов по стандартизации, устанавливающих требования к оборонной продукции (процессам), относятся к отраслевым стандартам с едиными требованиями для оборонной и народно-хозяйственной продукции [8]. В соответствии с принципами стандартизации, установленными в статье 4 [1], требования рассматриваемых ОСТ подлежат обязательному применению организациями оборонно-промышленного комплекса в процессах метрологического обеспечения изделий АТ военного и специального назначения.

Обязательность применения ОСТ с одной стороны и несоответствие их действующему законодательству в области обеспечения единства измерений с другой стороны является сегодня актуальной проблемой для организаций авиационной промышленности.

Согласно пункту 3 статьи 27 [2] метрологические правила и нормы, принятые ранее во исполнение Закона РФ от 27 апреля 1993 года №4871-И «Об обеспечении единства измерений» действуют в части, не противоречащей №102-ФЗ [2]. Аналогичное положение можно распространить и на рассматриваемые ОСТ, которые разрабатывались в условиях ранее действующего законодательства в области обеспечения единства измерений. Однако провести качественный анализ ОСТ в целях выявления вышеупомянутых противоречий, выработки обоснованных решений по применению тех или иных положений ОСТ собственными силами организациям не всегда удается в силу имеющегося дефицита высококвалифицированных метрологов. Проблема усугубляется ещё и тем, что требования ОСТ включаются в основу технических заданий на выполнение работ по государственному оборонному заказу (ГОЗ), без каких либо комментариев, связанных с упомянутыми противоречиями. Выполнить требования ГОЗ по метрологическому обеспечению (МлО) изделий АТ военного и (или) специального назначения в условиях действия противоречивых нормативных документов бывает крайне сложно. Не всегда удается убедить государственного заказчика и его военного представителя в отмене действия того или иного положения, регламентированного ОСТ, в силу его противоречия [2], без привлечения и получения необходимых подтверждений от специализированных научно-исследовательских организаций Министерства обороны или Росстандарта.

Не претендуя на абсолютную полноту и детальность анализа, который выполняется обычно разработчиком (ФГУП «НИИСУ») в ходе актуализации каждого СТО в отдельности, автор попытался показать основные противоречия ряда положений отдельных СТО, из числа указанных в табл.1, и дать рекомендации по их выполнению в свете действующего законодательства по обеспечению единства измерений (ОЕИ). Результаты работы представлены в табл.2.

Таблица 2

Обозначение и наименование ОСТ	Назначение	Противоречия	Рекомендации
ОСТ 1 00370-96 МлО изделий АТ. Основные положения	Устанавливает основные положения по МлО изделий АТ и их составных частей (СЧ) на стадиях разработки, производства и эксплуатации	1. Отсутствует ведомственный контроль за состоянием и применением ОСИ и РСИ. 2. Упразднены ведомственная поверка и аттестация СИ. 3. Изменились участники и функции организационной основы МлО, например, МлС ГУАП Госкомоборон-пром РФ, Госстандарт РФ.	1. Контроль за ОСИ и РСИ и МлО оборонной продукции (ОП) в целом может осуществлять гос. заказчик (ВП МО РФ) 2. Проверку СИ проводить силами аккредитованных в области ОЕИ юр. лиц или индивид. предпринимателей (ИП) 3. Орг. основу МлО ОП образуют: Минпромторг Росстандарт, ГНМИ, ГРМЦ, Минэкономразвития России, Росаккредитация, гос. заказчик оборонного заказа, ГНМЦ, ВП МО РФ, аккредит. юр. лица и ИП
Обозначение и наименование ОСТ	Назначение	Противоречия	Рекомендации
ОСТ 1 00336-2008 МлО изделий АТ. Общие требования	Устанавливает требования к МлО изделий АТ и их СЧ	1. Отсутствуют указания о различных требованиях к методам и средствам ОЕИ согласно [2]: в сфере государственного регулирования (СГР) и вне СГР ОЕИ 2. В п. 5.4.8 имеется ссылка на отмененную форму подтверждения метрологической пригодности СИЕИ – «аттестацию»	1. Установить требования к методам и средствам ОЕИ при выполнении ГОЗ с учетом обязательных метрологических требований в СГР ОЕИ согласно [2] 2. В п. 5.4.8 предусмотреть поверку (калибровку) СИЕИ вместо аттестации
ОСТ 1 00425-2008 МлО постановки на производство изделий АТ. Общие положения	Устанавливает требования к планированию, перечню и содержанию работ по МлО постановки на производство изделий АТ	Не правомерно планируются работы по разработке программ метрологической аттестации СИ единичного изготовления (ЕИ) и их реализации	Заменить аттестацию СИЕИ на калибровку (вне СГР ОЕИ) или испытания в целях утверждения типа (ИЦУТ) и поверку (в СГР ОЕИ)

ОСТ 1 00214-2005 Порядок проведения анализа состояния МлО изделий на п/я авиационной промышленности (АП)	Устанавливает цели, задачи, организацию и порядок проведения анализа состояния МлО изделий АТ	Не возможно реализовать требования п.3.10 по доведению показателей оценки уровня МлО предприятий до Центральной головной организации МлС АП	Использовать положения ОСТ при организации и осуществлении метрологического надзора силами МлС предприятия или мониторинге процессов МлО в рамках сертифицированной СМК
ОСТ 1 00221-2005 Метрологическая экспертиза (МЭ) ТЗ, КД и ТД. Организация и порядок проведения.	Устанавливает организацию и порядок проведения МЭ ТЗ, КД и ТД, извещений об их изменениях на предприятиях АП	Не установлены особенности организации и проведения обязательной МЭ ТЗ, технической документации в СГР ОЕИ	Обязательную МЭ ТЗ, КД и ТД, извещений об их изменениях проводить силами аккредитованных в области ОЕИ юр. лиц или ИП
ОСТ 1 02656-2008 Документация конструкторская и технологическая. Общие метрологические требования к разработке.	Устанавливает цели, задачи, организацию и порядок проведения анализа состояния МлО изделий АТ	Не возможно реализовать требования п.3.10 по доведению показателей оценки уровня МлО предприятия до Центральной головной организации МлС АП	Использовать положения ОСТ при организации и осуществлении метрологического надзора силами МлС предприятия или мониторинга процессов МлО в рамках сертифицированных СМК
Обозначение и наименование ОСТ	Назначение	Противоречия	Рекомендации
ОСТ 1 00441-82 Нестандартизованные средства измерений (НСИ). Построение, содержание, согласование и утверждение ТЗ на ОКР	Устанавливает требования к ТЗ на ОКР по созданию НСИ	С отменой ГОСТ 8.326-89 понятие НСИ упразднено	По сути ОСТ утратил свою силу. Вместо НСИ можно создавать специальные СИ или СИ ЕИ

ОСТ 1 02733-93 Нестандарти- зированные средства изме- рений. Организац. и порядок про- ведения ве- домственных испытаний и метрологиче- ской аттестации	Устанавливает орг- анизацию и поря- док прове-дения ведомственных испытаний (ВИ) и метрологической аттестации (МА) НСИ	1. С отменой ГОСТ 8.326-89 понятие НСИ упразднено 2. Ведомственные испытания не проводятся 3. Аттестация НСИ не леги- тимна	Согласно ГОСТ РВ 0008-001-2013 НСИ, введенные в эксплу- атацию до июня 1993 г. и имеющие неутвержен- ный тип, подлежат повер- ке согласно методикам, установленным при их МА и (или) приведенной в ЭД
ОСТ 1 00231-99 Средства изме- рений единич- ного изготовле- ния. Общие положе- ния и порядок разработки	Устанавливает об- щие положения и порядок разработ- ки СИЕИ	Упразднены аттестация СИЕИ и, как следствие, оформление свидетельства аттестации СИЕИ	1. Для СИЕИ, применя- емых по п 3.2 (вне СГР ОЕИ), вместо аттеста-ции можно предусмат-ривать кали- бровку или поверку 2. Для СИЕИ, применя- емых по п 3.3 (в СГР ОЕИ), вместо аттеста-ции пред- усматривать испытания, совмещен-ные с ИЦУТ, или согласование заказчи-ком возможности применения СИЕИ в СГР ОЕИ, и поверку
ОСТ 1 00424-89 Средства изме- рений единич- ного изготовле- ния. Общие тре- бования к составле-нию программ испытаний и аттестации	Устанавливает об- щие требова-ния к составле-нию про- грамм испытаний и аттестации (ПИ и ПА) СИЕИ	Не правомерны разработка ПА СИЕИ и их реализация	1. Для СИЕИ, применя- емых вне СГР ОЕИ, вместо ПА предусмат-ривать разработку программ калибровки 2. Для СИЕИ, применя- емых в СГР ОЕИ, предусма- тривать совмещение ПИ с ИЦУТ
Обозначение и наименование ОСТ	Назначение	Противоречия	Рекомендации
ОСТ 1 00340-84 МлО АСК изде- лий АТ. Основные по- ложения	Устанавливает ос- новные положения МлО АСК (бортовых, наземно-бортовых, наземных) изделий АТ на стадиях жизнен-но- го цикла	Работы по анализу МлО АСК сегодня проводятся без уча- стия Центральной головной организации МлС отрасли	Работы по анализу МлО АСК можно проводить с участием МлС созданных корпораций, холдингов предприятий АП

ОСТ 1 00405-80 МлО кон- трольных об- разцов. Основ- ные положения	Устанавливает ос- новные положения МлО разработки, производства и эксплуатации кон- трольных образцов (КО)	Не предусмотрены ИЦУТ в случаях, когда КО являет- ся аналогом стандартного образца (СО) и применяется в СГР ОЕИ	1. При создании КО с нор- мированными МХ для при- менения в СГР ОЕИ можно идентифицировать их в статусе СО и предусматри- вать ИЦУТ. 2. Для КО, применяемых вне СГР ОЕИ, положения ОСТ применяются без ограничений
ОСТ 1 00421-81 Оформление результатов проверки и кали- бровки СИ	Устанавливает тре- бования по оформ- лению результатов проверки и кали- бровки СИ, вклю- чая СИЕИ	1. Неправомерно использу- ет-ся термин «внеочередная» проверка 2. Неправомерно предусмотрено оформление результатов поверки (кали- бровки) СИ аттестатом 3. Неправомерно предусмотрено оформление извещения о непригодности по форме согласно требова- ниям ОСТ 1 00346-79	1. Вместо «внеочеред-ная» использовать термин «первичная» или «перио- дическая» проверка 2. Предусмотреть оформление результатов проверки (калибровки) СИ знаком поверки (кали- бровки) и (или) свидетель- ством (сертификатом) с учётом [9]. 3. Предусмотреть оформ- ление знака непригодно- сти СИ по форме согласно требованиям [10].

Выводы

Показаны противоречия отдельных положений ОСТ требованиям действующего законодательства в области ОЕИ. По результатам анализа противоречий разработаны рекомендации по выполнению требований, установленных к объекту стандартизации в ОСТ, в свете современных требований. Рекомендации могут быть использованы организациями авиационной промышленности в процессах МлО изделий АТ, в том числе при создании стандартов организаций и (или) корпораций.

Литература

1. Федеральный закон от 29 июня 2015 года №162-ФЗ «О стандартизации в Российской Федерации».
2. Федеральный закон от 26 июня 2008 года №102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений».
3. Постановление Правительства РФ от 2 октября 2009 г. №780 «Об особенностях обеспечения единства измерений при осуществлении деятельности в области обороны и безопасности Российской Федерации».
4. Постановление Правительства РФ от 31 октября 2009 г. №879 «Об утверждении Положения о единицах величин, допускаемых к применению в Российской Федерации».
5. Постановление Правительства Российской Федерации от 20 апреля 2010 г. № 250 «О перечне средств измерений, поверка которых осуществляется только аккредитованными в установленном порядке в области обеспечения единства измерений государственными региональными центрами метрологии».
6. Постановление Правительства Российской Федерации от 23 сентября 2010 г. № 734 «Об эталонах единиц величин, используемых в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений»

7. Приказ Минпромторга России от 25.06.2013 г. № 971 «Об утверждении Административного регламента по предоставлению Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии государственной услуги по отнесению технических средств к средствам измерений»
8. Постановление Правительства РФ от 17 октября 2009 г. №822 «Об особенностях стандартизации оборонной продукции (работ, услуг), поставляемой по государственному оборонному заказу, продукции (работ, услуг), используемой в целях защиты сведений, составляющих государственную тайну или относимых к охраняемой в соответствии с законодательством Российской Федерации иной информации ограниченного доступа, продукции (работ, услуг), сведения о которой составляют государственную тайну, а также процессов проектирования (включая изыскания), производства, строительства, монтажа, наладки, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации, утилизации и захоронения указанной продукции».
9. Приказ Минпромторга России от 02 июля 2015 №1815 «Об утверждении Порядка проведения поверки средств измерений, требования к знаку поверки и содержанию свидетельства о поверке».
10. Приказ Минпромторга России от 30 августа 2011 №1325 «Об утверждении Формы знака непригодности средств измерений и Порядка нанесения знака непригодности средств измерений.

Агупов Владимир Александрович, заместитель директора по качеству, доктор технических наук, ПАО «Туполев»

УДК 389.14:53.083

**НОРМАТИВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИСПЫТАНИЙ
СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ**

С.Ф. Левин

Д.т.н., профессор, Московский институт экспертизы и испытаний

Представлен обзор нормативных проблем метрологического обеспечения определительных и контрольных испытаний. Данна краткая характеристика опыта их решения на основе теории измерительных задач и показана возможность его использования при организации метрологического обеспечения экспериментальных исследований и испытаний сложных технических объектов.

UDK 389.14:53.083

**REGULATORY PROBLEMS OF METROLOGICAL SUPPORT
EXPERIMENTAL STUDIES AND TESTS OF COMPLEX TECHNICAL OBJECTS
S. F. Levin**

Doctor of technical sciences, professor, Moscow institute of expertise and testing

In report overview of the normative problems for metrological support of definitive and check tests is presents. Gives a brief description of the experience of their solution based on the theory of measuring problems. Possibility its use in the metrological support organization for experimental research and testing of complex technical objects is considered.

[

УДК 389.14:53.083

**НОРМАТИВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИСПЫТАНИЙ
СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ**

С.Ф. Левин

Д.т.н., профессор, Московский институт экспертизы и испытаний

Экспериментальные исследования и испытания авиационной, ракетно-космической, энергетической и другой сложной техники, к надежности и эффективности которой предъявляются повышенные требования, связаны с разнообразнейшими измерительными задачами, особую роль в которых играют математические модели. Соответственно повышенные требования предъявляются и к точности количественных и достоверности качественных результатов решения таких задач, метрологическому обеспечению которых должно уделяться особое внимание.

С 1 января 2015 года введен в действие ГОСТ Р 8.820–2013 [1], устанавливающий «основные положения метрологического обеспечения измерений» и используемые при этом показатели точности: неопределенность по ГОСТ Р 54500.3–2011 [2], характеристики погрешности по МИ 1317–2004 [3] и ПМГ 96–2009 [4], показатели правильности и прецизионности по ГОСТ Р ИСО 5725-1 [5]. Стандарт требует избегать формулировок типа «требуемая точность средств измерений».

Проблема уже в том, что перечисленные группы «показателей точности» несовместимы, а ГОСТ Р ИСО 5725–2002 [5] и ГОСТ Р 54500.3–2011 [2] не относятся к Государственной системе обеспечения единства измерений (ГСИ) и не соответствуют цели Федерального закона «Об обеспечении единства измерений» – защите «прав и законных интересов граждан, общества и государства от отрицательных последствий недостоверных результатов измерений».

В ГСИ достоверность нормируется доверительной вероятностью в государственных поверочных схемах для доверительных границ погрешности и выбирается из ряда: 0,90; 0,95; 0,99; 1 [8, 4].

В ГОСТ Р ИСО 5725–2002 [5] и ГОСТ Р 54500.3–2011 [2] этих норм нет, вместо них есть вероятность охвата или уровень доверия, которые с доверительной вероятностью и уровнем доверия математической статистики не связаны, а в ПМГ 96–2009 [4] «расширенная неопределенность» отнесена к интервальным оценкам вопреки даже ГОСТ Р 54500.3–2011 [2], где указаны различия между этими терминами и отмечена недостаточность знания «неопределенности измерения» для выбора коэффициента охвата: надо знать закон распределения значений измеряемой величины.

Проблема оценивания точности в условиях априорной неопределенности отнюдь не нова. Еще в ГОСТ 8.207–76 [6] «среднее арифметическое результатов наблюдений» было определено «результатом измерения». Однако к концу XX-го века в нормативных документах ГСИ наметилось расходжение подходов к оцениванию точности результатов решения измерительных задач. Его суть сформулировал замечательный русский метролог Вениамин Алексеевич Кузнецов: «Мы перестали понимать, что такое измерение». Речь шла не только о т.н. «прямых, косвенных, совокупных и совместных» «видах измерений», которые различали по способу математической обработки результатов «обычных» измерений. Этот список пополнили «измерения однократные с ограниченным числом измерений» и многократные, равноточные и неравноточные, статические и динамические, абсолютные и относительные, статистические и даже векторные «измерения». Рост числа таких «видов измерений» не остановили МИ 2222–92 [7], согласно которым «вид измерений определяется родом измеряемой физической величины». Пик числа «видов измерений» пришелся на РМГ 29–99 [8], где в примечаниях было указано, что «строго говоря, измерение всегда прямое».

Проблемы оценивания точности усугубила «гармонизация» терминологии, приведшая к искаению определений известных терминов метрологии и пробелам в математической терминологии.

Понятие «неопределенность» в широком смысле связано с воспроизводимостью в ряду измерений при ее описании распределением вероятностей; в ГОСТ Р 54500.3–2011 [2] фигурирует понятие «неопределенность измерения» в узком смысле – стандартное отклонение или его оценка для распределений Гаусса и равномерного, а композиция для «косвенных измерений» заменена по формуле Тейлора суммарным стандартным отклонением. Также и понятие «прецизионный» подменено ГОСТ Р ИСО 5725–2002 [5] «прецизионностью измерения», которая при различной контролируемости условий характеризует близость результатов повторных измерений тоже стандартным отклонением «в условиях отсутствия необходимых эталонов». В РМГ 29–99 [8] «СКО результата измерения» ГОСТ 8.207–76 [6] стало превращаться в «неопределенность измерения», «СКО единичных результатов измерений» – в «прецизионность измерений», а «среднее арифметическое значение результатов измерений» утверждилось по умолчанию как «результат измерения».

Реакция разработчиков тогда еще проектов РМГ 29–99 [8] и ГОСТ Р ИСО 5725–2002 [5] на критические замечания и предложения по этому поводу была различной.

Разработчики РМГ 29–99 на отзывы и предложения ответили просто: «отклонено». Но в 2002 году Ученый совет ВНИИМ имени Д.И. Менделеева все-таки признал «ошибочными необоснованные стремления, в ряде случаев в угоду мнимой и надуманной гармонизации, сузить богатые возможности русского языка, позволяющего, например, для одного англоязычного термина иметь различные значения, отражающие реально существующие особенности конкретного понятия».

Разработчики же из ВНИИМС ответили: «Замечания, которые мы не смогли учесть, относятся в основном к смыслу и содержанию прототипа ГОСТ Р – международного стандарта ИСО 5725. Сюда входят четыре сформулированные Вами проблемы, возникающие в результате несоответствия моделей объектам измерений, а также количественные условия применимости робастных алгоритмов, перенесение акцента процедур исключения выделяющихся результатов на контроль условий измерений, отождествление понятий, входящих в отношение «система – элемент» и т.д.».

Поэтому уже тогда было ясно, что в потоке международных стандартов и руководств, хлынувших в отечественную метрологию после известных событий, научные редакторы ряда «auténtичных переводов» осознанно или неосознанно не смогли отличить метрологические зерна от метрологических плевел и организовать компетентный входной контроль и этой гуманитарной помощи.

Но даже в условиях «чрезмерной торопливости буквально навязывания силой нового понятия» специалисты ВНИИФТРИ исходили «не только из прямого перевода терминов, сколько из их определений, сохраняя терминологию национальных документов» [9, 10].

«Гармонизация» терминологии усилиями некоторых научных редакторов и переводчиков путем заимствования привела к отсутствию в ГОСТ Р 50779.10–2000 (ISO 3534-1) [11] терминов «композиция», «свёртка» и «смесь распределений» – основы расчетов точности результатов решения измерительных задач, а указание ГОСТ Р 50779.11–2000 (ISO 3534-2) [12] «tolerance interval есть поле [область] допуска» укрепило традиционное заблуждение относительно смысла интервала допустимых значений погрешностей в государственных поверочных схемах. Этот интервал многие до сих пор считают доверительным и используют для его расчета формулы, создающие иллюзию высокой точности. Тот же дефект и у «концепции неопределенности измерения» ГОСТ Р 54500.3–2011 [2], которую еще до начала бесплоднейшей в отечественной метрологии дискуссии о целесообразности ее внедрения в ГСИ Лев Константинович Исаев предлагал использовать, выражаясь словами ГОСТ Р ИСО 5725–2002 [5], только при «отсутствии необходимых эталонов».

Уже тогда математическая статистика стала переходить на критерии достигнутого уровня значимости и расстояний между функциями распределений, что отмечено в Р 50.1.037–2002 [13].

В 1980-е годы, одновременно с «концепцией неопределенности измерения», основанной на уже тогда теряющей популярность «нормальной теории», возникло и другое направление в метрологии – теория измерительных задач. Ее математической основой стали комплекс тео-

рем толерантности, интерполяционная концепция вероятности Гаусса–Фишера и операционное определение погрешности неадекватности для математических моделей объектов измерений как погрешности предсказания в схеме перекрестного наблюдения. Такое определение позволяло обойти трудности проверки сложных гипотез, преодолеть парадокс погрешности аппроксимации, когда при числе параметров модели, равном числу данных совместных измерений, она могла быть равной нулю, и избежать парадокса Эльясберга–Хампеля, когда для любого уровня значимости любая непараметрическая нулевая гипотеза могла быть отвергнута при достаточно большом числе измерений.

В силу специфики расследования обстоятельств катастрофического феномена 1985–1986 годов в авиационной, ракетно-космической и ядерно-энергетической технике, теория измерительных задач почти до начала 1990-х годов оставалась недоступной для открытой печати. Но даже когда в МИ 1967–89 [14] появилось упоминание о погрешности, обусловленной несоответствием модели объекту измерений, а в МИ 2091–90 [15] и ГОСТ Р 22.2.04–94 [16] – название «погрешность неадекватности», этот род погрешности продолжали путать с погрешностью аппроксимации данных совместных измерений математической моделью объекта измерений.

И хотя сразу удалось продвинуться в решении проблем прогнозирования дрейфа характеристик и периодичности поверки средств измерений, а также метрологической аттестации методик решения измерительных задач, включая их программное обеспечение, от «строгой адекватности» МИ 1967–89 [14] пришлось отказаться. В ГСИ нормативно теория измерительных задач оформилась к концу 1990-х годов введением РПТ 507–98 [17] и Р 50.2.004–2000 [18].

В МИ 2916–2005 [19] впервые в документах ГСИ появилась формула для упоминавшейся только названием еще в ГОСТ 8.207–76 [6] «композиции» распределений вероятностей и ее важный частный случай – семейство центральных распределений, которое Поль Леви еще в 1925 году использовал для разработки теории характеристических функций. При идентификации распределений вероятностей по критериям воспроизводимости [18] и с учетом их неадекватности были улучшены оценки метода максимального правдоподобия даже для распределения Гаусса [19].

ГОСТ Р ИСО 16269-6–2005 [20] определил термин «толерантный интервал» как «интервал, определенный по случайной выборке таким способом, что можно утверждать с указанным уровнем доверия, что интервал содержит не менее чем заданную долю совокупности», а в примечаниях было отмечено, что «Уровень доверия в этом случае – предел доли интервалов, определенных указанным способом, которые будут включать в себя не менее чем заданную долю совокупности, при бесконечном увеличении повторений метода». Правда в приложении G формула Уилкса–Роббинса была дана с ошибкой: при раскрытии скобок вероятность получалась отрицательной.

ГОСТ Р ИСО 10576-1–2006 [21] содержал два характерных положения:

4.1.4 Устанавливаемые предельные значения не должны включать в себя (в явном или неявном виде) неопределенность измерений.

5.2 ... Неопределенность измерений следует представлять в виде интервала неопределенности. Если этот интервал является доверительным интервалом, необходимо указывать доверительную вероятность ($1-\alpha$), соответствующую интервалу (см. пп. 2.57 и 2.59 ИСО 3534-1). В противном случае следует указывать коэффициент охвата интервала неопределенности (см. [1], п. 6.2.1).

Так как ИСО 3534-1 или ГОСТ Р 50779.10–2000 [11] в п.2.57 определен термин «двусторонний доверительный интервал» оценки параметра распределения, а в п.6.2.1 ГОСТ Р 54500.3–2011 [2] дано определение расширенной неопределенности, то отсюда следует, что расширенная неопределенность характеризует оценку не измеряемой величины, а лишь «экспериментальное стандартное отклонение среднего значения» приписываемого этой величине распределения.

Согласно же ГОСТ Р 8.624–2006 [22] в браковочное условие методики поверки термометров сопротивления (критерий годности) впервые в практике поверки средств измерений была вве-

дена расширенная неопределенность измерения и дан пример ее расчёта. Этот пример был «пересчитан» согласно ГОСТ Р 50779.21–2004 [23] и МИ 2916–2005 [19], причем было показано [24]: суммарная стандартная неопределенность не является состоятельной статистической оценкой параметра рассеяния для композиции распределений вероятностей разного вида; расширенная неопределенность результата поверки не является интервальной оценкой математической статистики и приводит к некорректному выбору эталонов; не учитывается усеченность реальных распределений и неадекватность математических моделей контролируемых величин и функций распределения вероятностей; доверительную вероятность при норме P следует согласно ГОСТ Р 50779.21–2004 [23] брать равной $P^{1/m}$, т.е. по числу m оцениваемых параметров распределения для выборки.

Отсюда следовала необходимость исключения расширенной неопределенности из браковочных условий методик поверки и использование для расчета достоверности поверки границ допуска на погрешность в качестве границ толерантного интервала с проверкой соответствия норме доверительной вероятности согласно государственной поверочной схеме.

Только после этого, не считая попыток заблокировать публикацию статьи, последовала, как по команде, беспрецедентная по раздраженности реакция двух ведущих специалистов теоретического отдела ВНИИМ имени Д.И. Менделеева в письмах в редакцию «Измерительной техники». Авторы этих писем непосредственного участия в разработке методики поверки термометров со противления не принимали, но в своей деятельности по распространению положений «концепции неопределенности измерения» они умалчивали о предостережениях в приложениях к первоисточнику ГОСТ Р 54500.3–2011 [25].

2006 год отметился еще двумя событиями.

Ведущие метрологи ВНИИФТРИ в статье [26] обратили внимание на то, что формулы для доверительной границы погрешности результата измерения в МИ 1552–86 и МИ 2083–90 являются неверными. Они предложили другие приближенные формулы в связи с тем, что вычисление композиции затруднено. В то же время в ГОСТ Р ИСО 10155–2006 [27] было дано определение термина толерантный интервал: интервал, имеющий нижнюю и верхнюю границы, в котором определенная доля совокупности лежит при заданном уровне доверия.

ГОСТ Р 8.624–2006 [22] превратился в ГОСТ 8.461–2009 [28] с тем же примером расчета неопределенности. Но и на этот раз путаница между «СКО результата измерения» и «СКО единичных результатов измерений», которая была указана в отзыве на проект РМГ 29–99 и которую пытались исправить Изменением № 2 и заменой ГОСТ 8.207–76 на ГОСТ Р 8.736–2011 [29], сыграла с разработчиками злую шутку: при правильном согласно тексту стандарта расчете расширенной неопределенности вывод о пригодности средств поверки оказался противоположным.

Более ранней иллюстрацией последствий внедрения положений GUM в нормативные документы ГСИ был пример в Р 50.2.028–2003 [30] расчета методом наименьших квадратов градиуровочной характеристики хроматографа с 95%-й полосой «расширенной неопределенности», в которую вошло 12 из 35 отсчетов в 7 точках диапазона градиуровки [31].

В 2008 году проверка программы «Расходомер ИСО» на предмет расчета расширенной неопределенности согласно ГОСТ 8.586.5–2005 [32] путем решения соответствующей измерительной задачи [33] даже без учета характеристик погрешности неадекватности поспособствовала замене дифференциальных манометров в узлах учета газа почти на порядок более точными датчиками давления. Попутно было обращено внимание специалистов-метрологов на проблему качества метрологической аттестации программного обеспечения методик решения измерительных задач [34].

Нормативные проблемы метрологического обеспечения определительных и контрольных испытаний средств измерений с еще большей остротой возникают при экспериментальных исследованиях и испытаниях сложных технических объектов как объектов измерений. При этом действует правило: «Любая метрологическая деятельность начинается с постановки измерительной задачи».

Согласно Р 50.2.004–2000 [18] постановка измерительной задачи должна содержать указание:

1) характеристики модели объекта измерений с диапазонами изменения переменных; 2) условий измерений в виде перечней доступных изменениям и измерению переменных модели объекта, допустимых значений влияющих величин и характеристик средств измерений; 3) цели задачи в терминах характеристик модели объекта; 4) формы представления результата и требований к его точности в виде доверительных границ погрешности и соответствующей доверительной вероятности.

Метрологическое обеспечение определительных и контрольных испытаний объектов включает:

1) разработку математических моделей измерительного контроля; 2) выбор вида контроля (качества, исправности, работоспособности, аварийных параметров, диагностики), объема и алгоритма контроля, а также критериев принятия решений; 3) установление границ на контролируемые параметры и выбор метрологических характеристик средств измерительного контроля и испытаний; 4) разработку методов, средств и систем измерительного контроля и испытаний, в том числе контрольно-испытательных моделирующих стендов для полунатурных испытаний; 5) аттестацию контрольно-испытательных систем.

Актуальными являются следующие проблемы метрологического обеспечения испытаний:

1) установления и подтверждения норм доверительной вероятности при испытаниях; 2) установления параметров и метрологической аттестации методик решения измерительных задач испытаний и их программного обеспечения; 3) структурно-параметрической идентификации функциональных характеристик объектов; 4) применимости статистических методов.

Теория измерительных задач позволила формализовать и решить проблемы прогнозирования характеристик бортового оборудования изделий с длительными сроками активного существования, установления межповерочных интервалов эталонов по данным испытаний на стабильность, метрологической аттестации программного обеспечения и оценивания апостериорной достоверности поверки средств измерений. На этой основе были разработаны системы прогнозирующего метрологического сопровождения «Полет–ММК» контрольно-испытательных моделирующих динамических стендов, «ПОРКАТ» контроля бортового оборудования самолетов ИЛ-62(М) и ИЛ-96-300, «Прогноз–ММКМЕД» эталонов и др.

Выводы

Представлен обзор нормативных проблем метрологического обеспечения определительных и контрольных испытаний. Дано краткая характеристика опыта их решения на основе теории измерительных задач и показана возможность его использования при организации метрологического обеспечения экспериментальных исследований и испытаний сложных технических объектов.

Литература

1. ГОСТ Р 8.820–2013 ГСИ. Метрологическое обеспечение. Основные положения.
2. ГОСТ Р 54500.3–2011/Руководство ИСО/МЭК 98-3:2008. Неопределенность измерения. Часть 3. Руководство по выражению неопределенности измерения.
3. МИ 1317–2004 ГСИ. Результаты и характеристики погрешности измерений. Формы представления. Способы использования при испытаниях образцов продукции и контроле их параметров.
4. ПМГ 96–2009 ГСИ. Результаты и характеристики качества измерений. Формы представления.
5. ГОСТ Р ИСО 5725-1–2002 Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений.

6. ГОСТ 8.207–76 ГСИ. Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений. Основные положения.
7. МИ 2222–92 ГСИ. Виды измерений. Классификация.
8. РМГ 29–99 ГСИ. Метрология. Основные термины и определения.
9. Тищенко В.А., Токатлы В.И., Лукьянов В.И. О переводе и заимствовании терминологии из международных метрологических документов // Измерительная техника. 2003. № 10. С. 12–16.
10. Чуйко В.Г. О влиянии новых терминов на работу практикующего метролога // Измерительная техника. 2004. № 1. С. 20–23.
11. ГОСТ Р 50779.10–2000 (ISO 3534-1) Статистические методы. Вероятность и основы статистики. Термины и определения.
12. ГОСТ Р 50779.11–2000 (ISO 3534-2) Статистические методы. Статистическое управление качеством. Термины и определения.
13. Р 50.1.037–2002 Прикладная статистика. Правила проверки согласия опытного распределения с теоретическим. Часть II. Непараметрические критерии.
14. МИ 1967–89 ГСИ. Выбор методов и средств измерений при разработке методик выполнения измерений. Общие положения.
15. МИ 2091–90 ГСИ. Измерения физических величин. Общие требования.
16. ГОСТ Р 22.2.04–94 Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Техногенные аварии и катастрофы. Метрологическое обеспечение контроля состояния сложных технических систем. Основные положения и правила.
17. РРТ 507–98 ГСИ. Задачи измерительные. Методы решения. Термины и определения.
18. Р 50.2.004–2000 ГСИ. Определение характеристик математических моделей зависимостей между физическими величинами при решении измерительных задач. Основные положения.
19. МИ 2916–2005 ГСИ. Идентификация распределений вероятностей при решении измерительных задач.
20. ГОСТ Р ИСО 16269-6–2005 Статистические методы. Статистическое представление данных. Определение статистических толерантных интервалов.
21. ГОСТ Р ИСО 10576.1–2006 Статистические методы. Руководство по оценке соответствия установленным требованиям. Часть 1. Общие принципы.
22. ГОСТ Р 8.624–2006 ГСИ. Термометры сопротивления из платины, меди и никеля. Методика поверки.
23. ГОСТ Р 50779.21–2004 Статистические методы. Правила определения и методы расчета статистических характеристик по выборочным данным. Часть 1. Нормальное распределение.
24. Левин С.Ф. Неопределенность в узком и широком смыслах результатов поверки средств измерений // Измерительная техника. 2007. № 9. С. 15–19.
25. Руководство по выражению неопределенности измерения. Пер. с англ. – СПб: ВНИИМ им. Д.И. Менделеева, 1999.
26. Тищенко В.А., Токатлы В.И., Лукьянов В.И. Комментарии к метрологическим документам, регламентирующим обработку результатов измерений // Законодательная и прикладная метрология. 2006. № 4. С. 7–12.
27. ГОСТ Р ИСО 10155–2006 Выбросы стационарных источников. Автоматический мониторинг массовой концентрации твердых частиц. Характеристики измерительных систем, методы испытаний и технические требования.

28. ГОСТ 8.461–2009 ГСИ. Термометры сопротивления из платины, меди и никеля. Методика поверки.
29. ГОСТ Р 8.736–2011 ГСИ. Измерения прямые многократные. Методы обработки результатов измерений. Основные положения.
30. Р 50.2.028–2003 ГСИ. Алгоритмы построение градуировочных характеристик средств измерений состава веществ и материалов и оценивание их погрешностей (неопределенностей). Оценивание погрешности (неопределенности) линейных градуировочных характеристик при использовании метода наименьших квадратов.
31. Левин С.Ф. Обеспечение единства измерений при градуировке измерительных преобразователей. // Измерительная техника. 2006. № 7. С. 8–14.
32. ГОСТ 8.586.5–2005 ГСИ. Измерение расхода и количества жидкостей и газов с помощью стандартных сужающих устройств. Часть 5. Методика выполнения измерений.
33. Левин С.Ф. Математическая теория измерительных задач: Приложения. Решение измерительной задачи определения объемного расхода газа на основе аппроксимации «точной» модели // Контрольно-измерительные приборы и системы. 2008. № 3, с. 24–28; № 4, с. 37.
34. Левин С.Ф. Статистические методы и метрологическая аттестация программного обеспечения измерительных систем // Измерительная техника. 2008. № 11. С. 14–19.

