

**Государственная корпорация по космической деятельности
"РОСКОСМОС"**

АО «Научно-производственное объединение измерительной техники»

**ОТРАСЛЕВАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
приборостроительных организаций Роскосмоса
«Информационно-управляющие и измерительные системы -2017»**



*посвящается
60-летию запуска первого искусственного спутника земли*

С б о р н и к д о к л а д о в и т е з и с о в

г. Королев, Московской области

30-31 марта 2017 г.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Организаторы конференции	4
Организационный комитет	5
Расписание конференции	6
Пленарное заседание	7
Пушкин Н.М., Бацев С.В., Старичихин И.Г., Иванов Т.В., Бураковский С.В. АО «НПО ИТ» «Предварительные результаты внедрения бесконтактного магнитометрического способа и системы контроля процессов в газовых трактах ракетных и авиационных двигателей»	8
Чаплинский В.С., Коновалов В.П., Прут В.И., Кашеев Н.А. НИИ КС им. Максимова «Анализ эффективности дополнения радиотелеметрических и угломерных систем каналами псевдоскоростных измерений»	11
Алямкин А.Ю., Богатырев В.Н., Поварницына З.М., Хотькова О.А., Черный А.И., Прокофьев Г.В. АО «НПО ИТ» «Разработка специализированной электронной компонентной базы для создания миниатюрного регистратора импульсной электризации КА»	17
Филичкин Ю.С. АО «НПО ИТ» «Перспективы развития телеметрической аппаратуры «ОНИКС»»	19
Шпаков П.А., Матвеев А.М. Космодром «Плесецк» «Тенденции развития способов и средств передачи и регистрации телеметрической информации ракетно-космической техники Соединенных Штатов Америки»	28
Веселова Е.Ю., Свинтицкий В.В., Михалев А.А. АО «НПО ИТ» «Новое поколение вибропреобразователей для контроля вибропараметров атомных реакторов»	33
Соколова А.В., Федосов Д.А., Соколова А.А., Проказин Ф.Е., Старичихин И.Г. АО «НПО ИТ» «Исследования и поиск путей создания датчиков для измерения сверхмощных плотностей суммарного теплового потока для изделий РКТ»	39
Мороз А.П. АО «НПО ИТ» «Метод решения задачи локализации места возникновения разрушений при аварийной ситуации на объекте»	42
Стендовые доклады	46
Иванова Л.М., Тарасов В.С., Тарасова А.С. АО «Научно-производственное объединение автоматики имени академика Н.А. Семихатова» «Принципы формирования телеметрического кадра в условиях ограниченной информативности канала передачи ТМИ»	46
Великий З.С. Космодром «Плесецк» «Способы управления вектором тяги гибридных ракетных двигателей»	48
Захаренков А.В., Лисица Д.В., Тимофеев П.В. Космодром «Плесецк» «Современные комплексы обработки телеметрической информации и перспективы их развития»	55
Зыков А.А. Космодром «Плесецк» «Предложение по использованию шины I2C для сбора телеметрической информации изделия»	60
Милехин Р. В. Космодром «Плесецк» «Локализация источников вибронагрузок конструкции ракетно-космической техники методом наименьших квадратов»	65
Неснов Б.В. Космодром «Плесецк» «Предложение по совершенствованию сетевой безопасности комплекса средств измерения сбора и обработки телеметрической информации»	70
Хетчиков Д.М., Пирухин В.А., Пилипенко Л.В. Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского «Метод построения структуры сложных технических систем»	74

Морозов С.В. <i>войсковая часть 32103</i> ; Белокопытов М.Л., Клыков В.А., Рыжов И.А. <i>Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского</i> , Точилев В.А., <i>КБ «Арсенал»</i> «К вопросу разработки перспективной бортовой радиотелеметрической системы»	78
Э.Э. Акимкина <i>Московский государственный областной технологический университет</i> «Табличные и многомерные модели данных для информационно-управляющих систем машиностроительных предприятий»	83
П.И. Конников <i>АО «НПО ИТ»</i> «Современные методы пайки»	89
СЕКЦИЯ 1 Информационно-управляющие системы	91
Сенюгин Н.П., Давыдов И.А., Савин С.Б., Шихов С.Н. <i>АО «НПО ИТ»</i> «Устройство многоканальной обработки быстроменяющихся параметров на борту ЛА, выполненное в виде «Системы на одном кристалле»»	92
Бондаренко А.С. <i>Космодром «Плесецк»</i> «Структурный анализ построения и перспективы использования автоматизированной мобильной контрольно-проверочной аппаратуры системы измерений при испытаниях ракетных комплексов стратегического назначения»	93
Знаменская Т.Д., Вайдецкая Н.В., Чернухина Е.В., <i>МФ МГТУ им. Н.Э. Баумана (МГУЛ), АО «НПО ИТ»</i> «Проблемы обеспечения требуемой надёжности ракетно-космической техники»	100
Стефанов И.А., Иванов П.Е., Дорохин А.В. <i>АО «Корпорация ТРВ»</i> «Система видеофиксации срабатывания датчика высоты беспилотного летательного аппарата»	106
Ширяева Л.А. <i>АО «РКС»</i> «Особенности формирования микросварных соединений повышенной прочности при высокой плотности монтажа»	108
Поспелов А.В., Папко А.А. <i>АО «НИИФИ»</i> «О результатах пробной эксплуатации системы горизонтирования антенного комплекса на основе устройства измерения углов тангажа и крена»	110
Новикова Т.О. <i>АО «НИИФИ»</i> «Прогнозирование нештатных и аварийных ситуаций на основе математической модели объекта и статистического анализа телеметрических данных»	116
Поленов Д.Ю. <i>АО «НПО ИТ»</i> «Способ повышения эффективности РТС при развитии высокодинамичного аварийного процесса на борту изделия»	119
Немцова П.А., Филиппович П.А. <i>АО «НПО ИТ»</i> «Внедрение технологии 3D-прототипирования и отработка технологии печати средств технического оснащения»	121
Кокорина Н.А., Чурилова Л.Н. <i>АО «НПО ИТ»</i> «Использование компьютерной техники при нормировании драгоценных металлов при изготовлении изделий на предприятии АО «НПО ИТ»»	122
П.И. Конников <i>АО «НПО ИТ»</i> «Исследование качества и надежности паяных соединений печатных плат»	123
Анненков А. М. <i>АО «НПО ИТ»</i> «Перспективы развития радиоканалов передачи телеметрической информации»	128
Давыдов И.А. <i>АО «НПО ИТ»</i> «Вопросы результативности использования метода контроля достоверности передаваемых сообщений при представлении образами-остатками»	130
Прасолов Д.Н. <i>АО «НПО ИТ»</i> «Передача данных в системе остаточных классов для повышения достоверности передачи информации»	131
СЕКЦИЯ 2 Датчикопреобразующая аппаратура	139
А.Н. Пестунов, Е.В. Ковалева <i>АО «НПО ИТ»</i> «Моделирование канала измерения угловой скорости на основе цифрового волоконно-оптического гироскопа»	140

Иванов С.Ю. ФГУП ЦНИИ Химии и Механики «Возможности температурной самокомпенсации в микромеханическом гироскопе с кольцевым резонатором и цифровой системой управления»	147
Грабов А. Б., Суханов В. И., Ажаева Л. А., Буянов А. В., Тимофеев Б. В. АО «НПО ИТ» «Тонкопленочные магниторезистивные датчики и измерительные преобразователи магнитной индукции»	149
Лакшин К.В., Иванов Т.В., Бацев С.В., Пушкин Н.М., Старичихин И.Г., Селезнев А.А. АО «НПО ИТ» «Миниатюрный измеритель параметров электризации КА»	150
Филиппов А.Н., Фролов А.В., Бацев С.В., Пушкин Н.М. АО «НПО ИТ» «Особенности гальванической развязки в измерительных цепях аппаратуры измерения параметров электрических полей»	153
Панов Д.А., Кочемасов М.В. АО «НПО ИТ» «Информационно – измерительная платформа для бортовых измерений в РКТ»	155
Веселова Е.Ю., Михалев А.А. АО «НПО ИТ» «Автоматизированная установка для проведения испытаний высокотемпературных датчиков вибрации»	156
Дерденков Е.А., Горбаткин Ю.Б., Яковлева Н.В. АО «НПО ИТ» «Об особенностях преобразования сигнала емкостных датчиков уровня»	160
Смыслов В.И., Суровикин С.А., Демин А.Н. АО «НПО ИТ» «Миниатюрный волоконно-оптический датчик магнитного поля и электрического тока на основе эффекта Фарадея с чувствительным элементом на кристалле Bi12GeO20»	167
Зубанов Е.А., Клементьев А.Т., Суровикин С.А. АО «НПО ИТ» «Универсальный микроэлектронный преобразователь температуры с цифровым выходом»	168
Гладков А.В., Петров С.В., Чернышев В.А. АО «НПО ИТ» «Обеспечение помехоустойчивости индукционных тахометрических преобразователей при воздействии неоднородных низкочастотных магнитных полей»	169
Севостьянов С.С., Горбаткин Ю.Б., Чернышев В.А., Яковлева Н.В. АО «НПО ИТ» «Особенности работы резервированных ультразвуковых сигнализаторов уровня импедансного типа при горизонтальной установке»	171
Батырев Ю.П., Кряжев Д.Б., Веселова Е.Ю., Михалев А.А. АО «НПО ИТ» «Внедрение цифровых датчиков контроля механического состояния роторных машин в современных АСУ ТП»	173
Лобанов А.О., Степанов Н.А., Чернышев В.А. АО «НПО ИТ» «Корректировка зависимости $Sh=F(Re)$ высокоточной дозирующей установки ВДУ-65 на месте эксплуатации»	175
Дубина О.С., Лазаренко С.В.. АО «НПО ИТ» «Обзор и перспективы разработки волоконно-оптического гироскопа»	184