Сведения об авторе

Левин Сергей Федорович – проректор по учебной и научной работе МИЭИ, зав. кафедрой метрологии и метрологического обеспечения, д.т.н., профессор.

**СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ НОРМАТИВНО-МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО
ОБЕСПЕЧЕНИЯ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

В.М. Лахов

**К.ф.-м.н., профессор, заместитель директора по научной работе
ФГУП «ВНИИМС»**

В связи с введением в действие Федерального закона № 254-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон «Об обеспечении единства измерений» № 102-ФЗ», в него внесены изменения в 14 из 29 статей, а также предполагалась разработка целого ряда нормативных правовых документов, обеспечивающих реализацию положений федеральных законов № 102-ФЗ и № 254-ФЗ.

В докладе будут рассмотрены задачи метрологических служб организаций и предприятий по внедрению положений вышеназванных законов, а также разработанных нормативных правовых актов, обеспечивающих их реализацию.

Особое место в докладе уделяется организации и проведению работ по формированию современного облика метрологической службы организации, предприятия на основе международного и отечественного опыта.

В докладе дается обзор современного состояния проведения метрологических работ под эгидой международных и региональных метрологических организаций (МОЗМ, МБМВ, МКЗМ, МГС, КООМЕТ, ЕЭС и другие).

УДК 620.9

ПРОБЛЕМЫ ВЫСОКОТОЧНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ В АЭРОКОСМИЧЕСКОЙ СФЕРЕ

Е.П. Кривцов

К.т.н., заместитель директора по научной работе

ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева»

Анализ возможностей достижения максимальной точности при калибровке прецизионных средств измерений в аэрокосмической сфере. Рассмотрение основных источников снижения точности, связанных с методами воспроизведения и передачи единиц, применяемыми в эталонном оборудовании различного уровня, возможные пути решения проблемы.

UDC 620.9

THE PROBLEM OF HIGH-ACCURACY MEASUREMENTS IN AEROSPACE

E.P. Krivtsov

Cand. of techn. Sciences, D. I. Mendeleyev Institute for Metrology (FGUP "VNIIM")

Analysis of possibilities to achieve maximal precision in the calibration of precision measuring instruments in aerospace. Consideration of the main sources of reduced precision associated with the methods of reproduction and transfer of the units used in the standard equipment at various levels, possible ways of solution.

УДК 620.9

ПРОБЛЕМЫ ВЫСОКОТОЧНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ В АЭРОКОСМИЧЕСКОЙ СФЕРЕ**Е.П. Кривцов****К.т.н., заместитель директора по научной работе****ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева»**

Авиация и космонавтика выдвигают серьезные требования к измерительной технике по точности, которая в значительной степени определяется уровнем методов и средств применяемого метрологического обеспечения.

Для некоторых видов измерений задачи аэрокосмической сферы стали стимулом модернизации эталонной базы РФ и создания ряда уникальных установок метрологического назначения.

Целью доклада является освещение проблем, которые существуют при обеспечении единства высокоточных измерений, в т. ч. в аэрокосмической сфере.

При решении задачи обеспечения максимально возможной точности при калибровке или поверке средств измерений (СИ) существует проблема, связанная со статусом метрологических установок, которые могут быть при этом использованы.

С наивысшей точностью воспроизводят и передают единицы величин государственные первичные эталоны (ГПЭ) и государственные первичные специальные эталоны (ГПСЭ) (как разновидность первичных эталонов для особых условий, когда передача единиц от ГПЭ является неоправданной).

Очевидно, что наивысшую точность при калибровке, поверке или испытаниях могут обеспечить именно ГПЭ (ГПСЭ). Хотя их основной функцией является передача единиц эталонам нижестоящих разрядов, в ряде поверочных схем предусмотрена передача единиц от ГПЭ (ГПСЭ) в обход вторичных эталонов (ВЭ) непосредственно СИ высшей точности. Если этого нет, остается возможность воспользоваться тем, что ГОСТы, регламентирующие государственные поверочные схемы (ГПС), в настоящее время носят рекомендательный характер. К сожалению, ГПЭ (ГПСЭ) не могут полностью удовлетворить потребности авиационной и космической отраслей, поскольку первичные эталоны существуют в единичных экземплярах и в соответствии со статусом и федеральным законом «Об обеспечении единства измерений» (ФЗ 102) находятся в метрологических институтах Росстандарта.

Наиболее реальным средством выполнить исследование метрологических характеристик высокоточных СИ в настоящее время являются ВЭ (эталоны, получающие единицу непосредственно от первичных). Они могут находиться на предприятиях в собственности, их количество не регламентировано, но поскольку они не воспроизводят единицу, а получают ее, хотя и непосредственно от первичных эталонов, их точность несколько меньше - на величину, соответствующую потерям при передаче.

Рассмотрим, какими могут быть эти потери только из-за статуса при условии, что предприятие располагает установкой, абсолютно аналогичной находящемуся в НМИ ГПЭ. В этом случае передача единицы осуществляется методом сличения. Этот метод широко распространен и во многих случаях дает хорошие результаты. Методики измерений отработаны в международных сличениях национальных эталонов, проводимых Международным бюро мер и весов и региональными метрологическими организациями.

В результате таких сличений для эталонов подтверждаются (в случае положительных результатов) неопределенности, полученные их держателями при исследованиях на основе методик, учитывающих значимые составляющие неопределенностей для выбранного метода, реализующей его установки и условий эксплуатации.

В то же время при сличениях ГПЭ и ВЭ в бюджет неопределенности ВЭ включают составляющие, связанные с характеристиками метода сличения – характеристики компараторов или мер, которые при этом использовались.

С минимальными потерями точности можно сравнить, например, длины волн лазеров, частоты, параметры электрических сигналов, массу гирь и т. д. Для сличений используются измерительные системы – компараторы (например, компаратор масс) или меры со стабильными свойствами (например, меры проводимости).

В то же время для некоторых видов измерений потери точности при калибровке ВЭ методом сличений являются значительными.

Примерами здесь могут служить измерения плоского угла, давления, силы, параметров вибрации, постоянного линейного ускорения и др.

В частности, для плоского угла последние, проведенные в 2000 – 2002 г.г. ключевые сличения CCL-K3 показали, что стабильность мер угла (в частности – правильной многогранной призмы, которая исследовалась в процессе сличений) оказалась недостаточной для подтверждения эквивалентности первичных эталонов на высоком уровне точности. Отсутствие в течение почти 15 лет ключевых сличений в области измерения угла подтверждает их низкую значимость при использовании многогранной призмы. Соответственно, ее применение в качестве инструмента для калибровки ВЭ методом сличения существенно снижает его метрологические характеристики по сравнению с ГПЭ.

Второй пример - измерения параметров вибрации - ускорения, скорости или перемещения при колебательном движении. Первичный эталон - вибростенд с лазерным интерферометром. В сличениях (CCAUV.V-K2), в которых участвовали 15 НМИ в период с августа 2009 по декабрь 2011 г., в качестве транспортируемого эталона использовались два наиболее точных, специально отобранных акселерометра. Тем не менее, из результатов сличений следует, что, именно акселерометры явились основными источниками неопределенностей. В этой ситуации для вибростенда в ранге вторичного эталона, оснащенного лазерным интерферометром, но получившего единицу в соответствии с методикой, регламентированной ГОСТ Р 8.815-2013 «Государственная система обеспечения единства измерений. Вторичные эталоны единиц длины, скорости и ускорения при колебательном движении твердого тела. Методика сличений» будет значимая потеря точности по сравнению с ГПЭ.

Вторая проблема обеспечения высокоточных измерений связана с легитимностью децентрализованного воспроизведения единиц.

Такое воспроизведение единиц основывается на использовании эталонов, заимствованных из других ПС, и реализовано для определенных условий и частей диапазонов, когда применение ГПЭ и ГПСЭ нецелесообразно или невозможно.

Однако в статье «Требования к эталонам единиц величин» в ФЗ 102 «Об обеспечении единства измерений», сказано, что «в Российской Федерации должны применяться эталоны единиц величин, прослеживаемые к государственным первичным эталонам соответствующих единиц величин».

Нецелесообразность прослеживаемости к ГПЭ калибруемой единицы часто связана с потерей точности.

Примером может служить применение эталонов массы – гирь при калибровке высокоточных динамометров. Метод непосредственного нагружения является наиболее точным, что подтверждается его использованием в первичном эталоне силы. В то же время обязательная прослеживаемость к ГПЭ соответствующей единице не допускает использования эталонов массы при калибровке высокоточных динамометров, т. е. должны применяться эталонные силозадающие машины, которые получают единицу от ГПЭ силы по цепочке, дающей потерю точности.

Вторым аспектом при обязательной прослеживаемости именно к «соответствующему» ГПЭ являются проблемы расширения диапазонов при централизованном воспроизведении.

Для некоторых видов измерений расширение диапазонов, в которых необходима калибровка и поверка измерительных систем, требует материальных затрат на содержание и капитальные вложения, непосильных для метрологических институтов Росстандарта. К таким областям можно

отнести измерения скорости потока газа, линейных ускорений, параметров ионизирующих излучений и др. В диапазонах больших значений установки для высокоточной калибровки (аэродинамические трубы, центрифуги, ускорители) иногда представляют уникальные объекты, требующие серьезного инфраструктурного обеспечения. Как правило, такие установки локализованы в отраслевых предприятиях и зачастую их диапазоны настолько отличаются от диапазонов ГПЭ, что прослеживаемость в форме сличений или цепочек калибровок невозможна технически.

Для некоторых видов измерений невозможность прослеживаемости к ГПЭ (ГПСЭ) связана просто с их отсутствием.

В этом случае до выхода ФЗ 102 задача решалась с помощью установок высшей точности (УВТ), разработка и эксплуатация которых регламентирована ГОСТ 8.525-85 «Установки высшей точности для воспроизведения физических величин». В соответствии с документом УВТ предназначены «для локально децентрализованного воспроизведения в особых условиях единицы физической величины с наивысшей точностью, достигнутой в стране в данной области измерений и передачи ее размера нижестоящим СИ». УВТ фактически были аналогами ГПСЭ с тем отличием, что могли создаваться не только в системе Росстандарта, но и организациями других министерств. Кроме этого, разработка государственных поверочных схем (ГПС) не была обязательной. Примером могут служить измерения объема. Для объема жидкости ФЗ 102 фактически лишил статуса эталона УВТ, предусмотренную ГОСТ 8.510-2002 (ГПС для СИ объема и массы жидкости) и состоящую из комплекса эталонов, заимствованных из других поверочных схем.

Другим примером может служить поверка измерителей скорости с использованием эталонного оборудования на основе генераторов импульсов для автомобильных спидометров или на основе методов воспроизведения соответствующей доплеровской частоты для автомобильных радаров. Такое эталонное оборудование, реализующее имитационные методы, позволяет проводить поверку и калибровку с минимальными материальными затратами и потерями точности.

УВТ способны взять на себя решение задач метрологического обеспечения специфических, сугубо ведомственных, и ограниченных по количеству СИ, сдерживая неоправданный рост количества ГПЭ (ГПСЭ) и максимально сокращая цепочку от воспроизведения единицы до калибруемого СИ. С их применением, которое в настоящее время сдерживается существующими нормативной базой, проблемы метрологического обеспечения высокоточных измерений, могли бы решаться более эффективно при использовании уже имеющихся технических возможностей.

Определенный прогресс в развитие нормативной базы внесло введение понятия первичная референтная методика измерений (ПРМИ):

-сначала в РМГ 29-2013 Метрология. Основные термины и определения, где ПРМИ определяется как «Референтная методика измерений, которая используется для получения результата измерения без сравнения с эталоном единицы величины того же рода»

-а затем в дополнения в ФЗ 102 (от 21.07.2014): первичная референтная методика (метод) измерений - референтная методика (метод) измерений, позволяющая получать результаты измерений без их прослеживаемости.

Необходимо отметить, что введение термина определяет понятие, широко используемое в метрологической практике, в первую очередь, в первичных эталонах. Так международный словарь по метрологии (VIM) определяет первичный эталон – как «эталон, основанный на использовании ПРМИ или созданный как артефакт, выбранный по соглашению»

Таким образом, для видов измерений, где созданы соответствующие ГПЭ, существуют ПРМИ, formalizованные в документах, прилагаемых к ГПЭ (состав, правила хранения и применения, включающие методику исследований, и доклад, содержащий результаты).

Несомненно, что ПРМИ являются также необходимыми условиями УВТ.

Кроме этого, в международной метрологической практике для понятия ПРМИ используется термин «первичный метод измерений в системе СИ», определяемый как метод, имеющий наивысшие метрологические свойства, модель (математическое уравнение) и реализация которого полностью описаны и поняты в терминах единиц системы СИ.

Такое определение дает возможность расширенного толкования понятия прослеживаемости как совокупности сличений и калибровок, связывающих результат не с одним конкретным первичным эталоном, а с набором эталонов единиц СИ. Состав эталонов определяется выбором метода воспроизведения единицы (выбором ПРМИ) для получения результатов калибровок с максимальной точностью.

При этом в случае децентрализованного воспроизведения единство измерений обеспечивается нормами выбранной ПРМИ и принципами построения системы единиц СИ.

**ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ ПОРЯДКА ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ
СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ ЕДИНИЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА
В ЦЕЛЯХ УТВЕРЖДЕНИЯ ТИПА**

Ф.И. Храпов

Д.т.н., заместитель генерального директора – начальник НИО-10

ФГУП «ВНИИФТРИ»

Для осуществления измерений при разработке и производстве продукции, как правило, стаются использовать общепромышленные средства измерений. В связи с тем, что номенклатура общепромышленных средств измерений ограничена и унифицирована, далеко не всегда удается выбрать из каталогов средства измерений, полностью удовлетворяющие заданным условиям получения измерительной информации. Бывает, что требуемые для решения измерительных задач отдельные свойства средств измерений отличаются от тех, которыми обладают средства измерений общепромышленного назначения. В одних случаях — это метрологические характеристики, в других — габаритные размеры или масса, в третьих — условия эксплуатации и т. д. Нередки случаи, когда выбранные из каталогов средства измерений, хотя и удовлетворяют предъявляемым к ним требованиям, применять экономически нецелесообразно, так как не все технические возможности этих средств рационально используются при измерениях или их стоимость (обычно универсальных средств) превышает экономический эффект от внедрения самого технологического или испытательного процесса и т. д. Безусловно, выбор средств измерений должен опираться на технико-экономическую основу. С одной стороны, не должны быть допущены потери объема или точности информации, с другой, — неполное использование каких-либо информативных параметров или свойств средств измерений, вызывает необоснованные потери материальных ресурсов. Все это вынуждает при решении на предприятиях конкретных измерительных задач ставить вопрос о создании средств измерений со специфическими эксплуатационными характеристиками.

Важность и огромные масштабы применения таких средств измерений, их непосредственное влияние на качество выпускаемой продукции требуют установления такого порядка при разработке, изготовлении, внедрении в эксплуатацию и эксплуатации этих средств, при котором, с одной стороны, будет полностью исключена вероятность применения средств, не обеспечивающих достоверных результатов измерений, а с другой стороны, временные и финансовые затраты на данные мероприятия будут приемлемыми.

До введения в действие Федерального закона РФ «Об обеспечении единства измерений» 1993 года данная категория средств измерений была отнесена к категории «нестандартизованных средств измерений». К **нестандартизованным** средствам измерений относили средства, которые изготавливают единичными экземплярами или разовыми партиями и подвергают взамен государственных испытаний (см. ГОСТ 8.001—80 (не действует) метрологической аттестации (см. ГОСТ 8.326-89 (не действует)). При этом допускалось метрологическую аттестацию рабочих средств и измерений проводить силами метрологических служб предприятий. Такая организация работ имела следующие преимущества:

- высокая оперативность работ;
- низкие затраты на проведение работ;
- поддержание высокой компетентности метрологических служб предприятий.

Среди недостатков такого подхода можно отметить сложности контроля за качеством проведения метрологической аттестации.

После принятия в 1993 году Федерального закона «Об обеспечении единства измерений», по-сущи, для сферы государственного регулирования обеспечения единства измерений понятие «нестандартизованное средство измерений» было устранено. При этом к средствам измерений, которые изготавливают единичными экземплярами или разовыми партиями, как и к средствам из-

мерений серийного производства, применяется процедура испытаний для целей утверждения типа.

Достоинствами данной процедуры является:

- многоступенчатый контроль качества выполнения работ (аккредитация ГЦИ СИ, проведение инспекционного контроля их деятельности, экспертиза материалов испытаний специалистами ВНИИМС, процедуры продления срока действия свидетельств об утверждении типа СИ и т.д.);
- возможность формирования единого государственного реестра средств измерений и обеспечение доступа к нему заинтересованных лиц и организаций.

На мой взгляд, существующая процедура оценки соответствия средств измерений в виде испытаний для целей утверждения типа является эффективной для средств измерений серийного производства, при этом указанные выше достоинства используются в полной мере. Однако платой за это является существенные финансовые и временные затраты на проведение данных работ. И если для серийно производимых СИ такие затраты ложатся на производителя СИ и в большинстве случаев он считает их оправданными, то для СИ единичного изготовления такие затраты зачастую бывают неприемлемыми.

Как результат – средства измерений единичного изготовления на предприятиях стараются отнести к другим видам технических устройств (контрольное оборудование, испытательное оборудование, индикаторы и т.д.), процедуры оценки соответствия которых существенно проще и менее затратные.

Необходимость решения данной проблемы неоднократно поднималась представителями предприятий промышленности на различных уровнях (Конференции, НТС ВПК, в предложениях ФОИВ по совершенствованию метрологического обеспечения в ВПК и т.д.), однако на данный момент ситуация по данному вопросу остается сложной. При этом возвращение к процедуре метрологической аттестации нестандартизированных средств измерений нецелесообразна по объективным причинам:

- данная процедура не предусмотрена законодательством;
- затруднен контроль за качеством выполнения работ;
- не предусмотрена процедура предоставления сведений в ФИФ.

Однако в настоящее время появились предпосылки для выхода из данной ситуации.

В соответствии с принятым в 2008 году Федеральным законом «Об обеспечении единства измерений» ФЗ-102 в отношении эталонов единиц величин в качестве процедуры оценки соответствия предусмотрена их аттестация. Одним из оснований для принятия такого решения являлось наличие индивидуальных метрологических характеристик у экземпляров эталонов, а утверждение типа в данном случае не позволяет учитывать эти индивидуальные особенности.

Нормативными документами, регламентирующими процедуру аттестации эталонов (Постановление Правительства РФ от 23 сентября 2010 г. № 734 «Об эталонах единиц величин, используемых в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений», Приказ Росстандарта от 22.01.2014 № 36 «Об утверждении рекомендаций по проведению первичной и периодической аттестации и подготовке к утверждению эталонов единиц величин, используемых в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений»), предусмотрено следующее.

1. В качестве государственных эталонов могут быть аттестованы средства измерений неутвержденноного типа.
2. Первичная аттестация эталонов единиц величин осуществляется юридическими лицами и индивидуальными предпринимателями, содержащими и применяющими эталоны единиц величин.
3. Утверждение эталонов и организацию внесения сведений о них в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений (далее Фонд) осуществляет Феде-

ральное агентство по техническому регулированию и метрологии (далее Росстандарт) на основании заявки держателя эталона и ее экспертизы.

При этом для реализации п.3 в Росстандарте создана система электронного документооборота (ЭДО). Общие принципы ее функционирования следующие.

В электронном документообороте (ЭДО) через своих представителей участвуют:

1. Заявитель - держатель эталонов.

Для регистрации в электронном журнале заявитель представляет заявку в электронной форме оператору ЭДО. В качестве приложений к электронной заявке держатель эталона предоставляет данные по каждому эталону в электронном виде.

2. Оператор системы ЭДО (ВНИИФТРИ) - обеспечивает техническую поддержку баз данных системы ЭДО.

3. Оператор по экспертизе документов (ВНИИМС) – проводит экспертизу представленных материалов.

4. УМ Росстандарта - по результатам экспертизы формирует и издает приказ об утверждении эталонов.

Заявки на утверждение эталонов единиц величин обрабатываются в системе электронного документооборота (ЭДО) с использованием сети Интернет.

Анализ показывает, что описанная выше существующая система аттестации эталонов по своей организации близка к существовавшей ранее системе оценки соответствия единичных экземпляров средств измерений (ранее – нестандартизированные средства измерений). При этом наличие системы электронного документооборота позволяет устранить препятствия, связанные с необходимостью контроля качества оценки соответствия таких средств измерений и представления необходимых сведений в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений.

В связи с этим предлагается использовать существующую систему аттестации эталонов единиц величин в качестве основы для организации работ по оценке средств измерений единичного изготовления.

Для использования данной системы в отношении средств измерений единичного изготовления необходимо выполнить следующие мероприятия:

1. Определить круг средств измерений, к которым может быть применена такая процедура оценки соответствия;

2. Внести соответствующие изменения Федеральный закон «Об обеспечении единства измерений» и в Приказ Министерства промышленности и торговли РФ от 30 ноября 2009 г. № 1081 «Об утверждении Порядка проведения испытаний стандартных образцов или средств измерений в целях утверждения типа, Порядка утверждения типа стандартных образцов или типа средств измерений, Порядка выдачи свидетельств об утверждении типа стандартных образцов или типа средств измерений, установления и изменения срока действия указанных свидетельств и интервала между поверками средств измерений, требований к знакам утверждения типа стандартных образцов или типа средств измерений и порядка их нанесения»;

3. Доработать систему электронного документооборота Росстандарта с целью обеспечения возможности ее использования для обработки соответствующей информации;

4. Определить оператора (операторов) по экспертизе документов;

5. Определить порядок утверждения методик поверки средств измерений единичного изготовления.

Литература

1. ГОСТ 8.001-80 «ГСИ. Организация и порядок проведения государственных испытаний средств измерений».
2. ГОСТ 8.326-89 ГСИ. Метрологическая аттестация средств измерений 1993 году Федерального закона «Об обеспечении единства измерений».
3. Федеральный закон Российской Федерации «Об обеспечении единства измерений» ФЗ-102 от 26.06.2008 года.
4. Постановление Правительства РФ от 23 сентября 2010 г. № 734 «Об эталонах единиц величин, используемых в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений».
5. Приказ Росстандарта от 22.01.2014 № 36 «Об утверждении рекомендаций по проведению первичной и периодической аттестации и подготовке к утверждению эталонов единиц величин, используемых в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений».
6. Приказ Министерства промышленности и торговли РФ от 30 ноября 2009 г. № 1081 «Об утверждении Порядка проведения испытаний стандартных образцов или средств измерений в целях утверждения типа, Порядка утверждения типа стандартных образцов или типа средств измерений, Порядка выдачи свидетельств об утверждении типа стандартных образцов или типа средств измерений, установления и изменения срока действия указанных свидетельств и интервала между поверками средств измерений, требований к знакам утверждения типа стандартных образцов или типа средств измерений и порядка их нанесения».

**МЕТОДОЛОГИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ ВЕДОМСТВЕННЫХ ИСПЫТАНИЙ ОТЕЧЕСТВЕННОГО
ИЗМЕРИТЕЛЯ КОЭФФИЦИЕНТА СЦЕПЛЕНИЯ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ
ДЛЯ АВИАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ**

А.Е. Боков

Старший инженер отдела главного метролога ФГУП ГосНИИ ГА

А.А. Богоявленский

К.т.н., член-корреспондент Метрологической Академии, главный метролог

ФГУП ГосНИИ ГА

В период с ноября 2010 г. по март 2011 г. специалистами метрологической службы ФГУП ГосНИИ ГА, в соответствии с РД 54-005-027-89 [1] проведены ведомственные испытания (метрологическая аттестация) специального средства измерений – тележки аэродромной тормозной типа ATT-2M. Ее разработчиком и изготовителем является ОАО «Опытный завод № 31 ГА»; тележка оснащена блоком регистрации и измерения значений коэффициента сцепления БРИЗ-КС.

Необходимость проведения испытаний была обусловлена тем, что конструктивно тележка типа ATT-2M [2, 3] отличается от массово применяемой тележки типа ATT-2:

-наличием дополнительных амортизаторов и пружин для гашения динамических колебаний колес при движении;

-установкой на ведущем колесе ATT-2M шины модели 205/70 R15 (изменение диаметра колеса вызывает снижение проскальзывания). Это позволяет увеличить скорость движения до (65 ± 5) км/ч при измерении коэффициента сцепления ($K_{сц}$) относительно тележки ATT-2 (40-45) км/ч. Данное обстоятельство сокращает время измерения $K_{сц}$ и повышает оперативность принятия решений о состоянии ВПП;

-применением блока БРИЗ-КС, что обеспечивает документальную регистрацию результатов измерений, и работающего с ним вместе силоизмерительного датчика К-16А, внесенного в Государственный реестр средств измерений РФ.

Одним из условий успешной и эффективной эксплуатации любого сложного изделия является наличие комплекта подробной эксплуатационной документации, отвечающей положениям ГОСТ 2.601-2006 [4] и ГОСТ 2.610-2006 [5]. Для оценки соответствия согласно РМГ 63-2003 [6] и ОСТ 54-3-156.66-94 [7] проведена метрологическая экспертиза Руководства по эксплуатации [8] и формуляра на ATT-2M. Выявленные при проведении экспертизы несоответствия устранены разработчиком в полном объеме до окончания испытаний.

Одной из целей проводившихся испытаний было подтверждение возможности замены штатного измерительного канала $K_{сц}$ серийно выпускаемой тележки ATT-2 (в составе аппаратуры АВР и датчика ЛХ-144), на измерительный канал из комплекта поставки тележки ATT-2M (в составе блока БРИЗ-КС и датчика К-16А). Схема плана экспериментальных исследований приведена на рис. 1.

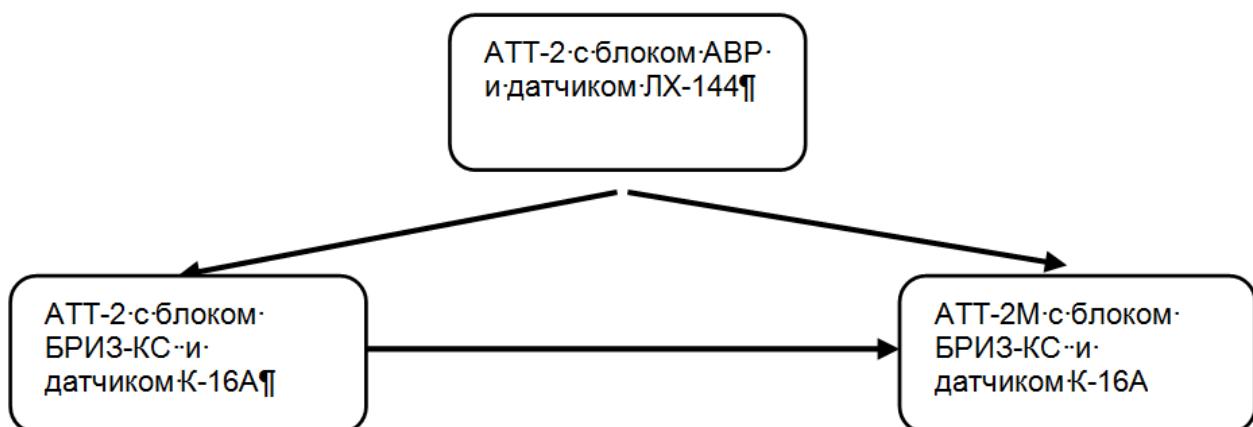


Рис. 1. Схема плана экспериментальных исследований

Необходимым условием такого рода испытаний является обеспечение идентичности проведения работ и достоверного сравнения показаний штатных измерительных каналов Ксц тележек ATT-2 и ATT-2M.

Для этого разработана и реализована на практике измерительная схема (рис. 2), позволяющая производить в процессе испытаний одновременное измерение значений Ксц датчиком ЛХ-144 типовой тележки ATT-2 и датчиком К-16А в одной и той же точке искусственного покрытия при проезде по нему тележки ATT-2M.

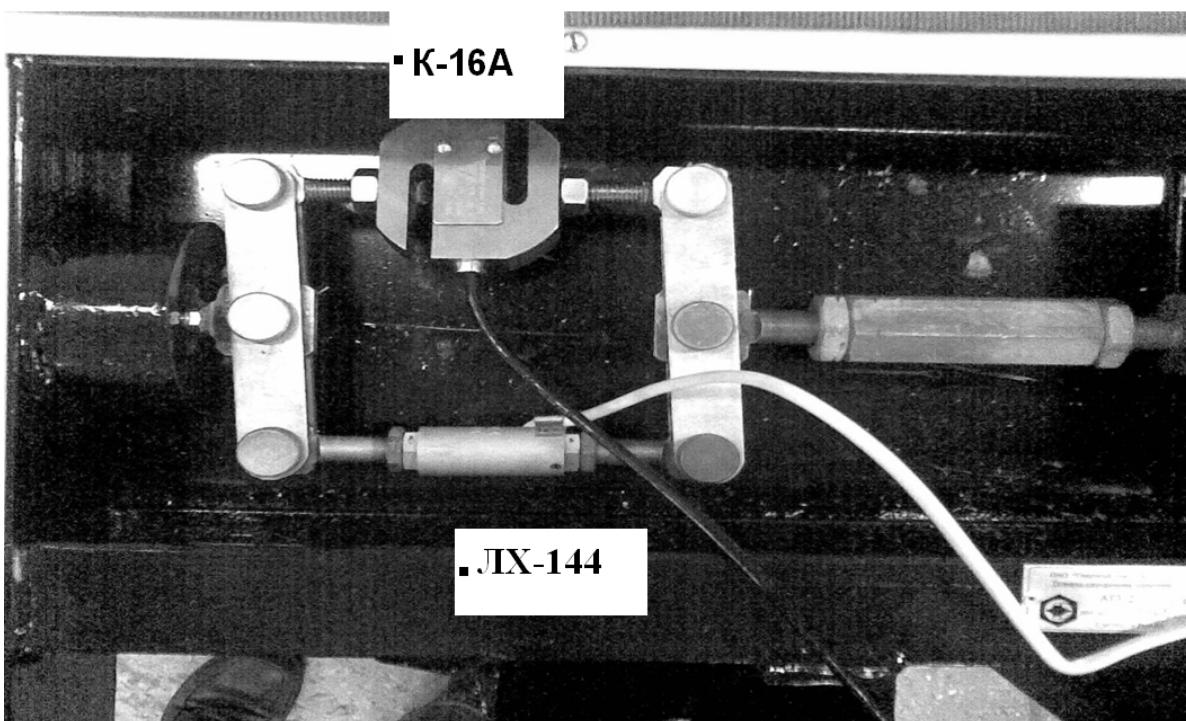


Рис. 2 Измерительная схема для одновременного измерения значений Ксц
датчиком ЛХ-144 типовой тележки ATT-2 и датчиком К-16А

Перед началом исследований проведена настройка, техническое обслуживание и проверка технических характеристик тележки ATT-2M в объеме операций и с использованием средств измерений, предписанных Руководством [8].

Проверка чувствительности ATT-2M выполнялась на технологическом натяжном стенде СМП-1 на базе завода-изготовителя, путем прокатывания тележки с включенной блокировочной муфтой по контрольным поверхностям и регистрацией полученных данных.

В качестве контрольных поверхностей использованы поверхности, различные по свойствам и имитирующие состояния покрытия с отличающимися друг от друга значениями Ксц: а) фторопласт сухой; б) бетон сухой.

При этом согласно Техническим условиям [3] допускаемые значения Ксц при проверке чувствительности на стенде СМП-1 должны находиться в пределах:

-(0,28-0,32) ед. Ксц. (для поверхности из фторопластиа);

-(0,48-0,52) ед. Ксц (для поверхности из бетона).

Результаты проверки чувствительности приведены на рис. 3. Из рисунка видно, что результаты измерения на поверхности из бетона составили 0,51 ед. Ксц на поверхности из фторопластиа – 0,29 ед. Ксц, при использовании датчика К-16А и 0,52 ед. Ксц на поверхности из бетона и 0,31 ед. Ксц на поверхности из фторопластиа для датчика ЛХ-144.

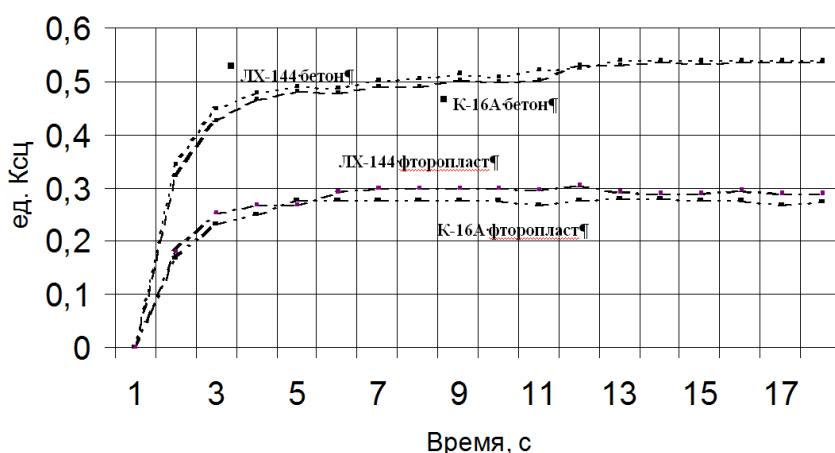


Рис. 3. Результаты проверки чувствительности ATT-2M при измерении Ксц на стенде СМП-1 (поверхности: бетон; фторопласт)

Таким образом, чувствительность измерительного канала Ксц тележки ATT-2M соответствует Техническим условиям [3], и не хуже, чем у измерительного канала ATT-2.

Для проведения сравнительных испытаний и экспериментальных исследований на ВПП применялась тележка ATT-2 № 1469 со штатным измерительным каналом Ксц в составе силоизмерительного датчика ЛХ-144 № 4701, преобразователя ПА-1 № 090 и аппаратуры АВР с микроамперметром М2027 № 32952. При этом одновременно испытаниям подвергался также и блок БРИЗ-КС (зав. № 001) с датчиком К-16А (зав. № 5QA784).

При проведении испытаний было выбрано несколько участков покрытия ВПП, различающихся между собою по величине Ксц, а именно, сухой бетон и бетон, с отложениями резины от шин авиационных колес, увлажненный противообледенительной жидкостью, и другие. Длина каждого участка покрытия составляла 3400 м. Во время испытаний тележкой ATT-2 № 1469 с измененной измерительной схемой Ксц последовательно производилось по 2 проезда (один - в одну сторону, и один - в обратную сторону) выбранных участков покрытия ВПП.

При этом оператором в кабине автомобиля-буксировщика в ручном режиме записывались измеренные значения Ксц, индицировавшиеся аппаратурой АВР. Одновременно в автоматическом режиме осуществлялась запись результатов измерений в память блока БРИЗ-КС. При сравнении средних арифметических значений результатов измерения Ксц, полученных блоком БРИЗ-КС и штатным измерительным каналом тележки ATT-2 установлено, что их разность по третям ВПП составляет не более чем $\pm 0,02$ ед. Ксц, что не превышает допускаемых РЭГА-94 [9] и DOC 9137-AN/898 [10] значений. Таким образом, блок БРИЗ-КС с датчиком К-16А – на основании полученных результатов испытаний – может быть рекомендован для установки на тележки ATT-2 взамен аппаратуры АВР и датчика ЛХ-144.

При проведении ведомственных испытаний ATT-2М проводилась оценка фактических значений суммарных погрешностей измерений Ксц, которые складываются из статической и динамической составляющих.