ОРГАНИЗАТОРЫ КОНФЕРЕНЦИИ

❖ Государственная корпорация по космической деятельности "РОСКОСМОС"	❖ Государственный космический научно- производственный центр им. М.В. Хруничева	❖ Российская академия космонавтики им. К.Э. Циолковского
❖ Министерство обороны РФ	❖ РКК «Энергия» им. С.П. Королёва	❖ Корпорация «Тактическое ракетное вооружение»
❖ Правительство Московской области	❖ Государственный научно- производственный ракетно-космический центр ЦСКБ-Прогресс	❖ ВПК «НПО Машиностроения»
❖ ЦНИИмашиностроения	❖ ОКБ Московского энергетического института	❖ Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана
❖ 4ЦНИИ МО РФ	❖ Филиал ОАО "Объединенная ракетно- космическая корпорация" - "Научно- исследовательский институт космического приборостроения"	❖ ГБОУ ВО МО «Технологический университет»
❖ Российские космические системы	❖ НИИ Точного приборостроения	

Адрес Оргкомитета:

141074 г. Королёв Московской области, ул. Пионерская, д. 2,
тел.: (499) 750-40-50 доб.10-20 (11-66) факс: (495)488-96-48, e-mail: npoit@east.ru

www.npoit.ru

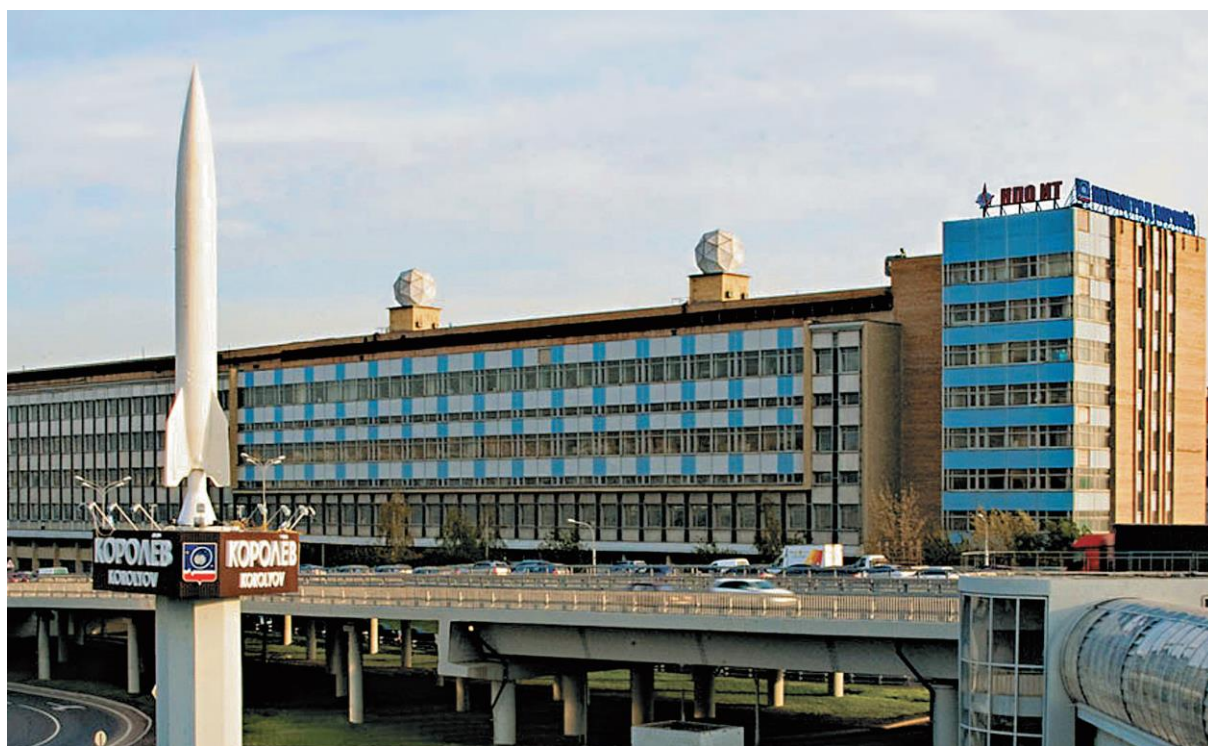
Организационный комитет

Артемьев В.Ю.	- генеральный директор АО «НПО ИТ», Председатель Оргкомитета
Мороз А.П.	- заместитель генерального директора АО «НПО ИТ» по научной работе, заместитель Председателя Оргкомитета
Ефимов С.А.	- первый заместитель генерального директора АО «НПО ИТ»
Романов А.А.	- заместитель генерального директора по науке АО «Российские космические системы»
Ивасенко Ю.Д.	- заместитель главного конструктора по развитию производства АО «НПО ИТ»
Дураков Г.В.	- заместитель генерального директора по испытаниям и эксплуатации АО «НПО ИТ»
Кортъев А.В.	- первый заместитель главного конструктора по измерениям АО «НПО ИТ»
Давыдов И.А.	- начальник НПЦ-1 АО «НПО ИТ», заместитель главного конструктора
Пестунов А.Н.	- начальник НТЦ-2 АО «НПО ИТ», заместитель главного конструктора
Саенко Г.В.	- начальник НТЦ-3 АО «НПО ИТ»
Кочемасов В.В.	- начальник НПЦ-4 АО «НПО ИТ», заместитель главного конструктора
Пушкин Н.М.	- главный конструктор по направлению
Ворона А.В.	- начальник НПЦ-6 АО «НПО ИТ»
Козлов А.И.	- ученый секретарь АО «НПО ИТ»
Чурсин В.М.	- начальник отдела 0014 АО «НПО ИТ»
Ачкасов В.А.	- ведущий инженер отдела 0014 АО «НПО ИТ»
Вербицкая К.В.	- инженер отдела 0014 АО «НПО ИТ»

Расписание конференции

30 марта

9.00—10.00	Регистрация участников. Кофе-брейк
10.00—11.00	Открытие Конференции
11.00—13.00	Пленарное заседание «Конференц-зал предприятия» (корпус 002, 5 этаж)
13.00—13.30	Перерыв на обед
13.30—16.45	Работа секций Секция 1 – «Информационно управляющие системы» «Конференц-зал предприятия» (корпус 002, 5 этаж) Секция 2 – «Датчикопреобразующая аппаратура» «Зеленый зал» (корпус 004 3-й этаж)
16.45 – 17.00	Заккрытие Конференции



**ПЛЕНАРНАЯ СЕКЦИЯ
КОНФЕРЕНЦ-ЗАЛ**

Результаты деятельности приборостроительных организаций Роскосмоса

Руководители секции:

Генеральный директор АО «НПО ИТ» - АРТЕМЬЕВ В.Ю.

Заместитель генерального директора

по научной работе АО «НПО ИТ» - МОРОЗ А.П.

10.00 – 10.30	<i>ОТКРЫТИЕ КОНФЕРЕНЦИИ</i> <i>Выступление Генерального директора АО «НПО ИТ» Артемьева В.Ю.</i> <i>«Основные направления развития АО «НПО ИТ»</i>
10.30 – 11.00	<i>Приветствие руководителей Роскосмоса и организаторов научно-технической Конференции</i>
11.00 – 11.15	Пушкин Н.М., Бацев С.В., Старичихин И.Г., <u>Иванов Т.В.</u> , Бураковский С.В. АО «НПО ИТ» «Предварительные результаты внедрения бесконтактного магнитометрического способа и системы контроля процессов в газовых трактах ракетных и авиационных двигателей»
11.15 – 11.30	Чаплинский В.С., Коновалов В.П., Прут В.И., Кашеев Н.А. НИИ КС им. Максимова «Анализ эффективности дополнения радиотелеметрических и угломерных систем каналами псевдоскоростных измерений»
11.30 – 11.45	Алямкин А.Ю., Богатырев В.Н., Поварницына З.М., Хотькова О.А., Черный А.И., Прокофьев Г.В. АО «НПО ИТ» «Разработка специализированной электронной компонентной базы для создания миниатюрного регистратора импульсной электризации КА»
11.45 – 12.00	Филичкин Ю.С. АО «НПО ИТ» «Перспективы развития телеметрической аппаратуры «ОНИКС»»
12.00 – 12.15	Шпаков П.А., Матвеев А.М. Космодром «Плесецк» «Тенденции развития способов и средств передачи и регистрации телеметрической информации ракетно-космической техники Соединенных Штатов Америки»
12.15 – 12.30	Веселова Е.Ю., Свинтицкий В.В., Михалев А.А. АО «НПО ИТ» «Новое поколение вибропреобразователей для контроля вибропараметров атомных реакторов»
12.30 – 12.45	Соколова А.В., Федосов Д.А., Соколова А.А., Проказин Ф.Е., Старичихин И.Г. АО «НПО ИТ» «Исследования и поиск путей создания датчиков для измерения сверхмощных плотностей суммарного теплового потока для изделий РКТ»
12.45 – 13.00	Мороз А.П. АО «НПО ИТ» «Метод решения задачи локализации места возникновения разрушений при аварийной ситуации на объекте»

Предварительные результаты внедрения бесконтактного магнитометрического способа и системы контроля процессов в газовых трактах ракетных и авиационных двигателей.

Н.М. Пушкин, д.т.н., С.В. Бацев, к.т.н., И.Г. Старичихин, Т.В. Иванов, С.В. Бураковский

АО «НПО ИТ»

E-mail: npoit@npoit.ru

В настоящее время при отработке ракетных двигателей ЖРД различного назначения широко применяются датчики тепловых и вибрационных параметров, а также параметров давления.

Однако данные измерительные средства не всегда своевременно реагируют на развитие нештатных процессов в газовом тракте ЖРД. В ряде случаев, например, при контроле процессов горения и возгорания, более полную информацию можно получить с помощью датчиков контроля электрофизических параметров газового потока.

При возникновении нештатных процессов в газовом тракте ЖРД меняется ионизация газового потока и его электрофизические характеристики. Средствами контроля таких процессов могут быть измерители параметров электрических зарядов, потенциалов, электрических, магнитных или электромагнитных полей газовых потоков.

Например, традиционным измерителем электрических параметров ионизированного газового потока является зондовый датчик, чувствительный элемент которого выполнен в виде металлического электрода. Такой датчик помещается непосредственно в газовый поток. Однако, применение датчиков, требующих нарушения целостности корпуса ЖРД, весьма нежелательно. Более приемлемы бесконтактные датчики – а именно датчики переменного магнитного поля токов электрических зарядов ионизированного газового потока. [1]

Системы контроля на основе измерения электрофизических параметров газовых потоков способны с высоким быстродействием реагировать на возникновение нештатных процессов и в том случае, когда источники возникновения таких процессов расположены на значительном удалении от места установки датчика.

Исходя из результатов выполненных предварительных исследований был разработан способ контроля и диагностики ЖРД на основе измерения параметров поверхностных магнитных полей. Способ контроля реактивного двигателя включает в себя измерение и анализ параметров тока электрических зарядов реактивной струи двигателя, и особенность его заключается в том, что с целью повышения надежности контроль флуктуационной составляющей тока электрических зарядов реактивной струи двигателя выполняется на основе измерения параметров поверхностных магнитных полей, определяется спектральная

характеристика этой составляющей, выделяют ее характерные частоты, детектируют сигналы на этих частотах и проводят сравнение полученных данных с эталонными.

Применение датчиков переменного магнитного поля для измерения токов и магнитного поля ионизированного газового потока через толщину корпуса двигателя основывается на том, что переменные магнитные поля в частотном диапазоне до 100 кГц практически мало ослабляются даже достаточно толстыми металлическими немагнитными оболочками. [2]

Для реализации магнитометрического метода в рамках ОКР «Возрождение» разработана система «Зонд-РД» БЫ2.741.003. Существенной проблемой в процессе разработки и апробации данной системы было создание такой конструкции датчика магнитного поля, которая выдерживала бы жесткие условия эксплуатации на внешней поверхности ракетных двигателей, а именно температуры порядка 500°C и вибрации 1000g и более. После проведения предварительных и стендовых испытаний на изделиях была, в конечном счете, разработана конструкция датчика магнитного поля, которая успешно выдержала испытания на двигателе РН «Ангара» - РД-191. Конструкция датчика выполнена на основе применения тканевого высокотемпературного подвеса чувствительного элемента. Учитывая широкий частотный диапазон измеряемых сигналов, существенному улучшению подверглись и входные каскады преобразователя к датчику.

Система «Зонд-РД» содержит два канала, диапазон измерений магнитной индукции поверхностного магнитного поля – от 0,01 до 0,1 мТл, диапазон измерения выходного сигнала – от 0 до 6В при начальном смещении ($3 \pm 0,2$)В, погрешность измерений: основная – не более $\pm 3\%$, дополнительная – не более $\pm 5\%$. Частотный диапазон измерения (0,1 -15) кГц и может корректироваться.

На двигателе ЖРД РД-191М № Д027 М два первичных преобразователя (параметры ДМП1 и ДМП2) устанавливались на газоведе после ТНА последовательно вдоль его геометрической оси. Вторичный преобразователь устанавливался на амортизаторах вблизи рамы двигателя. Первичные преобразователи на газоведе крепились на наружной поверхности с помощью специального металлического хомута и точечной электросварки. При стендовом испытании двигателя № Д027 М регистрация параметров ДМП1 и ДМП2 осуществлялась на информационно-измерительный комплекс МИГ 400 с опросностью выходного сигнала 32 кГц.

Выполненный анализ материалов измерений позволяет заключить следующее:

- полученные системой «Зонд-РД» данные по среднеквадратичным значениям (СКЗ) выходных сигналов адекватно отражают общую циклограмму работы двигателя, включая участок работы с тягой 110%.

- характерные частоты спектральных составляющих сигналов соответствуют пульсациям токов ионизации газового потока; частоты спектральных составляющих кратны лопаточным частотам насоса окисления; на записях имеет место небольшой (~20%) зашумленность сигналов по амплитуде обусловленной повышенной чувствительностью измерительных каналов системы, однако данный недостаток не отразился на спектральном анализе частот выходных сигналов.

- до уровня 100% тяги наблюдается пропорциональность амплитуды СКЗ с режимами работы двигателя.

На основе полученных при измерении данных можно сделать следующие выводы:

1. Принятые, по результатам предыдущих испытаний, конструктивные меры позволили разработать и изготовить датчики магнитного поля ЖРД, надежно работающие при температурах $\sim 500^{\circ}\text{C}$ и вибрациях $\sim 1000g$ размерами (30x20x15)мм.
2. Для данного типа двигателя преобразователь системы должен иметь меньший коэффициент усиления; в преобразователе должен быть установлен кроссировочный разъем для коммутации коэффициентов усиления.
3. Если считать основной функцией системы «Зонд-РД» контроль и раннюю диагностику процессов разгара или повышения температуры газового потока, при которых амплитуда сигналов значительно возрастает, то коэффициент усиления преобразования системы «Зонд-РД» должен быть уменьшен минимум вдвое.

Проведены также работы по апробации применения системы «Зонд-РД» для целей бесконтактного контроля форсажного режима авиационного двигателя разработки ОКБ им. А. Люльки. В процессе работ исследован общий спектр электрофизических процессов, протекающих в форсажной камере сгорания и определены оптимальные участки частотного диапазона системы электрофизических процессов, пригодные для реализации алгоритмов контроля форсажного режима двигателя.

В целом спектр электрофизических колебаний, а фактически спектр ионизационных токов газовой струи в районе форсажной камеры обусловлен как спектром токов основной камеры сгорания авиационного двигателя так и спектром токов форсажной камеры.

По результатам работы разработан алгоритм обработки полученных сигналов и электронные схемы для их реализации.

Литература

1. Пушкин Н.М. Переменной магнитное поле ионизированного газового потока как новый параметр для контроля и диагностики жидкостного ракетного двигателя. – Космонавтика и ракетостроение. 2015, вып. 2 с.7-11
2. Гроднев И.И. Электромагнитное экранирование в широком диапазоне частот. М.: Связь, 1972, с.112

**Анализ эффективности дополнения радиотелеметрических и угломерных систем
каналами псевдоскоростных измерений**

Чаплинский В.С., д.т.н., Коновалов В.П., к.т.н.,

Прут В.И., к.т.н., Кашеев Н.А., д.т.н.

Научно-исследовательский институт космических систем им. А.А. Максимова

e-mail: info@niiks.com

Существенным для организации процесса измерений текущих навигационных параметров (ИТНП) космических аппаратов (КА) средствами наземного комплекса управления является возможность получения приемлемых точностей определения и прогнозирования параметров движения КА по беззапросным измерениям смещения несущей частоты принимаемого с КА радиосигнала (измерениям радиальной псевдоскорости), в режимах совмещения с формированием информационных модулирующих сигналов для передачи телеметрической или командно-программной информации.

Оценку эффективности применения режима измерения радиальной псевдоскорости и, соответственно, целесообразности дополнения информационно-измерительных систем каналами измерения радиальной псевдоскорости проведем с использованием в качестве показателя оценок точности определения и прогнозирования движения КА.