Определение статической составляющей суммарной погрешности измерений Ксц тележкой проводилось согласно Руководствам [8, 11] в лабораторных условиях на снятом с ATT-2М измерительном канале. Исследования проводились на базе метрологической службы ОАО «Аэрофлот – Российские авиалинии»; температура окружающего воздуха составляла +(20...22) °C; источники магнитных и электрических полей, вибрации и тряски, и отсутствовали.

В качестве рабочего эталона применялось устройство силоизмерительное ТВЭУ-02П/01 № 00-3610, имевшее действующее свидетельство о поверке.

В результате установлено, что фактически полученные максимальные значения статической составляющей суммарной погрешности измерений Ксц тележки ATT-2М составляют (для доверительной вероятности 0,95): $\pm 1,73\%$ (в диапазоне 0,10-0,30 ед. Ксц); $\pm 0,55\%$ (в диапазоне 0,31-0,80 ед. Ксц), что не превышает допускаемых [12] значений.

Экспериментальные исследования динамической составляющей погрешности измерений Ксц тележки ATT-2М проводились на базе ОАО «Международный аэропорт Шереметьево» при участии специалистов аэродромной службы и завода-изготовителя. Было выбрано 4 участка покрытия ВПП длиной 500 м, различающихся между собою величиной Ксц - бетон сухой; бетон влажный, бетон, покрытый льдом; бетон, покрытый шероховатым льдом.

Температура окружающего воздуха соответствовала диапазону рабочих температур тележки ATT-2М [8].

Последовательно тележкой ATT-2М № 031, предъявленной к испытаниям - производилось по 2 проезда (один - в одну сторону и один - в обратную сторону) на выбранных участках покрытия. В автоматическом режиме осуществлялась запись измеренных значений Ксц в память блока БРИЗ-КС тележки ATT-2М с последующей распечаткой результатов на бумажные ленты (рис. 4) встроенного печатающего устройства.

В процессе измерений тележка ATT-2М обеспечивает возможность документальной регистрации Ксц на бумажном и электронном носителях; вычисление среднего значения Ксц по третям ВПП и среднего значения по всей ВПП в режиме реального времени.

Обработка результатов экспериментальных исследований показала, что относительная динамическая составляющая погрешности измерения Ксц тележки ATT-2М ($\Delta_{\text{один}}$) составляет не более $\pm 12,3\%$ (в диапазоне 0,10-0,30 ед. Ксц) и не более $\pm 9,9\%$ (в диапазоне 0,31-0,80 ед. Ксц), что не превышает значений, регламентированных в Методических указаниях [12] для тележек типа ATT-2.

Таким образом, статическая и динамическая составляющие погрешности измерения Ксц тележки ATT-2М не превышают допускаемых значений, установленных [12]. С учётом этого, значения суммарной погрешности измерения Ксц тележкой ATT-2М также не превышают установленных норм.

В процессе испытаний проведена оценка погрешности измерений расстояния, пройденного в процессе измерения Ксц, которая обусловлена полным оборотом вокруг своей оси ведущего колеса тележки ATT-2М. На основании результатов экспериментальных исследований и проведенных

Метрология и стандартизация. Метрологическое обеспечение испытаний авиационной и космической техники

расчетов установлено, что значение суммарной погрешности измерения расстояния, пройденного тележкой ATT-2M, характеризуется значением допуска завода-изготовителя на диаметр шины ведущего колеса и не превышает $\pm 1,0\%$.

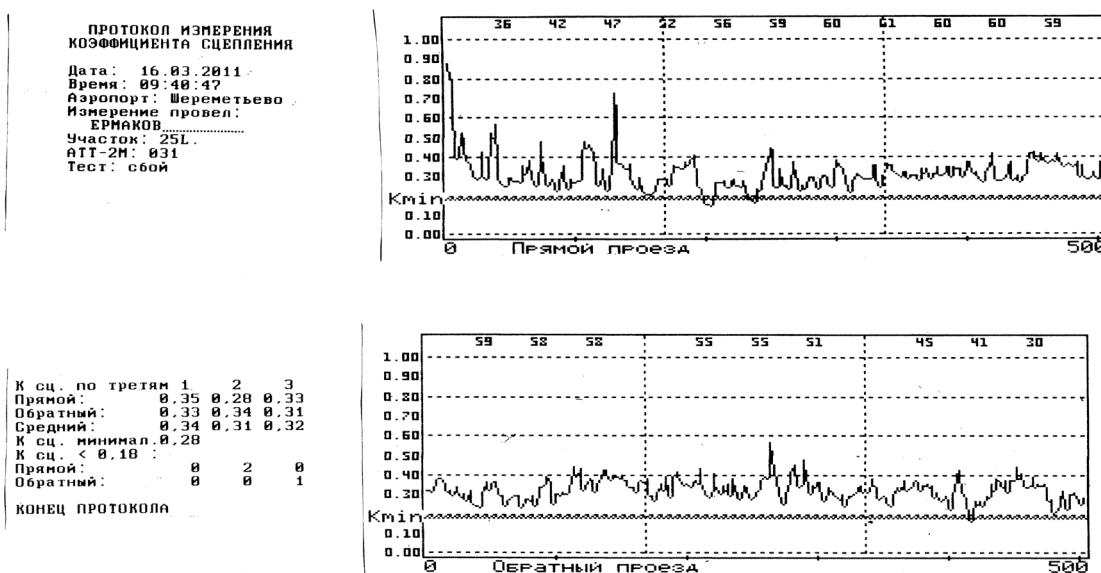


Рис. 4. Распечатка протокола измерений Ксц тележки ATT-2M на бумажном носителе (состояние покрытия – бетон, покрытый шероховатым льдом)

При проведении испытаний была оценена также суммарная погрешность измерений скорости движения ATT-2M, которая складывается из двух составляющих: 1) погрешности определения пройденного расстояния; 2) погрешности определения времени, за которое ATT-2M преодолела пройденное расстояние. Установлено, что суммарная погрешность измерений скорости движения также не превышает $\pm 1\%$.

При проведении испытаний ATT-2M испытательной лабораторией программного обеспечения (ПО) средств измерений и информационно-измерительных систем, функционирующей в составе метрологической службы ГосНИИ ГА, протестировано – в соответствии с положениями ГОСТ Р 8.654-2009 [13] – программное обеспечение, используемое на тележке ATT-2M при измерениях. По результатам тестирования влияния ПО на результаты измерений Ксц. не выявлено

Основные результаты исследований метрологических характеристик ATT-2M представлены в табл. 1

Организация метрологического обеспечения измерителей Ксц

Метрологическое обеспечение средств измерений Ксц включает в себя следующие основные направления: 1) ведомственные испытания (метрологическая аттестация); 2) метрологическое обслуживание (первичное и периодическое). Каждое из названных направлений подразделяются в свою очередь еще на целый ряд составляющих.

1) ведомственные испытания (метрологическая аттестация). На ВТ РФ средства измерений Ксц относятся к категории специальных средств измерений. Поэтому все они допускаются к применению только после прохождения с положительными результатами ведомственных испытаний (метрологической аттестации) в соответствии с РД 54-005-027-89 [1].

Для обеспечения связи метрологических характеристик средств измерений Ксц с государственной поверочной схемой измерения силы по ГОСТ Р 8.663-2009 [14], Головной

организацией метрологической службы ГА – ФГУП ГосНИИ ГА разработана Локальная калибровочная схема (рис. 5), введенная в действие Распоряжением [12] Минтранса РФ.

При этом для проведения испытаний измерителей (средств измерения) Ксц до настоящего времени применяется метод исследования метрологических характеристик, разработанный еще около трех десятилетий назад автором настоящей статьи в рамках НИР, выполнявшихся метрологической службой ГосНИИ ГА.

Таблица 1

Основные результаты исследований метрологических характеристик ATT-2М

Наименование метрологических характеристик	Нормированные значения
1. Диапазон измерений коэффициента сцепления (Ксц)	(0,1-0,8) ед. Ксц
2. Относительная (от измеряемого значения) статическая составляющая погрешности измерений Ксц ($P_d = 0,95$) в диапазонах: (0,10-0,20) ед. Ксц (0,21-0,30) ед. Ксц (0,31-0,80) ед. Ксц	$\pm 25\%$ $\pm 15\%$ $\pm 10\%$
3. Относительная динамическая составляющая погрешности измерений Ксц ($P_d = 0,95$) в диапазонах: (0,10-0,20) ед. Ксц (0,21-0,30) ед. Ксц (0,31-0,80) ед. Ксц	$\pm 30\%$ $\pm 30\%$ $\pm 10\%$
4. Суммарная относительная погрешность измерений Ксц ($P_d = 0,95$) в диапазонах: (0,10-0,20) ед. Ксц (0,21-0,30) ед. Ксц (0,31-0,80) ед. Ксц	$\pm 40\%$ $\pm 35\%$ $\pm 15\%$
5. Дискретность отсчёта Ксц	0,01 ед. Ксц
6. Диапазон определения расстояния, пройденного тележкой	(0–10) км
7. Погрешность определения расстояния, пройденного тележкой	$\pm 1\%$
8. Частота опроса (дискретность отсчёта) расстояния, пройденного тележкой ATT-2М, не более	2,4 м
9. Диапазон определения скорости движения тележки при измерении Ксц	(65±5) км/ч
10. Погрешность определения скорости движения тележки	$\pm 1\%$
11. Дискретность отсчёта скорости движения тележки	1 км/ч

Примечание. Оценка погрешности измерения выполнялась без учета приведения к величинам нормативного Ксц согласно РЭГА РФ-94 [9].

Значения метрологических характеристик, представленные в табл. 1, действительны при нахождении технических характеристик ATT-2М в пределах указанных в табл. 2 нормированных значений.

Таблица 2

Нормированные значения технических характеристик ATT-2M

Наименование технической характеристики	Нормированное значение
1. Давление воздуха в шинах колёс тележки: -измерительного колеса (авиационная шина 660×160×355) -ведущего колеса (автомобильная шина мод. 205/70 R15)	(0,8±0,3) кгс/см ² (2,0±0,4) кгс/см ²
2. Износ протектора измерительного колеса	Наличие шипов в канавках протектора
3. Скорость движения тележки во время измерения Ксц	(65±5) км/ч
4. Напряжение питания блока БРИЗ-КС из комплекта ATT-2M	(12,0±0,4) В

Государственная поверочная схема для средств измерений силы по ГОСТ Р 8.663-2009 [14]

ЭТАЛОН: II или III разряда

Метрологические характеристики:

1. Верхний предел измерений 100 кгс
2. Относительная погрешность измерений
 $\pm(0,1\dots0,5)\%$

Рабочее средство измерений Ксц

Метрологические характеристики:

Относительная (от измеряемой величины) статическая составляющая погрешности измерений ($P_d = 0,95$):
 $\pm25\%$ в диапазоне (0,10 - 0,20) ед. Ксц
 $\pm15\%$ в диапазоне (0,21 - 0,30) ед. Ксц
 $\pm10\%$ в диапазоне (0,31 - 0,80) ед. Ксц

Рис. 5. Локальная калибровочная схема средств измерений Ксц

В табл. 3 приведены сведения об измерителях Ксц, прошедших ведомственные испытания за период с 1983 по 2011 годы, и внесенных в Перечень специальных средств измерений, применяемых в ГА РФ с выдачей Регистрационных удостоверений со стороны Авиационной администрации.

2) метрологическое обслуживание (первичное и периодическое). Все средства измерений Ксц как отечественного, так и зарубежного производства при выпуске изготовителем, перед вводом в эксплуатацию на предприятиях ВТ РФ, должны с положительными результатами проходить первичное, а в дальнейшем - с интервалом в три месяца - периодическое метрологическое обслуживание (калибровку). Калибровка проводится с целью оценки фактических значений погрешностей измерений и последующим их сравнением с допускаемыми значениями.

Метрологическое обслуживание средств измерений Ксц – как этого требуют отраслевой РД 54-3-152.51-97 [15] и международный DOC 9137-AN/898 [10], осуществляется метрологическими службами предприятий ВТ, подтвердившими компетентность в области калибровки специальных средств измерений. Метрологические службы должны иметь необходимые образцовые средства измерений (рабочие эталоны); квалифицированный персонал, проводящий калибровку; методики калибровки, а также соблюдать еще целый ряд условий по ГОСТ 17025-2009 [16], обеспечивающих соблюдение требований к компетентности калибровочных лабораторий и качеству калибровки.

ФГУП ГосНИИ ГА, являющийся Органом по сертификации объектов гражданской авиации, с положительными результатами провело оценку технической компетентности метрологических служб 14 предприятий ВТ, расположенных по всей территории РФ, в

Таблица 3

Измерители Ксц, прошедшие ведомственные испытания за период с 1983 по 2011 г.

Наименование и тип специального средства измерений	Изготовитель	№ регистрация удостоверения
1. Тележка аэродромная тормозная ATT-2M	Опытный завод № 31 ГА	238-10-2011
2. Блок регистрации и измерения коэффициента сцепления БРИЗ-КС	Опытный завод № 31 ГА	237-06-2011
3. Измеритель коэффициента сцепления ИКС-1	ИК «Созвездие», г. Санкт-Петербург	224-06-2009
4. Тележка аэродромная тормозная ATT-2 с измененной комплектацией измерительной схемы	Опытный завод № 31 ГА	218-12-2008
5. Аэродромная тележка электромеханическая АТ-ЭМ	Планета, г. Санкт-Петербург	195-06-2007
6. Автоматизированная система измерения коэффициента сцепления АСК-ВПП	Планета, г. Санкт-Петербург	192-12-2006
7. Прицепное устройство ASFT мод. Т-10	«Airport Surface Friction Tester», Швеция	185-02-2006
8. Блок измерения и обработки информации БИО-ВПП	Планета, г. Санкт-Петербург	84-06-1998
9. Тележка аэродромная тормозная ATT-2	Опытный завод № 31 ГА	34-11-1983

Области калибровки специальных средств измерений Ксц. Всем им выданы Сертификаты соответствия в системе сертификации объектов ГА, подтверждающие компетентность по проведению подобного рода калибровочных работ.

Основные результаты и выводы

В результате проведения ведомственных испытаний и исследования метрологических характеристик аэродромной тормозной тележки ATT-2M (измерителя Ксц) как типа специального средства измерений установлено [17].

1. Конструктивные особенности тележки позволили увеличить скорость движения при измерении до (65 ± 5) км/ч против (40-45) км/ч у ATT-2, что сокращает время измерения Ксц и повышает

оперативность принятия решений о состоянии ВПП.

2. ATT-2M обеспечивает документальную регистрацию Ксц на бумажном и электронном носителе; вычисление среднего значения Ксц по третям ВПП и среднего значения по всей ВПП; определение скорости, при которой проводились измерения Ксц, и пройденного при этом расстояния.

3. Тележка с положительными результатами прошла ведомственные испытания (метрологическую аттестацию) и внесена в Перечень специальных средств измерений, применяемых в ГА РФ. При этом метрологические характеристики ATT-2M, не хуже чем у широко применяемых в аэродромных службах аэропортов РФ и стран СНГ тележек ATT-2.

4. Периодическое метрологическое обслуживание ATT-2M заключается в проведении калибровки блока БРИЗ-КС вместе с датчиком К-16А (из комплекта поставки ATT-2M) по Методике, разработанной ГосНИИ ГА и включенной в Руководства [8, 11]. Его могут осуществлять метрологические службы организаций ВТ, подтвердившие компетентность в области калибровки специальных средств измерений согласно РД 54-3-152.51-97 [15]. Периодичность метрологического обслуживания - один раз в три месяца.

5. Тележка типа ATT-2M позволяет документировать результаты измерений Ксц на бумажном и электронном носителе, что исключает возможность намеренного или непреднамеренного их искажения (человеческий фактор).

6. Сконструированные в последние годы и серийно выпускаемые отечественные измерители Ксц (в том числе, ATT-2M) по своим техническим и метрологическим характеристикам соответствуют требованиям РЭГА РФ-94 [9] и DOC 9137-AN/898 [10].

7. Результаты испытаний показали, что блок БРИЗ-КС с датчиком К-16А может быть использован для модернизации находящихся на эксплуатации тележек типа ATT-2 путем замены морально устаревшей аппаратуры АВР из комплекта ее поставки.

Заключение

1. Исследованы и нормированы метрологические характеристики тележки ATT-2M как типа специального средства измерений Ксц. Разработан и реализован на практике метод, позволяющий обеспечить идентичность условий измерений в процессе испытаний измерителей Ксц за счет одновременного измерения характеристик сцепления в одной и той же точке искусственного покрытия ВПП при проезде по нему измерителя. Разработаны локальная калибровочная схема средств измерения Ксц и методика метрологического обслуживания (калибровки) ATT-2M. Проведено тестирование программного обеспечения, заложенного в процессор блока БРИЗ-КС, в результате которого его влияния на результаты измерений Ксц, выявлено не было [17].

2. Разработанный автором настоящего доклада около трех десятилетий назад метод исследований метрологических характеристик подтвердил свою универсальность при проведении испытаний новых типов измерителей Ксц и не потерял актуальность по настоящее время.

Литература

1. РД 54-005-027-89. Отраслевая система обеспечения единства измерений. Нестандартизованные средства измерений. Порядок разработки, изготовления, испытаний и аттестации.
2. Богоявленский А.А., Боков А.Е. Особенности метрологического обеспечения средств и методов измерений коэффициента сцепления на воздушном транспорте. - Мир измерений. – 2012. – № 8. – С. 17 – 29.
3. ТУ 54-53-031-013-2011. Тележки аэродромные тормозные ATT-2. Технические условия.
4. ГОСТ 2.601-2006. Единая система конструкторской документации. Эксплуатационные документы.

5. ГОСТ 2.610-2006. Единая система конструкторской документации. Правила выполнения эксплуатационных документов.
6. РМГ 63-2003. ГСИ. Обеспечение эффективности измерений при управлении технологическими процессами. Метрологическая экспертиза технической документации.
7. ОСТ 54-3-156.66-94. Отраслевая система обеспечения единства измерений. Метрологическая экспертиза нормативной и технической документации. Основные положения.
8. Тележка аэродромная тормозная ATT-2М. Руководство по эксплуатации. КД.2.835.000-01РЭ. – Моск. обл., г. Щелково: ОАО «ОЗ № 31 ГА», 2011 г.
9. РЭГА РФ-94. Руководство по эксплуатации гражданских аэродромов Российской Федерации. – М.: Воздушный транспорт, 1995.
10. DOC 9137-AN / 898. Руководство по аэропортовым службам. Состояние поверхности покрытия. - Издание 4. – Международная организация ГА - ИКАО, 2002 г.
11. Блок регистрации и измерения значений коэффициента сцепления БРИЗ-КС. Руководство по эксплуатации. КД 5.139.049 РЭ. – Моск. обл., г. Щелково: ОАО «ОЗ № 31 ГА», 2010 г.
12. О введении в действие локальной калибровочной схемы средств измерения коэффициента сцепления и методических указаний по калибровке тележки аэродромной тормозной типа ATT-2 в организациях гражданской авиации / Распоряжение Минтранса РФ от 04.08.2000 № 163/р.
13. ГОСТ Р 8.654-2009. Государственная система обеспечения единства измерений. Требования к программному обеспечению средств измерений. Основные положения.
14. ГОСТ Р 8.663-2009. Государственная система обеспечения единства измерений. Государственная поверочная схема для средств измерений силы.
15. РД 54-3-152.51-97. Отраслевая система обеспечения единства измерений. Порядок аккредитации метрологических служб предприятий гражданской авиации на право калибровки специальных средств измерений.
16. ГОСТ ИСО/МЭК 17025-2009. Межгосударственный стандарт. Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий.
17. Богоявленский А.А. Исследование метрологических характеристик измерителей коэффициента сцепления на примере тележки типа ATT-2М. // Научный вестник МГТУ ГА. - М., 2013. - № 187 (1). - С. 108-117.

МЕТРОЛОГИЯ СЕТЕВОГО РАДИОЗОНДИРОВАНИЯ АТМОСФЕРЫ**Ю.М. Ермошенко****Заместитель директора ООО «Аэроприбор»****М.Б. Фридзон****Д.т.н., заместитель директора по науке и развитию ООО «Аэроприбор», МГТУ ГА**

Создание и поддержание надежной системы метрологического обеспечения сетевых аэрологических измерений невозможно без глубоких исследований измерительных процессов, методик и средств выполнения измерений. Специфика измерений при радиозондировании заключается в том, что с помощью простого прибора разового действия необходимо получить достоверную информацию в чрезвычайно сложных условиях свободной атмосферы. Измерения носят массовый и косвенный характер и являются телеметрическими. Диапазоны измерений температуры, влажности и давления достигают нескольких порядков. Использование в радиозондировании, как правило, одного телеметрического канала приводит к заметной дискретности измерений. На приборы воздействуют солнечная радиация и другие виды естественных излучений, атмосферные осадки, измерения проводятся в динамическом режиме. При этом в наземных условиях практически невозможно воспроизвести весь комплекс факторов, влияющих на результаты радиозондовых измерений. Именно вид сложности процесса измерений, их массовости, многообразия потребителей и требований к точности аэрологической информации, большой важности и ответственности за результаты измерений, метрологическое обеспечение радиозондирования составляло всегда (начиная с момента зарождения сети в 1934 г и до последнего времени) одно из главных направлений деятельности в области развития аэрологической сети РФ, а уровень метрологического обеспечения являлся важнейшим показателем эффективности её работы.

При сетевом аэрологическом зондировании производятся измерения температуры, давления и влажности воздуха на различных высотах в атмосфере. В некоторых системах, исходя из экономических и метрологических соображений, а также технических возможностей системы, давление не измеряется, а вычисляется по барометрической формуле. Высота радиозонда, направление и скорость ветра измеряются с помощью наземной радиолокационной станции (РЛС). Таким образом, основными параметрами, непосредственно измеряемыми при радиозондировании атмосферы, являются температура и влажность воздуха, а также наклонная дальность, вертикальный (угол места) и горизонтальный (азимутальный) углы на радиозонд. Вследствие естественных различий в метрологических характеристиках радиозондов и РЛС, а также значительной изменчивости условий измерений, определить погрешность измерений в каждом конкретном зондировании не представляется возможным. То есть погрешности как непосредственных измерений метеопараметров, так и информационных результатов зондирования могут быть определены только для системы радиозондирования как типа. Более того всю аэрологическую сеть (сегодня это 110 аэрологических станций) следует рассматривать как одно средство измерений (один гигантский прибор). Условия измерений могут быть учтены либо в среднем (с оценкой изменения погрешности за счет возможных отклонений условий от средних), либо путём построения математических моделей, описывающих зависимость погрешности радиозондирования от внешних влияющих факторов. С другой стороны, учитывая области применения сведений о погрешностях радиозондирования – оценки разброса данных на картах барической топографии, определение возможности использования данных зондирования для решения синоптических, климатологических и других народно-хозяйственных задач, в особенности, обеспечение безопасности и экономичности деятельности авиации, оценки сходимости данных различных систем зондирования, решение вопросов усовершенствования техники и методики аэрологических наблюдений, то есть вопросов метрологии и метрологического обеспечения – необходимо исследование и нормирование характеристик как случайной и систематической, так и суммарной погрешности радиозондирования [1].

Наиболее полные требования к точности измерений при радиозондировании атмосферы приведены в [2] (таблицы 1 и 2). Требования, приведённые в графах «а», являются достаточно жёсткими даже для лабораторных измерений и, в сложных условиях радиозондирования атмосферы, в ближайшее время едва ли достижимы. Однако, удовлетворение именно этим требованиям определяет ценность аэрологической информации и, как следствие, необходимый уровень метрологического обеспечения аэрологических измерений.

Таблица 1

**Предельно-допустимые погрешности аэрологического температурного
радиозондирования по [2] при давлении Р или на высоте Н**

Регион	Р, гПа Н, км	А		В		С		Д		Диапа- зон температуры, °С	
		мезомас- штаб		синоптическ. масштаб		климатоло- гия		изменение климата			
		А	Б	А	Б	А	Б	А	Б		
Внетропи- ческая тропосфе- ра	-	0,15	3,0 ¹⁾ 2,0 От 30 до 40°	0,15	2,0	0,15	2,0 ²⁾	-	0,5 ²⁾	От -80 до +40	
Экватори- альная тропосфе- ра	ниж	0,15	1,0	0,15	0,7	0,15	1,0 ²⁾	-	0,25	От -100 до +50	
	верх	0,15	1,5	0,15	1,0	0,15	1,5 ²⁾	-	0,25		
Внетропи- ческая стратосфе- ра	P=200	0,3	4 ³⁾	0,3	3,8	0,3	1,5 ⁵⁾	-	-	От -100 до +50	
	P=100	0,3	3	0,3	1,4	0,3	1,5	-	-		
	P=50	0,3	1,5	0,3	0,7	0,3	1,5	-	-		
	P=10	0,3	1,5	0,3	0,7	0,3	1,5	-	-		
	P=5	0,3	2	0,3	0,9	0,3	2 ³⁾	-	-		
	H=35	0,3	4	0,3	-	0,3	4 ³⁾	-	-		
	H=50	0,3	6 ⁴⁾	0,3	2,0	0,3	6	-	-		
Экватори- альная стратос- фера	P=100	0,3	2 ⁶⁾	0,3	1	0,3	2 ⁷⁾	-	-	От -100 до +20	
	P=50	0,3	2	0,3	1	0,3	2	-	-		
	P=10	0,3	3	0,3	1,5	0,3	3	-	-		
	H=35	0,3	3,5	0,3	1,5	0,3	3,5	-	-		
	H=50	0,3	4,5	0,3	2	0,3	4,5	-	-		

Таблица 2

Предельно-допустимые погрешности измерений влажности по [2]

Слой	Мезомасштаб				Синоптический масштаб				Климатология				
	а		б		а		б		а		б		
	t, °C	j, %	t, °C	j, %	t, °C	j, %	t, °C	j, %	t, °C	j, %	t, °C	j, %	
I. Конвективный и турбулентный слой вблизи земли	0,5	3	5	30	0,5	3	5	30	0,5	3	1,5 ¹⁾	10 ¹⁾	
II. Тропосфера выше конвективного слоя	0,2 ²⁾ при высоких влажностях	1 ²⁾	10	30	0,2 ²⁾ 11 ²⁾	2,5	10	10	30	0,5	3	1,5 ¹⁾	10 ¹⁾
III. Стратосфера и мезосфера	Не оценены	2	-	Не оценены	2	-	Не оценены	10 ³⁾	-	-	-	-	

Современные системы радиозондирования атмосферы являются типичными представителями измерительных систем, со всеми вытекающими отсюда особенностями их метрологического обслуживания. Блок-схема системы радиозондирования атмосферы, отражающая общую структуру используемых в настоящее время комплексов «МАРЛ-р/з 1680МГц» и «АВК-р/з 1780 МГц» представлена на рис.1. Как видим, система состоит из радиозонда и радиолокационной станции (РЛС), снабженной вычислительным блоком. Функционально система представляет из себя три самостоятельных измерительных комплекса: – бортовой комплекс, включающий первичные и вторичные измерительные преобразователи и преобразующие информацию от измеряемого объекта к виду, удобному для передачи по радиоканалу; – приёмно-передающий комплекс, состоящий из приёмо-передатчиков радиозонда и РЛС;

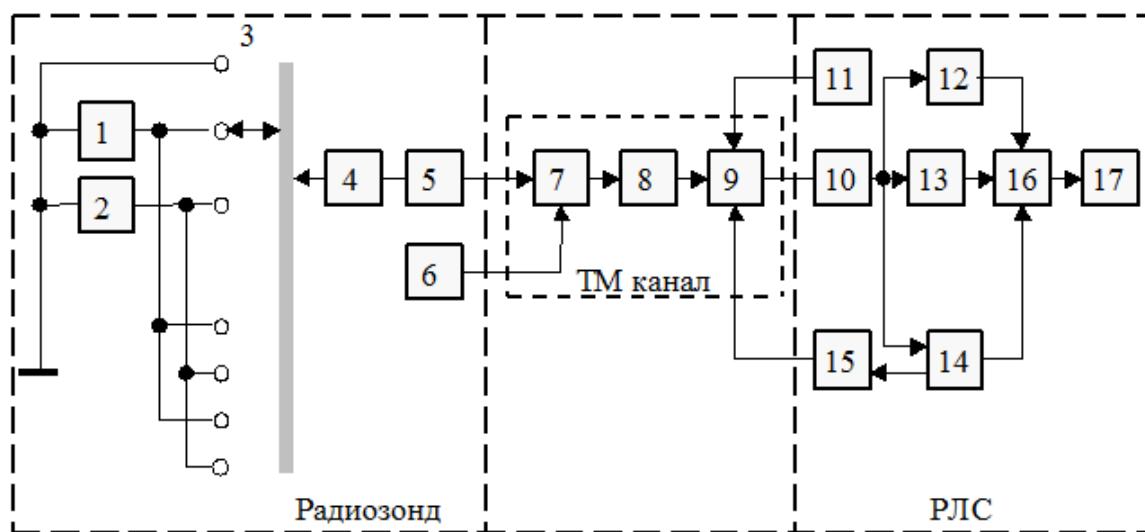


Рисунок 1 Блок-схема системы радиозондирования атмосферы

- измерительную часть РЛС, включающую устройства для измерений, регистрации и обработки телеметрических сигналов.

Для таких систем обычно регламентируют несколько комплексов метрологических характеристик — по числу каналов, образованных в результате предусмотренных переключений. В рассматриваемом случае такими каналами являются канал измерений температуры, канал измерений влажности и канал координатных измерений.

Рассматривая систему радиозондирования как объект метрологического исследования, необходимо обратить внимание на следующие характерные особенности.

1. Комплектация системы зондирования как единого изделия производится только на месте эксплуатации (радиозонды, вспомогательная аппаратура и РЛС производятся различными предприятиями). В результате изначально отсутствует единая НТД, регламентирующая метрологические характеристики системы. 2. В процессе эксплуатации возможны структурные изменения системы, что еще более затрудняет регламентацию требований к метрологическим характеристикам. 3. Стыковка конкретных экземпляров радиозондов и РЛС — процесс случайный, что диктует необходимость рассмотрения типовых метрологических характеристик радиозондов при их индивидуальной градировке. 4. В процессе измерения радиозонды и РЛС разнесены на значительные расстояния (до 250 км) и, соответственно, работают в различных условиях окружающей среды. 5. Первичные измерительные преобразователи (датчики) находятся в составе передающей части системы (радиозонда), что затрудняет возможность контроля в рабочих условиях измерительной системы в целом. Измерительные системы, обладающие перечисленными особенностями, носят название «рассредоточенных» измерительных систем [3].

Учитывая масштабы аэрологической сети и чрезвычайную сложность определения и изучения метрологических характеристик всех составных частей системы, наиболее оптимальным способом получения оценок погрешности измерений с помощью измерительной системы в целом является способ теоретического расчёта суммарных погрешностей системы по исследованным погрешностям её составных частей. Каналы температуры и влажности представляют из себя цепочку измерительных преобразователей, начиная от первичных преобразователей (датчиков) и заканчивая устройством измерения и вычисления станции сопровождения. В качестве датчиков информационных параметров в применяемых в настоящее время отечественных радиозондах используются преобразователи метеовеличин, как правило, резистивного или ёмкостного типа. Датчики работают в наиболее жестких условиях, их работе сопутствуют методические погрешности, которые в условиях радиозондирования значительно превышают инструментальные. Электрическое сопротивление или ёмкость датчиков с помощью вторичных преобразователей преобразуется в параметр, удобный для передачи значений измеряемой величины по каналу связи. Как правило, для этой цели используются кодовые или частотные сигналы.

Изменения динамического уровня сигнала (замедления сигнала радиозонда и разброс данных), возникающие при раскачивании, больших удалениях радиозонда или малых вертикальных углах, приводят, вообще говоря, не к погрешностям измерений, а к ограничениям возможностей метода радиозондов и здесь не рассматриваются. Наложение шумов приёмника на телеметрический сигнал, флюктуации амплитуды телеметрических импульсов, обусловленные шумами приёмника, приводят к возникновению аномальных ошибок или сбоев в телеметрии. Этот вопрос достаточно подробно исследовался в работе [3] и в рамках данной статьи также рассматриваться не будет.

При рассмотрении системы радиозондирования как объекта метрологического исследования, прежде всего, была произведена прикидочная оценка вклада каждого из элементов системы и ряда методических ошибок, свойственных этой системе в суммарную погрешность измерений. Порядки величин погрешностей, вносимых функциональными блоками системы радиозондирования и основных методических погрешностей измерений метеопараметров при радиозондировании атмосферы приведены в таблице 2.1.1.

Как видим из таблицы 2.1.1, проведённые прикидочные оценки показывают, что основной вклад в суммарную погрешность измерений температуры и влажности при радиозондировании атмосферы вносят первичные измерительные преобразователи (датчики) радиозондов, с учётом погрешностей метода, оказывающих непосредственное влияние на выходной сигнал датчика. Погрешности, вносимые остальными функциональными блоками системы радиозондирования значительно меньше погрешностей датчиков. Это позволяет при оценке суммарных погрешностей

измерений температуры и влажности системой радиозондирования ограничиться детальным изучением погрешностей датчиков, добавив к ним прикидочную оценку суммарной погрешности остальной части системы. Сюда войдут погрешности за счёт квантования сигнала по параметру, погрешности обработки результатов зондирования и погрешности телеметрии.

Таким образом, ошибки радиозондирования на заданном уровне P при этом составляют:

$$-\text{по температуре} \quad \Delta \tilde{T}_{P,T} = \Delta \tilde{T}_{d,P} + \Delta \tilde{T}_{3P,3} \left\{ + \gamma_{T,P} \Delta H \right\}_{P>30\text{Pa}}; \quad (1)$$

$$-\text{по влажности} \quad \Delta \varphi_{P,\varphi} = \Delta \varphi_{d,P} + \Delta \tilde{\varphi}_{P3,P} + \gamma_{\varphi,P} \Delta H, \quad (2)$$

где ΔT_d и Dj_d — погрешности датчиков температуры и влажности соответственно, определенные путём детальных исследований; ΔT_{P3} и Dj_{P3} — «прикидочные» оценки погрешностей температуры и влажности соответственно. Причём, сумма первых двух членов выражений (1) и (2) является погрешностью непосредственных измерений температуры и влажности при радиозондировании атмосферы, а третий член — методической погрешностью радиозондов. Всё вышеуказанное позволяет при организации метрологического обслуживания системы радиозондирования разделить систему на следующие функциональные блоки, ответственные за формирование основных составляющих погрешностей системы радиозондирования атмосферы:

– первичные измерительные преобразователи (датчики); – преобразователь «сопротивление (ёмкость) — СВЧ-сигнал» радиозонда; – блок координатных измерений; – блок математической обработки телеметрической и координатной информации.

Целесообразность такого разделения диктуется также техническими возможностями самостоятельного обслуживания каждого из этих блоков.

В соответствии с действующими ГОСТами системы ГСИ, регламентирующими метрологическое обеспечение средств измерений и учитывая, что радиозондирование атмосферы производится измерительной системой, не имеющей единой нормативно-технической документации, для создания системы метрологического обеспечения радиозондирования атмосферы были проведены теоретические и экспериментальные исследования и разработки, включающие метрологический анализ измерительного процесса в системе радиозондирования и её функциональных блоках, построение физических и математических моделей погрешностей измерений, разработку или привлечение с соответствующей метрологической аттестацией специальной аппаратуры для исследования метрологических характеристик функциональных блоков системы, разработку и метрологическую аттестацию методик определения и поверки метрологических характеристик радиозондов, получение числовых значений метрологических характеристик, выбор и обоснование комплексов нормируемых метрологических характеристик и разработку системы их обеспечения при производстве радиозондов, оценку систематических и случайных составляющих погрешности и суммарной погрешности измерений параметров атмосферы на различных высотах и, наконец, разработку «Методики выполнения измерений при радиозондировании атмосферы», оформленную в виде отраслевого документа и включающую комплекс мер, обеспечивающих заданную достоверность и единство измерений при эксплуатации системы радиозондирования на аэрологической сети.