Оценки достижимой точности определения и прогнозирования движения низкоорбитальных КА по траекторным измерениям, полученные методами статистического имитационного моделирования /1,2,3/ в орбитальной системе координат (по высоте r, V_r , трансверсали l, V_l и нормали n, V_n) приведены в таблицах 1-4 для трехпунктного и однопунктного измерительного комплекса на территории России в вариантах дальномерно-скоростных измерений и измерений радиальной псевдоскорости со следующими допустимыми погрешностями ИТНП КА:

- по дальности: среднеквадратическая - 2м, систематическая - ± 10 м;
- по радиальной скорости и радиальной псевдоскорости: среднеквадратическая - 1 см/с, систематическая - ± 3 см/с.

При проведении оценок числовые значения погрешностей знания учитываемых в модели движения сил задавались на основе рекомендаций /1,2/, полученных для рассматриваемых

классов орбит.

Оценки получены по измерениям в зонах видимости КА с наземных пунктов для орбит со средней высотой 250 и 400 км на 2-х витках одних суток и 2-х витках следующих суток с уточнением кинематических параметров и значения баллистического коэффициента и для орбит со средней высотой 600-1000 км в течение 3-4-х суток на 2 - х смежных витках в каждые сутки с уточнением кинематических параметров и коэффициента светового давления.

Сопоставление предельных погрешностей оценок положения КА на интервалах прогнозирования движения, получаемых в случае многопунктного дальномерно-скоростного комплекса и в простейшем случае измерений радиальной псевдоскорости с одного пункта для всех рассматриваемых классов орбит различаются до 2,8 раз, причем с увеличением продолжительности прогнозирования различие погрешности положения КА вдоль орбиты уменьшается. Численные значения погрешностей оценок положения КА допустимы для решения прикладных задач.

Таблица 1- Предельные погрешности определения и прогнозирования параметров околокруговой орбиты КА со средней высотой 250 км и наклонением 82 град по измерениям с трех наземных пунктов /с одного пункта

Состав измерений	Интервал прогноза	r км	l км	n км	Vr м/с	Vl м/с	Vn м/с
Радиальная псевдоскорость	мерный	0.43/0.77	0.78/1.85	0.38/0.76	0.21/0.35	0.40/0.74	0.23/0.56
	12 часов	0.51/0.78	14.3/24.5	0.38/0.76	0.21/0.36	0.73/0.86	0.23/0.56
	1 сутки	0.63/0.91	49.9/59.9	0.39/0.76	0.23/0.36	1.39/1.53	0.24/0.56
	2 суток	0.80/1.29	169/184	0.39/0.77	0.23/0.37	2.73/2.83	0.24/0.57
Дальность и радиальная скорость	мерный	0.21/0,32	0.50/0.82	0.27/0.46	0.14/0.19	0.26/0.37	0.18/0.43
	12 часов	0.32/0.43	11.0/18.8	0.28/0.47	0.14/0.19	0.72/0.80	0.18/0.43
	1 сутки	0.42/0,51	37.8/48.3	0.29/0.49	0.15/0.22	1.23/1.32	0.18/0.45
	2 суток	0.53/0,70	164/179	0.30/0.55	0.16/0.25	2.30/2.63	0.18/0.47
Относительное различие оценок	мерный	2.4/2.1	2.3/1.6	1.7/1.4	1,8/1.5	2.0	1.3
	12 часов	1.8/1.6	1.3/1.3	1.7/1.4	1.9/1.5	1.1	1.3
	1 сутки	1.8/1.5	1.2/1.3	1.6/1.3	1.6/1.5	1.2	1.2
	2 суток	1.8/1.5	1.0/1.0	1.4/1.3	1.5/1.4	1.1	1.2

Таблица 2- Предельные погрешности определения и прогнозирования параметров околокруговой орбиты КА со средней высотой 400 км и наклонением 65 град по измерениям с трех наземных пунктов /с одного пункта

Состав измерений	Интервал прогноза	r км	l км	n км	Vr м/с	VI м/с	Vn м/с
Радиальная пседоскорость	мерный	0.08/0.17	0.45/0.81	0.24/0.49	0.08/0.18	0.19/0.39	0.27/0.56
	12 часов	0.11/0.19	2.81/2.92	0.25/0.51	0.08/0.18	0.20/0.42	0.27/0.57
	1 сутки	0.14/0.21	8.24/8.49	0.26/0.52	0.08/0.19	0.28/0.44	0.28/0.60
	2 суток	0.24/0.29	33.3/35.6	0.27/0.56	0.08/0.19	0.32/0.60	0.37/0.64
Дальность и радиальная скорость	мерный	0.06/0.07	0.33/0.42	0.19/0.30	0.06/0.07	0.11/0.15	0.22/0.29
	12 часов	0.08/0.14	2.48/2.50	0.22/0.31	0.06/0.07	0.14/0.15	0.22/0.29
	1 сутки	0.12/0.17	8.05/8.13	0.22/0.31	0.06/0.08	0.15/0.16	0.22/0.29
	2 суток	0.23/0.26	28.3/29.7	0.25/0.35	0.07/0.10	0.17/0.17	0.23/0.30
Относительное различие оценок	мерный	1.3/2.4	1.4	1.3/1.6	1.3/2.6	1.7/2.6	1.2/1.9
	12 часов	1.4/1.4	1.1	1.1/1.6	1.3/2.6	1.4/2.8	1.2/2.0
	1 сутки	1.2/1.2	1.0	1.2/1.7	1.3/2.3	1.9/2.8	1.3/2.1
	2 суток	1.2/1.1	1.2	1.1/1.6	1.2/1.9	1.9/3.5	1.6/2.1

Таблица 3 - Предельные погрешности определения и прогнозирования параметров околокруговой орбиты КА со средней высотой 600 км и наклонением 82 град по измерениям с трех наземных пунктов /с одного пункта

Состав измерений	Интервал прогноза	r км	l км	n км	Vr м/с	VI м/с	Vn м/с
Радиальная пседоскорость	мерный	0.04/0.06	0.25/0.26	0.05/0.07	0.06/0.07	0.08/0.14	0.04/0.08
	1 сутки	0.04/0.06	0.73/1.07	0.05/0.08	0.06/0.07	0.08/0.14	0.04/0.08
	2 суток	0.05/0.08	2.84/3.78	0.05/0.08	0.06/0.07	0.08/0.16	0.05/0.09
	10 суток	1.66/1.71	169 /197	0.07/0.11	0.20/0.27	0.60/0.68	0.12/0.15
Дальность и радиальная скорость	мерный	0.02/0.03	0.09/0.11	0.03/0.03	0.03/0.03	0.05/0.06	0.03/0.03
	1 сутки	0.02/0.03	0.63/0.65	0.03/0.03	0.03/0.03	0.05/0.06	0.03/0.03
	2 суток	0.03/0.04	2.51/2.56	0.03/0.03	0.03/0.03	0.05/0.06	0.03/0.03
	10 суток	1.61/1.68	142/159	0.04/0.05	0.18/0.20	0.58/0.73	0.09/0.10
Относительное различие оценок	мерный	2.0/2.0	2.8/2.4	1.7/2.3	2.0/2.3	1.6/2.3	1.3/2.7
	1 сутки	2.0/2.0	1.2/1.6	1.7/2.7	2.0/2.3	1.6/2.3	1.3/2.7
	2 суток	1.7/2.0	1.1/1.5	1.7/2.7	2.0/2.3	1.6/2.7	1.7/3.0
	10 суток	1.0/1.0	1.2/1.2	1.8/2.2	1.1/1.4	1.0/1.0	1.3/1.5

Таблица 4 - Предельные погрешности определения и прогнозирования параметров околокруговой орбиты КА со средней высотой 1000 км и наклонением 83 град по измерениям с трех наземных пунктов /с одного пункта

Состав измерений	Интервал прогноза	r км	l км	n км	Vr м/с	VI м/с	Vn м/с
Радиальная псевдоскорость	мерный	0.04/0.05	0.16/0.24	0.03/0.04	0.04/0.05	0.08/0.10	0.03/0.04
	2 суток	0.04/0.05	0.19/0.31	0.03/0.04	0.04/0.05	0.08/0.10	0.03/0.04
	10 суток	0.04/0.05	7.81/8.04	0.03/0.04	0.04/0.05	0.09/0.10	0.03/0.04
	15 суток	0.04/0.05	19.1/20.1	0.05/0.05	0.04/0.05	0.09/0.10	0.04/0.05
Дальность и радиальная скорость	мерный	0.02/0.03	0.10/0.15	0.02/0.02	0.03/0.03	0.04/0.07	0.02/0.02
	2 суток	0.02/0.03	0.18/0.21	0.02/0.02	0.03/0.03	0.05/0.07	0.02/0.02
	10 суток	0.03/0.04	6.97/7.39	0.03/0.03	0.03/0.03	0.05/0.07	0.03/0.03
	15 суток	0.04/0.04	17.2/18.0	0.04/0.04	0.04/0.04	0.07/0.08	0.04/0.04
Относительное различие оценок	мерный	2.0/1.7	1.6/1.5	1.5/2.0	1.3/1.7	2.0/1.4	1.5/2.0
	2 суток	2.0/1.7	1.1/1.5	1.5/2.0	1.3/1.7	1.6/1.4	1.5/2.0
	10 суток	1.3/1.25	1.1/1.1	1.0/1.3	1.3/1.7	1.8/1.4	1.0/1.3
	15 суток	1.0/1.25	1.1/1.1	1.3/1.25	1.0/1.25	1.3/1.25	1.0/1.25

Технологии траекторного контроля по измерениям радиальной псевдоскорости применимы для низкоорбитальных КА гидрометеорологических систем, систем связи, обзорного виденаблюдения, радиотехнического наблюдения, топогеодезического обеспечения, а также для КА изучения природных ресурсов, экологического мониторинга, наблюдения океанов и ледовой обстановки, медицинских исследований, отработки технологических процессов и получения материалов в космосе, исследований космических излучений и околоземной плазмы. Вполне допустимы для решения прикладных задач даже однопунктные измерения радиальной псевдоскорости.

Режим измерения радиальной псевдоскорости, не накладывающий сколь либо существенных ограничений по передаче информации в космических радиоперелиниях, в течение многих лет успешно применялся для траекторного контроля КА низкоорбитальных систем метеорологического, навигационного обеспечения и связи. Для внедрения такого режима в радиотелеметрических системах с автономным радиоканалом и в специализированных системах передачи с борта КА целевой информации потребуется использование в бортовых

передающих устройствах задающих генераторов с повышенной стабильностью частоты (порядка 10^{-11}), комплектование наземных приемных устройств аналогичными генераторами, дооснащение наземных станций аппаратным блоком измерения частотного смещения и формирование шкалы времени наземной станции, синхронизируемой сигналами СЕВ либо по сигналам космических навигационных систем Глонасс/GPS. Реализации указанных условий на борту КА и на наземных пунктах не ограничивается имеющимися в настоящее время техническими возможностями. В настоящее время фирмой «Морион» (Санкт-Петербург) выпускается прецизионный малошумящий кварцевый генератор ГК-54 ТС (ГК-75ТС), который имеет кратковременную нестабильность $5 \cdot 10^{-12}$. Масса герметизированного прибора 80 г, он выпускается с военной приемкой и разрешен к применению в специальной аппаратуре.

По мере увеличения высоты орбиты информативность скоростных измерений уменьшается, однако при их комплексировании с измерениями угловых координат оказывается возможным повысить надежность контроля параметров высокоапогейных орбит выведения КА. Существенной особенностью процедуры траекторных измерений на орбитах выведения КА является жесткая циклограмма работы бортовых систем. Как следствие, к надёжности работы измерительных средств предъявляются повышенные требования. Наиболее же надёжными, исходя из условий функционирования, являются тракты измерения наземными средствами радиальной псевдоскорости и угловых координат разгонных блоков (по сравнению с трактами измерения дальности и радиальной скорости).

Оценка эффективности орбитального контроля при выведении КА по измерениям радиальной псевдоскорости и угловых координат разгонных блоков проведена в ряде натурных экспериментов с использованием угломерной системы «Ритм». Разность оценок периода обращения орбитального блока при заданных параметрах переходной и геопереходной орбит при выведении КА «Туркшат -4А», полученная в случае дальномерно-скоростного состава измерений многопунктным комплексом и при использовании только углоскоростных измерений не превысила 1,2% от установленного допуска, наклонения плоскости орбит -5%, высоты орбиты в перигее – 1%, в апогее -2%. При выведении КА «Экспресс-АТ1» и «Экспресс-АТ-2» разность оценок при заданных параметрах высокоэллиптической переходной и целевой геостационарной орбит составила – по периоду обращения объекта 0,73% от установленного допуска, по наклонению плоскости орбит -4%. Разность оценок высоты переходной орбиты в перигее – 7,1%, в апогее -1,84 %, разность оценок эксцентриситета целевой геостационарной орбиты- 1,66%. При выведении КА «Луч-5В» и «Казсат-3» разность оценок периода обращения объекта не превысила 0,73% от установленного допуска, наклонения плоскости орбит -4%. Разность оценок высоты переходной орбиты в перигее – 7,1%, в апогее; -1,84 %, разность оценок эксцентриситета целевой геостационарной орбиты- 1,66%.

Полученные экспериментальные данные подтверждают, что определение параметров орбит выведения по углоскоростным измерениям позволяет оценить контролируемые параметры с приемлемым приближением как в случае выведения на целевую геопереходную,

так и целевую геостационарную орбиты и в целом повысить надёжность навигационного контроля полёта.

Заключение. Из приведенных оценок точности контроля параметров движения с использованием измерений радиальной псевдоскорости следует вывод о целесообразности дополнения автономных радиотелеметрических и угломерных систем аппаратурой скоростных измерений, что позволяет:

- для ряда низкоорбитальных КА, оснащаемых телеметрическими системами с автономным радиоканалом, сократить расход ресурса бортового радиокомплекса и загрузку наземных командно-измерительных систем и проводить сеансы дальномерно-скоростных измерений лишь в случае необходимости повышения надежности и точности операции траекторного контроля, например, после проведения орбитального маневрирования;

- повысить надёжность контроля орбит выведения КА на высокоапогейные и геостационарные орбиты.

Дополнение аппаратурой измерения радиальной псевдоскорости специализированных систем передачи с борта КА целевой информации позволяет использовать их также для контроля параметров орбит.

Литература

1. Анализ систем управления КА... Отчет по НИР “Альтернатива-АК”. Академия космонавтики, 1993.
2. Результаты имитационного моделирования и экспериментальной оценки точности одно- и малопунктных технологий навигационного контроля КА. Отчет по НИЭР “Береза-2000/АК”. Академия космонавтики, 2000.
3. Чаплинский В.С., Махненко Ю.Ю. Методы и типовая технология навигационных измерений в наземно-космической командно-информационной сети. Сборник трудов СИП РИА, выпуск 9, 2002.

Разработка специализированной электронной компонентной базы для создания миниатюрного регистратора электрического разряда на КА

А.Ю. Алямкин, В.Н. Богатырев, к.т.н., З.М. Поварницына, к.т.н., О.А. Хотькова, А.И. Черный,
Г.В. Прокофьев
АО «НПО ИТ»

E-mail: npoit@npoit.ru

В докладе представлены результаты разработки и исследований параметров специализированной электронной компонентной базы для создания миниатюрного регистратора электрического разряда на КА в виде узлов электронных полупроводниковых УЭП-610К и УЭП-612, разработка которых проведена в 2014-2016 гг. в рамках ОКР «Электризация» «Разработка технологии изготовления миниатюрных измерителей параметров электризации КА на основе микромеханических резонансных систем» в АО «НПО ИТ».

Основные решаемые задачи при разработке УЭП-610К и УЭП-612: обеспечение миниатюризации регистратора, в первую очередь датчика и обеспечение возможности передачи сигнала от датчика к преобразователю по кабелю (с емкостью до 8000 пФ). Таким образом, УЭП-610К, находящийся непосредственно в корпусе датчика должен преобразовывать в логический сигнал импульсы электризации КА (с амплитудой на входе микросхемы от 4-5 мВ и длительностью от 1-2 мкс).

В качестве конструктивно-технологического базиса для изготовления УЭП-610К и УЭП-612 выбрана типовая технология АО «НПО ИТ» изготовления комплементарных металл-окисел-полупроводник (КМОП) транзисторов с несамосовмещенным поликремниевым затвором и изготовлением в кристалле УЭП резисторов и конденсаторов.

Для решения задачи первичного преобразования импульсов длительностью от 1-2 мкс и амплитудой импульсов от 4-5 мВ была выбрана схема 3-х каскадного импульсного усилителя, не усиливающая фильтрующая низкочастотные шумы, по амплитуде сопоставимые с регистрируемыми сигналами. Схема одного каскада такого усилителя, в отличие от обычного инвертора, обеспечивает усиление по напряжению как минимум на 40-50 dB больше. Полученный в итоге коэффициент усиления является достаточным для преобразования импульса в дальнейшем в логический сигнал посредством компаратора и одновибратора. Таким образом, на выходе датчика получаем логический сигнал с длительностью 15-20 мкс, надежно передающийся по кабелю.

Для регистрации числа импульсов, полученных от УЭП-610К (от датчика) используется преобразователь УЭП-612, в котором содержатся для этих целей:

- 4-х разрядный счетчик с обратной связью обеспечивающий циклический счет 11-ти импульсов;

- источник опорного напряжения для ЦАП;

- трехканальный сумматор напряжения;

- схема ограничения выходного напряжения в шкале 0...6,2 В.

ЦАП построен на основе резистивного делителя и массива ключей, соединяющих секции резистивного делителя с входом повторителя. В качестве единичного веса в ЦАП используется резистор из 12-ти параллельно соединенных элементарных резисторов. Остальные секции набраны путем уменьшения количества параллельных резисторов. Такая схема обеспечивает хорошее согласование отношений резисторов и, соответственно, малый разброс выходных напряжений ЦАП (при условии стабильности опорного напряжения).