Понятно, что в рамках данной статьи невозможно описать как решались все вопросы, связанные с разработкой системы метрологического обеспечения радиозондирования атмосферы. Рассматриваемые здесь вопросы посвящены разработке общей методологии построения такой системы и детальным метрологическим исследованиям используемых в настоящее время датчиков сетевых радиозондов. Ввиду недостатка места вопросы точности измерений параметров ветра и вычисления атмосферного давления на различных высотах будут рассмотрены в последующих статьях. Для измерения температуры и влажности при радиозондировании атмосферы используется так называемый “контактный” метод. Сущность контактного метода заключается в

приведении соответствующего первичного измерительного преобразователя (датчика) в непосредственное взаимодействие (тепло- и массообмен) с измеряемой средой, в результате которого температура и влажность, устанавливающиеся на поверхности датчика (измеряемые параметры), должны быть достаточно близки к соответствующим действительным параметрам атмосферы. С этой целью датчики температуры и влажности радиозондов конструируются в виде миниатюрных тел простой геометрической формы [4]. В тепловом отношении — это “тонкие” тела [5], температура которых практически одинакова во всех точках тела, в том числе и на поверхности. Однако, как уже указывалось, процесс измерений при подъеме радиозонда происходит в условиях воздействия на датчики большого комплекса влияющих величин — температуры, давления, влажности, солнечной и длинноволновой радиации, собственного излучения датчиков, смачивания датчиков жидкими осадками — изменяющихся в процессе зондирования в весьма широких пределах. Для осуществления электрических измерений через датчик, как правило, пропускают электрический ток, вызывающий разогрев датчика. Измерения производятся в динамическом режиме, т.е. при движении в среде с переменной скоростью, плотностью, температурой, влажностью и т.д. Все эти процессы приводят к отклонению “собственной” температуры и влажности датчика от соответствующих параметров среды.

В работе [6] обобщены полученные ранее результаты и построена общая теория взаимодействия датчиков радиозондов со средой, с учетом взаимосвязанных процессов тепло - массопереноса в пограничном слое. Теоретическое рассмотрение этих процессов позволило получить следующую физическую модель формирования теплового и сорбционно-массового состояния датчиков температуры и влажности в полёте. Равновесная температура поверхности тела T_s определяется энергообменом этого тела с воздушной средой, а также наличием внешних и внутренних источников энергии. Равновесное давление водяного пара на поверхности тела e_s определяется массообменом тела со средой.

Решение системы уравнений тепло- и массообмена на поверхности “тонкого” (в указанном выше смысле) твердого тела, движущегося на некоторой высоте в атмосфере, для датчиков температуры и влажности радиозонда можно представить в виде [7]:

$$T_s - T_B = \left[\left(T_{s,0} - T_{B,0} \right) - \frac{\beta}{\alpha} L_s \frac{\rho_{\pi,s}}{e_s} \frac{P}{P_A} (e_s - e_B) - \right. \\ \left. - \frac{\bar{B}}{\alpha} - \frac{U_d^2}{R_d S_d \alpha} + \frac{\bar{Q}_d}{\alpha} + h\tau \right] \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) - \quad (3)$$

$$- h\tau + \frac{\beta}{\alpha} L_s \frac{\rho_{\pi,s}}{e_s} \frac{P}{P_A} (e_s - e_B) + \frac{\bar{B}}{\alpha} + \frac{U_d^2}{R_d S_d \alpha} - \frac{\bar{Q}_d}{\alpha},$$

$$e_s - e_B = [(e_{s,0} - e_{B,0}) + \gamma_B \lambda] \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) - \gamma_B \lambda, \quad (4)$$

где S_d – площадь поверхности тела, D_s – коэффициент диффузии водяного пара в воздухе, отнесенный к температуре T_s , L_s – удельная теплота фазового превращения воды, отнесенная к T_s , $\rho_{\pi,s}$ – плотность водяного пара на поверхности тела, P/P_A – поправка на Стефанов поток, P и P_A – давление воздуха и парциальное давление сухого воздуха соответственно, ϵ – отношение плотности водяного пара к плотности воздуха, Q_P – радиационный поток тепла, поглощенный единицей поверхности тела; Q_d – тепловой поток, излучаемый единицей поверхности тела; Q_k – конвек-

тивный поток тепла (направлен по направлению оси Z при $T_s > T_B$); T_B, T_s – температура воздуха в невозмущенном потоке и поверхности тела соответственно; Q_L - поток тепла за счет изменений агрегатного состояния воды на поверхности тела (направлен по направлению оси Z при испарении воды и в обратном направлении – при конденсации); $Q_{ДЖ}$ - джоулево тепло, поступающее

к единице поверхности при прохождении электрического тока через тело; $M_i = -m \frac{de_s}{dt}$ – поток массы водяного пара через единицу поверхности аккумулируемый телом, m – масса водяного пара, поглощаемая единицей поверхности тела при изменении давления водяного пара e_s на его поверхности на единицу в соответствии с изотермой сорбции; $M_{КТД}$ – поток массы водяного пара к единице поверхности тела за счет концентрационной и термической диффузии.

$$M_{КТД} = -D_s \frac{\varepsilon}{P_A T_s} \cdot \frac{P}{P_A} \left(\frac{\partial e}{\partial z} \right)_s = -D_s \frac{\rho_{\pi,s}}{e_s} \cdot \frac{P}{P_A} \left(\frac{\partial e}{\partial z} \right)_s$$

$$Q_T = \frac{2\pi R_K}{S_D} \left[2\lambda_1 r_1^3 (\alpha_1 + 4\gamma_1 \sigma_0 T_B^3) \right]^{1/2} \cdot \left[(T_s - T_B) - \frac{N_1}{\pi(\alpha_1 + 4\gamma_1 \sigma_0 T_B^3)} \right]$$

- поток тепла через токоподводы, R_K – термическое сопротивление контактов преобразователя с токоподводом, u_d – падение напряжения на датчике, R_d – электрическое сопротивление датчика.

$\bar{B} = (Q_P - Q_L)$ - радиационный баланс тела термодатчика,

$$\bar{B} = F_\pi (1 - A_\pi) \phi_{ДП} + [F_{O3} (1 - A_{O3}) + F_{ДЗ} (1 - A_{ДЗ})] \phi_{ДЗ} - \gamma \sigma_0 T_s^4,$$

где α и β – коэффициенты конвективного теплообмена и массообмена соответственно, γ – коэффициент излучения поверхности датчика, δ_0 – постоянная Стефана-Больцмана, $\phi_{ДП}$ и $\phi_{ДЗ}$ – соответственно коэффициенты облученности датчика потоками прямой солнечной радиации и длинноволнового излучения Земли, F_π, F_{O3} и $F_{ДЗ}$ – соответственно потоки прямой солнечной радиации, отраженной от подстилающей поверхности радиации и собственного длинноволнового излучения Земли, A_π, A_{O3} и $A_{ДЗ}$ – соответственно интегральное альбедо поверхности датчика для соответствующих потоков радиации, t – показатель термической инерции (постоянная времени) датчика температуры радиозонда, λ – показатель массовой инерции (постоянная времени) датчика влажности радиозонда. Величины t и λ определяются выражениями:

$$\tau_u = \frac{C_d}{S_d \alpha}, \quad (5)$$

$$\lambda = \frac{1}{D_s \frac{P}{P_A} \rho_{\pi,s} N u_{m,s}} \left\{ 4 V_{c,l} \Pi \rho_x \left[1 - \frac{2r}{(1+k\varphi_s)r_{\pi,0}} \left(\frac{1}{1-\varphi_s} \right) \right] \times \frac{r}{(1+k\varphi_s)r_{\pi,0}} \left(\frac{\varphi_s}{1-\varphi_s^2} \cdot l \right) \right\} (6),$$

$$N u_{m,s} = \frac{\beta_\ell \cdot \ell}{D_s}$$

где $N u_{m,s}$ - критерий Нуссельта, k – коэффициент относительного удлинения радиуса пор $r_{\pi,0}$ датчика в процессе сорбции, Π – показатель пористости, $r_1, \lambda_1, a_1, \gamma_1, N_1$ соответственно, радиус, коэффициенты теплопроводности, теплообмена и излучения токоподвода, и радиационный поток тепла, поглощаемый токоподводом.

Система уравнений (3) – (4) описывает взаимосвязанный тепло- массообмен датчиков радиозонда с учётом различных факторов окружающей среды, влияющих на эти процессы. Первые два члена правой части уравнения (3) выражают динамические погрешности измерений, следующий член — влияние влажности среды и смачивания датчика, члены β/a и $U^2/(R \cdot S_d \cdot a)$ описывают влияние радиации и рабочего тока на измерение температуры. Последний член правой части этого выражения отражает влияние на точность измерения конструктивного исполнения датчика. Первый член правой части уравнения (4) выражает погрешность измерения влажности, вызванную неравенством температуры датчика и среды. Последующие два члена выражают динамические погрешности измерений. С метрологической точки зрения эти уравнения являются «физической моделью» процесса измерений температуры и влажности при радиозондировании атмосферы. На основе физической модели были выделены и исследованы следующие метрологические характеристики (МХ) датчиков температуры и влажности (см [8]): $F(T)$ или $F(\varphi)$ -статическая характеристика преобразования датчиков, $\pm \Delta F(T)$ или $\pm \Delta F(\varphi)$ -диапазон изменения электрического параметра датчика, ΔD , оснТ или ΔD , оснφ -суммарное значение основной погрешности датчика, АП -альбедо поверхности датчика, $\psi(T_{s,r})$ -функция влияния температуры на СХП датчика влажности, $\Delta(B)$ -погрешность датчика за счёт облучения коротковолновой и длинноволновой радиацией, ФТ -смачиваемость поверхности датчика, $H_T(t)$ -переходная (динамическая) характеристика датчика, τ или λ -постоянная времени датчика, $\psi_\tau(G)$ -функция влияния плотности среды и скорости обдува на постоянную времени датчика температуры, $\psi_\lambda(T_{s,r})$, $\psi_\lambda(P)$, $\psi_\lambda(\varphi_s)$ и $\psi_\lambda(V)$ -функции влияния температуры, давления, направления изменения влажности среды и скорости обтекания датчика на постоянную времени датчика влажности, $M[\Delta_c(\tau)]_p$ и $M[\Delta_c(\lambda)]_p$ -математическое ожидание динамической погрешности датчика температуры и влажности соответственно; $[\sigma(\Delta_\tau)]_p$ и $[\sigma(\Delta_\lambda)]_p$ -среднее квадратичное отклонение динамической погрешности датчика температуры и влажности соответственно; N и $[\Delta/(N)]_p$ -коэффициент рассеяния мощности и наибольшее допустимое значение изменения выходного сигнала датчика температуры за счет перегрева рабочим током; $[\Delta(B)]_p$ -погрешности измерений за счет выделения водяного пара батареей; $M_T[\Delta_c]_p$ и $M_\varphi[\Delta_c]_p$ -математическое ожидание систематической составляющей суммарной погрешности датчика температуры и влажности соответственно на различных уровнях в атмосфере; $[\sigma_\tau(\Delta)]_p$ и $[\sigma_\varphi(\Delta)]_p$ -среднеквадратичное отклонение случайной составляющей суммарной погрешности датчика

температуры и влажности соответственно на различных уровнях в атмосфере; $[\Delta_{T,\Sigma}]_p$ и $[\Delta_{\varphi,\Sigma}]_p$ - предельное значение погрешности соответственно каналов температуры и влажности на различных изобарических поверхностях в атмосфере.

Систематическая составляющая радиационной погрешности $M[\Delta(B)]_p$, определяемая экспериментальным или расчетным путем, не включена в число составляющих $M_T[\Delta_C]_p$, так как при обработке результатов радиозондирования она вводится в виде поправки. Вводимые в настоящее время радиационные поправки [9] уточнены в [7], поэтому в модели суммарной погрешности измерений температуры учитывается различие между вводимыми $\Delta(B)_e$ и уточненными $\Delta(B)_y$ значениями радиационных поправок $\Delta(B)_{ey} = \Delta(B)_e - \Delta(B)_y$.

Также были построены [9], математические модели позволяющие вычислять величины составляющих и суммарные погрешности каналов температуры и влажности радиозондов [6,7].

Для канала температуры:

- Оценка математического ожидания систематической составляющей погрешности на различных уровнях в атмосфере

$$\tilde{M}_T[\Delta_{C,\Sigma}]_p = \tilde{M}[\Delta_{C,OCH,X}] + \tilde{M}[\Delta_C(\tau)]_p + \tilde{\Delta}\ell(W) + [\tilde{\Delta}\ell(N)]_p + [\tilde{\Delta}(B)]_p, \quad (7)$$

Систематическая составляющая радиационной погрешности $\tilde{M}[\Delta B]_p$, определяемая экспериментальным или расчётным путём, не включена в число составляющих $\tilde{M}[\Delta_{C,e}]_p$, т.к. при обработке результатов зондирования она вводится в виде поправки. В то же время, поскольку вводимые в настоящее время радиационные поправки [10] $\Delta(B)_e$ уточнены [6,7] $\Delta(B)_y$, в модели (3) учитывается различие между вводимыми и уточнёнными значениями радиационных поправок

$$\Delta B = \Delta B_B - \Delta B_y.$$

- Оценка среднего квадратичного отклонения случайной составляющей погрешности на различных уровнях в атмосфере

$$[\tilde{\sigma}_T(\Delta_\Sigma)]_p = \sqrt{\tilde{\sigma}^2(\Delta_{C,OCH,X}) + [\tilde{\sigma}^2(\Delta_B)]_p + [\tilde{\sigma}^2(\Delta_\tau)]_p + [\tilde{\sigma}_T(\Delta_R)]_p + \tilde{\sigma}^2(\Delta_{KB}) + \tilde{\sigma}_{obp}^2 + [\tilde{\sigma}_T^2(\Delta_H)]_p} \quad (8)$$

- Оценка предельного значения погрешности на различных уровнях в атмосфере

$$[\tilde{\Delta}_{T,\Sigma}]_p = \tilde{M}[\Delta_C]_p \pm K(\alpha)[\tilde{\sigma}_T(\Delta_\Sigma)]_p + \{\tilde{\Delta}\ell(E)\}_p \quad (9)$$

где $K(\alpha)$ – коэффициент, учитывающий характер закона распределения погрешности и выбранное значение вероятности. В фигурные скобки заключена ошибка за счет смачивания, носящая эпизодический характер.

Для канала влажности, соответственно

$$\tilde{M}_\varphi [\Delta_{C,\Sigma}]_p = \tilde{M} [\Delta_{OCH,X}] + \tilde{M} [\Delta_C(\lambda)]_p + [\bar{\Delta}(T_{S,\Gamma})]_p + [\tilde{\Delta}(\Delta \bar{T}_\varphi)]_p + [\bar{\Delta}(L)]_p + [\bar{\Delta}(B)]_p, \quad (10)$$

$$[\tilde{\sigma}_\varphi (\dot{\Delta}_\Sigma)]_p = \sqrt{\tilde{\sigma}^2 (\Delta_{OCH,X}) + \tilde{\sigma}^2 (\dot{\Delta}_{\varepsilon_\Delta}) + [\tilde{\sigma}^2 (\dot{\Delta}_{T_{S,\Gamma}})]_p + [\tilde{\sigma}^2 (\dot{\Delta}_{\Delta T_\varphi})]_p + [\sigma^2 (\dot{\Delta}_\lambda)]_p} \quad (11)$$

$$[\Delta_{\varphi,\Sigma}]_p = \tilde{M}_\varphi [\Delta_{C,\Sigma}]_p \pm K(\alpha) [\tilde{\sigma}_\varphi (\dot{\Delta}_\Sigma)]_p + \{ \Delta \ell_\varphi (E) \}_p, \quad (12)$$

где $\tilde{M} [\circ]$ - символ выборочной оценки математического ожидания,

$\tilde{\sigma} [\circ]$ - символ выборочной оценки среднего квадратичного отклонения (СКО).

$K(a)$ – коэффициент, учитывающий характер закона распределения погрешности системы и выбранное значение вероятности. Если принять, что в силу большого количества составляющих случайная погрешность подчиняется нормальному закону распределения, то при заданной вероятности $a=0,95$ коэффициент $K(a)$ будет равен 2. Если задаться вероятностью оценки $a=0,9$, то $K(a)$ будет равен 1,6 для широкого класса наиболее часто встречающихся законов распределения вероятности [11]. В фигурные скобки заключена ошибка за счёт смачивания, носящая эпизодический характер. Обобщённые (по условиям измерений) величины суммарных погрешностей измерений температуры при радиозондировании атмосферы представлены в таблице 4 и для наглядности на рис. 2. Как видим, указанные разности находятся в пределах вычисленных доверительных интервалов погрешностей радиозондов, подтверждая их достоверность. Суммарные погрешности измерений влажности, полученные аналогично погрешностям измерений температуры, представлены в таблице 5 и для наглядности на рис. 3.

Таблица 4 Величины систематической $M_T [\Delta_c]_p$ и случайной $[\sigma_T(\Delta)]_p$ составляющих, а также суммарных погрешностей (при вероятности $P=0,95$) измерений температуры на различных высотах при радиозондировании атмосферы, °C

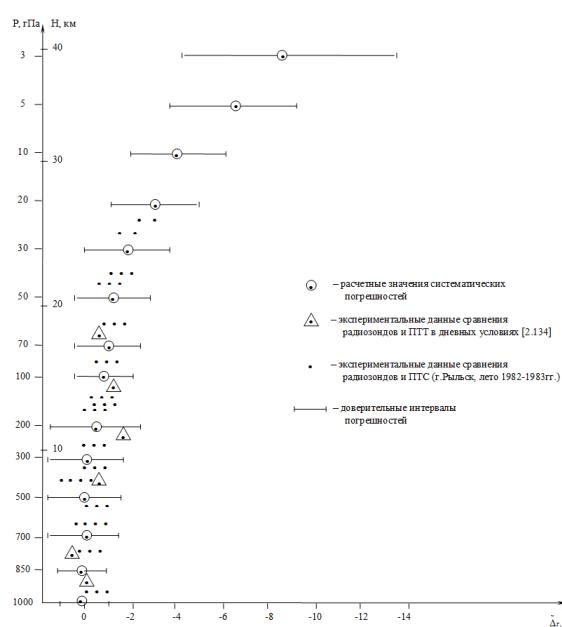
P гПа	$M_T [\Delta_c]_p$	$[\sigma_T(\Delta)]_p$	$[\Delta_{T,a}]$
1000	0,1	0,50	$0,1 \pm 1,0$
850	0,2	0,50	$0,2 \pm 1,0$
700	0,2	0,55	$0,2 \pm 1,1$
500	0,3	0,60	$0,3 \pm 1,2$
300	0,3	0,70	$0,3 \pm 1,4$
200	-0,1	0,75	$-0,1 \pm 1,5$
100	-0,4	0,55	$-0,4 \pm 1,1$
70	-0,5	0,60	$-0,5 \pm 1,2$
50	-0,6	0,65	$-0,6 \pm 1,3$
30	-1,0	0,70	$-1,0 \pm 1,4$
20	-1,9	0,90	$-1,9 \pm 1,8$
10	-3,0	1,44	$-3,0 \pm 2,5$
5	-5,9	1,25	$-5,9 \pm 3,8$
3	-8,8	2,50	$-8,8 \pm 5,0$

Таблица 5 Суммарные погрешности (с вероятностью $P = 0,95$) измерений влажности при радиозондировании атмосферы

$P, \text{ гПа}$	$\left[\tilde{\Delta}_{\varphi, \Sigma} \right]_P, \%$ в единицах относит. вл-сти	$\left[\tilde{\Delta}_{d, \Sigma} \right]_P, ^\circ\text{C}$ в единицах точки росы
1000	1 ± 19	$0,2 \pm 6,0$
850	2 ± 19	$0,5 \pm 5,7$
700	5 ± 19	$1,0 \pm 5,5$
500	8 ± 24	$1,6 \pm 5,4$
300	15 ± 31	$2,3 \pm 5,9$
200	44 ± 19	$12 \pm 7,6$
100	23 ± 19	$8 \pm 7,6$
70	19 ± 18	$7 \pm 7,6$
50	18 ± 18	$7 \pm 7,6$
30	16 ± 17	$7 \pm 7,6$
20	16 ± 16	$7 \pm 7,6$
10	16 ± 15	$7 \pm 7,6$
5	13 ± 15	$7 \pm 7,6$
3	10 ± 14	$7 \pm 8,7$

Как видим, эти погрешности достаточно велики как по температуре, так и по влажности, в особенности, при измерении влажности выше 5-7 км пр. Для высот выше 26 км имеются только теоретические расчёты погрешности измерения температуры, которые безусловно нуждаются в экспериментальной проверке.

Рис 2. Величины суммарных погрешностей измерений температуры при радиозондировании атмосферы.



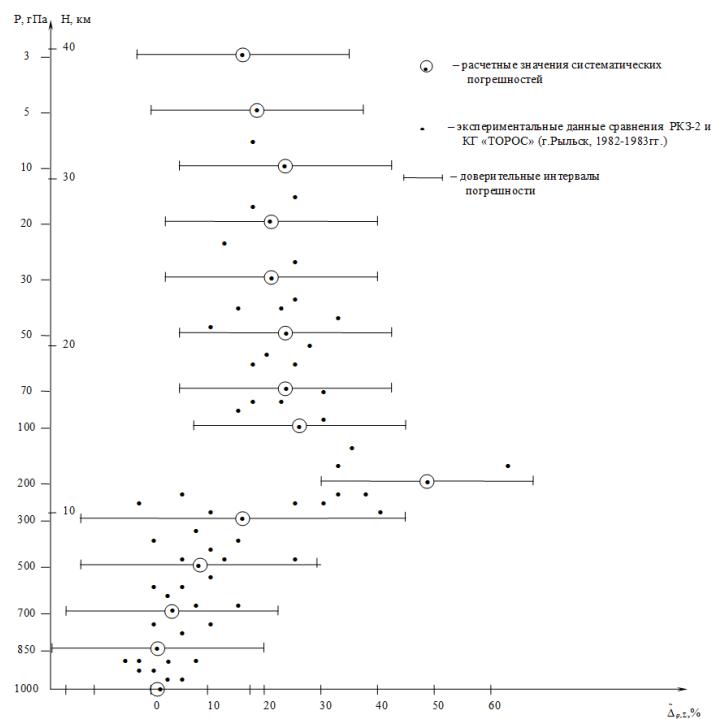


Рис.3. Величины суммарных погрешностей измерений относительной влажности при радиозондировании атмосферы.

В таблицах 1 и 2 приведены две градации требований к точности аэрологических измерений температуры и влажности – погрешность, при которой не требуется усовершенствования оборудования и предельная погрешность, выше которой данные радиозондирования теряют свою ценность.

Сопоставление полученных выше оценок погрешностей систем радиозондирования «МАРЛ – р/з 1680 МГц» и «АВК-1 – р/з 1780 МГц» с этими требованиями показывает, что точность радиозондирования ещё далека от требуемой. В то же время, она не выходит за пределы, определяющие практическую ценность данных о температуре и влажности для изучения и прогноза атмосферных процессов мезо- и синоптического масштабов.

Это позволяет использовать полученные оценки погрешностей радиозондирования в качестве «национальных» норм точности, соблюдение которых гарантирует нормированную достоверность и единство измерений на всей аэрологической сети РФ и стран СНГ.

Литература:

1. Потёмкин И.Г., Фридзон М.Б. О метрологическом обеспечении радиозондирования. Final report of Commission for inst. and methods of observation (CIMO) on 2 session of the working group on upper-air technology basic to user needs. De Bilt, Netherlands, 17-21 sept 1984, priprint, - 21 с.
2. Guide to meteorological instrument and observing practices. // WMO. 1984. No.6. 600 p.
3. Кузнецов В.П. Метрологические характеристики измерительной системы. М.: Машиностроение, 1979. 56с.
4. Шефтель И.Т. Терморезисторы. М.Наука, 1974, - 744 с.
5. Дульнев Г.Н., Терновский Н.Н. Тепловые режимы электронной аппаратуры.–Л.: Энергия, 1971. 248с.

6. Марк Фридзон. *Метрология радиозондирования атмосферы (Методология и достоверность результатов радиозондирования атмосферы)*. Изд.LAP LAMBERT Academic Publishing, Berlin, 2011, 288с
7. В.Э.Иванов, М.Б.Фридзон, С.П.Ессяк . *РАДИОЗОНДИРОВАНИЕ АТМОСФЕРЫ. Технические и метрологические аспекты разработки и использования радиозондовых измерительных средств*. Научное издание НИСО УрО РАН, г Екатеринбург, 2004 г, 590 с
8. М.Б.Фридзон. *Метрологические характеристики первичных измерительных преобразователей аэрологических радиозондов*. Измерительная техника № 9, 1984, с 58 – 59
9. Евтушенко О.А., Ермошенко Ю.М. *Модели динамики движения ВС и навигационных измерений в аппаратуре потребителей СРНС*. Материалы XI Международной научно-практической конференции «Naukowa przestrzen Europy – 2015», 07 – 15 kwientnia 2015, v. 26, Techniczne nauki. Przemysl.Nauka I studia- 2015, с 59 - 61
10. Зайчиков П.Ф. *Методика определения радиационных поправок к показаниям температуры радиозондами А-22-III, РК3-1 и Р3-049 по данным разности температуры «день минус ночь»*. Труды ЦАО, вып.43. –М., 1962, с.10-21
11. Новицкий П.В., Зограф И.А. *Оценка погрешностей результатов измерений*. Энергоатомиздат.Л, 1985, - 248с.

Авторы:

Фридзон Марк Борисович - заместитель директора по науке и развитию ООО «Аэроприбор», д.т.н.; Ермошенко Юлия Марковна – Заместитель директора ООО «Аэроприбор»

ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЙ МОНИТОРИНГ МАССЫ И ЦЕНТРОВКИ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ И ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ

А.А. Богоявленский

К.т.н., член-корреспондент Метрологической Академии,
главный метролог ФГУП ГосНИИ ГА

Стандарты и рекомендуемая практика ИКАО, отраженные в DOC 9760 AN/967 (том 1, дополнение С к главе 5) [1], предусматривают периодическое взвешивание ВС в процессе эксплуатации.

При этом, при проверке в 2003 году состояния работ по обеспечению безопасности полётов инспекторской группой ИКАО одним из несоответствий явилось отсутствие в ГА РФ процедуры контроля массы ВС в процессе эксплуатации. Необходимость в проведении такого рода работ обусловлено внедрением в ГА РФ системы продления ресурсов ВС по «Программам исследования технического состояния...».

Федеральным агентством воздушного транспорта (Росавиация) при подготовке к плановой (2008 г.) инспекции ИКАО перед ГосНИИ ГА была поставлена задача устраниТЬ отмеченное несоответствие.

Для её решения, специалистами отдела метрологии ГосНИИ ГА на основании системного подхода было выделено два направления проведения работ:

- 1) разработка технологий взвешивания ВС, включающей аппаратуры;
- 2) разработка Инструкции по контролю массы воздушных судов.

Разработка технологий взвешивания ВС

Специалистами отдела метрологии ГосНИИ ГА во исполнение DOC 9760 AN/967 (том 1, дополнение С к главе 5) [1] разработаны технологии взвешивания ВС, блок-схема которых приведена на рис. 1.

ГосНИИ ГА при разработке технологий взвешивания ВС в эксплуатации было выполнено следующее:

-разработано Техническое задание на проектирование и изготовление измерительных датчиков и весоизмерительной системы в целом, технологической оснастки (силопередающих узлов) для ВС, а также программного обеспечения;

-проведены государственные и ведомственные испытания весоизмерительной системы. Система внесена в Государственный реестр средств измерений № 28108-04 и имеет Регистрационное удостоверение Росавиации № 208-01-2008 по Перечню специальных средств измерений, применяемых в ГА; при этом, весоизмерительная система в части пределов допускаемой погрешности по ГОСТ Р 53228-2008 [2] относится к классу III и имеет погрешность не более $\pm 0,1\%$;

-решены вопросы периодического метрологического обслуживания весоизмерительной системы;

-разработаны методики выполнения измерений (МВИ) массы и определения центровки ВС, которые аттестованы по ГОСТ Р 8.563-2009 [3] и ОСТ 54-3-154.82-2002 [4];

-проведено обучение специалистов отдела метрологии ГосНИИ ГА на базе предприятия-изготовителя весоизмерительной системы с выдачей именных сертификатов с допуском к проведению работ;

-проведена апробация технологий взвешивания в эксплуатационных предприятиях с целью внедрения в практику ГА.

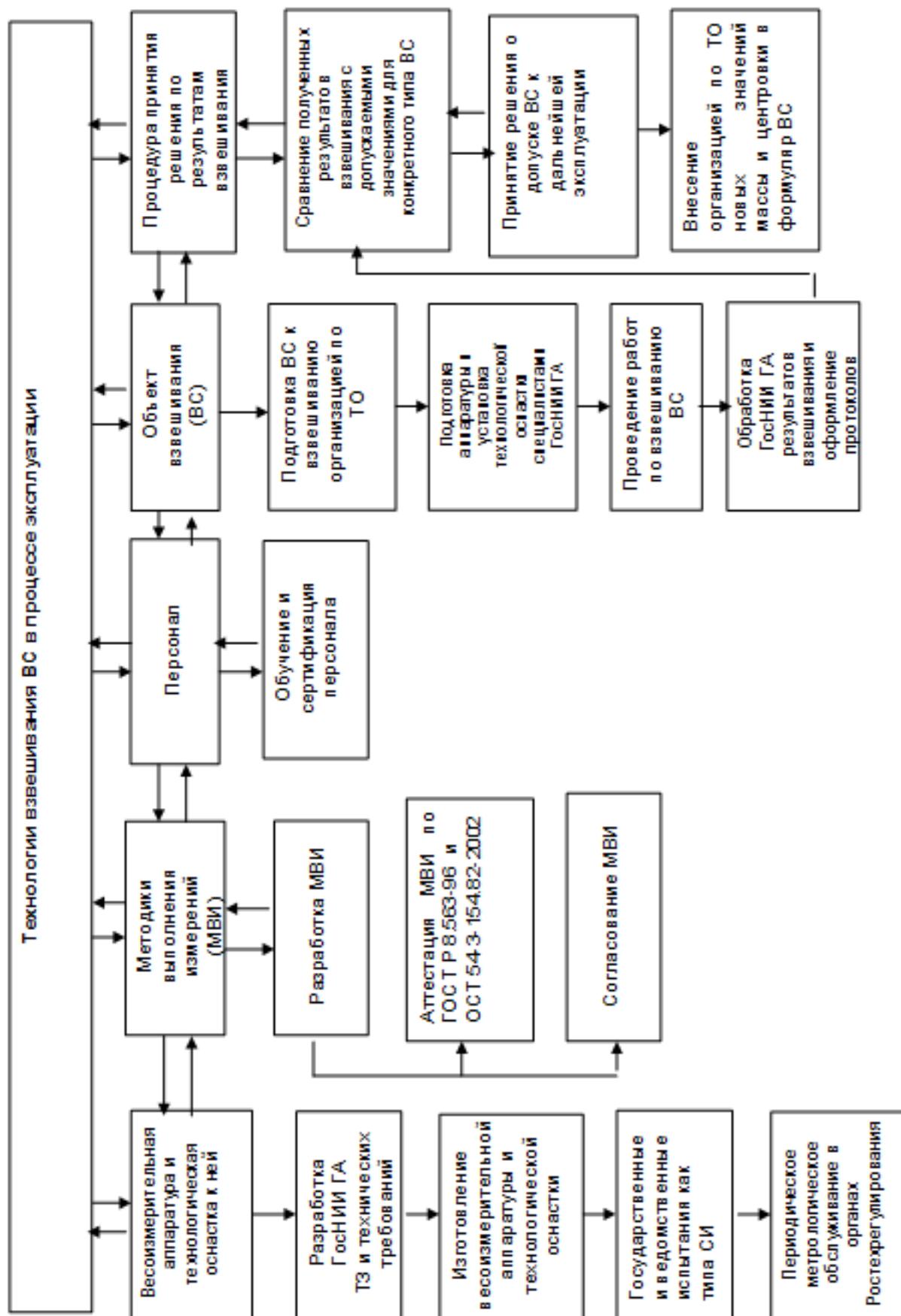


Рис. 1. Блок-схема технологий взвешивания ВС в процессе эксплуатации

Разработка Инструкции по контролю массы ВС

Существующие нормы лётной годности ВС предусматривают процедуру взвешивания и определения центра масс ВС. По сложившейся практике отечественной гражданской авиации ВС проходили взвешивание при выполнении очередного ремонта. На момент проверки обеспечения безопасности полётов инспекторской группой ИКАО в 2003 г, процедура, позволяющая периодически контролировать массу и центр масс ВС в процессе эксплуатации, не разрабатывалась.

По результатам проверки, осуществлявшейся комиссией ИКАО в 2003 г., рекомендовано внести изменения в ФАП-132 [5], включив требования к измерению массы и определению центра масс для всех ВС, которые претерпевают изменения в результате изменения конфигурации, крупных ремонтов или модификаций, и подготовить инструктивный материал для эксплуатантов с требованиями относительно того, когда ВС должно взвешиваться, особенно в связи с тем, что в Реестр ВС РФ включен смешанный парк ВС различных изготовителей.

Инструкция по контролю массы ВС [6] (далее – «Инструкция...»), разработанная специалистами отдела метрологии ГосНИИ ГА, описывает и регламентирует процедуры проверки массы и центра масс ВС в соответствии с документом ИКАО «Руководство по лётной годности» DOC 9760 AN/967 (том 1, дополнение С к главе 5) [1] и ФАП-132 [5].

В разработанной «Инструкции...» [6]:

-установлена программа взвешивания ВС, позволяющая определять массу всех ВС, принадлежащих авиакомпании;

-определены требования к владельцу (эксплуатанту) по предоставляемому им оборудованию, помещениям перед процедурой взвешивания, в части касающейся:

- 1) ангарного помещения;
- 2) персонала, допущенного к обслуживанию самолетов;
- 3) гидроподъёмников, указанных в нормативных документах по эксплуатации данного типа ВС;
- 4) опор и ложементов;
- 5) источников электропитания;
- 6) ведомостей недостающего оборудования;
- 7) ведомостей излишне установленного оборудования.

В «Инструкции...» [6] регламентирована также обязательность прохождения весоизмерительным оборудованием метрологического обслуживания (проверки или калибровки) на базе изготовителя или другого органа, уполномоченного Росстандартом, с периодичностью один раз в год.

В «Инструкции...» [6] отражена возможность различных вариантов периодичности измерения массы. Количество взвешиваемых ВС из парка авиакомпании может быть уменьшено при незначительном изменении весовых характеристик в течение определенного периода.

Согласно [1], [6] периодичность проведения работ по взвешиванию составляет не чаще чем один раз в два года, но не реже, чем один раз в четыре года. Оптимальным можно считать периодичность проведения работ по каждому экземпляру ВС - не реже одного раза в три -четыре года с момента предыдущего взвешивания.

Инструкция по контролю массы ВС введена в действие Распоряжением [6] Росавиации.

Этим же Распоряжением на ГосНИИ ГА возложено осуществление методического руководства проведением работ по взвешиванию ВС в ГА РФ, а в рамках ГосНИИ ГА - указанием по институту от 14.05.2007 № 7/у - эти работы поручено выполнять отделу метрологии.