Схема ограничения выходного напряжения включает компаратор, сравнивающий входной сигнал с опорным напряжением (6,2 В при входном опорном напряжении 3 В) и ключи коммутации напряжения. Опорное напряжение для схемы ограничения формируется из входного опорного напряжения.

УЭП-610К выполнен в герметичном исполнении в покупном типовом металлокерамическом корпусе.

Также в докладе представлены результаты исследований и измерений параметров УЭП-610К и УЭП-612.

Р.С. В рамках ОКР «Электризация» также разработаны.

- УЭП-611, содержащий усилитель с коэффициентом усиления, устанавливаемым кроссировкой (110, 13 или 1,3), демодулятор (работающий по принципу синхронного детектирования) и схему ограничения выходного напряжения в шкале 0...6В.

- УЭП-613, содержащий два канала. Канал полосового фильтра включает масштабный усилитель (с переключаемым кроссировкой усилением из числа 1, 10 и 50), усилитель с фиксированным коэффициентом усиления 10, полосовой фильтр, схему ограничения выходного напряжения в шкале 0...6В. Канал усилителя тока натекания включает: усилитель с коэффициентом усиления 0,75, схему ограничения выходного напряжения в шкале 0...6В и буферный усилитель.

- также УЭП-610К, кроме импульсного усилителя (описанного в докладе), содержит каналы усиления квазистатических и переменных полей электризации КА.

Авторы выражают признательность сотрудникам АО «НПО ИТ»:

- зам. начальника отдела В.П. Яромскому за решение технологических проблем при изготовлении образцов УЭП;

- инженеру 1 к. И.В. Жукову за помощь в исследовании параметров УЭП.

- начальнику участка Древаль Т.Н. за организацию работ по герметизации УЭП-610К в сборочном доме АО «РКС».

Перспективы развития телеметрической аппаратуры «ОНИКС»

Филичкин Ю.С.

АО «НПО ИТ»

E-mail: npoit@npoit.ru

В 2012 г. по техническому заданию, выданному ОАО «Корпорация «МИТ»» отдел 125 приступил к разработке телеметрической системы «ОНИКС». В кратчайшие сроки была разработана схемная и конструкторская документация на систему.

В 2013 системе «ОНИКС» была присвоена литера «О», в июне того же года система отработала в составе изделия без замечаний.

В состав телеметрической системы «ОНИКС» входят:

- моноблок формирования телеметрического кадра «МФТК»;
- блок измерения температуры.

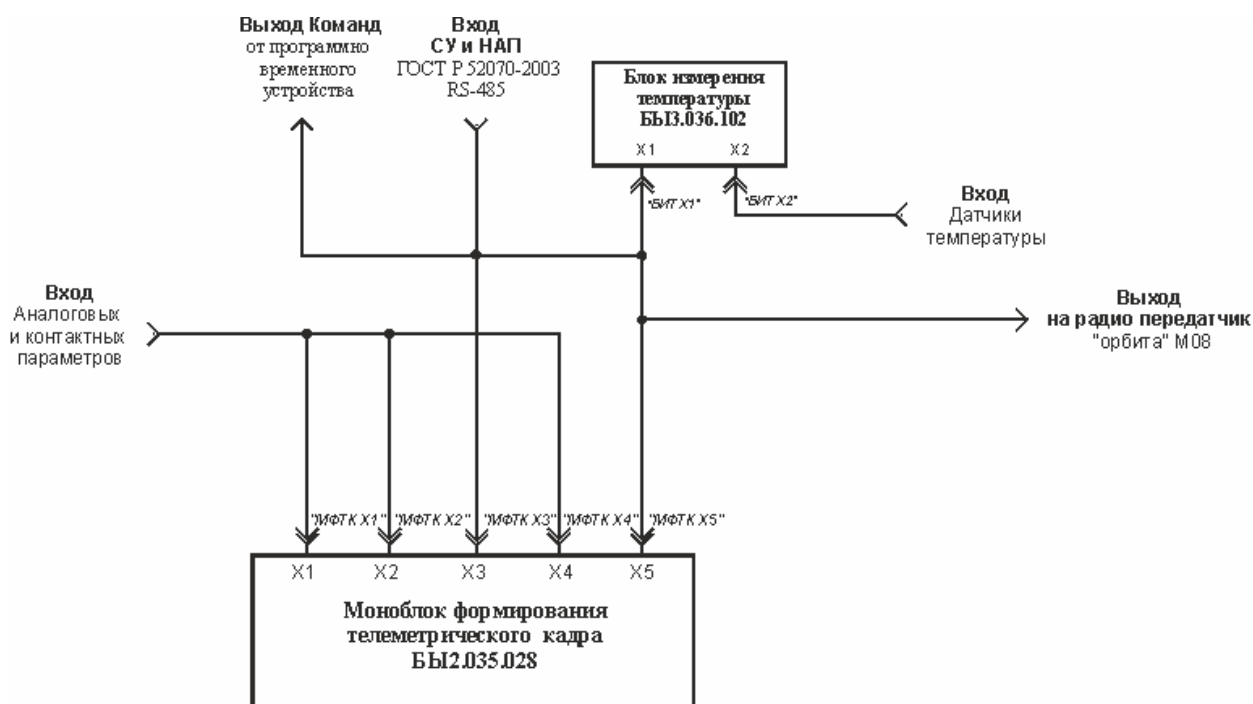


Рис.1. Структурная схема малогабаритной системы ОНИКС

Технические характеристики системы «ОНИКС»:

- 32 аналоговых и 32 цифровых параметров с частотой опроса до 200 Гц в шкале 0-6,2 В;
- 16 аналоговых параметров с частотой опроса до 8 кГц в шкале 0-6,2 В;
- прием информации с системы управления по интерфейсу ГОСТ Р 52070-2003 (Манчестер);
- прием информации с НАП по интерфейсу RS-485;
- преобразование информации с температурных датчиков – до 8 параметров;
- обеспечивает питание датчиков напряжением 6,2 В с током нагрузки до 200 мА;
- работа в 2-х режимах (режим непосредственной передачи, задержанный режим до 8 с);
- обеспечивает контроль напряжения в бортовой сети (напряжение аккумуляторов);
- формирует 4 команды от программно-временного устройства. (Выход команд – твердотельное реле (напряжением коммутации не более 60 В, ток не более 0,35 А);
- напряжение питания 23-34 В., ток потребления не более 0,35 А;
- габаритные размеры блока МФТК 95х90х85, Блок БИТ 91х80х29;
- имеется возможность подключения внешних локальных и температурных преобразователей.

На сегодняшний день, в год изготавливается в среднем 6 систем «ОНИКС».



Рис. 2. Внешний вид телеметрической системы «ОНИКС».

По техническому заданию выданному ОАО «Корпорация МИТ» за 2015 г. была разработана и изготовлена система «ОНИКС – М1» которая значительно превосходит по своим характеристикам систему «ОНИКС»

В соответствии с техническим заданием выданным ОАО «корпорация МИТ» за 2015 г. была разработаны и изготовлены все блоки входящие в систему «ОНИКС М1».

В начале 2016 г. были проведены заводские испытания системы «ОНИКС М1» и присвоена литера «О».

В 2016 г планируется пуск изделия с телеметрической системой «ОНИК-М1».

В состав телеметрической системы ОНИКС М1 входят следующие блоки:

- Блок формирования телеметрического кадра;
- Блок аналоговых и контактных параметров;
- Блок измерения температурных параметров;
- Блок виброизмерений цифровой;
- Блок тензометрический цифровой;
- Фильтр-преобразователь ПФ-10.