Практическое применение разработанных технологий

Технология взвешивания ВС в эксплуатации с применением портативной весоизмерительной системы, принадлежащей НЦ ПЛГВС ГосНИИ ГА, предполагает установку на штатные гидроподъёмники измерительных датчиков весоизмерительной системы с последующим подъемом на них ВС до отрыва от земли колес.

Схема проведения измерений массы и определения центра масс - на примере самолёта Ту-154М - приведена на рис. 2

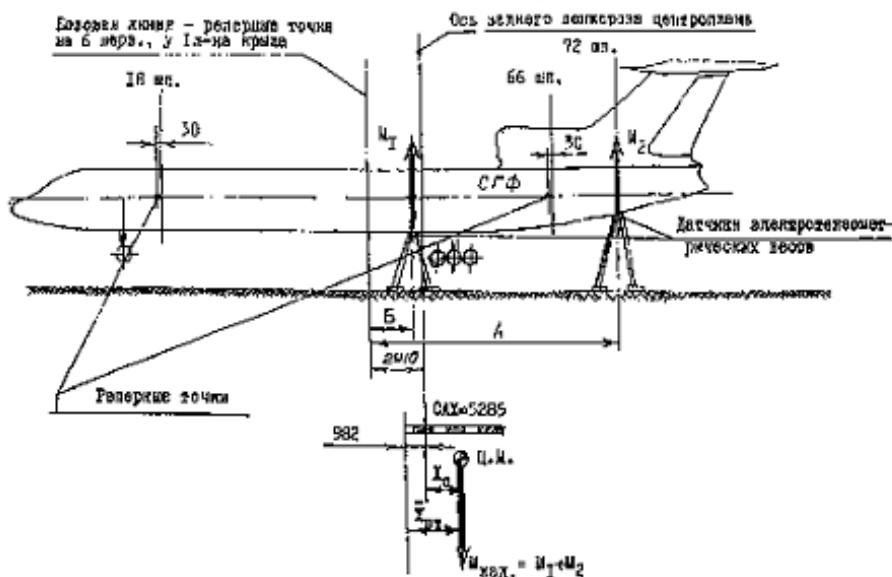


Рис. 2. Схема проведения измерений массы и определения центра масс на примере самолёта Ту-154М

Специалистами отдела метрологии ГосНИИ ГА в период с 2007 по 2015 год произведено взвешивание более 200 экземпляров ВС. При этом отдельные экземпляры ВС не взвешивались по десять и более лет, так как не подвергались ремонту.

Как показал анализ полученных результатов, в 70 % взвешиваний имеет место увеличение массы пустого ВС по сравнению с предыдущим взвешиванием на (0,6-1,4) %. По абсолютной величине - например, для самолётов Ту-154М и Ту-204 - это увеличение составляет от 300 до 750 кг.

Увеличение массы по результатам взвешивания ВС в эксплуатации может быть связано с целым рядом причин, например:

- конструктивными изменениями ВС (в т.ч. усилением элементов конструкции фюзеляжа, заменой пассажирских кресел и др.);

- установкой нового дополнительного бортового оборудования (например, TCAS-II, APM-406П, APM406-AC-1, ARGUS-5000, ВБЭ-СВС и др.), которым в последнее время в обязательном порядке оснащаются ВС;

- гигроскопичностью теплозвукоизоляции (ТЗИ), которая в осенне-зимний период эксплуатации может впитать в себя значительное количество влаги (на самолётах Ту-154М, например, оно может достигать до 300 кг – по данным ОАО «Туполев»).

Очевидно, что увеличение массы пустого ВС приводит к снижению коммерческой загрузки эксплуатируемых ВС.

Избежать снижения коммерческой загрузки в этом случае можно путем уменьшения таких составляющих погрешностей взлётной массы как погрешность массы заправляемого топлива (в т.ч., погрешность массы аэронавигационного запаса топлива), погрешность массы пассажиров, багажа (грузов) и т.д. Для определения возможности снижения погрешностей указанных составляющих необходимо проведение дополнительных исследований и разработка специальных рекомендаций по повышению точности измерений, что позволит компенсировать (исключить) влияние увеличения массы пустого самолёта.

Названная возможность обусловлена следующим. Погрешность штатных бортовых топливомеров на ВС может достигать $\pm 3\%$. Более достоверно объем заливаемого топлива определяется при заправке ВС по счётчикам, установленным на топливозаправщиках. Погрешность измерений таких счётчиков находится согласно [7] в диапазоне $\pm(0,5-1,0)\%$.

Современные серийно выпускаемые счётчики расхода топлива, которые могут быть установлены на топливозаправщиках, имеют погрешность $\pm 0,25\%$. Таким образом, при более точном измерении количества (массы) заправляемого топлива можно снизить влияние увеличения массы пустого ВС на величину коммерческой нагрузки.

Могут быть проведены также исследования влияния погрешности определения (нормирования) массы пассажиров, которая инструментально никак не определяется. До настоящего времени так называемая средне-статистическая масса пассажиров при расчёте взлетной массы ВС принимается согласно нормативов, установленных РЦЗ-83 [8]. В названном документе масса взрослого пассажира с ручной кладью (у каждого - до 5 кг) принимается равной 80 кг; масса детей от 5 до 12 лет – равной 30 кг; масса детей до 5 лет – равной 20 кг. Очевидно, что уточнение среднестатистической массы пассажира или взвешивание каждого пассажира, к примеру, у стойки регистрации – позволило бы повысить достоверность такой составляющей взлётной массы ВС как масса пассажиров.

Весоизмерительная система, принадлежащая НЦ ПЛГВС ГосНИИ ГА портативна и транспортируема. Данное обстоятельство позволяет проводить работы с выездом в авиапредприятия, в которых имеется необходимость в проведении работ по взвешиванию ВС в эксплуатации.

При этом, на настоящий момент времени имеется возможность выполнения работ по измерению весовых характеристик до 10 - 15 самолётов в месяц силами специалистов отдела метрологии и с использованием оборудования НЦ ПЛГВС ГосНИИГА в любой точке РФ (при условии готовности самолёта к взвешиванию на момент приезда специалистов института).

К сожалению, инструментальная база контроля весовых характеристики ВС на целом ряде ремонтных предприятий ВТ и Центров ТОиР АТ требует радикальной модернизации.

Так, на ООО «Завод № 411 ГА» до настоящего времени для проведения работ по взвешиванию самолётов Ту-154 применяются три динамометра ДОСМ-3-50, имеющие верхний диапазон измерений 50 т и паспортную инструментальную погрешность измерений $\pm(0,3-0,5)\%$ от измеряемой величины. Кроме того, цена деления ДОСМ-3-50 равна 50 кгс, что приводит к возникновению дополнительной погрешности (так называемой погрешности дискретности отсчета, которая в данном случае составляет ± 150 кгс. Применение подобного рода оборудования не гарантирует достоверности результатов измерений массы ВС и не обеспечивает соблюдения требований разработчика.

Например, на ОАО «Магаданский АЗ № 73 ГА» взвешивание вертолётов Ми-8 после ремонта не производится по причине отсутствия весов. При этом, названное предприятие имеет сертификат организации по ТОиР АТ.

Анализ наличия и значимости воздействия влияющих факторов на результаты измерений массы и определения центровки

а) Влагонасыщенность теплозвукоизоляции (ТЗИ).

В суммарную погрешность измерений может входить дополнительная систематическая составляющая, обусловленная гигроскопичностью ТЗИ (масса впитавшейся в ТЗИ воды в процессе

лётной эксплуатации ВС). Согласно информации ОАО «Туполев» масса воды, поглощаемой ТЗИ например, самолёта Ту-134, может достигать до 170 кг.

В процессе ремонта ВС как правило производится полная замена ТЗИ на новое, а измерение массы и определение центровки выполнено до проведения испытательного полета, т.е. при отсутствии в ТЗИ воды.

Таким образом, влагонасыщенность ТЗИ на полученные результаты измерений массы и определения центровки влияния не оказывает.

б) Влияние температуры окружающего воздуха

Влияние температуры окружающего воздуха при проведении работ по взвешиванию ВС характеризуется возможностью изменения (увеличения) погрешности измерений при проведении работ в условиях, отличных от нормальных. При этом, согласно ГОСТ 8.395–80 «ГСИ. Нормальные условия измерений при поверке. Общие требования» для температуры нормальной величиной является значение (20 ± 5) °C.

Поскольку измерения массы Ту-134 ЛК борт. № 65151 проводились в диапазоне нормальной температуры (20 ± 5) °C, регламентированном стандартом, температура окружающего воздуха на результаты измерений, влияния не оказывает.

в) Влияние движения потоков воздуха (ветра).

С целью исключения влияния на результаты измерений колебаний ВС, вызванных возникновением подъёмной силы из-за циклического воздействия ветра, взвешивание проводится в закрытом ангаре. Данное обстоятельство позволило исключить влияние движения потоков воздуха (ветра) на результаты измерений.

г) Влияния неточности (погрешности) выставление ВС в линию горизонта – потенциально оказывает влияние на результаты расчета центровки (положения центра тяжести).

При втором измерении, результаты которого используются для определения центровки, самолёт устанавливается в «линию горизонта». Это достигается при помощи оптического нивелира и нивелирных реек путём определения превышения реперной точки на борту фюзеляжа у 15 шп., которое должно составлять не более ± 1 мм над реперной точкой на борту фюзеляжа у 55 шп.

С учётом того, что нивелир оптический по ГОСТ 10528–90 «Нивелиры. Общие технические условия» имеет среднюю квадратическую погрешность не более ± 3 мм на 1 км двойного хода, а расстояние между нивелиром и самолётом при выставлении в линию горизонта не превышает 10 м, то абсолютная погрешность при этом составит не более $\pm 0,03$ мм. При таком значении погрешности обеспечивается трёхкратный запас по точности при измерении превышения реперных точек не более ± 1 мм, что не вносит дополнительной значимой погрешности в расчёт центровки (положения центра масс).

д) Погрешность измерения линейных размеров (база А и база Б) – потенциально оказывает влияние на результаты расчета центровки (положения центра тяжести).

Для такого рода измерений применяется рулетка измерительная металлическая по ГОСТ 7502–98. При этом, полученные значения линейных размеров на примере самолёта Ту-134 для базы А составили 1,562 м, а для базы Б: 14,418 м. Абсолютная погрешность измерений рулетки рассчитывается по формуле: $\pm [0,40+0,20(L-1)]$ мм. Исходя из чего, абсолютная погрешность измерений базы А равна $\pm 0,5124$ мм, а базы Б: $\pm 3,0836$ мм (относительная погрешность: $\pm 0,033\%$ для базы А и $\pm 0,021\%$ для базы Б соответственно).

Таким образом, по сравнению с погрешностью измерений платформенных весов ($\pm 0,1\%$) погрешности измерений базы А и базы Б пренебрежимо малы, дальнейшему учёту не подлежат.

е) Влияние отклонения положения колёс самолёта (на платформах весов) от центра при проведении взвешивания.

При накатывании колёс ВС возможно их расположение не по центру весоизмерительных платформ, что приводит к возникновению дополнительной неучтённой систематической погрешности измерений массы.

В каждом конкретном случае можно обеспечить отклонения положений колёс ВС от центра на каждой из трёх платформ весов при проведении взвешивания, не превышающее 5 мм, что не вносит дополнительной погрешности.

Рекомендации

1. Ввести - как обязательную в ГА РФ - процедуру периодического взвешивания ВС в эксплуатации, включая её в программы оценки технического состояния при продлении ресурсов и сроков службы ВС.
2. Обеспечить периодичность проведения работ по каждому экземпляру ВС - не реже одного раза в три года с момента предыдущего взвешивания.
3. Актуализировать (разработать) и внедрить в практику ГА методики выполнения измерений массы и определения центра масс для воздушных судов отечественного и зарубежного производства, находящихся в Реестре ВС РФ, с учётом использования современных средств измерений массы.
4. Провести модернизацию инструментальной базы контроля массы ВС на базе действующих авиаремонтных заводов (АРЗ) и бывших АРЗ, преобразованных в Центры технического обслуживания и ремонта (ТОиР).
5. Разработать рекомендации по снижению влияния увеличения массы пустого ВС на значение коммерческой загрузки за счет внедрения мероприятий по снижению погрешности измерений заправляемого и аeronавигационного запаса топлива, погрешности массы пассажиров, багажа и грузов.

Выводы

1. ФГУП ГосНИИ ГА поставлена и решена задача формирования системы контроля массы ВС в процессе эксплуатации [9 - 12].
2. Результаты статистической обработки измерений массы ВС, произведённых специалистами отдела метрологии ГосНИИ ГА, подтвердили необходимость контроля массы ВС в процессе эксплуатации - в 70 % взвешиваний имеет место увеличение массы пустого ВС по сравнению с предыдущим взвешиванием на (0,6-1,4) %.
3. Разработанные технологии в части обеспечения единства, требуемой точности и достоверности измерений соответствуют положениям Федерального закона от 18.06.2008 г. № 102-ФЗ [13], и отвечают требованиям, предъявляемым разработчиками ВС.
4. Внедрение технологий взвешивания, разработанных ГосНИИ ГА позволило:
 - 4.1. Обеспечить внедрение в ГА документа ИКАО ДОС 9760 AN/967 (добавление С к главе 5) [1], ФАП-132 [5], Распоряжения Росавиации от 16.09.2008 г № БЕ 115-р [6] и стандартизовать требования и процедуры по контролю массы воздушных судов в РФ в разработанном ГосНИИ ГА национальном стандарте ГОСТ Р 54580-2011 [14].
 - 4.2. Проводить измерения массы ВС с относительной погрешностью не более $\pm 0,1\%$.
 - 4.3. Оперативно измерять массу ВС, при выполнении работ как в закрытых помещениях (ангарах), так и в полевых условиях (стоянка ВС) при температурах окружающего воздуха от -40 до + 50 °C с ограниченной скоростью ветра.
 - 4.4. Достоверно оценивать величину коммерческой загрузки с учётом вновь полученных значений массы пустого ВС при ограниченной величине взлетной массы.
5. Дополнительные составляющие погрешности измерений массы и определения центровки – такие, как влияние температуры окружающего воздуха и движения потоков воздуха (ветра); погрешность измерения линейных размеров (база А и база Б); неточность (погрешность) выстав-

ления ВС в линию горизонта; влияние отклонения положения колес ВС на платформах весов от центра и другие – пренебрежимо малы по сравнению с основной погрешностью применяемых весоизмерительных систем - на полученные результаты измерений массы пустого ВС и определения центровки значимого влияния не оказывают.

6. Периодический контроль массы самолетов и вертолетов – одно из слагаемых обеспечения безопасности полётов на воздушном транспорте.

Литература

1. *DOC 9760 AN/967. Руководство по лётной годности» (Добавление С к главе 5 «Инструктивный материал по контролю массы воздушного судна»).*
2. *ГОСТ Р 53228-2008. Весы неавтоматического действия. Часть 1. Метрологические и технические требования. Испытания.*
3. *ГОСТ Р 8.563-2009. Государственная система обеспечения единства измерений. Методики (методы) измерений.*
4. *ОСТ 54-3-154.82-2002. Отраслевая система обеспечения единства измерений. Методики выполнения измерений. Порядок проведения аттестации.*
5. *ФАП-132. Федеральные Авиационные Правила. Экземпляр воздушного судна. Требования и процедуры сертификации. / утв. приказом МТРФ от 16 мая 2003 г. № 132.*
6. *Инструкция по контролю массы воздушных судов отечественного и зарубежного производства / Распоряжение Федерального агентства воздушного транспорта от 16.09.2008 г № БЕ 115-р.*
7. *Каталог систем и средств механизации и автоматизации для обеспечения технологических процессов в аэропортах ГА. – М.: ГПИиНИИ ГА «Аэропроект», 1973.*
8. *РЦЗ-83. Руководство по центровке и загрузке самолётов ГА / Приказ МГА от 14.01.83 № 58.*
9. *Богоявленский А.А. Формирование системы контроля массы воздушных судов в процессе эксплуатации. // Научный вестник МГТУ ГА. – 2012. - № 175. - С. 147-153.*
10. *Богоявленский А.А. Внедрение мониторинга массы и центровки в процессе технической эксплуатации воздушных судов. // Мир измерений. – 2012. - № 8. - С. 9 - 16.*
11. *Богоявленский А.А. Об измерении массы пустого воздушного судна в процессе эксплуатации. // Тез. докл. межд. научн.-техн. конф. - М.: МГТУ ГА, 2013. - С. 22.*
12. *Богоявленский А.А. Контроль массы и центровки воздушных судов в процессе технической эксплуатации. // Авиасоюз. - 2013. - № 5 (47). - С. 58-60.*
13. *Федеральный закон от 18.06.2008г. № 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений».*
14. *ГОСТ Р 54580-2011. Воздушный транспорт. Требования и процедуры по контролю массы воздушного судна в процессе технической эксплуатации. Основные положения.*

**КАЛИБРОВКА ВЫСОКОТОЧНЫХ ЧАСТОТНО-ВРЕМЕННЫХ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГОСУДАРСТВЕННОГО ПЕРВИЧНОГО ЭТАЛОНА ЕДИНИЦ ВРЕМЕНИ,
ЧАСТОТЫ И НАЦИОНАЛЬНОЙ ШКАЛЫ ВРЕМЕНИ РФ**

И.Ю. Блинов, д.т.н., В.Г. Пальчиков, д.ф.-м.н., А.С. Гончаров, к.т.н.

ФГУП «ВНИИФТРИ», пос. Менделеево, Московская обл., Россия

В статье содержится информация о составе и основных характеристиках государственного первичного эталона единиц времени, частоты и национальной шкалы времени, а также основных методах передачи единиц времени и частоты.

Передача единиц времени, частоты, а также национальной шкалы времени UTC(SU) эталонам и средствам измерений времени и частоты в Российской Федерации осуществляется в соответствии с Государственной поверочной схемой для средств измерений времени и частоты, которая устанавливает порядок передачи единиц времени – секунды (с), частоты – герц (Гц) и шкалы времени от государственного первичного эталона Российской Федерации национальным, вторичным и рабочим эталонам и рабочим средствам измерений с указанием неопределенности (погрешности) и основных методов передачи единиц и шкал [1].

Государственный первичный эталон единиц времени, частоты и национальной шкалы времени (ГЭВЧ) предназначен для воспроизведения и хранения единиц времени, частоты и национальной шкалы времени и их передачи национальным, вторичным и рабочим эталонам и рабочим средствам измерений.

Государственный первичный эталон единиц времени, частоты и национальной шкалы времени состоит из основных и вспомогательных технических средств.

Основные технические средства ГЭВЧ:

- комплекс воспроизведения единиц времени и частоты;
- комплекс хранения национальной шкалы времени;
- комплекс передачи единиц времени, частоты и национальной шкалы времени.

Вспомогательные технические средства ГЭВЧ:

- комплекс информационно-вычислительных средств ГЭВЧ;
- комплекс средств технического обеспечения ГЭВЧ.

В рамках работ по совершенствованию ГЭВЧ в 2012 году в ФГУП «ВНИИФТРИ» был создан ГЭТ 1-2012, основные метрологические характеристики которого приведены в табл. 1. В состав усовершенствованного ГЭВЧ вошел метрологический цезиевый репер частоты (МЦР) «Фонтан». МЦР «Фонтан» использует уникальные технологии лазерного охлаждения атомов и обеспечивает повышение точности независимого воспроизведения единицы времени ГЭВЧ.

Таблица 1

Наименование характеристики	Допускаемое значение
Относительная неисключенная систематическая погрешность воспроизведения единиц времени и частоты	$\leq 5,0 \cdot 10^{-16}$
Относительное среднее квадратическое отклонение результатов измерений при воспроизведении единиц времени и частоты при интервале времени измерения 1 сут	$\leq 5,0 \cdot 10^{-15}$
Пределы допускаемого смещения национальной шкалы координированного времени UTC(SU) относительно Международной шкалы координированного времени UTC	± 10 нс

Относительная неисключенная систематическая погрешность воспроизведения единиц времени и частоты ГЭТ 1-2012 уменьшилась почти в 100 раз в сравнении с ГЭВЧ предыдущего поколения. Водородные стандарты частоты и времени, входящие в состав ГЭВЧ, имеют нестабильность частоты не более $5,0 \cdot 10^{-16}$ на интервале времени измерения (1 – 10) суток, что обеспечивает надежное хранение воспроизводимых МЦР «Фонтан» единиц времени и частоты.

В ходе совершенствования ГЭВЧ была принята новая стратегия реализации национальной шкалы времени UTC(SU) [2], основанная на системном подходе к развитию средств и методов воспроизведения, хранения и передачи единиц времени и частоты, направленная на удовлетворение потребностей государства в точности и оперативности частотно-временной информации, распространяемой ГСВЧ. Переход к новой стратегии реализации национальной шкалы времени обеспечил:

независимое формирование национальной шкалы атомного времени TA(SU) на основе единиц времени и частоты, воспроизводимых метрологическим цезиевым репером типа «Фонтан» в соответствии с определением секунды в Международной системе СИ;

формирование и передачу национальной шкалы времени UTC(SU) внутренним и внешним потребителям с заданными характеристиками в реальном масштабе времени;

повышение надежности предоставления информации о национальной шкале времени UTC(SU) за счет автоматизации технологических процессов формирования, хранения и передачи национальной шкалы времени.

Государственный первичный эталон применяется для передачи единиц времени, частоты и шкалы времени национальным, вторичным, рабочим эталонам и рабочим средствам измерений методами непосредственных сличений, сличениями при помощи перевозимых квантовых часов, а также сличениями с использованием сигналов времени и частоты, передаваемых по каналам связи и космическими навигационными системами.

Оборудование ГЭВЧ и методы, позволяющие осуществить передачу единиц времени и частоты и национальную шкалу времени от ГЭВЧ к рабочим эталонам

Для сравнений шкал времени территориально разнесенных эталонов времени и частоты применяются следующие основные методы:

с помощью перевозимых квантовых часов (ПКЧ);

с использованием перевозимого калиброванного приемника ГЛОНАСС;

с использованием сигналов времени и частоты, передаваемых глобальными навигационными спутниковыми системами;

с использованием сигналов времени и частоты, передаваемых через дуплексный канал космической связи;

с использованием сигналов времени и частоты, передаваемых по волоконно-оптическим линиям связи;

с использованием PTP протокола [3].

Метод сличений пространственно-разнесенных эталонов единиц времени и частоты при помощи перевозимых квантовых часов

Метод перевозимых квантовых часов (ПКЧ) основан на сравнении шкалы времени ПКЧ со шкалой времени одного из сличаемых эталонов, дальнейшей транспортировке ПКЧ от одного из эталонов единиц времени и частоты к другому и последующем сравнении шкалы времени ПКЧ со шкалой времени второго эталона единиц времени и частоты.

Принцип сравнения шкал времени с помощью ПКЧ поясняется рис. 1.



$$\Delta T_{UTC(SU) - T_{P\mathcal{E}}(t)} = UTC(SU) - T_{P\mathcal{E}} = \Delta T_{UTC(SU) - T_{PKCh}(t)} - \Delta T_{P\mathcal{E} - T_{PKCh}(t)}$$

Рис. 1. Принцип сравнения шкал времени с помощью ПКЧ

ПКЧ экономичны, не требуют специальных климатических условий, занимают мало места и имеют достаточно хорошие метрологические характеристики.

Погрешность метода сравнений шкал времени при помощи перевозимых квантовых часов не превышает ± 2 нс при времени транспортировки не более 24 ч и определяется:

метрологическими характеристиками перевозимого стандарта частоты и времени;
степенью учета, компенсации и стабилизации возмущающих факторов;
условиями транспортировки.

ПКЧ применяются в основном для целей калибровки существующих каналов сравнений шкал времени.

Метод сличений пространственно-разнесенных эталонов единиц времени и частоты с использованием перевозимого калиброванного приемника ГЛОНАСС

Метод аналогичен методу перевозимых квантовых часов. Для сравнения шкал времени используется приемник ГЛОНАСС с известной задержкой от фазового центра антенны до выхода выделенного сигнала 1 Гц. Сначала производится сравнение временного положения выделенного приемником сигнала 1 Гц относительно UTC(SU), затем приемник перевозится к месту расположения сличаемого рабочего эталона и производятся аналогичные измерения. Принцип метода поясняется рис. 2.

Дифференциальный метод сличений эталонов с использованием ГЛОНАСС

Дифференциальный метод сличений с использованием сигналов космических спутниковых систем (метод «common-view») широко применяется как для сличений ГЭВЧ с вторичными эталонами, так и с национальными эталонами зарубежных стран. При этом методе в месте расположения сличаемых эталонов одновременно осуществляется прием сигналов от одного и того же спутника и определяется разность временного положения выделенного сигнала 1 Гц, соответствующего бортовой или системной шкале, относительно шкал каждого из сличаемых эталонов. По результатам измерений формируются файлы установленного формата CGGTTS v.2, где отражается информация о номере спутника, его угле возвышения и азимуте, времени начала и продолжительности сеанса измерений, разности опорной шкалы времени (шкалы времени сличаемого эталона) с бортовой и системной шкалами времени и другая необходимая для обработки информации, доступные для обеих сторон. По данным этих файлов рассчитывается разность шкал сличаемых эталонов.

Принцип метода поясняется на рис. 3.

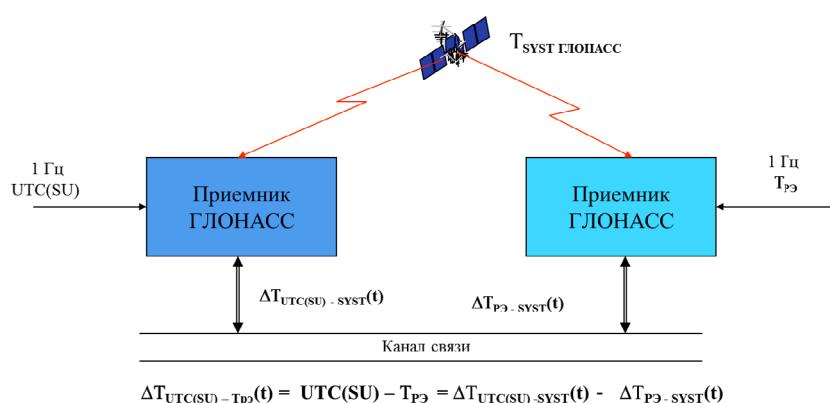


Рис. 3. Принцип дифференциального метода сличений с использованием ГЛОНАСС

Погрешность метода зависит от метрологических характеристик технических средств, условий приема и ограничена погрешностью ± 5 нс.

Снижение систематической погрешности метода достигается периодической калибровкой канала сличений. Важной особенностью метода является его простота и надежность.

Метод сличений пространственно-разнесенных эталонов единиц времени и частоты с использованием дуплексного канала космической связи

Метод сравнений шкал времени с использованием сигналов времени и частоты, передаваемых через дуплексный канал космической связи (Two-Way Satellite Time and Frequency Transfer - TWSTFT) [4], является одним самых точных методов. Высокая точность достигается путем одновременного (встречного) обмена сигналами через геостационарный телекоммуникационный искусственный спутник Земли. Благодаря использованию двунаправленного канала соответствующие задержки сигналов при расчете конечных результатов взаимно компенсируются. Значительным преимуществом данного метода является отсутствие необходимости точного определения координат. Основной недостаток метода заключается в больших затратах на его осуществление из-за большой стоимости самого оборудования и высокой стоимости аренды канала связи.

Принцип сравнения шкал времени дуплексным методом поясняется рис. 4.

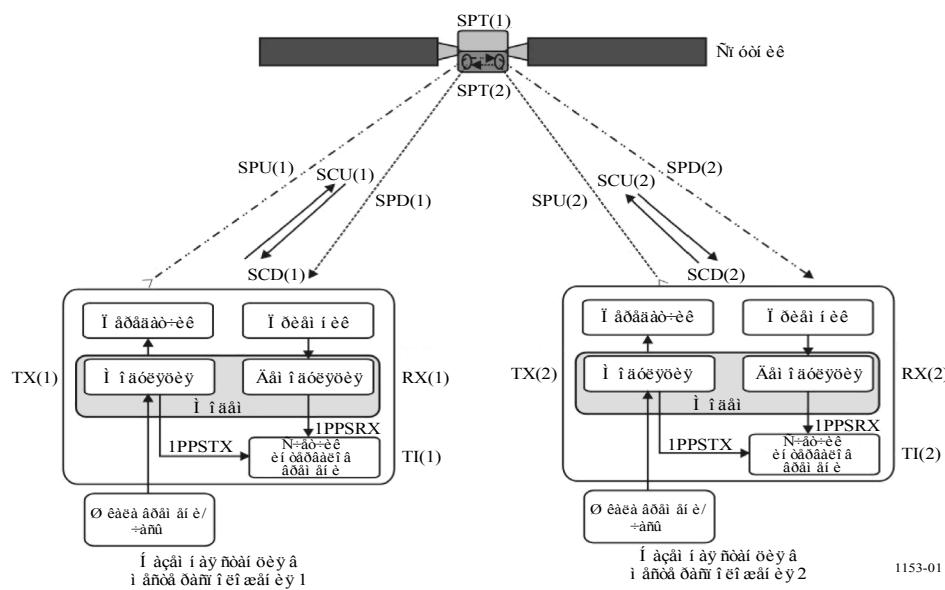


Рис. 4. Принцип сравнения шкал времени дуплексным методом

Типовые характеристики метода TWSTFT следующие:

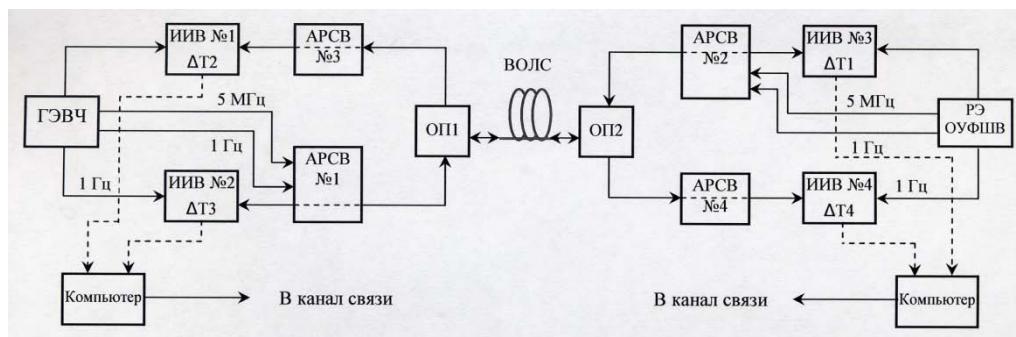
- погрешность сравнений шкал времени до 0,3 нс (неопределенность типа А);
- пределы допускаемой погрешности сравнений шкал времени территориально расположенных эталонов времени и частоты ± 1 нс (неопределенность типа В).

Метод сличения эталонов по ВОЛС

Особенностью метода сравнения шкал времени с использованием ВОЛС является двунаправленность передачи меток шкал времени между сличаемыми эталонами, при котором определяется и компенсируется задержка сигнала в линии связи.

Принцип работы метода поясняется рис. 5.

При условии равенства задержек в волоконно-оптической линии связи и оптических преобразователях в прямом и обратном направлениях результат сравнения шкал времени не зависит от задержки в ВОЛС даже при её температурных изменениях.



$$T_{\text{ГЭВЧ}} - T_{\text{РЭ}} = [(\Delta T_2 - \Delta T_1) - (\Delta T_4 - \Delta T_3)]/2$$

Рис. 5. Принцип сравнения шкал времени двунаправленного волоконно-оптического канала связи

Для расчета расхождения шкал времени необходимо передавать результаты измерений ΔT_1 , ΔT_2 , ΔT_3 , ΔT_4 по каналу связи. При этом может быть использован тот же канал связи, по которому передаются метки времени. Систематическая погрешность, причиной которой может быть асимметрия задержек в оптических преобразователях и каналаобразующей аппаратуре в обоих направлениях, может быть учтена калибровкой канала связи с использованием перевозимых квантовых часов.

Экспериментальные исследования по определению потенциальной точности данного метода при сравнении пространственно-разнесенных шкал времени показали возможность реализации погрешности, не превышающей 1-2 нс при длине выделенной ВОЛС порядка 50 км.

Метод временной синхронизации в пакетных сетях с использованием PTP протокола

Протокол прецизионного времени (Precision Time Protocol — PTP v.2) [5] позволяет с малой погрешностью передавать сигналы точного времени от главных часов к клиентским часам по асинхронной сети с пакетной передачей благодаря аппаратным средствам проставления меток времени, встроенным в маршрутизаторы и коммутаторы.

Сеть PTP строго иерархична. На вершине иерархии синхронизации располагаются так называемые «гроссмейстерские» часы (grandmaster clock), обычно подключаемые к внешнему опорному источнику, в качестве которого могут быть использованы стандарты частоты и времени или приемники GPS/ГЛОНАСС.

Выводы

В статье представлен краткий обзор основных методов передачи единиц времени и частоты, а также национальной шкалы времени от государственного первичного эталона единиц времени, частоты и национальной шкалы времени к потребителям. В качестве потребителей могут выступать организации (лаборатории) с различными требованиями к погрешности передачи единиц величин. В зависимости от этих требований необходимо делать выбор в пользу того или иного метода передачи.

Литература

1. ГОСТ 8.129-2013. Межгосударственный стандарт. Государственная поверочная схема для средств измерений времени и частоты.
2. Донченко С.И., Блинов И.Ю., Гончаров А.С., Норец И.Б. Современное состояние и перспективы развития эталонной базы Государственной службы времени, частоты и определения параметров вращения Земли // Измерительная техника, № 1, 2015.
3. Каган С.Н. О возможности синхронизации опорных узлов формирования шкалы времени ССОП с использованием эталонной базы ГСВЧ // Альманах современной метрологии, Менделеево: ФГУП «ВНИИФТРИ», № 1, 2014, с. 86–101.
4. Recommendation ITU-R TF.1153-3 The operational use of two-way satellite time and frequency transfer employing pseudorandom noise codes, 03/2010.

Сведения об авторах

Блинов Игорь Юрьевич, заместитель генерального директора - начальник ГМЦ ГСВЧ, ФГУП «ВНИИФТРИ», д.т.н.

Пальчиков Виталий Геннадьевич, заместитель начальника ГМЦ ГСВЧ по научной работе, ФГУП «ВНИИФТРИ», д.ф.-м.н.

Гончаров Александр Сергеевич, заместитель начальника ГМЦ ГСВЧ ФГУП «ВНИИФТРИ», к.т.н.

УДК 620.178

ЕДИНСТВО ИЗМЕРЕНИЙ ТВЁРДОСТИ ТОНКИХ ПОКРЫТИЙ И СЛОЁВ ТОЛЩИНОЙ ОТ 100 НМ ДО 1 МКМ.

А.Э. Асланян

К.т.н., старший научный сотрудник, ФГУП «ВНИИФТРИ»

В статье описывается процедура обеспечения единства измерений твёрдости методами инструментального индентирования в микро- и нано- диапазонах. Описана поверочная схема для средств измерений твёрдости методами инструментального индентирования. Методы инструментального индентирования позволяют измерять твёрдость материалов при глубине внедрения наконечника от нескольких десятков нм и выше. В последнее время в промышленности всё чаще используются продукты нанотехнологий, например, различные напыления, тонкие плёнки и.т.д. Для контроля механических свойств таких материалов разработаны и используются ряд зарубежных и отечественных приборов, реализующих методы инструментального индентирования в соответствии с ГОСТ Р 8.748-2011 и ISO 14577. Созданный в 2014 году во ФГУП «ВНИИФТРИ» Государственный первичный эталон твёрдости по шкалам Мартенса и шкалам индентирования позволяет обеспечить единство измерений твёрдости в нано- и микро- диапазонах.

UDC 620.178

TRACEABILITY OF HARDNESS MEASUREMENTS OF THIN COATINGS AND LAYERS WITH THICKNESSES FROM 100 NANOMETERS TO 1 MICROMETER.

Aslanyan Andrey, Dr., senior scientist, «VNIIFTRI»

The article describes the procedure of supplying the unity of measurement of the hardness indentation instrumental methods in micro - and nano - range. Describes the hierarchy scheme for measuring instruments of hardness by the methods of instrumental indentation. Methods of instrumental indentation is used to measure hardness of materials at the depth of penetration of the tip from a few tens of nm. In recent times, in industries increasingly use the products of nanotechnology, for example, various coatings, thin films, etc. To control the mechanical properties of such materials developed and used a number of foreign and domestic devices that implement methods of instrumental indentation in accordance with GOST R 8.748-2011 and ISO 14577. Created in 2014 FSUE "VNIIFTRI" of the State primary standard machine of Martens hardness scales and indentation hardness scales helps to ensure the traceability of hardness measurements in the nano - and micro - ranges.

УДК 620.178

**ЕДИНСТВО ИЗМЕРЕНИЙ ТВЁРДОСТИ ТОНКИХ ПОКРЫТИЙ И СЛОЁВ ТОЛЩИНОЙ
ОТ 100 НМ ДО 1 МКМ.****А.Э. Асланян****К.т.н., старший научный сотрудник, ФГУП «ВНИИФТРИ»****Введение**

В настоящее время начинают широко использоваться различные материалы – продукты нанотехнологий (тонкие плёнки, покрытия, элементы микроэлектроники), толщиной от сотен до единиц нанометров. На критические элементы современной авиационной техники, таких как: радиаторы, картеры редукторов вертолётов, воздухозаборники реактивных двигателей, рамы ходовой части, лопасти турбин, реактивные сопла наносятся разнообразные твёрдые покрытия. Измерения твёрдости этих покрытий необходимы для определения их износостойкости, однородности. Традиционные методы измерения твёрдости (методы Виккерса, Роквелла, Бринелля), принятые в начале 20-го века, основаны на измерении геометрических параметров восстановленного отпечатка, полученного в результате внедрения в исследуемый материал наконечника под определённой нагрузкой. Эти методы позволяют измерять твёрдость на минимальных глубинах от 2 до 4 мкм. Определить твёрдость материалов при внедрении наконечника менее чем на 1 мкм традиционными методами невозможно, т.к. в методах Роквелла и Бринелля к наконечнику прикладывается слишком большая сила, а метод Виккерса не подходит в силу отсутствия возможности точно измерить диагонали отпечатка оптическим способом из-за его малых размеров.

Для исследования механических характеристик тонких плёнок и твёрдых тел при глубинах индентирования, меньших 1 мкм, были разработаны методы инструментального индентирования, описанные в ISO 14577. Методы инструментального индентирования применимы для трёх диапазонов: макро ($2 \text{ H} \leq F \leq 30 \text{ кН}$), микро ($F < 2\text{H}$ и $h > 0,2 \text{ мкм}$), нано ($h \leq 0,2 \text{ мкм}$), где F – сила, прикладываемая к наконечнику, h – глубина внедрения наконечника. Эти методы основываются на предложении Мартенса измерять твёрдость как отношение приложенной нагрузки к площади поверхности наконечника, находящейся внутри материала. Далее следовали работы советских учёных Булычёва, Алёхина, Грознянского, которые разработали и применяли метод измерения твёрдости непрерывным вдавливанием в макро диапазоне. В девяностые годы прошлого века американские учёные Оливер и Фарр разработали методику измерения твёрдости инструментальным индентированием в нанодиапазоне. В последнее десятилетие ряд отечественных и зарубежных фирм разработали и приступили к выпуску сложной высокоточной аппаратуры, позволяющей реализовать измерение твердости в микро и нанодиапазоне в соответствии со стандартом ISO 14577 для определения механических свойств материалов и продуктов нанотехнологий. Однако измерения, проведенные в одинаковых условиях и на одинаковых образцах, дают существенно различающиеся результаты.

Основная часть

Таким образом, для осуществления единства измерений в области наноиндентирования сделаны следующие шаги:

- введен в действие ГОСТ Р 8.748-2011«ГСИ. Металлы и сплавы. Измерение твёрдости и других характеристик материалов при инструментальном индентировании. Часть 1. Метод испытаний». Данный стандарт модифицирован по отношению к ISO 14577-1. В стандарте описаны основные методы инструментального индентирования: метод Мартенса и метод индентирования.

- Создан Государственный первичный эталон (ГПЭ) твёрдости по шкалам Мартенса и шкалам индентирования.
- Исследованы меры твердости для передачи шкал твердости Мартенса и индентирования.
- Разработан проект-поверочной схемы.
- Разработан проект стандарта на поверку и калибровку твердомеров по шкалам Мартенса и шкалам индентирования. Проект стандарта модифицирован по отношению к ISO 14577-2, в настоящее время проект находится на стадии проверки окончательной редакции.

Методы измерения твёрдости по шкалам Мартенса и шкалам индентирования основываются на совместном измерении силы, приложенной к наконечнику, и его перемещения в исследуемом материале. В качестве наконечника в ГПЭ используется алмазная правильная трёхгранная пирамида Берковича с углом между боковой гранью и высотой ($65 \pm 0,3$) $^{\circ}$. Обработка зависимости приложенной нагрузки от перемещения наконечника (Рис.1) позволяет определить твёрдость материала.

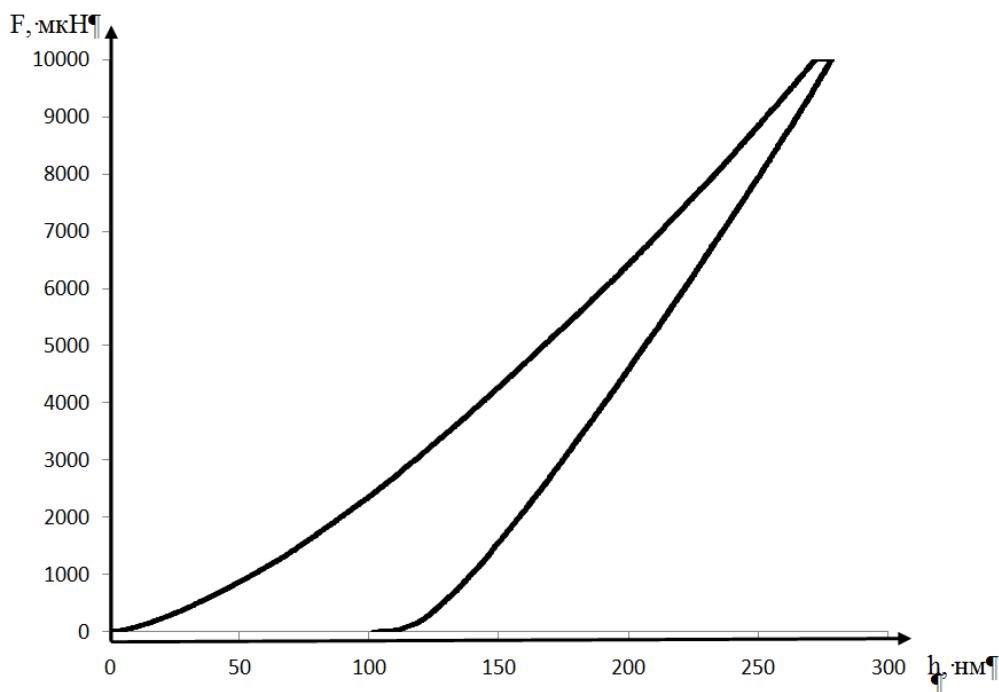


Рисунок 1. – Зависимость силы, приложенной к наконечнику от его перемещения для образца из плавленого кварца.

Числа твёрдости по шкалам Мартенса определяется по формуле:

$$HM = \frac{F_{max}}{A_S(h_{max})} \quad (1)$$

где F_{max} - максимальная сила, приложенная к наконечнику, – максимальная глубина внедрения наконечника, $A_S(h_{max})$ - площадь поверхности наконечника при высоте равной максимальному перемещению наконечника внутри образца. Перемещение наконечника отсчитывается от невозмущенного уровня поверхности образца.

Числа твёрдости по шкалам индентирования определяются по формуле

$$H_{IT} = \frac{F_{max}}{A_p(h_c)}, \quad (2)$$

где $A_p(h_c)$ - площадь поперечного сечения наконечника на глубине контакта его с материалом образца. Глубина контакта h_c наконечника Берковича с образцом вычисляется по следующей формуле:

$$h_c = h_{max} - 0,75 \cdot F_{max} \cdot \left(\frac{dF}{dh_{max}} \right)^{-1} \quad (3)$$

Отличие этих методов от используемых ранее в том, что измеряется глубина внедрения в процессе нагружения, а не восстановленная глубина и не используются оптические средства измерения. Это позволяет исследовать твёрдость различных материалов при глубинах внедрения наконечника в несколько десятков нм.

Измерение твёрдости тонких покрытий и плёнок является сложной задачей, особенно для толщин меньше 1 мкм. Во многих работах утверждается, что истинные значения твёрдости покрытий могут быть измерены при глубине внедрения наконечника меньше или равной 10 % от толщины покрытия, так как при больших глубинах внедрения следует учитывать влияние подложки. В работах [1,2] показано, что это правило может быть рекомендовано для комбинации плёнка/подложка с соотношением твёрдости 4:1, а для более близких по твёрдости плёнки и подложки глубина индентирования может быть увеличена до 20 %. При измерении твёрдости плёнок на подложках следует избегать пластической деформации подложки. Для этого предпочтительно использовать наконечник с большим радиусом скругления [3]. Сила, прикладываемая к наконечнику, выбирается в соответствии с процедурой, описанной ниже. Строится зависимость твёрдости индентирования от отношения глубины контакта к толщине слоя. Определяется диапазон значений контактной глубины, при котором твёрдость индентирования будет максимальной и постоянной. Это значение и будет значением твёрдости слоя.

Государственный первичный эталон твёрдости по шкалам Мартенса и индентирования предназначен для воспроизведения и передачи чисел твёрдости по шкалам Мартенса и индентирования. Диапазон воспроизведения чисел твёрдости по шкалам Мартенса: (0,01 – 100) НМ. Диапазон воспроизведения чисел твёрдости по шкалам индентирования: (0,1 – 70) Н_Т НМ и Н_П вычисляются в ГПа. Расширенные неопределённости измерения при воспроизведении чисел твёрдости составляют 0,033×НМ и 0,10×Н_Т. Основными узлами являются две установки индентирования: Agilent G200 диапазон прикладываемых нагрузок от 10 мН до 500 мН, Hysitron TI 750 от 0,1 мН до 10 мН. В состав эталона также входят: атомно-силовой микроскоп и лазерный гетеродинный интерферометр для измерения площадей наконечников, лазерный интерферометр для определения погрешности измерения перемещения наконечника в установках наноиндентирования, весы для определения погрешности приложения нагрузки, меры твёрдости из поликарбоната, плавленого кварца, сапфира для передачи чисел твёрдости рабочим средствам измерений. Все установки находятся в специально оборудованном помещении. В лаборатории поддерживается температура (23 ± 0,5) °С и влажность (40 ± 5) %. Все установки находятся на раздельных фундаментах.

Для передачи чисел твёрдости от ГПЭ к рабочим средствам измерения твёрдости используются рабочие эталоны. Согласно исследованиям проведённым в [4], в качестве эталонов были выбраны меры твёрдости сделанные из сапфира, плавленого кварца и поликарбоната. При выборе материала для мер твёрдости делался упор на следующие критерии:

- однородность материала по твёрдости;
- стабильность свойств материала со временем;
- химическая инертность;
- отсутствие не исследованных эффектов при индентировании в материал;
- малый температурный коэффициент линейного расширения;
- незначительное влияние границ зерен и включений;
- большая относительная доля упругого восстановления для маленького отпечатка;

Числа твёрдости по шкалам Мартенса и шкалам индентирования передаются методом прямых измерений эталонным мерам твёрдости. Неоднородность мер твёрдости характеризуется СКО, которое составляет не более $0,05 \cdot H_M$ и $0,05 \cdot H_{IT}$. Рабочие эталоны применяют для поверки калибровки рабочих средств измерений твёрдости по шкалам Мартенса и индентирования. Допускаемая повторяемость показаний твердомеров по шкалам Мартенса и шкалам индентирования не более $0,05 \cdot H_M$ и $0,05 \cdot H_{IT}$ соответственно. Пределы допускаемых погрешностей твердомеров по шкалам Мартенса и шкалам индентирования составляют $\pm 0,1 \cdot H_M$ и $\pm 0,1 \cdot H_{IT}$ соответственно. Таким образом, для поверки твердомеров, реализующих принцип инструментального индентирования и применяемых для измерений твёрдости в нано и микро диапазонах, используются три эталонные меры твёрдости из сапфира, плавленого кварца и поликарбоната. Погрешность измерений твёрдости твердомерами определяется по мерам твёрдости.

Выводы

Измерение твёрдости покрытий и слоёв толщиной от 100 нм до 1 мкм возможно при применении методов инструментального индентирования. Для обеспечения единства измерений твёрдости методами инструментального индентирования в нанодиапазоне внедрён стандарт на данный метод, утверждён Государственный первичный эталон твёрдости по шкалам Мартенса и шкалам индентирования, разработана поверочная схема, исследованы рабочие эталоны и разработан стандарт на поверку твердомеров.

Список литературы

1. А. Кавалейро, Д. де Хоссона и др. «Мир материалов и технологий. Наноструктурные покрытия», раздел «Измерение твёрдости и модуля Юнга методом наноиндентирования». - Издательство Техносфера.- Москва, 2011 г.
2. «Наноиндентирование и механические свойства твёрдых тел в суб-микрообъёмах, тонких приповерхностных слоях и плёнках». - Ю.И. Головин. – Физика твёрдого тела.- т. 50, вып. 12. – с. 2113-2142. – 2008.

УДК 389.14:53.083

**ПРОБЛЕМЫ ПРОФИЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ СПЕЦИАЛИСТОВ
ПО ОПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫМ И КОНТРОЛЬНЫМ ИСПЫТАНИЯМ**

С.Ф. Левин

Д.т.н., профессор, Московский институт экспертизы и испытаний

В докладе обсуждаются проблемы подготовки специалистов по метрологическому обеспечению определительных и контрольных испытаний. Рассмотрен опыт решения этих проблем.

UDK 389.14:53.083

**PROBLEMS SPECIALIZED EDUCATION SPECIALISTS
FOR IDENTIFICATION AND CONTROL TESTS**

S.F. Levin

Doctor of technical sciences, professor, Moscow institute of expertise and testing

The report discusses the problems of training specialists for metrological support of definitive and check tests. The experience of solving these problems is considered.

УДК 389.14:53.083

ПРОБЛЕМЫ ПРОФИЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ СПЕЦИАЛИСТОВ ПО ОПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫМ И КОНТРОЛЬНЫМ ИСПЫТАНИЯМ

С.Ф. Левин

Д.т.н., профессор, Московский институт экспертизы и испытаний

Отправным моментом испытаний является метрологическое обеспечение, организуемое и реализуемое квалифицированными специалистами. С особой остротой недостатки подготовки таких специалистов в области статистических методов обработки данных измерений, а также метрологического обеспечения определительных и контрольных испытаний проявились на рубеже XX-го и XXI-го веков. В некоторой степени это связано с появлением «аутентичных переводов» международного «Руководства по выражению неопределенности измерения» (GUM) и международного стандарта ИСО 5725 «по выражению прецизионности измерения». Эти переводы без комментариев научных редакторов, «не пожелавших навязывать своего мнения», вызвали бесплодную дискуссию, а заинтересованная в зарубежных командировках часть отечественных специалистов принялась тиражировать «международные рекомендации» анонимной группы зарубежных специалистов, прикрывающихся названиями международных метрологических организаций.

Актуальность совершенствования подготовки инженеров и техников в области метрологии и статистики определяет тянувшаяся с середины 1980-х годов череда техногенных катастроф, среди причин которых фигурируют просчеты в идеологии контроля, погрешности измерений и неадекватности, а углубление в вопросы практического применения «международных нормативных документов» приводит к казусам [1–14].

Проблема не только в том, что многие инженеры и даже специалисты с учеными степенями до сих пор не понимают различий между расчетным значением искомой величины и результатом решения измерительной задачи, между доверительными и толерантными интервалами, между математическим ожиданием и средним арифметическим. Есть и те, для которых математическая статистика вообще заканчивается на среднем арифметическом и СКО. Проблема и в том, что это непонимание навязывают некоторые международные нормативные документы, «разработчики» которых, научные редакторы и переводчики, подчас не утруждают себя анализом смысла перевода.

При этом следует заметить, что у некоторых разработчиков нормативных документов существует порочная привычка – игнорировать критические замечания «неостепененных» метрологов, за плечами которых не один десяток лет практической работы. Для преодоления этой привычки в ряде случаев требовалось вмешательство руководства Росстандарта.

Только в 2010 году в РМГ 29–99 разработчики стали вносить в раздел «Погрешности измерений» изменения, отклоненные при обсуждении проекта документа.

В этой связи нельзя не отметить, что проблема недостаточного уровня подготовки специалистов-метрологов в области теории вероятностей и математической статистики обсуждалась в конце 2009 года с руководством Росстандарта, которое инициировало разработку программы повышения квалификации «Статистические методы теории измерительных задач», рассчитанную не только на специалистов-метрологов, но и на преподавателей метрологических дисциплин. Научная основа этой программы была одобрена ученым советом Московского института электроники и математики под председательством В.А. Кузнецова еще в 1993 году. Сегодня эта программа подкреплена еще и нормативными документами [15–23]. Правильность избранного в ней направления была подтверждена и на семинаре, состоявшемся под руководством профессора Ю.С. Вла-

Особенности подготовки кадров в области проектирования экспериментальных исследований и испытаний изделий авиационной и ракетно-космической промышленности в современных условиях

димирова на кафедре теоретической физики физического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова 15 марта 2012 года. А в мае того же года и практические приложения научного направления, соответствующего этой программе, поддержал семинар ВНИИМС под руководством Л.К. Исаева.

В последние годы у профильного образования специалистов-метрологов неожиданно объявились «семь нянек».

1 июля 2013 года МИНОБРНАУКИ издало приказ № 499 «Об утверждении Порядка организации и осуществления образовательной деятельности по дополнительным профессиональным программам». 28 декабря 2013 года вступил в действие Федеральный закон № 412-ФЗ «Об аккредитации в национальной системе аккредитации». 4 марта 2014 года МИНТРУД издал приказ № 124н «Об утверждении профессионального стандарта СПЕЦИАЛИСТ ПО МЕТРОЛОГИИ». 7 мая 2014 года МИНОБРНАУКИ издало приказ № 445 «Об утверждении федерального государственного образовательного стандарта среднего профессионального образования по специальности 27.02.01 МЕТРОЛОГИЯ». 30 мая 2014 года МИНЭКОНОМРАЗВИТИЯ издало приказ № 326 «Об утверждении Критерииев аккредитации, перечня документов, подтверждающих соответствие заявителя, аккредитованного лица критериям аккредитации, и перечня документов в области стандартизации, соблюдение требований которых заявителями, аккредитованными лицами обеспечивает их соответствие критериям аккредитации». Список дополняет ряд международных стандартов:

ГОСТ Р ИСО/МЭК 17025-2009 Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий; ГОСТ Р 8.692-2009 ГСИ. Требования к компетентности провайдеров проверок квалификации испытательных лабораторий посредством межлабораторных сравнительных испытаний; ГОСТ Р ИСО/МЭК 17024-2011 Оценка соответствия. Общие требования к органам, проводящим сертификацию персонала; ГОСТ Р ИСО/МЭК 17065-2012 Оценка соответствия. Требования к органам по сертификации продукции, процессов и услуг; ГОСТ ИСО/МЭК 17043-2013 Оценка соответствия. Общие требования к проведению проверки квалификации.

Действительной основой пристального внимания к подготовке кадров стало Постановление Правительства Российской Федерации от 14 июля 2014 года № 653 «Об утверждении методики определения размеров платы за проведение экспертизы представленных заявителем, аккредитованным лицом документов и сведений, выездной экспертизы соответствия заявителя, аккредитованного лица критериям аккредитации и максимальных размеров платы за проведение экспертизы представленных заявителем, аккредитованным лицом документов и сведений, выездной экспертизы соответствия заявителя, аккредитованного лица критериям аккредитации».

Правда, с одной стороны, размеры этой платы могут превратить образование как услугу в нерентабельное мероприятие. С другой же стороны, утвержден федеральный государственный образовательный стандарт среднего профессионального образования по специальности 27.02.01 МЕТРОЛОГИЯ с 2160 часами обязательных учебных занятий по программе подготовки специалистов среднего звена при возможности профессиональной переподготовки в объеме 250 часов с присвоением квалификации СПЕЦИАЛИСТ ПО МЕТРОЛОГИИ.

Не трудно догадаться, к какой проблеме уже привела эта «вилка» из максимума оплаты и минимума времени на обучение при подготовке, например, поверителей средств измерений, не говоря уже о специалистах по контролю и испытаниям, тем более, сложных технических объектов.

Однако причиной проблем подготовки специалистов вообще и специалистов в области испытаний стало отсутствие иммунитета к «модным зарубежным тенденциям» или, другими словами, отсутствие достаточного для самостоятельного принятия решений уровня компетентности у тех, кто готовит проекты соответствующих нормативных и правовых документов. В конечном итоге уровень этой компетентности определяется содержанием учебных программ подготовки, уровнем квалификации преподавателей и, самое главное, способностью работать над собой.

В перечне обязательных требований к среднему профессиональному образованию по специальности 27.02.01 «Метрология» в частности указано, что в результате изучения обязательной части учебного цикла специалист должен: **знать** физические основы измерений, основные понятия

и методы теории вероятностей и математической статистики; **уметь** планировать эксперименты, выполнять измерения, проводить математическую обработку полученных данных, решать измерительные задачи с применением средств вычислительной техники и оценивать качество полученных результатов, их точность и достоверность; **иметь** практический опыт.

Конечно, все это должно базироваться на качественном общем среднем образовании, с которым происходят удивительные перемены. Вряд ли инициатор отмены геометрии в средней школе знал, что геометрия 2500 лет назад была античной метрологией. А может быть, знал?

Ведь наличие собственной метрологии и эталонной базы – условие технологического суверенитета страны. В противном случае страна превращается в лавку колониальных товаров.

Метрология является фундаментальной наукой, и, как показывает тысячелетняя история, обеспечение единства измерений – важнейшая функция федеральной исполнительной власти.

И для понимания метрологии необходимо знать два языка – русский и математику.

Вместе с тем требования к профессиональному образованию специалистов-метрологов подразумевают системный характер построения метрологии и реализации на практике ее положений. В этом плане громкие заявления о системности в метрологии, делавшиеся в предыдущие годы в монографиях различного рода, противоречили реальному положению дел: с конца 1990-х годов развитие теоретической метрологии вылилось в терминологический свисток.

Дело в том, что чехарда с терминологией и ее заимствование из некачественных источников является первым признаком неуверенности в своих знаниях самих теоретиков, а следствием этого становятся искусственные препятствия в ежедневной и рутинной работе метрологов-практиков.

Чего стоят революционные «международные» определения терминов «сходимость – прецизийность в условиях сходимости» и «воспроизводимость – прецизионность в условиях воспроизведимости». Или термин «однократное измерение – измерение, выполненное один раз». А потом на этой теоретической основе практиков вынуждают проводить межлабораторные сличительные испытания, которые, по определению, поверку и калибровку средств измерений не заменяют, и третируют картами Шухарта.

Поэтому не всегда консервативность содержания учебных программ подготовки кадров, техников, инженеров и специалистов-метрологов, следует однозначно считать признаком отсталости, а внедрение в учебный процесс «модных новинок» – признаком его совершенствования.

В этом отношении полезным может оказаться опыт кафедры метрологического обеспечения испытаний и эксплуатации авиационной техники ВВИА имени профессора Н.Е. Жуковского.

В 1992–1993 годах на кафедре прошел апробацию поэтапный подход к преподаванию метрологии на академических курсах: «Физические основы измерений и фундаментальная метрология», «Теория измерений», «Теория прикладных измерительных задач», «Теория погрешностей», «Теория метрологических измерительных задач». Курс заканчивался стажировкой в измерительных лабораториях и испытательных центрах.

Парадокс ситуации заключался в том, что кафедру пытались сократить, но после вмешательства Метрологической службы Министерства обороны, разработки учебной программы подготовки инженеров-метрологов и работы комиссии Министерства образования в академии была введена в качестве выпускной новая специальность именно по профилю кафедры. Более того, академию назначили по этой специальности ведущим учебным заведением не только для России, но и для дружественных зарубежных стран.

Новая программа по метрологическому обеспечению исходила из следующего определения:

Метрология – наука о системе мер и способах установления значений величин и зависимостей между ними, характеризующих количественное проявление свойств физических объектов.

Особенности подготовки кадров в области проектирования экспериментальных исследований и испытаний изделий авиационной и ракетно-космической промышленности в современных условиях

При этом для преподавания метрологии была принята интерполяционная концепция, основные положения которой заключались в следующем:

1. Метрология устанавливает взаимосвязь между количественным проявлением свойств реальных объектов и их идеальным в качественном и количественном отношениях отображением математическими моделями посредством системы мер как единства реального и идеального. «Физическая величина как математическая величина характеризует количественное проявление одноименного свойства у объектов измерений»: прямое отображение, нахождение эквивалентной меры количественного проявления свойства физического объекта – измерение (идентификация), обратное отображение, подгонка количественного проявления свойства физического объекта под меру заданного номинала – воспроизведение.
2. Измерения основаны на аксиомах теории действительных чисел: единственности, порядка, существования «1» и «0», сложения, умножения и непрерывности.
3. Принцип Ньютона–Эйлера: Размер меры единицы измерения с её номинальным значением не связан, размеры мер кратных и дольных единиц устанавливают калибровкой. Истинное значение физической величины является условным.
4. Математический аппарат описания стохастических величин и зависимостей – аксиоматика А.Н. Колмогорова и интерполяционная концепция вероятности Гаусса–Фишера на основе принципа апостериорного максимального правдоподобия: интерполяция распределения выборки распределением вероятностей или данных совместных измерений математической моделью по критерию минимума погрешности неадекватности. Распределение вероятностей возможных значений искомой в измерительной задаче величины – композиция распределения данных измерений и ненаблюдаемых составляющих (погрешностей измерений и неадекватности).
5. Нормы доверия к результатам решения измерительных задач устанавливают государственные поверочные схемы в виде доверительной вероятности.

В ВВИА имени профессора Н.Е. Жуковского теория измерительных задач изучалась два семестра с выполнением лабораторных и контрольных домашних заданий, связанных с документальным оформлением решений и использованием специальным программ вычислений по данным протоколов измерений. При этом документальное оформление предусматривало 1) подготовку полного перечня нормативных и правовых документов, регламентирующих методику решения измерительной задачи, 2) установление параметров методики с учетом требований государственных поверочных схем по доверительной вероятности, 3) получение протокола согласно принятому плану измерений, 4) статистический анализ данных измерений с учетом проверки гипотез о виде распределения вероятностей по критериям воспроизводимости и выбор математической модели объекта измерений по критерию минимума погрешности неадекватности, 5) указание причин и необходимых действий в случае неудовлетворительного результата.

Для получения конечных результатов использовалось программное обеспечение систем прогнозирующего метрологического сопровождения [24 – 27].

Особый интерес в плане обучения и научных исследований представляют вопросы метрологического обеспечения эксплуатации контрольно-испытательных моделирующих стендов [28, 29] при испытаниях систем управления. Оказалось, что погрешности средств измерений являются т.н. параметрами высокой степени обобщения, а соответствующие методические приемы испытаний средств измерений в целях утверждения типа могут быть использованы при определительных и контрольных испытаниях сложных технических объектов. При этом для динамических измерительных задач был использован метод структурно-параметрической идентификации моделей объектов в классе дифференциальных уравнений [25, 27].

Выводы

Опыт организации учебного процесса, адъюнктуры и докторантуры ВВИА имени профессора Н.Е. Жуковского показывает, что проблема повышения эффективности подготовки специалистов по метрологическому обеспечению определительных и контрольных испытаний сложных технических объектов требует комплексного решения, которое должно предусматривать следующее:

- приведение в соответствие нормам русского языка, положениям теории вероятностей и математической статистики на основе аксиоматики А.Н. Колмогорова метрологической терминологии, для чего существующей в рамках ГСИ нормативной документации вполне достаточно и требуется только аккуратно использовать возможности гармонизации нетрадиционных для отечественной метрологии положений ряда международных руководств и стандартов;
- ориентирование учебных программ профессиональной подготовки, переподготовки и повышения квалификации на конкретные измерительные задачи с обязательной многовариантностью методов решения и сопоставимостью результатов;
- создание современной лабораторной и полигонной базы, а также постоянно актуализируемой базы нормативных документов;
- постоянное повышение квалификации профессорско-преподавательского состава;
- сочетание индивидуального обучения с жестким отсевом неуспевающих в силу тяжести последствий неквалифицированной деятельности в сфере метрологического обеспечения испытаний;
- привлечение обучаемых с самого начала курса обучения к самостоятельным исследованиям.

И было бы совсем неплохо, если бы необходимость хотя бы краткосрочного повышения квалификации в области метрологии осознали руководители ряда организаций и сотрудники «семи нянек» в сфере метрологического обеспечения испытаний.

Литература

1. Левин С.Ф. Легенда о неопределенности // Партнеры и конкуренты. 2001. № 1. С. 13–25.
2. Тищенко В.А., Токатлы В.И., Лукьянов В.И. О переводе и заимствовании терминологии из международных метрологических документов // Измерительная техника. 2003. № 10. С. 12–16.
3. Левин С.Ф. Нерешенные проблемы «прецизионности» // Главный метролог: 2003: №3, с.5–7; №4, с.44–54; 2004, №3, с.52–56; 2005, №1, с.19–26; 2005, №3, с.20–28.
4. Чуйко В.Г. О влиянии новых терминов на работу практикующего метролога // Измерительная техника. 2004. № 1. С. 20–23.
5. Тищенко В.А., Токатлы В.И., Лукьянов В.И. Комментарии к метрологическим документам, регламентирующим обработку результатов измерений // Законодательная и прикладная метрология. 2006. № 4. С. 7–12.
6. Левин С.Ф. Неопределенность в узком и широком смыслах результатов поверки средств измерений // Измерительная техника. 2007. № 9. С. 15–19.
7. Брюханов В.А. Продолжаем обсуждение проблемы использования неопределенности измерений в отечественной метрологии // Главный метролог. 2008. № 4. С. 11–15.
8. Левин С.Ф. Чего на самом деле должны опасаться ведущие специалисты по внедрению неопределенности в отечественные измерения // Измерительная техника. 2008. № 12. С. 61–64.
9. Левин С.Ф. Нерешенные проблемы неопределенности // Главный метролог. 2009. № 4. С. 13–24.
10. Левин С.Ф. Нужны ли «Пояснения по оценке результатов измерений» к «Руководству по выражению неопределенности измерения»? // Советник метролога, 2011, № 1, с. 49–56.
11. Левин С.Ф. О нетрадиционных для метрологии положениях концепции по выражению неопределенности измерения // Метрология, 2011, № 9, с. 4–12.

Особенности подготовки кадров в области проектирования экспериментальных исследований и испытаний изделий авиационной и ракетно-космической промышленности в современных условиях

12. Левин С.Ф. О способах и примерах выражения точности эталонов // Главный метролог. 2013. № 2. С. 18–30.
13. Левин С.Ф. Определение массы гири «100 г F2 ГОСТ 7328–2001» методами точного взвешивания // Главный метролог. 2013. № 4. С. 12–24.
14. Левин С.Ф. ГОСТ Р 54500–2011 как зеркало русской революции в GUM // Главный метролог. 2014. № 1. С. 4–10.
15. Р 50.2.004–2000 ГСИ. Определение характеристик математических моделей зависимостей между физическими величинами при решении измерительных задач. Основные положения
16. Р 50.1.037-2002 Прикладная статистика. Правила проверки согласия опытного распределения с теоретическим. Часть II. Непараметрические критерии.
17. ГОСТ Р 50779.21-2004 Статистические методы. Правила определения и методы расчета статистических характеристик по выборочным данным. Часть 1. Нормальное распределение
18. МИ 1317–2004 ГСИ. Результаты и характеристики погрешности измерений. Формы представления. Способы использования при испытаниях образцов продукции и контроле их параметров.
19. МИ 2916–2005 ГСИ. Идентификация распределений вероятностей при решении измерительных задач
20. ГОСТ Р ИСО 16269-6–2005 Статистические методы. Статистическое представление данных. Определение статистических толерантных интервалов.
21. ГОСТ Р ИСО 16269-6–2005 Статистические методы. Статистическое представление данных. Определение статистических толерантных интервалов
22. ГОСТ Р ИСО 16269-8–2005 Статистические методы. Статистическое представление данных. Определение предикционных интервалов
23. ГОСТ Р ИСО 10576-1–2006 Статистические методы. Руководство по оценке соответствия установленным требованиям. Ч. 1. Общие принципы.
24. Левин С.Ф., Баранов А.Н., Веретенин Д.А., Халед Х.М. Оценивание характеристик достоверности прогнозирующего контроля в автоматизированных системах метрологического сопровождения // Измерительная техника. 1991. № 12. С. 18–20.
25. Метрологическое обеспечение испытаний и эксплуатации сложных объектов. М.: ВВИА имени профессора Н.Е. Жуковского, 1996.
26. Левин С.Ф. Основы метрологического обеспечения решения измерительных задач. М.: ВВИА имени профессора Н.Е. Жуковского, 1996.
27. Левин С.Ф.. Маркова Е.В., Пособило В.А. Системы метрологического сопровождения измерительных задач // Контрольно-измерительные приборы и системы. 1997. №4. С.13–15.
28. Левин С.Ф. Контроль технических объектов по аварийным и определяющим параметрам. К.: Знание, 1992.
29. Левин С.Ф. Об измерительных задачах косвенного функционального контроля технического состояния летательных аппаратов // Измерительная техника. 1996. № 5. С. 9–13.

Сведения об авторе

Левин Сергей Федорович – проректор по учебной и научной работе МИЭИ, зав. кафедрой метрологии и метрологического обеспечения, д.т.н., профессор.

**ЦЕЛЕВАЯ ПОДГОТОВКА МАГИСТРОВ ПО ПРОГРАММЕ «ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ
ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ
ПИЛОТАЖНО-НАВИГАЦИОННЫХ ПРИБОРОВ И СИСТЕМ» ***

В.М. Солдаткин

**Д.т.н., профессор, Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева-КАИ**

Разработка и применение нового поколения пилотажно-навигационных приборов и систем, других измерительно-вычислительных систем и комплексов авиационной техники, других подвижных объектов предусматривает использование уже на этапе проектирования современных измерительных информационных технологий и эффективных методов повышения точности их измерительных каналов. Расширение круга решаемых задач и областей применения пилотажно-навигационных приборов и систем обусловливает непрерывное повышение требований к погрешностям их измерительных каналов и расширение номенклатуры изделий. Все это определяет потребность в подготовке высококвалифицированных кадров, способных выполнять научно-исследовательскую и проектную деятельность по разработке перспективных пилотажно-навигационных приборов и систем различного назначения.