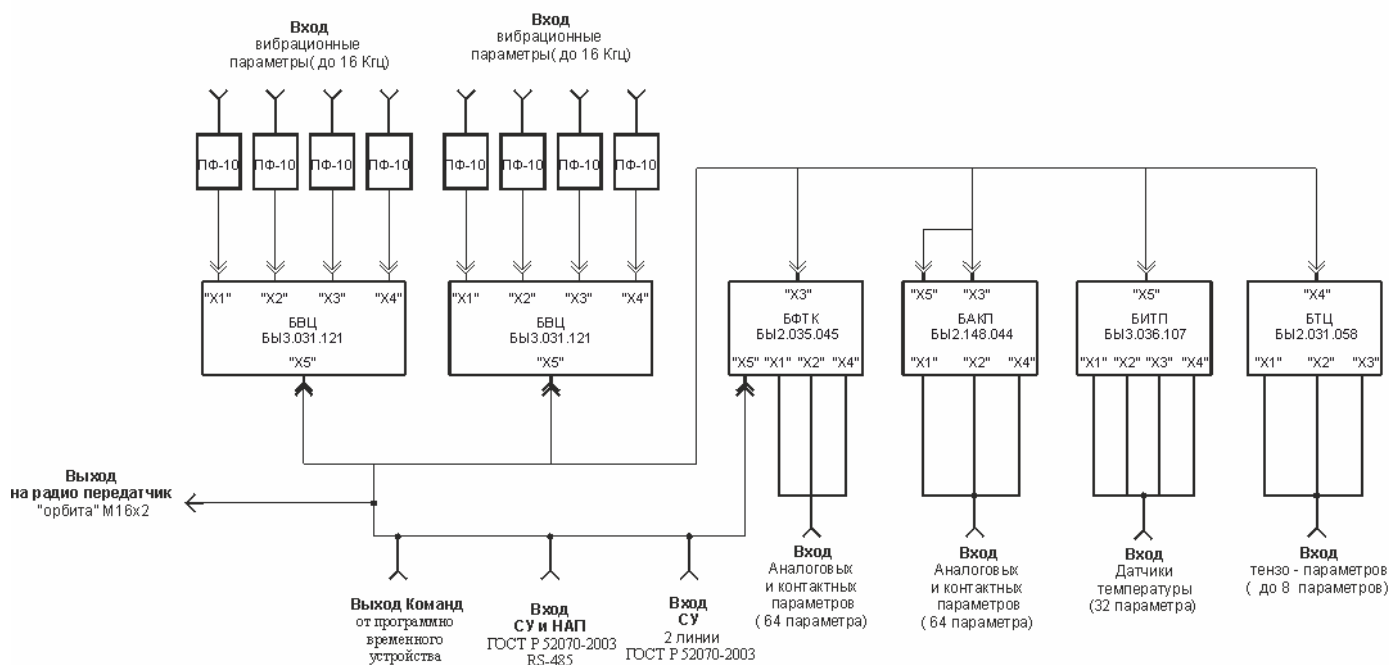


Рис.3. Структурная схема системы «ОНИКС-М1»

Технические характеристики системы «ОНИКС-М1»:

- Выход телеметрической системы - 2 потока в структуре «Орбита-IV МО» М16, с общей информативностью 6 291456 бит/с;

- информация передается в режиме непосредственной передачи и в режиме линии задержки. Задержка информации может составлять 2, 4, 8, 16 или 32 с.

- формирует для внешнего потребителя шесть команд, длительностью 1 с каждая:

- 2 команды (K1, K2) от основного ПВУ в интервале от 0 до 9999 с;

- 4 команды (K1, K2, K3, K4) от ДПВУ в интервале от 0 до 2048 с.

- МРТС «Оникс-М1» содержит встроенное запоминающее устройство на микросхемах флэш-памяти, обеспечивающее запоминание каждого потока выходной информации с последующем ее воспроизведении в наземных условиях. Запоминание информации может продолжаться в течении 2000 сек.

- 64 аналоговых параметра с частотой опроса до 2000 Гц в шкале 0-6,2 В;

- обеспечивает защиту от перегрузок по аналоговым каналам плюс 15В и минус 15В.

Фиксирует обрыв аналоговых параметров.

- обеспечивает прием информации контактных параметров, количество коммутируемых параметров 64 с частотой опроса до 2000 Гц в шкале 0-6,2 В;

- 32 каналов термометров сопротивлений и восьми каналов термопар (ТП).

Максимальная информативность до 400 Гц;

- обеспечивает коммутацию четырех тензометрических мостовых датчиков, максимальная информативность 24576 бит/с (до 6000 Гц);

- 64 быстро - меняющихся аналоговых параметра, с информативностью до 8000 Гц.

- обеспечивает прием цифровой информации по магистральным линиям:

- интерфейсу RS-422;

- три линии для передачи информации систем управления ГОСТ Р 52070-2003 (Манчестер);

- напряжение питания 23-34 В., ток потребления не более 1 А;

- обеспечивает питание датчиков напряжением постоянного тока $(6,2 \pm 0,2)$ В. Источник питания имеет до четырех шин с независимой токовой защитой от короткого замыкания, с автоматическим восстановлением выходного напряжения и тока после устранения замыкания. Ток нагрузки по каждой шине не более 150 мА;

- может содержать до четырех источников питания постоянного тока, каждый из которых обеспечивает питание 16 фильтров-преобразователей ПФ10 напряжениями плюс 12 В и минус 12 В с током нагрузки по каждому из этих напряжений не менее 50 мА. Источники

питания имеют токовую защиту от короткого замыкания, с автоматическим восстановлением выходного напряжения и тока после устранения замыкания.

Блоки, входящие в состав МРТС «Оникс-М1», взаимодействуют по интерфейсу RS-485.

В МРТС «Оникс-М1» имеется возможность подключения дополнительных аналоговых и температурных преобразователей.

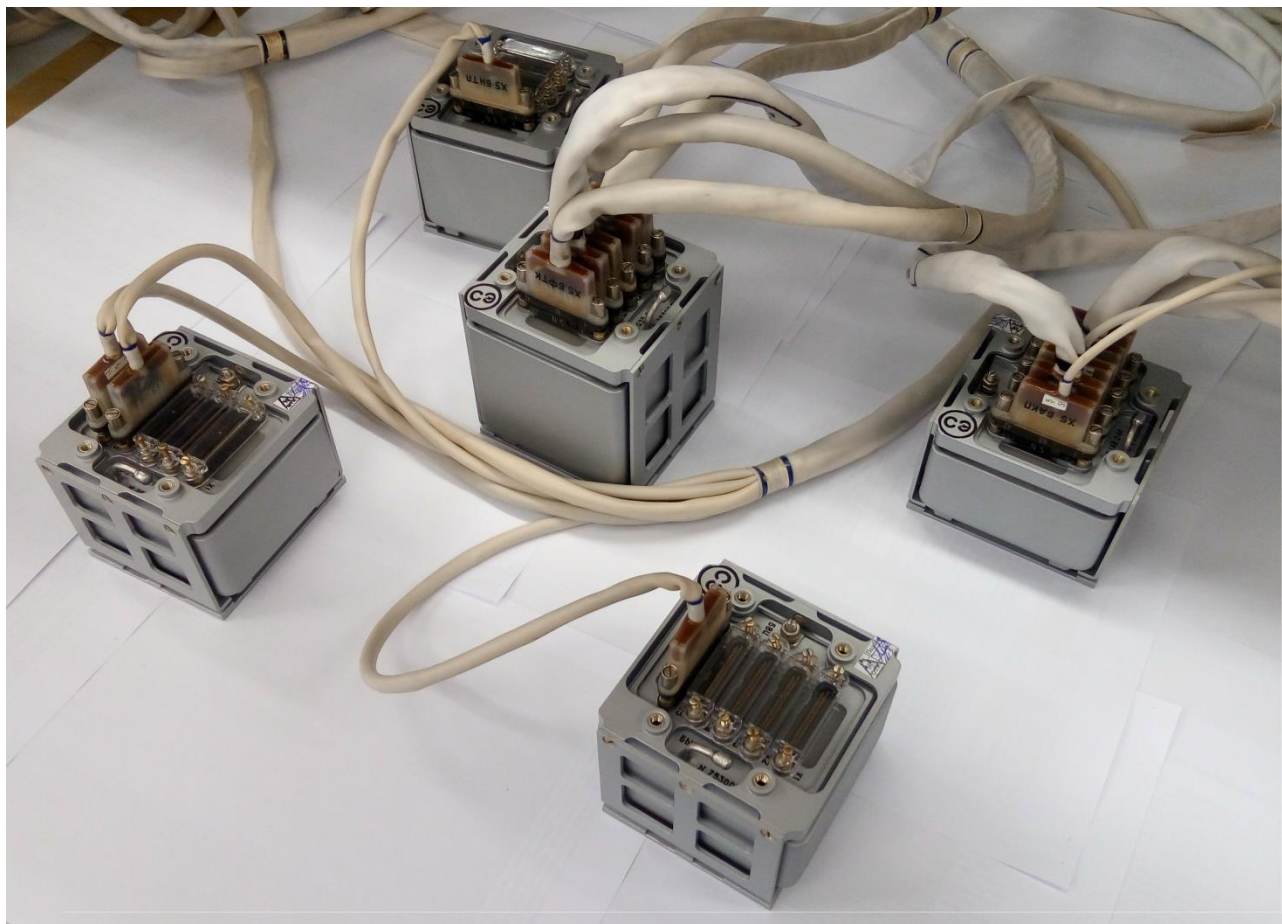


Рис. 4. Внешний вид МРТС «Оникс-М1»

Фильтр преобразователь ПФ-10

Стоит отдельно отметить разработанный для МРТС «Оникс-М1» фильтр преобразователь (ФП) ПФ-10.

ФП обеспечивает для согласования выходного сопротивления вибропреобразователей с входным сопротивлением входов устройства сбора данных – блока виброизмерений цифрового (БВИ) БЫЗ.031.121. Кроме того в состав ФП входят антирезонансный и антиалайзинговый (антиалиасинговый) аналоговый фильтр нижних частот Баттерворта шестого порядка с масштабирующим усилителем и фильтр верхних частот первого порядка.

ФП может работать совместно с вибропреобразователями АНС и ДХС517-01.

Технические характеристики ФП приведены в табл.1.