Потребности стратегических партнеров – АО «Ульяновское конструкторское бюро приборостроения», ОАО «Научно-производственный комплекс «ЭЛАРА» имени Г.А. Ильинко», ОАО Казанский завод «Электроприбор», а также базовых профильных предприятий – ОАО «КБ им. М.П. Симонова», ОАО «Казанский вертолетный завод» и др. в кадровом сопровождении совместных разработок определили необходимость целевой подготовки магистров по магистерской программе «Измерительные информационные технологии и методы повышения точности пилотажно-навигационных приборов и систем» на стыке программ академической и прикладной магистратуры по направлению подготовки 12.04.01 – Приборостроение Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования, утвержденного Приказом Минобрнауки России от 30.10.2014г. №1408. Учитывая специфику современных пилотажно-навигационных приборов и систем и других авиационных измерительных систем и комплексов, в реализации целевой магистерской программы принимают участие вузы-партнеры – Тульский государственный университет, кафедра «Приборы управления» и Ульяновский государственный технический университет, кафедра «Измерительно-вычислительные комплексы».

Область профессиональной деятельности выпускников сетевой целевой магистерской программы включает измерительные информационные технологии, направленные на разработку вопросов теории, методов проектирования и обеспечения точности авиационных приборов, измерительно-вычислительных систем и комплексов, предназначенных для получения, регистрации и обработки информации о пилотажно-навигационных и других параметрах объектов авиационной техники различного класса и назначения, а также других летательных аппаратов и подвижных объектов, а том числе беспилотных и дистанционно-пилотируемых.

Выпускник сетевой целевой магистерской программы готовится в основном к научно-исследовательской и проектной деятельности и должен быть подготовлен к решению следующих основных профессиональных задач

по научно-исследовательской деятельности:

- формирование задачи и плана научного исследования по разработке авиационных пилотажно-навигационных приборов, информационно-измерительных и измерительно-вычислительных систем и комплексов, приборов для измерения других параметров движения

* Работа выполняется при финансовой поддержке НБО «Благотворительный фонд В. Потанина», грант № ГПК-40/15

Особенности подготовки кадров в области проектирования экспериментальных исследований и испытаний изделий авиационной и ракетно-космической промышленности в современных условиях

летательных аппаратов и подвижных объектов на основе приведения библиографической работы с применением современных информационных технологий;

- построение математических моделей объектов исследования и выбор численного метода их моделирования, разработка нового или выбор готового алгоритма решения задачи;

- выбор оптимального метода и разработка программ экспериментальных исследований, проведение измерений с выбором технических средств и обработкой результатов;

- оформление отчетов, статей, рефератов на базе современных средств редактирования и печати в соответствии с установленными требованиями;

- защита приоритета и новизны полученных результатов исследования, используя юридическую базу для охраны интеллектуальной собственности;

по проектной деятельности:

- анализ состояния научно-технической проблемы, составление технического задания, постановка цели и задачи проектирования пилотажно-навигационных приборов и систем различного назначения;

- разработка функциональных и структурных схем разрабатываемых приборов и систем;

- анализ и синтез измерительных каналов разрабатываемых приборов и систем по критериям статической и динамической точности при детерминированных и случайных воздействиях;

- выработка рекомендаций по реализации конструктивно-технологических и структурных методов повышения точности измерительных каналов пилотажно-навигационных приборов и систем, в том числе фильтров Винера и Калмана – Бьюси;

- проектирование и конструирование пилотажно-навигационных приборов и систем, их блоков и узлов с использованием средств компьютерного проектирования;

- оценка эффективности предложенных технических и конструкторских решений, разработка технологических процессов сборки, настройки, юстировка и контроля блоков, узлов и деталей пилотажно-навигационных приборов и систем.

Учебный план сетевой целевой магистерской программы «Измерительные информационные технологии и методы повышения точности пилотажно-навигационных приборов и систем» базируется на типовом учебном плане подготовки магистров по направлению 12.04.01 – Приборостроении Федерального государственного стандарта высшего образования. Общенаучный цикл и базовая часть профессионального цикла сетевой целевой магистерской программы полностью соответствуют типовому учебному плану подготовки магистров по направлению 12.04.01 – Приборостроение.

Вариативная часть профессионального цикла сетевой целевой магистерской программы включает следующие дисциплины:

- Основы теории оценивания и фильтрации (лекции – 12 час, лабораторные работы – 24 час, практические занятия – 12 час, экзамен);

- Методы и приборы навигации (лекции – 12 час, лабораторные работы – 42 час, практические занятия – 48 час, экзамен + зачет);

- Микромеханические приборы (лекции – 18 час, лабораторные работы – 36 час, экзамен);

- Авиационные приборы измерительно-вычислительные системы и комплексы (лекции – 24 час, лабораторные работы – 48 час, зачет, экзамен);

- Анализ погрешностей и методы повышения точности измерительных приборов и систем (лекции – 18 час, лабораторные работы – 36 час, практические занятия – 18 час, экзамен);

- Анализ и синтез многомерных измерительных систем (лекции – 12 час, лабораторные работы – 24 час, практические занятия – 12 час, экзамен);

- Технологии обработки информации в бортовых вычислительных комплексах (лекции – 18 час, лабораторные работы – 18час, зачет);

Проводится анализ содержания дисциплин вариативной части профессионального цикла.

В преддверии сетевой целевой магистерской программы в период 2012-2014г.г. для стратегических партнеров АО «Ульяновское конструкторское бюро приборостроения» и ОАО «Научно-производственный комплекс «ЭЛАРА» имени Г.А. Ильенко» выполнена целевая подготовка 5 магистров, которые с отличием защитили магистерскую диссертацию и успешно работают на указанных предприятиях.

Основная образовательная программа сетевой целевой магистерской программы «Измерительные информационные технологии и методы повышения точности пилотажно-навигационных приборов и систем» разрабатывается в рамках гранта НБО «Благотворительный фонд В. Потанина».

Сведения об авторе

Солдаткин Владимир Михайлович, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Приборы и информационно-измерительные системы» Казанского национального исследовательского университета им. А.Н. Туполева-КАИ, заслуженный работник высшей школы Российской Федерации, заслуженный изобретатель Республики Татарстан, действительный член Академии навигации и управления движением, Академии наук авиации и воздухоплавания.

Автор около 400 научных и учебно-методических работ и 53 изобретений.

**СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО ПРОЦЕССА НА КАФЕДРЕ
«МЕТРОЛОГИЯ И ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОСТЬ» МГТУ ИМ. Н.Э. БАУМАНА**

М.И. Киселёв
Д.Ф.-м.н., профессор МГТУ им. Н.Э. Баумана
В.И. Пронякин
Д.т.н., заведующий кафедрой, МГТУ им. Н.Э. Баумана

Метрологическое обеспечение жизненного цикла технических объектов является важной задачей в настоящее время.

Важнейшим звеном решения этого задачи является кадровое обеспечение. В МГТУ им. Н.Э. Баумана особое внимание уделяется содержанию учебного процесса. В обстоятельствах быстро изменяющейся элементной базы, развития новых технологий, интеллектуальной техники необходимо воспитание специалистов, способных в подобных условиях творчески мыслить и принимать правильные решения. С этой целью в развитие зарекомендовавшей себя традиционной «русской школы подготовки инженеров» должны быть заложены не только рецептурные, но больше концептуальные подходы.

В связи с этим в учебный процесс введены курсы «Физические основы измерений и эталоны», «Введение в квантовую метрологию», «Введение в теорию самоорганизации», «Физические основы нанометрологии», «Теория управления квантовыми системами и процессами».

Необходима подготовка нового кадрового пополнения, способного обеспечить преемственность поколений специалистов в новых условиях. Краткую характеристику содержания учебного процесса и методов его осуществления следует предварить тремя замечаниями:

- обучение должно органично сочетаться с воспитанием, формирующим нравственность и патриотизм (выдающийся русский оружейник Ф.В. Токарев подчеркивал, что в «основе каждого изобретения должно быть нравственное начало»);

- стоимость единицы отечественного продовольствия выше, чем в странах Запада, обладающих более благоприятными природными условиями. (например, треть территории современной России занята вечной мерзлотой; весьма растянуты транспортные коммуникации, немалая часть пахотных земель приходится на зону рискованного земледелия);

- износ основных фондов в энергетике, на транспорте, обрабатывающей и добывающей отраслях, а также в жилищно-коммунальной сфере не допустимо высок, что проявляется в непрекращающейся череде технических аварий и техногенных катастроф. Часть технических объектов исчерпала свой ресурс или близко к его исчерпанию, а провести их своевременную замену.

Содержание учебного процесса по подготовке кадров для авиационной и ракетно-космической отраслей должно включать наряду с гуманитарными и нормативно-правовыми блоками модернизированные по своему содержанию блоки фундаментальных естественно – научных дисциплин концептуального характера – математики, физики, химии, теоретической механики и блоки инженерно – прикладных дисциплин – теории машин и механизмов, материаловедения, теории автоматического управления, метрологии и взаимозаменяемости, информатики.

Учебный процесс должен дать представление о достижениях квантовой науки и современной синергетики. Предложенный подход к подготовке специалистов способен обеспечить, кроме общего научно-технического кругозора, понимание процессов деградации и износа конструкционных материалов и узлов сложных технических систем, методов оценки и прогноза их технического состояния, то есть научно-обоснованной оценки рисков и остаточного ресурса.

Таким образом, учебный процесс должен носить междисциплинарный характер, а содержание учебного процесса должно включать совокупность истинных духовных ценностей, добытых человечеством на протяжении всей истории.

УДК 681.2.088.6

О МОЛОДЫХ СПЕЦИАЛИСТАХ И ОБРАТНЫХ ПОЛИНОМИАЛЬНЫХ ГРАДУИРОВОЧНЫХ ХАРАКТЕРИСТИКАХ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

М.А. Левченко

К.т.н., доцент, ведущий научный сотрудник ФГУП «ЦАГИ»

М.М. Левченко

Младший научный сотрудник ФГУП «ЦАГИ»

Изложен один из аспектов многолетних наблюдений за подготовкой молодых специалистов в технических ВУЗах и результатами их трудовой деятельности в экспериментальных подразделениях предприятий. Аспект касается установления обратных полиномиальных градуировочных характеристик средств измерений. Предложена специально для молодых специалистов простая инженерная методика установления упомянутых характеристик с применением метода наименьших квадратов, который используется ими, не всегда осознанно, для построения линий тренда (аппроксимирующих кривых) в программной среде Microsoft Excel. Представлены сравнительные результаты метрологических исследований этой методики. В развитие методики предложена вычислительная схема получения функций обратного преобразования средств измерений, представляющая определенный интерес для практикующих метрологов и экспериментаторов.

Студенты одних технических ВУЗов получают общее представление о градуировочных характеристиках средств измерений на лабораторных работах по физике. Так, на первом курсе ФАЛТ МФТИ студенты выполняют целый ряд лабораторных работ, в частности работу «Исследование зависимости теплопроводности газа от температуры при атмосферном давлении», в которых требуется предварительное построение и последующее использование калибровочной кривой.

Студентам других технических ВУЗов не дано ничего узнать о градуировочных характеристиках средств измерений, их знакомят лишь с методом наименьших квадратов (МНК). Так, например, на втором курсе филиала МАИ «Стрела» одна из лабораторных работ по численным методам либо вычислительной математике (в зависимости от направления обучения) посвящена МНК. Студенты пишут на алгоритмическом языке С программы, обеспечивающие линейную и нелинейную МНК-аппроксимацию заданных точек. Для контроля правильности написанных программ студенты используют Microsoft Excel, посредством которого через те же заданные точки проводят линии тренда [1] и наблюдают на экранах мониторов уравнения этих линий.

В новых учебных пособиях (см., например, [2,3]), предназначенных для обучения студентов ВУЗов по направлению «Стандартизация и метрология», вовсе не упоминаются ни градуировочные характеристики, ни функции преобразования средств измерений. Становится библиографической редкостью учебная литература для студентов – будущих метрологов, в которой рассмотрены функциональные зависимости между измеряемой величиной и показаниями средства измерений. В качестве примера можно привести конспект лекций [4] для студентов.

Получив в ВУЗе диплом магистра или инженера, новоиспеченный молодой специалист нередко приходит работать в экспериментальное подразделение какого-либо предприятия. Рассмотрим, что предпринимает молодой специалист, когда начальствующее лицо поручает ему установить по полученным экспериментальным точкам обратную полиномиальную градуировочную характеристику для какого-либо средства измерений.

Пусть ради простоты, не ограничивая общности, градуировочная характеристика $Y = f(X)$ средства измерений линейная, имеет вид, показанный на рисунке 1, где по оси абсцисс распо-

Особенности подготовки кадров в области проектирования экспериментальных исследований и испытаний изделий авиационной и ракетно-космической промышленности в современных условиях

лагаются значения измеряемой физической величины, например приращения сопротивления в омах, а по оси ординат – показания средства измерений в единицах его шкалы. В таблице 1 приведены координаты экспериментальных точек.

Таблица 1

X, ом	Y, ед.
-2,0	-999
-1,8	-901
-1,6	-797
-1,4	-702
-1,2	-601
-1,0	-499
-0,8	-402
-0,6	-297
-0,4	-201
-0,2	-98
0	0
0,2	102
0,4	197
0,6	299
0,8	403
1,0	502
1,2	597
1,4	701
1,6	802
1,8	897
2,0	998

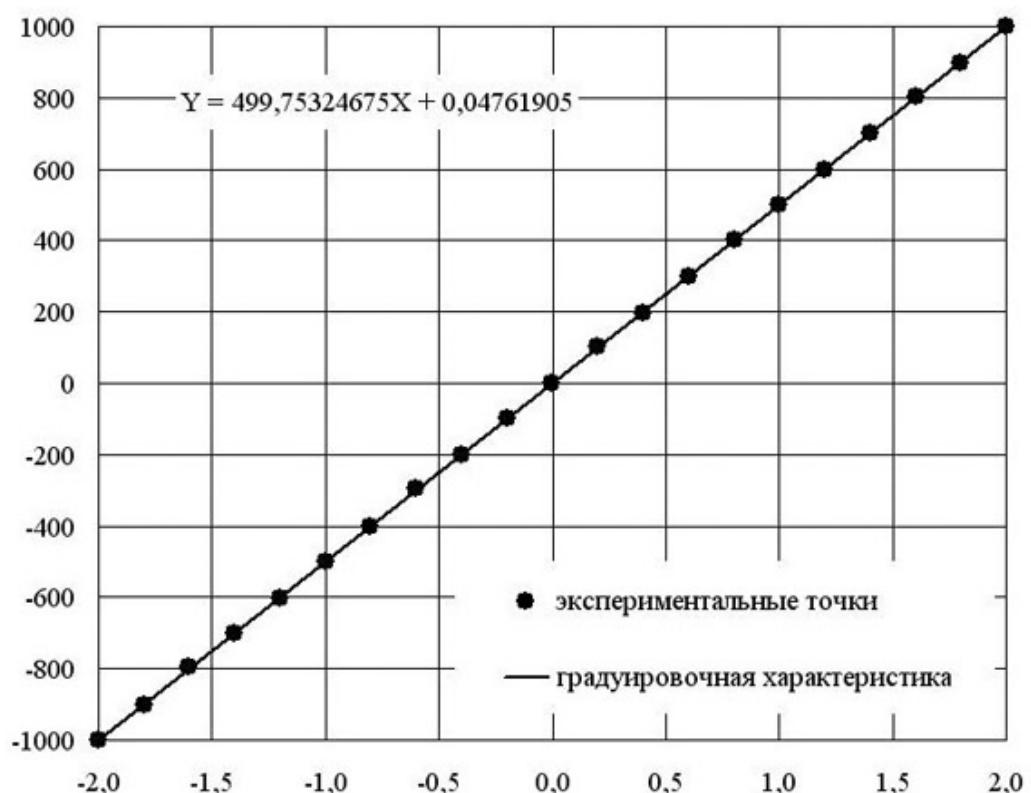


Рисунок 1

Молодой специалист, как его научили в ВУЗе, проводит линию тренда и установив, таким образом, показанную на рисунке 2 б) обратную градуировочную характеристику $X = F(Y)$, демонстрирует полученный результат начальствующему лицу. Упомянутое начальствующее лицо, по теперешним временам преклонного возраста и далекое от Microsoft Excel, радуется быстроте получения красивого графика и частенько большому количеству цифр у коэффициентов обратной градуировочной характеристики, утверждает этот результат и пускает его в дело.

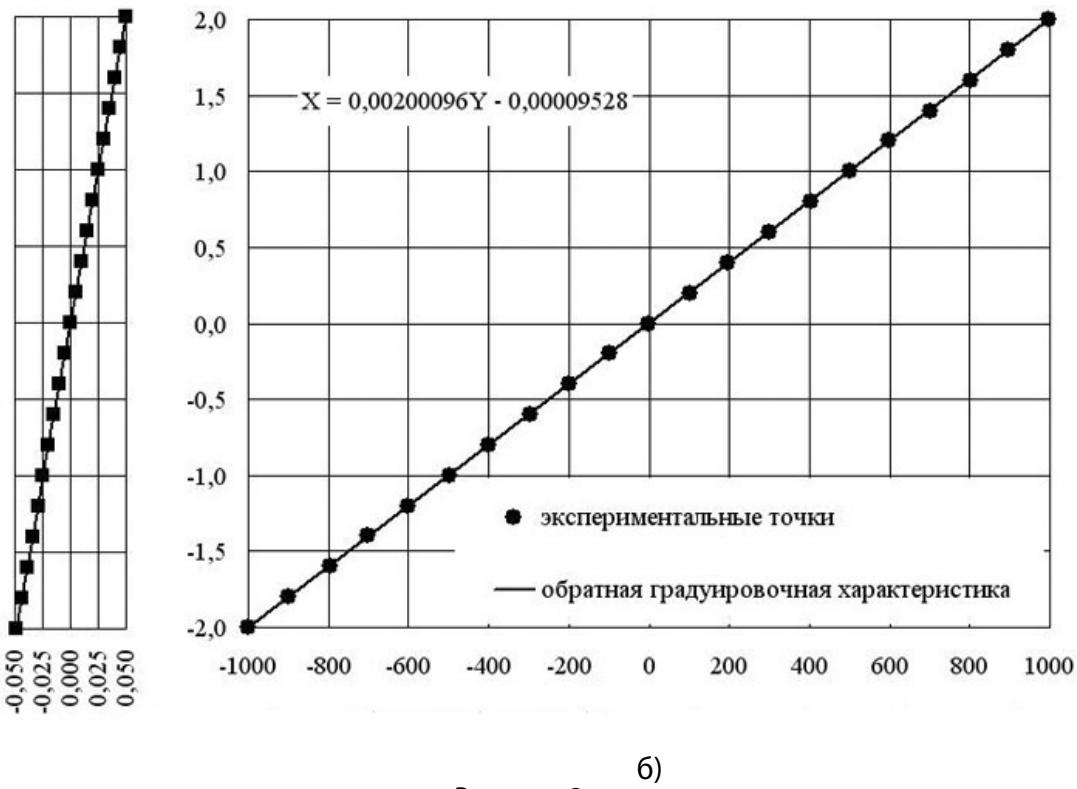


Рисунок 2

Отдельно взятые начальствующие лица все же интересуются приведённой погрешностью обратной градуировочной характеристики, однако, выяснив, что погрешность эта соизмерима с приведённой погрешностью градуировочной характеристики, успокаиваются. В частности, для прямых, изображенных на рисунках 1 и 2 б), приведённые погрешности равны 0,4 %. Про существование погрешности, изображённой на рисунке 2 а), ни молодой специалист, ни начальствующее лицо не ведают, по этой причине данная погрешность их не интересует. Имеются зарубежные работы (см., например, [5]), из которых следует, что там, за границей, молодые специалисты устанавливают обратные градуировочные характеристики аналогичным образом.

Рисунок 3, на котором в гротесковом масштабе представлены градуировочная характеристика и установленная молодым специалистом обратная градуировочная характеристика, иллюстрирует реальную действительность. На оси X , в качестве примера, кружком обозначено значение измеряемой физической величины X . Средство измерений преобразует его в показание $f(X)$: двигаемся от этого кружка горизонтально в направлении, указанном стрелкой, до пересечения с градуировочной характеристикой, затем вертикально вниз до пересечения с осью Y , на которой располагаются показания средства измерений. Так мы проиллюстрировали процесс измерения физической величины X , получив в результате показание $f(X)$. Проиллюстрируем теперь процесс обработки показания $f(X)$ с использованием установленной молодым специалистом обратной градуировочной характеристики: двигаемся от показания $f(X)$ вертикально вверх до пересечения с обратной градуировочной характеристикой, затем горизонтально до пересечения с осью X , на которой располагаются значения измеряемой физической величины. Кружком в точке пересечения обозначено значение измеренной физической величины $F(f(X))$. Расстояние $\Delta(X)$ между двумя кружками на оси X , есть не что иное, как абсолютная погрешность неадекватности традиционно используемого молодыми специалистами подхода, которая увеличивает погрешность измерения физической величины X . На рисунке 2 а) квадратиками показаны значения приведённой погрешности неадекватности в разных точках диапазона средства измерений.

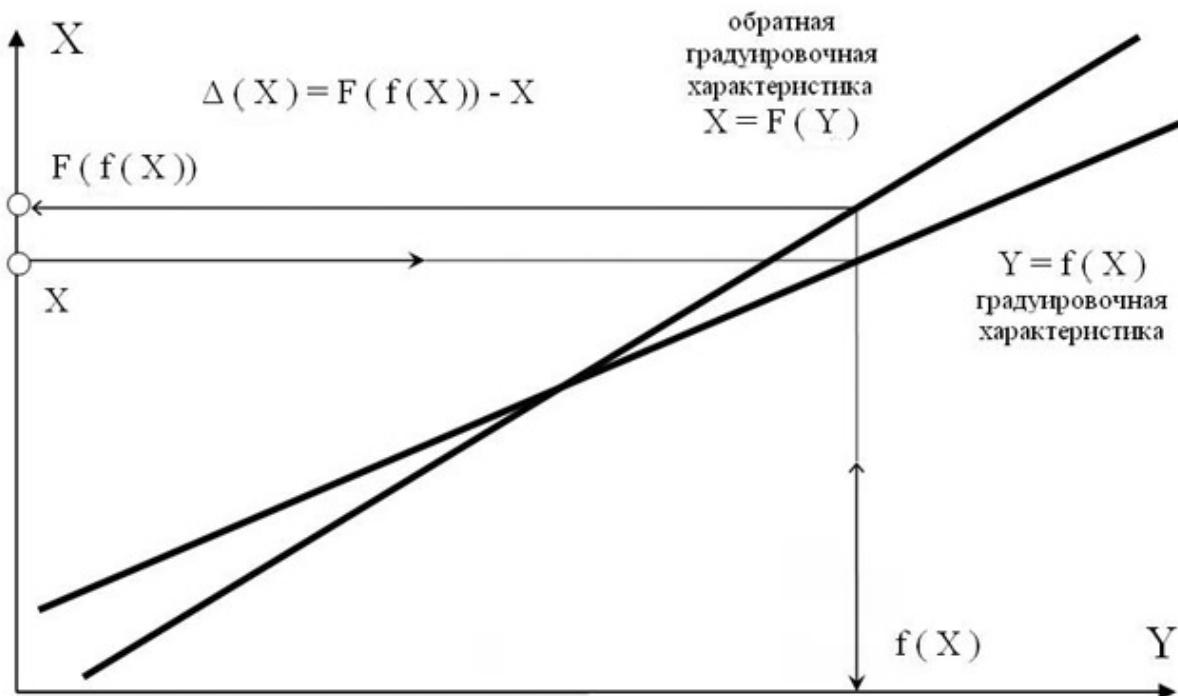


Рисунок 3

Погрешность программного обеспечения в традиционно используемом подходе, равная 12 % для прямой, изображенной на рисунке 2 б), есть выражение в процентах отношение приведённой максимальной погрешности неадекватности к приведённой погрешности градуировочной характеристики. Значение погрешности программного обеспечения показывает, на сколько процентов увеличилась погрешность результатов обработки, если при обработке результатов измерений используется установленная молодым специалистом обратная градуировочная характеристика. Если же не пользоваться таким, как на рисунке 3, гротесковым масштабом, то отличия между градуировочной (см. рисунок 1) и обратной градуировочной (см. рисунок 2 б) характеристиками визуально не заметны.

При нелинейной функциональной зависимости между измеряемой величиной и показаниями средства измерений вышеупомянутая погрешность неадекватности, а, следовательно, и погрешность программного обеспечения, обычно больше, чем при линейной функциональной зависимости. В отдельных случаях она соизмерима с приведённой погрешностью градуировочной характеристики, иногда превышает её.

В качестве примера на рисунке 4 приведена градуировочная характеристика $Y = f(X)$ – парабола четвертого порядка – для датчика давления ИКД 6ТДФ-1,0. По оси абсцисс размещены значения измеряемых датчиком давлений в паскалях, по оси ординат – показания датчика в вольтах. В таблице 2 представлены координаты экспериментальных точек.

Таблица 2

X, Па	Y, В
-2,40	0,0002
145437,75	0,4760
281179,78	0,9859
417741,55	1,5075
553383,72	2,0155
688925,68	2,5094
829724,65	3,0105
967881,89	3,4939
1113323,76	3,9958
1254786,24	4,4772
1103120,14	3,9625
963432,56	3,4777
824931,03	2,9912
690098,68	2,5162
546503,21	1,9940
409070,52	1,4728
279656,26	0,9740
140588,60	0,4619
-2,29	0,0001

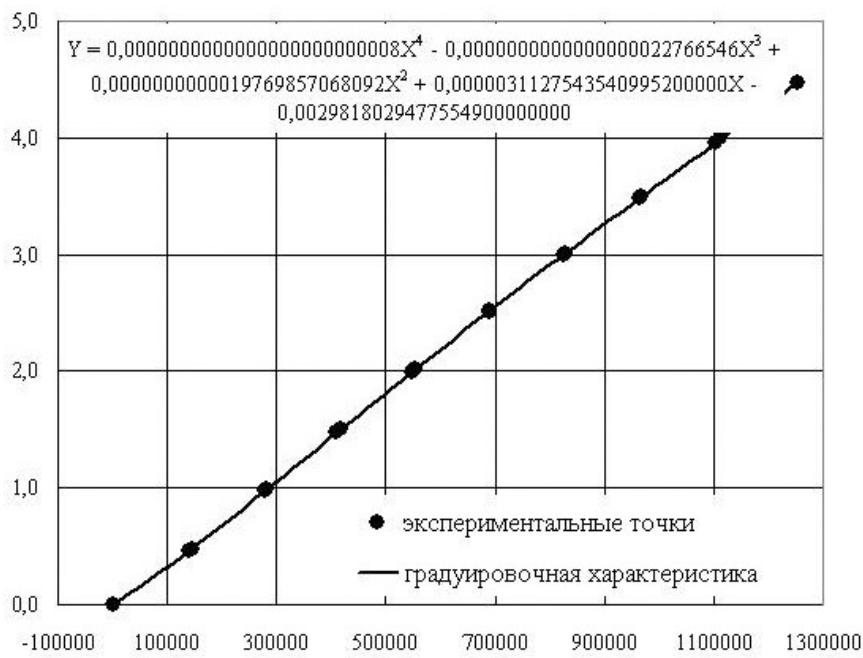
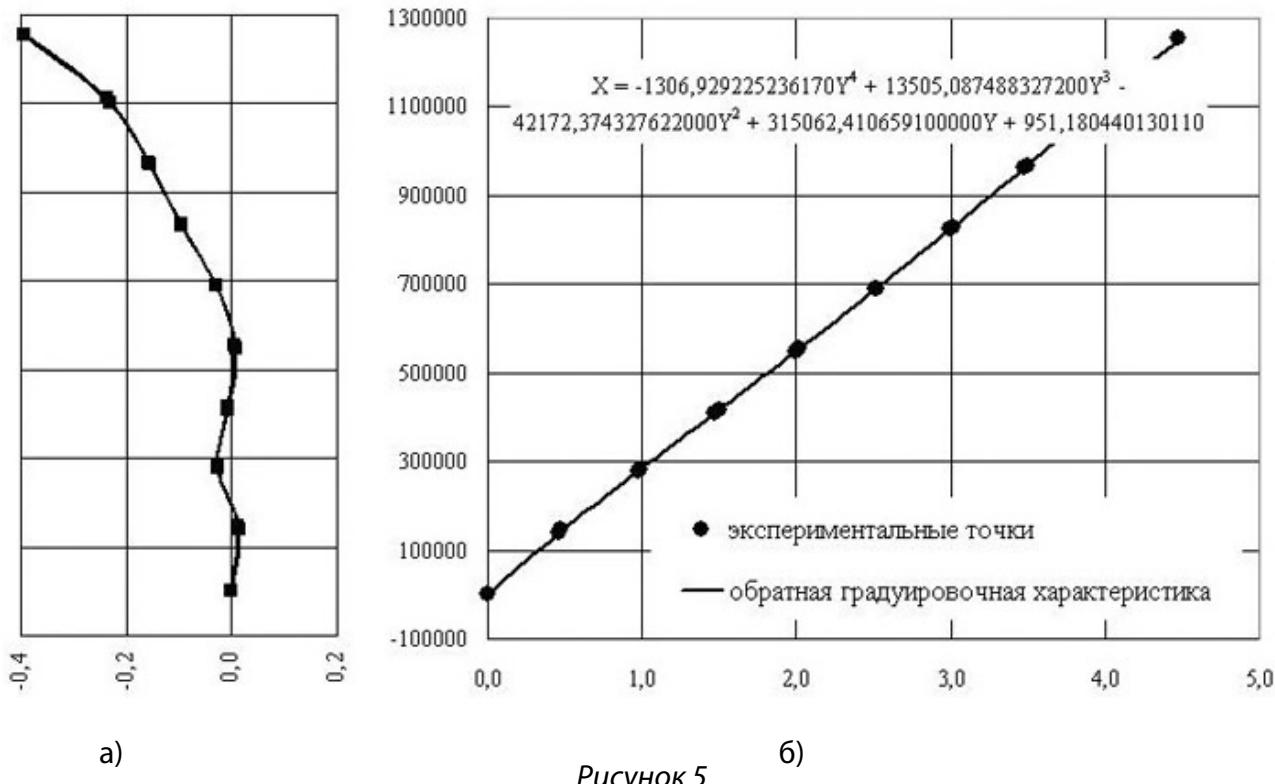


Рисунок 4

Установленная молодым специалистом с использованием программной среды Microsoft Excel обратная градуировочная характеристика $X = F(Y)$ – тоже парабола четвертого порядка – показана на рисунке 5 б). Приведённые погрешности градуировочной характеристики и обратной градуировочной характеристики равны 0,4 и 0,2 % соответственно. Приведённая погрешность неадекватности показана на рисунке 2 а). Приведённая максимальная погрешность неадекватности равна 0,4 %, погрешность программного обеспечения – 109 %.

В качестве ликбеза специально для молодых специалистов ниже предложена простая инженерная методика установления обратной градуировочной характеристики средства измерений с использованием МНК, в частности, посредством проведения линии тренда в среде Microsoft Excel.



Методика состоит из двух этапов. На первом этапе с использованием МНК устанавливают градуировочную характеристику (см., например, рисунки 1 и 4). На втором этапе с использованием МНК устанавливают обратную градуировочную характеристику. При этом, однако, на втором этапе аппроксимируют не экспериментальные точки, а принадлежащие градуировочной характеристике расчетные точки, что является ключевым моментом предлагаемой методики. При этом ограничений на количество расчетных точек не вводится: их может быть, например, больше, чем экспериментальных точек.

На рисунке 6 показаны результаты применения этой методики к установлению отвечающей экспериментальным точкам, помещенным в таблице 2, нелинейной обратной градуировочной характеристики. В таблице 3 представлены приведенные погрешности градуировочной и обратной градуировочной характеристик, а также приведенная максимальная погрешность неадекватности и погрешность программного обеспечения. Наблюдаем существенное уменьшение приведенной максимальной погрешности неадекватности и погрешности программного обеспечения, используемого в предлагаемой инженерной методике.

Ещё большее уменьшение приведённой максимальной погрешности неадекватности и погрешности программного обеспечения обеспечивает предложенная ниже вычислительная схема получения функции обратного преобразования. Задачей первого шага схемы является нахождение по экспериментальным данным функции преобразования средства измерений. Для решения этой задачи может использоваться, в частности, метод максимума компактности [6]. Задачей второго

Таблица 3
Приведённая погрешность $Y = f(X)$ равна 0,4 %
Приведённая погрешность $X = F(Y)$ равна 0,01 %
Приведённая максимальная погрешность неадекватности в предлагаемой методике равна 0,007 %
Погрешность программного обеспечения в предлагаемой методике равна 2 %

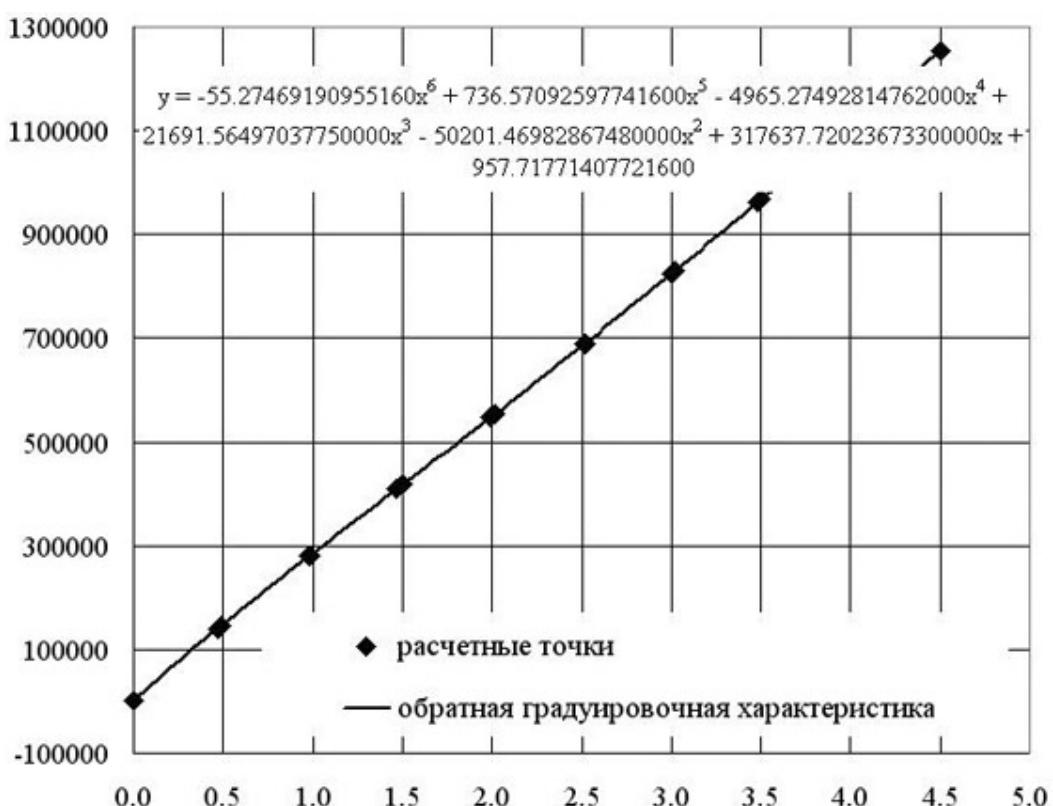


Рисунок 6

шага схемы является определение функции обратного преобразования по точкам, принадлежащим уже найденной функции преобразования. Для решения этой задачи может использоваться, в частности, равномерное приближение Чебышева [7]. Погрешность программного обеспечения, которое используется в такой вычислительной схеме, не превышает тысячных долей процента.

Выводы

Традиционный подход молодых специалистов к задаче установления обратной градуировочной характеристики средства измерений по экспериментальным точкам не обеспечивает надлежащей точности при последующей обработке данных. Предпосылкой к использованию такого подхода являются специфические особенности обучения в настоящее время студентов в технических ВУЗах как в нашей стране, так и за рубежом. В качестве альтернативы предложена имеющая достаточно высокие точностные показатели простая инженерная методика установления упомянутой выше характеристики. Для освоения студентами этой использующей метод наименьших квадратов методики целесообразно её включение в качестве имеющей практическую направленность лабораторной работы в учебные программы дисциплин: численные методы и вычислительная математика. Еще большее повышение точностных показателей обеспечивает предложенная вычислительная схема получения функций обратного преобразования средств измерений.

Литература

1. Гельман В.Я. *Решение математических задач средствами Excel: Практикум.* - СПб.: ЗАО Издательский дом «Питер», 2003. - 237 с.
2. Основы теоретической метрологии: Учеб. пособие / С.С. Анцыферов, М.С. Афанасьев. - М.: ЗАО «Издательство Икар», 2012. - 208 с.
3. Обработка результатов измерений: Учеб. пособие / С.С. Анцыферов, М.С. Афанасьев, К.Е. Русанов. - М.: ЗАО «Издательство Икар», 2014. - 228 с.
4. Солопченко Г.Н. *Метрология: Конспект лекций для студентов электромеханического факультета.* - СПб: Издательство политехнического университета, 2008. - 102 с.
5. Gerald Recktenwald. *Pressure Transducer Calibration for M.E. Thermal Laboratory.* - Portland, Oregon, USA. - April 13, 2004. - 13 p.
6. Левин С.Ф. *Метод максимума компактности и комплексные измерительные задачи.* // Измерительная техника. - 1995. - № 7. - С. 15-21.
7. Данилов Ю.А. *Многочлены Чебышева.* - Минск.: Выш. шк., 1984. - 157 с.

Сведения об авторах

Левченко Михаил Александрович - ведущий научный сотрудник ФГУП «ЦАГИ», кандидат технических наук, доцент

Левченко Марта Михайловна - младший научный сотрудник ФГУП «ЦАГИ»

**ПРОБЛЕМЫ И ОСОБЕННОСТИ ПОДГОТОВКИ ВЫСОКОКВАЛИФИЦИРОВАННЫХ
СПЕЦИАЛИСТОВ ДЛЯ СОЗДАНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИИ СИСТЕМ СТЕНДОВЫХ ИСПЫТАНИЙ
ПЕРСПЕКТИВНОЙ АВИАЦИОННОЙ И РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ**

А.А. Егоров

К.т.н., профессор АВН РФ, заместитель директора по научной работе

НПК «Вычислительная техника и информатика» МАИ,

главный редактор журнала «Автоматизация и IT в энергетике»

Введение

Служба исследований HeadHunter провела опрос среди работников компаний и выяснила, что счастливыми на работе чувствуют себя чуть более трети из них!

С учетом того, что счастливыми респондентов делает в первую очередь сама работа, вполне логично, что их ежедневная деятельность во многом влияет на эмоциональное состояние. Так, только 8% указавших, что они недовольны работой, тем не менее, чувствуют себя счастливыми, в то время как 52% удовлетворенных своим занятием испытывают чувство радости в труде. И все же 48% опрошенных, несмотря на позитив, получаемый от работы, все равно счастливыми себя не ощущают [1].

Что делает работников счастливыми?

Сама работа	54%
Осознание самореализации	52%
Коллеги	53%
Зарплата	43%
Хорошие условия труда	41%
Осознание значимости своей деятельности	41%
Другое	4%

Что же огорчает таких работников и делает их несчастными?

Отсутствие профессионального и личностного развития	55%
Не устраивает зарплата	53%
Угнетает сама работа	42%
Осознание бесполезности своего труда	37%
Плохие условия труда	24%
Отношение с коллегами	19%
Другое	9%

В первую очередь отсутствие профессионального развития (55%) и невысокая зарплата (53%). Также виной может служить сама угнетающая деятельность, осознание бесполезности своего занятия, некомфортные условия труда, плохие отношения с коллегами и начальством и не только.

Особенности подготовки кадров в области проектирования экспериментальных исследований и испытаний изделий авиационной и ракетно-космической промышленности в современных условиях

Проблема 1. Работодателям и выпускникам нелегко найти общий язык (2). Еще в прошлом году Служба исследований HeadHunter выяснила, что каждая пятая компания не принимает на работу вчерашних студентов из-за отсутствия опыта. Те, кто все же набирает молодых специалистов, в 40% случаев считает их зарплатные ожидания завышенными. Почти треть работодателей убедились на собственном опыте, что знаний по специальности выпускникам не хватает.

В этом году уровень подготовки выпускников оценили «на троичку»: 49% работодателей назвали его «скорее низким», и 31% — «очень низким». Выпускники более оптимистичны: половина опрошенных считает уровень своей подготовки высоким.

Как вы считаете, каким уровнем подготовки к началу профессиональной деятельности обладают выпускники?

	Выпускники		Работодатели	
	2014	2015	2014	2015
Очень высокий уровень подготовки	6%	8%	1%	1%
Скорее высокий уровень подготовки	49%	51%	11%	9%
Скорее низкий уровень подготовки	31%	26%	57%	49%
Очень низкий уровень подготовки	2%	5%	23%	31%
Затрудняюсь ответить	12%	11%	8%	10%

В целом работодатели, как показало исследование, не требуют от молодых специалистов невозможного. Наличие опыта критично только для 19% компаний. Остальные ждут от выпускников проявления инициативы, ответственности и умения работать в команде. Почти 90% молодых специалистов считают, что у них есть эти навыки. Работодатели с ними не согласны: только треть признает, что выпускники умеют работать в коллективе и готовы брать на себя ответственность.

По какому из параметров молодые специалисты подготовлены лучше всего?

	Выпускники		Работодатели	
	2014	2015	2014	2015
Высокая ответственность	90%	91%	35%	27%
Готовность получать доп. образование при необходимости	89%	91%	51%	51%
Инициативность, нацеленность на результат	87%	89%	45%	39%
Умение работать в команде	81%	85%	33%	34%
Умение работать самостоятельно	82%	83%	20%	23%
Наличие хорошей теоретической базы	60%	64%	32%	37%
Хорошее представление о будущей работе	56%	62%	18%	14%
Наличие практических навыков	44%	45%	9%	10%

Эти цифры наглядно показывают, как сильно расходятся взгляды работодателей и выпускников Вузов. С одной стороны, молодым специалистам свойственно завышать свои возможности. Критичный подход к своим навыкам и знаниям появится у них только

о через несколько лет, когда они попробуют все, что знают и умеют, на практике и увидят результат. С другой стороны, большинство выпускников готовы учиться, ценят помощь и советы руководителей, стремятся к профессиональному развитию и движению по карьерной лестнице. Работа с молодыми специалистами — это прежде всего умение их мотивировать. Собственнику бизнеса, руководителю нужен измеримый результат, и он должен быть целью работника.

Проблема 2. О мотивации в последнее время не говорит только ленивый. На эту тему написано множество книг, разработана масса семинаров и учебных курсов. Однако когда дело доходит до практики применения моделей мотивации начинаются сложности. Тем временем, каждые три года в организации наступает мотивационный, а у сотрудника — профессиональный («Я уже все знаю») вакуум. Это выражается немотивированным поведением персонала, резким ростом текуч-

ки, попытками пойти учиться или поменять профиль работы. И если в организации нет мотивационной поддерживающей системы, то каждые три года коллектив разваливается.

Вообще, надо сказать, денежное вознаграждение – самый слабый мотиватор, не оказывающий длительного эффекта. Например, позитивный эффект при удвоении оклада равен двум неделям, после чего возникает недовольство как результат привыкания сотрудника к новому доходу и роста его потребления: сначала не хватало на картошку, а теперь – на жемчуг, отчего мера горя больше. Денежное вознаграждение в форме процента или бонуса действует два месяца – месяц после обещания и месяц после получения. Очень большое денежное вознаграждение (гонорар) действует два-три месяца после обещания и начала выполнения работ.

Исследования показывают (3), что:

20,0 %	Если есть деньги, работать не будут
28,8 %	Если есть деньги, будут работать в случае интересной работы
28,8 %	Если есть деньги, чтобы избежать скуки и одиночества
11,2 %	Если есть деньги, из боязни «потерять себя»
7,2 %	Если есть деньги, потому что работа приносит радость
4,0 %	другое

Основные мотивы деятельности располагаются в следующей последовательности:

45%	Слава
35%	удовлетворённость содержанием работы
12%	деньги

Если подойти к вопросу с практических позиций, то, прежде всего, следует обратить внимание на то, что сильная мотивация способна компенсировать недостаточный уровень знаний, недостатки в осуществлении тех или иных управлеченческих функций, и наоборот, если у человека отсутствует желание работать, то никакие знания, компетенции и навыки не помогут достичь нужного результата. Однако одно лишь осознание этой истины не дает специалистам по управлению персоналом ответа на ряд важных вопросов:

- Почему же некоторые вроде бы изначально мотивированные сотрудники довольно быстро теряют интерес к работе и начинают рассматривать альтернативные предложения?
- Почему они работают «спустя рукава», хотя, казалось бы, все имеют для эффективной работы?
- Почему сотрудник желает уволиться, принимая предложение конкурента, хотя условия кажутся аналогичными?
- И наконец, как предотвратить уход ценного специалиста?

Все эти вопросы актуальны для кадровой политики компаний авиационной и ракетно-космической техники.

Проблема 3. Престиж профессии. Одной из важнейших задач является популяризация аэрокосмической темы в молодежной среде и повышение престижа аэрокосмической отрасли в целом. В этом смысле заслуживает внимания и безусловно дальнейшего развития **Аэрокосмического клуба работодателей** (4). Этот клуб - современный подход к привлечению квалифицированного персонала на предприятия аэрокосмической и оборонной отраслей из числа выпускников и специалистов с опытом работы.

Основная задача Аэрокосмического клуба – это обеспечение скоординированного взаимодействия работодателей с профильными вузами, колледжами и социальными партнерами, заинтересованными в развитии отрасли.

Особенности подготовки кадров в области проектирования экспериментальных исследований и испытаний изделий авиационной и ракетно-космической промышленности в современных условиях

Помимо этого одной из важнейших задач Клуба является популяризация аэрокосмической темы в молодежной среде и повышение престижа аэрокосмической отрасли в целом.

В рамках работы Аэрокосмического клуба работодателей 12 марта 2015 года в ОАО «Ил» был проведен круглый стол. Представители крупных предприятий авиационной отрасли и профильных вузов обсудили вопросы эффективного взаимодействия.

Наиболее значимые из обсуждаемых тем:

Целевой набор.

Активизация системы проведения производственных практик.

Организация открытых дверей на предприятиях, экскурсий для студентов.

Организация системной работы по информированию студентов о предприятиях аэрокосмической и оборонной отраслей:

проведение специализированных семинаров, тренингов по адаптации к рынку труда и технологии трудоустройства;

размещение информации в вузовских СМИ, в социальных сетях, на веб-сайтах;

размещение информации на специализированных стендах в вузах; одним из предложений было создание «Галереи работодателей» в вузах.

Оптимизация финансовых расходов работодателей на привлечение персонала, в том числе из числа студентов и выпускников вузов.

Организация системы мониторинга трудоустройства выпускников вузов на предприятия аэрокосмической и оборонной отраслей.

Доводка образовательных программ (дополнительные образовательные услуги) под требования рынка труда и конкретных работодателей.

Подводя итоги круглого стола, участники встречи отметили важную роль мероприятий, позволяющих скоординировать усилия предприятий и профильных ВУЗов для работы по профориентации выпускников, поиску наиболее действенных форм работы по привлечению молодежи в авиационную отрасль. Также было высказано предложение создать экспертное сообщество с постоянно действующей рабочей группой и сформировать предварительные график и темы предстоящих круглых столов.

Для любого соискателя, особенно для того, кто только начинает свою профессиональную карьеру, важно грамотно ориентироваться на рынке труда. Необходимо знать основы трудового законодательства, государственные программы занятости; уметь правильно презентовать себя, подготовиться к собеседованию, понимать, что собой представляют те или иные варианты тестирования. Также принципиально важно располагать достоверной и максимально исчерпывающей информацией о работодателе: история компании, перспективы ее развития, социальный пакет. Электронный справочник по карьере «Профи 21 век», размещенный на Интернет-портале www.uniportal.ru предлагает именно такую информацию, являясь своего рода навигатором адекватного построения карьеры квалифицированного персонала на предприятиях аэрокосмической и оборонной отраслей из числа выпускников и специалистов с опытом работы.

Литература

1. Вировец Ю.И. Что делает сотрудников счастливыми на работе// Секреты лучших работодателей, 2014 [Электронный ресурс]. - URL:
<http://hh.ru>
2. <http://bemology.ru/blog/management/motivatcia.htm>
3. http://aerocosmosjob.ru/html/iiainoe_19_04_2015.html

УДК 378.144

ФОРМИРОВАНИЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ КОМПЕТЕНЦИЙ СПЕЦИАЛИСТОВ В ОБЛАСТИ ИСПЫТАНИЙ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКИХ ДВИГАТЕЛЕЙ

В.П. Назаров

*К.т.н., профессор, Сибирский государственный аэрокосмический университет
имени академика М.Ф. Решетнева*

Разработка и создание современных ракетно-космических двигателей базируется на результатах испытаний, которые должны обеспечить высокую степень надежности двигательных установок, что в значительной мере определяет тактико-технические характеристики и надежность летательных и космических аппаратов в целом. Испытания становятся все более важной частью работы, которую необходимо проводить при проектировании и производстве ракет-носителей и космических аппаратов [1].

Подготовка квалифицированных специалистов в области испытаний ракетных двигателей летательных и космических аппаратов является сложной и ответственной задачей, которая в системе отечественного аэрокосмического образования должна решаться на основе компетентностного подхода. Основная цель компетентностного подхода заключается в подготовке нового поколения специалистов, способных быстро адаптироваться в условиях динамичного производства, оперативно осваивать различные виды труда, обладать знаниями и личными качествами, необходимыми для широкого круга смежных профессий. Особое значение придается умениям, позволяющим действовать в проблемных ситуациях, для которых заранее невозможно подготовить соответствующие средства и методы решения. Их нужно находить в процессе изучения и разрешения подобных ситуаций с обязательным достижением требуемых результатов.

Компетентностный подход направлен на усиление прикладного, практического характера высшего профессионального образования. При этом предполагается, что теоретические знания должны стать практическим средством объяснения возникающих явлений и проблем, а также методологической базой их решения.

Компетентности, в отличие от универсальных знаний, имеют практико-ориентированный характер. То есть компетентности – это совокупность знаний в действии. Приобретение и использование знаний в компетентностном подходе предполагает активную познавательную деятельность, поэтому в структуру компетентности входят личностные и мотивационные компоненты.

При подготовке элитных специалистов в области аэрокосмической техники целесообразно выделить следующие группы (виды) профессиональных компетенций:

- квалификационные компетенции – знания, умения и навыки в профессиональной деятельности, владение современными информационными технологиями;
- субъективно-ориентированные компетенции – способность и готовность принимать ответственные технические, организационные и социально-экономические решения;
- компетенции, ориентированные на творческую деятельность – способность к поиску принципиально новых решений научно-технических задач в профессиональной сфере и в смежных областях производства;
- коммуникативные компетенции – умение применять понятийный аппарат в сфере профессиональной деятельности, пользоваться правилами деловой этики и управления коллективом, способность корректно вести дискуссию, мотивировать и защищать свои решения.

Отечественное аэрокосмическое образование осуществляет подготовку высококвалифицированных инженерных кадров для предприятий и организаций наукоемких отраслей экономики

Особенности подготовки кадров в области проектирования экспериментальных исследований и испытаний изделий авиационной и ракетно-космической промышленности в современных условиях

страны. Несмотря на серьезные социально-политические и организационно-экономические проблемы, аэрокосмическая промышленность России продолжает производить изделия, которые по многим техническим характеристикам превосходят лучшие зарубежные образцы.

Особая сложность изделий авиационной и ракетно-космической техники, большой объем технологических, наземных и летных испытаний, наличие оборонного компонента определяют главную задачу оптимального построения образовательных программ подготовки специалистов в области авиации, ракетостроения и космонавтики. Учебный процесс в вузе должен моделировать основные направления и виды будущей профессиональной деятельности выпускника.

Известно, что с наибольшей эффективностью это требование обеспечивается интегрированной системой обучения (система «завод-втуз»), которая более пятидесяти лет успешно реализуется в Сибирском государственном аэрокосмическом университете имени академика М.Ф. Решетнева (г. Красноярск). Интегрированная система обучения предусматривает в структуре учебных планов инженерных специальностей совмещение теоретического обучения студентов с их профессиональной производственной работой по профилю специальности на базовых предприятиях [2].

Современная законодательная и нормативная база в сфере высшего профессионального образования, Федеральные государственные образовательные стандарты ВПО не создают условий для широкого применения в вузах интегрированной системы. С учетом этих обстоятельств в качестве основного механизма реализации интегрированной системы в СибГАУ рассматривается целевая контрактная подготовка специалистов для предприятий оборонно-промышленного комплекса на основе государственного заказа по линии Министерства образования и науки РФ и Федерального космического агентства.

Целевая подготовка, направленная на обеспечение конкретного предприятия инженерными кадрами с дополнительными требованиями к уровню профессиональных компетенций, обладает широкими возможностями для повышения взаимной заинтересованности производственного и образовательного сегментов рынка труда, вступления образования и промышленности в партнерские рыночные отношения.

Реализация целевой контрактной подготовки специалистов в области техники и технологии на основе договоров позволяет развивать различные модели интегрированной системы образования, которые могут быть ориентированы на конкретные научно-технические, технологические, производственно-экономические потребности предприятий, максимальную индивидуализацию подготовки студентов, ускоренную адаптацию молодого специалиста к конкретному производству.

Содержание целевой подготовки специалистов, состав учебных курсов инженерных специализаций должны определяться гибкими учебными планами. При этом внутривузовская компонента учебного плана должна соответствующим образом отражать функционально-ориентированную и предметно-отраслевую специфику, учитывать требования предприятий-заказчиков к дополнительной углубленной профессиональной инженерной подготовке. Поэтому к разработке учебных планов, выбору дисциплин инженерных специализаций целесообразно привлекать руководителей и специалистов предприятий. Формирование единой методологии подготовки выпускников по конкретной специальности (специализации), укрепление междисциплинарных связей и преемственности преподавания естественнонаучных, гуманитарных, экономических, профессиональных и специальных дисциплин достигается путем создания методических советов специальностей, в которые входят преподаватели данных курсов дисциплин, а также представители базовых предприятий промышленности и научных организаций. Непрерывное участие предприятий в контроле качества подготовки специалистов (от разработки учебных планов до итоговой аттестации) позволяет заказчикам быть уверенными в уровне знаний и компетенций выпускников.

Федеральными государственными образовательными стандартами высшего профессионального образования (ФГОС ВПО) по направлениям подготовки специалистов в области авиации, ракетостроения и космонавтики установлены общекультурные и профессиональные компетенции,

которыми должны обладать выпускники в результате освоения основных образовательных программ.

ФГОС ВПО по специальности 24.04.05 – «Проектирование авиационных и ракетных двигателей» в качестве общекультурных компетенций формулирует три нормативные позиции, которыми охватывается широкий круг социально-культурных, интеллектуальных, морально-нравственных категорий, норм и правил, которыми должен владеть инженер-двигателестроитель. Эти компетенции соответствуют основным идеологическим установкам современного российского общества и ориентируют выпускника вуза на индивидуализацию его будущей деятельности, толерантность во взаимоотношениях, стремление к самостоятельному развитию своего интеллектуального уровня.

Вместе с тем формирование общекультурных компетенций будущего специалиста должно быть существенно дополнено воспитанием чувства коллектизма, гражданственности, личной причастности к обеспечению безопасности страны и защиты интересов государства. Эти личные качества и компетенции являются необходимыми для инженерно-технических работников обороно-промышленного комплекса Российской Федерации.

Перечень профессиональных компетенций открывается группой обще-профессиональных характеристик инженера с ориентацией на научную организацию труда, самостоятельное приобретение новых знаний и умений с помощью информационных технологий применение экономических методов в планировании и оценке инженерной интеллектуальной деятельности.

Основная часть профессиональных компетенций (более 40 компетенций) структурно представлены по видам профессиональной деятельности специалиста:

- проектно-конструкторской;
- производственно-технологической;
- научно-исследовательской;
- лабораторно-испытательной;
- организационно-управленческой.

В целом содержание профессиональных компетенций соответствует реальным требованиям, предъявляемым к уровню подготовки инженера по профилю «Двигатели летательных аппаратов», за исключением формального несоответствия содержания компетенций наименованию специальности, которым область деятельности выпускника ограничена проектированием авиационных и ракетных двигателей. Известно, что проектирование составляет начальный этап создания двигателя. За ним следуют этапы разработки конструкции, постановки на производство, испытаний, серийного производства, эксплуатации двигателей авиационного и ракетно-космического назначения. Неправильное и неполноценное наименование специальности целесообразно изменить в ходе дальнейшей работы по совершенствованию образовательного стандарта.

Профессионально-специализированные компетенции (ПСК) распределены по семи специализациям в соответствии с общей классификацией двигателей и двигательных установок летательных аппаратов.

Для реализуемой в СибГАУ специализации № 3 «Проектирование жидкостных ракетных двигателей» стандартом установлены восемь ПСК, ориентированных на проектно-расчетные и контрольно-испытательные виды инженерной работы. Однако эти компетенции не охватывают полностью сферу деятельности специалистов, участвующих в процессах проектирования, производства и испытаний ЖРД. Для преодоления вышеуказанных недостатков стандарта нами разработаны дополнительные профессионально-специализированные компетенции, которые базируются на длительном опыте подготовки специалистов для предприятий ракетно-космической промышленности.

ПСК, установленные вузом, показывают, что выпускник кафедры ДЛА способен разрабатывать технологические процессы изготовления деталей и узлов ЖРД, владеет навыками проведения испытаний на прочность и герметичность, способен осуществлять конструкторское сопровождение производства, владеет практическими навыками планирования и управления производством на уровне подразделений предприятия. Вышеуказанные ПСК получили поддержку руководителей и

Особенности подготовки кадров в области проектирования экспериментальных исследований и испытаний изделий авиационной и ракетно-космической промышленности в современных условиях

ведущих специалистов базового предприятия АО «Красмаш», для которого СибГАУ осуществляет целевую подготовку специалистов.

Для полноценного формирования общекультурных и профессиональных компетенций нами разработана компетентностная модель выпускника в виде нормативно-методического документа «Компетенции выпускника вуза как совокупный ожидаемый результат образования по завершении освоения основной образовательной программы».

Компетентностная модель содержит характеристику профессиональной деятельности специалиста и перечень основных профессиональных задач, которые должен уметь решать выпускник в соответствии с конкретным видом своей инженерной деятельности.

В структуре компетентностной модели представлены коды компетенций (ОК, ПК, ПСК), соответствующие наименованию компетенции и характеристикам обязательного (порогового) уровня сформированной компетенции у выпускника. Для каждой компетенции разработаны ее содержательные компоненты: знать, уметь, владеть.

В учебный лан специальности включена дисциплина «Испытание и обеспечение надежности ракетных двигателей», которая рассматривается в качестве основополагающей дисциплины профессионального цикла. Целью преподавания этой дисциплины является формирование у студентов-двигателистов целостного, научно обоснованного представления о формировании испытаний и их эффективной реализации при создании надежных ракетных двигателей. Для этого они должны изучить основы организации испытаний, необходимые для достижения их высокой степени надежности на основе обеспечения предельно возможных параметров и характеристик двигателей за счет широкого использования в этом процессе математического аппарата теории надежности.

При формировании содержания профессиональных и профессионально-специализированных компетенций особое внимание удалено необходимости приобретения студентами практических навыков инженерно-производственной деятельности, поэтому в учебный план специальности «Проектирование авиационных и ракетных двигателей», разработанный кафедрой двигателей летательных аппаратов, введены особые этапы профессионально-практической подготовки студентов, которые в СибГАУ называются инженерно-производственной практикой (ИПП) [3].

Основной целью ИПП является формирование у будущих специалистов комплексных конструкторских, технологических и производственных знаний, умений и навыков организаторской деятельности, работы в профессиональном производственном коллективе. Студенты в процессе прохождения ИПП непосредственно участвуют в производстве экспериментальной и серийной продукции, проведении испытаний изделий на прочность и герметичность, гидродинамических и газодинамических испытаний узлов и агрегатов ЖРД.

Инженерно-производственная практика обеспечивает выполнение следующих задач:

- закрепление и углубление теоретических знаний, полученных в курсах естественнонаучных, обще-профессиональных и специальных дисциплин;
- самостоятельное изучение отдельных разделов специальных дисциплин и дисциплин специализации в условиях производства;
- практическое участие будущих специалистов в изготовлении и испытаниях изделий аэрокосмического и общего назначения;
- приобретение опыта в решении инженерно-технических, производственно-экономических и организационных вопросов машиностроительного производства;
- приобретение навыков работы с конструкторской, технологической и нормативно-методической отраслевой документацией;
- изучение и освоение основных принципов и правил охраны труда, безопасности жизнедеятельности, экологической безопасности;

– приобщение будущих специалистов к творческой работе по повышению качества продукции, механизации и автоматизации производства, к изобретательской и рационализаторской деятельности [4].

В период прохождения инженерно-производственной практики студенты должны изучить систему организации и планирования производства, ознакомиться с функциональным назначением основных подразделений и вспомогательных служб цеха, выяснить состав технологического и контрольно-испытательного оборудования и его соответствие современному уровню ракетно-космического производства.

В период инженерно-производственной практики студенты младших курсов осваивают конкретные рабочие профессии и получают квалификацию станочника, слесаря механосборочных работ, слесаря-испытателя. Студенты старших курсов работают на инженерно-технических должностях (помощник инженера-технолога, помощник инженера-испытателя, помощник инженера-конструктора) и приобретают навыки инженерного и управленческого труда.

Таким образом в результате постоянного усложнения учебных и производственных заданий путем приобретения рабочих профессий, получения опыта инженерно-технической деятельности обеспечивается формирование у студентов профессиональных компетенций и решается ответственная государственная задача подготовки квалифицированных выпускников, способных в короткие сроки адаптироваться к реальным условиям наукоемкого производства и активно включиться в процесс создания изделий ракетно-космической техники.

Литература

1. Коломенцев А.И., Краев М.В., Назаров В.П., Черваков В.В., Яцуненко В.Г. Испытание и обеспечение надежности ракетных двигателей: учеб. / А.И. Коломенцев, М.В. Краев, В.П. Назаров и др.; Сиб. гос. аэрокосмич. у-нт; Моск. авиац. ин-т. – Красноярск, 2006. – 336 с.
2. Филатов В.В. Мировые тенденции и актуальные проблемы развития аэрокосмического образования / Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. – Красноярск, 2012. – 424 с.
3. Назаров В.П. Проблемы и тенденции подготовки специалистов в области аэрокосмической техники. Сборник межотраслевой научной конференции «Проблемы и пути решения задач подготовки инженерных кадров для оборонно-промышленного комплекса Российской Федерации», - Спб: БГТУ «Военмех», 2004. С.96-101.
4. Обеспечение и оценка качества аэрокосмического образования / Под ред. А.Н. Геращенко, М.Ю. Куприкова, А.Ю. Сидорова. – М.: Изд-во МАИ, 2013. – 552 с.

Назаров Владимир Павлович

кандидат технических наук, профессор

заведующий кафедрой двигателей летательных аппаратов Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М.Ф. Решетнева

г. Красноярск, пр. имени газеты «Красноярский рабочий», 31

УДК 004.042, 004.4'22, 004.4'242

**ОБУЧЕНИЕ СТУДЕНТОВ И СПЕЦИАЛИСТОВ АЭРОКОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ,
МОДЕЛЬНО-ОРИЕНТИРОВАННЫМ МЕТОДАМ РАЗРАБОТКИ ПОДДА КРИТИЧЕСКИХ
ПО БЕЗОПАСНОСТИ ВСТРАИВАЕМЫХ СИСТЕМ, С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРОГРАММНОГО
КОМПЛЕКСА SCADE ОТ КОМПАНИИ ESTEREL TECHNOLOGIES**

М.Б. Насыров

Технический эксперт, ООО «АНСИС»

В данной статье рассматриваются преимущества модельно-ориентированного подхода при разработке программного обеспечения (ПО) критических по безопасности систем в ракетно-космической отрасли, на примере технологии SCADE

UDC 004.042, 004.4'22, 004.4'242

**EDUCATION OF STUDENTS AND AEROSPACE ENGINEERS TO MODEL-BASED DEVELOPMENT
APPROACH FOR CRITICAL SYSTEM SW DEVELOPMENT WITH ESTEREL
TECHNOLOGIES SCADE SOLUTION**

M. Nasyrov

Field application engineer, LLC "ANSYS"

This article discusses the advantages of model-based approach for safety-critical systems software development (SW) in Aerospace industry with SCADE technology.

Введение

ПО значительно сложнее аппаратной части [1] и достижение требуемого уровня его надежности достигается с большими затратами. Значимость ПО в бортовых системах возрастает с увеличением объема реализуемых функций, сложности и требований по безопасности.

Традиционные методы разработки (написание технического задания, описание требований, построение функциональных схем в различных графических редакторах, ручные кодирование и верификация, и т.п.) являются трудоемкими и низкоэффективными, особенно с учетом необходимости выполнения всех требований стандартов и прохождения сертификации.

Сравнение классического подхода к разработке ПО и модельно-ориентированного подхода, реализуемого технологией SCADE

Основные промышленные стандарты по функциональной безопасности определяют все этапы разработки ПО ответственных систем и их последовательность [2].

При «ручном подходе», согласно классической V-образной модели жизненного цикла ПО, на основе требований пишется код и появляется необходимость в написании тестов для его функциональной верификации. Тесты пишутся на основании требований. На следующем шаге проводится анализ полноты тестового покрытия. Данная процедура позволяет дать количественную оценку тестам, на сколько глубоко и полно проверяется код, содержит ли он незадекларированный функционал и «мертвый» код [3]. Далее тестирование проводится на целевой платформе. Верифи-

ификация и валидация являются самыми трудоемкими и дорогостоящими этапами при разработке ответственного ПО. При ручном подходе, ошибка разработчика может стоить очень дорого, так как придется возвращаться на первый шаг и проходить все этапы с самого начала.

В случае модельно-ориентированного подхода, практически все этапы разработки выполняются на уровне модели [4].

Основной задачей модельно-ориентированного подхода, является переход с текстового языка на формальный. Таким образом, это означает, что любое формализованное выражение может трактоваться однозначно и есть возможность проверить его при заданных условиях.

Одним из способов, позволяющим сократить затраты на разработку ПО бортовых систем, повысить уровень взаимопонимания между разработчиками и заказчиками, является применение комплекса SCADE [5] компании Esterel Technologies, в основе которого лежит модельный подход при разработке ПО и автоматическая генерация кода на языках C и ADA.

Основное назначение комплекса SCADE – модельно-ориентированная разработка критичного по безопасности ПО для встраиваемых систем, спецификаций к нему, генерация отчетной документации и поддержка ПО на всех этапах его жизненного цикла.

Все инструменты, входящие в комплекс SCADE, ориентированы на построение эффективных процессов в соответствии с промышленными стандартами и обеспечение надежности разрабатываемых систем. Предлагаемый набор инструментов охватывает весь жизненный цикл разрабатываемого ПО: от системного проектирования и разработки дизайна, до тестирования на целевой платформе.

Генераторы кода и документации, входящие в комплекс SCADE, являются сертифицированными/квалифицированными согласно основным промышленным стандартам, в частности по авиационному стандарту DO-178C и вытекающему из него ECSS Q80 для космической промышленности. Это гарантирует полное соответствие генерируемых кода и документации разрабатываемым моделям и позволяет существенно сократить затраты (ресурсов и времени) на разработку ПО и на подтверждение его надежности.

Код, получаемый из моделей, созданных в средах SCADE Suite и SCADE Display, при помощи сертифицированных кодогенераторов, не требует выполнения низкоуровневого тестирования. Получаемый код трассируем с моделью, имеет статическое распределение памяти, не зависит от операционной системы и аппаратной платформы.

Комплекс SCADE включает в себя:

- SCADE System – Графическое описание архитектуры, функционала и интерфейсов будущей системы на языке SysML. Описание распространения данных в системе и проверка целостности. Автоматизированная генерация конфигурационных и интерфейсных документов.
- SCADE Suite – Графическое представление блок-схем потоков данных и безопасных конечных автоматов, позволяет создавать точную и однозначную спецификацию с возможностью симуляции и последующей генерацией кода на языках C и ADA.
- SCADE Display – Модельно-ориентированная разработка детальных прототипов и спецификаций для встроенных человеко-машинных интерфейсов, с последующей генерацией кода.
- SCADE Test – Подготовка тестовых сценариев, их запуск и получение формальных отчетов тестирования. Оценка полноты покрытия модели и кода согласно заданным критериям. Генерация подтверждающих отчетов автоматизирована, что позволяет значительно сэкономить время и средства относительно ручного тестирования.
- SCADE Lifecycle – Шлюз к системам управления требованиями (Requirements Management Gateway) позволяет графически организовать связи между моделями SCADE и другими структурированными документами, в частности, требованиями высокого уровня и тестовыми планами. Генератор отчетов SCADE Reporter автоматизирует трудоёмкую работу по созданию подробных отчетов, описывающих модели SCADE.

Особенности подготовки кадров в области проектирования экспериментальных исследований и испытаний изделий авиационной и ракетно-космической промышленности в современных условиях

Технология SCADE оптимально подходит для разработки таких приложений, как: системы управления полетом, навигационные системы, бортовые системы жизнеобеспечения, ПО для наземных пунктов контроля, системы корректировки орбиты.

Данная технология нашла свое применение в следующих космических программах:

ARIANE 5 и 5 ME ракеты-носители (ESA/Astrium) [6];

- HOMER посадочный модуль (ESA/Astrium);
- ATV "Jules Verne" Транспортный модуль (ESA/Astrium) - Модуль мониторинга и жизнеобеспечения, код сертифицирован по DO-178B уровень А [6];
- VEGA ракета-носитель (Fiat Avio/ELV, EADS Astrium) – Система управления полетом;
- Long March ракета-носитель CZ-5 (CALT) - Система навигации и наведения;
- ZY-3 спутник (CAST) - Блок Контроля температуры;

Заключение

С помощью модельно-ориентированного подхода при разработке бортового ПО удается значительно снизить затраты на разработку и сопровождение ПО, за счет простоты разработки функциональных спецификаций и архитектуры, удобства обмена информацией между разработчиками, отсутствия необходимости в навыках программирования, возможности частичного и полного использования существующих разработок в новых проектах, автоматизации этапов верификации и генерации кода и отчетной документации.

Литература

1. Майерс Г. Надежность программного обеспечения. – М.:Мир, 1980. – 360 с.
2. ECSS-Q-ST-80C, Space product assurance: software product assurance, 2009
3. Синицын С.В., Налютин Н.Ю. Верификация ПО. – М.: БИНОМ, 2008.
4. G.Berry. The Effectiveness of Synchronous Languages for the Development of Safety-Critical Systems. Esterel Technologies. 2003. URL: <http://dnlcenter.estrel-technologies.com/>
5. E.Conquet, F.Dormoy, D.Lesens. Formal Model Driven Engineering for Space Onboard Software. ERTS² 2012, URL: <http://dnlcenter.estrel-technologies.com/>
6. D.Lesens SCADE Suite in Space Applications at EADS Astrium Space Transportation. 2008. URL: <http://dnlcenter.estrel-technologies.com/>