Таблица 1 Технические характеристики ФП

Обозначение	Шифр	Рабочий диапазон частот, Гц	Коэффициент передачи	Входное сопротивление, МОм, не менее	Входная ёмкость, пФ	Коэффициент преобразования без датчика
БЫ5.067.410	ПФ10	От 0,5 до 64	$5,64 \pm 0,5$	40	900 ± 200	$7,272 \pm 0,2$
-01	ПФ10-01	От 1 до 128	$5,64 \pm 0,5$	80	900 ± 200	$7,339 \pm 0,2$
-02	ПФ10-02	От 1 до 256	$5,64 \pm 1$	60	900 ± 200	$6,064 \pm 0,2$
-02.02	ПФ10-02.02	От 1 до 256	$1,00 \pm 0,1$	5	9100 ± 500	$3,832 \pm 0,2$
-03	ПФ10-03	От 5 до 512	$5,64 \pm 0,8$	30	160 ± 50	$5,423 \pm 0,4$
-05	ПФ10-05	От 20 до 2048	$5,64 \pm 0,5$	10	178 ± 30	$5,821 \pm 0,4$
-06	ПФ10-06	От 20 до 4096	$5,64 \pm 0,5$	10	102 ± 30	$5,868 \pm 0,2$
-11	ПФ10-11	От 20 до 4096	21 ± 4	0	—	—

П р и м е ч а н и я

1. Нижний предел диапазона рабочих частот ФП определяется сопротивлением и ёмкостью вибропреобразователей АНС, с которыми применяется ФП и выбран для ёмкости вибропреобразователя 3000 пФ.

2. Для ФП ПФ10-11 значение коэффициента передачи (преобразования) указано в таблице в мВ/пКл.

3. Значения входного сопротивления приведены как справочные и контролю не подлежат.

Постоянная составляющая выходного напряжения от минус 0,2 до плюс 0,2 В.

Напряжение питания ФП плюс $(12 \pm 1,2)$ и минус $(12 \pm 1,2)$ В. Ток потребления не более 3 мА.

Неравномерность амплитудно-частотной характеристики в диапазоне частот от 3 Гн (Гн – нижняя граница полосы пропускания ФП) до 0,65 Гв (Гв – верхняя граница полосы пропускания ФП), указанных в таблице столбец 3, не более 0,50 дБ.

Затухание сигнала на частоте в два раза выше верхней границы рабочего диапазона ФП, указанного в таблице столбец 3, не менее 34 дБ/октаву.

Искажение амплитудно-частотной характеристики при ёмкостной нагрузке (имитатор кабеля) не менее 36000 пФ не должно быть более 0,5 дБ на верхней частоте рабочего диапазона.

Напряжение виброшумов ФП – не более 10 мВ.

Назначенный ресурс ФП – не менее 2000 ч.

Напряжение собственных шумов ФП – не более 15 мВ (для ПФ10-11 не более 14 мВ).

Масса ФП не более $28,5 \pm 2$ г.

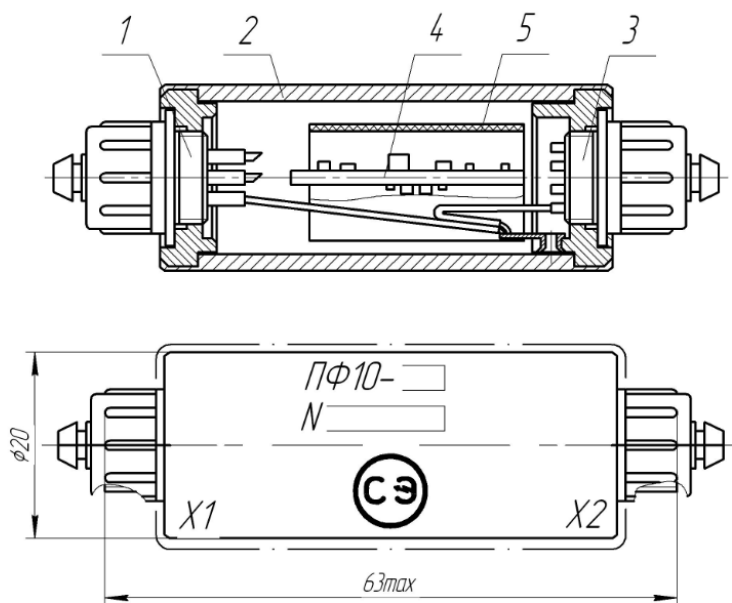


Рис.5. Общий вид ФП «ПФ-10»

- 1 – вилка РС4ТВ АВО.364.047 ТУ;
- 2 – корпус;
- 3 – вилка МР1–10–1–В ГЕО.364.184 ТУ;
- 4 – плата;
- 5 – плёнка СКЛФ-4Д сорт 1 0,070×6 ТУ 301-05-49-90.

ФП имеет цилиндрический корпус, с одной стороны которого имеется разъем для подключения аппаратуры сбора данных (БВЦ), с другой стороны соединитель для подключения вибропреобразователей АНС и ДХС517-01.

ФП состоит из трёх последовательно включённых УИН-фильтров (УИН – управляемый источник напряжения) второго порядка и масштабирующего усилителя.

Малогабаритные телеметрические системы

Еще одно направления развития телеметрической аппаратуры «ОНИКС» - это малогабаритная телеметрия.

В 2015 г. была разработана и изготовлена макетный образец малогабаритной телеметрической системы «ОНИКС-Т».

Малогабаритная телеметрическая система ОНИКС-Т предназначена для сбора и передачи аналоговой и цифровой информации. Отличиями системы являются малые размеры, герметичное исполнение, высокая информативность, интегрированное передающее устройство.

Система ОНИКС-Т обеспечивает :

- измерение 16 аналоговых параметров с частотой опроса до 32 кГц в шкале $0 \div 6,2$ В;
- защиту от перегрузки ± 15 В и фиксирует обрыв любого канала напряжением ниже 0В;
- питание датчиков 6.2 В с током до 200 мА;
- прием цифровой информации по интерфейсу RS-485 (гальванически развязанный вход);
- формирование выходного кадра в структуре «ОРБИТА IV»;
- формирование и передачу радио сигнала в диапазоне ДП (вид модуляции ФМ2);
- формирование меток времени.

Технические характеристики системы «ОНИКС-Т» представлены в табл. 2, внешний вид на рис.6..

Таблица 2. Технические характеристики системы «ОНИКС-Т»

Диапазон передачи	Д / М	Габаритные размеры, мм.	Φ= 60мах; L = 80мах
Напряжение питания, В	24 ÷ 34	Ток потребления,А.	<0.6
Частота измерения аналоговых параметров, Гц.	8000	аналоговых параметров, шт.	16
Масса, кг	0,4	Линий связи RS-485, шт.	1
Рабочая температура окружающей среды, °С.	-40 ÷ +50	Информативность бит/с. Структура «ОРБИТА»	3145 728 до M16
мощность ,Вт.	до 4	Информативность бит/с в перспективных структурах передачи ТМИ	до 8 000 000



Рисунок 6. Внешний вид малогабаритной телеметрической системы « ОНИКС-Т»

В настоящее время разрабатывается малогабаритная телеметрическая система «ОНИКС-С» она служит для приема, обработки и хранения больших объемов информации на борту для последующего воспроизведением в наземных условиях. Конструкция «ОНИКС-С» идентична конструкции «ОНИКС-Т», объем памяти для записи телеметрической информации на менее 16 Гбит. Благодаря большой номенклатуре аппаратуры «ОНИКС» можно применять в различных отраслях науки и техники.

Тенденции развития способов и средств передачи и регистрации телеметрической информации ракетно-космической техники Соединенных Штатов Америки

П.А. Шпаков, А.М. Матвеев

Космодром «Плесецк»

E-mail: Pshpakov@yandex.ru

Обмен телеметрической информацией (ТМИ), зарегистрированной при проведении пусков межконтинентальных баллистических ракет (МБР) и баллистических ракет подводных лодок (БРПЛ), являлся одной из составных частей договорных обязательств между Российской Федерацией и США по ограничению и сокращению стратегических наступательных вооружений (Договор о СНВ). В статье IX Договора о СНВ определен порядок обмена ТМИ. В соответствии с этой статьей, по взаимному согласию Сторон на паритетной основе осуществляется обмен телеметрической информацией о пусках МБР и БРПЛ [1].

Практика обработки ТМИ ракет США в рамках Договора о СНВ [1,2] показывает, что американской Стороной постоянно ведется работа по разработке и совершенствованию ракетно-космической техники в области передачи и приёма измерительной информации.

Можно выделить следующие направления развития способов и средств передачи и регистрации телеметрической информации:

- применение различных видов помехоустойчивого кодирования телеметрических сигналов;
- применение различных методов модуляции сигнала для передачи информации;
- активное использование поднесущих частот для передачи ТМИ;
- совершенствование аппаратных средств регистрации ТМИ.

В США регулированием вопросов в области телеметрии занимается межполигонная рабочая группа по контрольно-измерительным средствам – Interrage Instrumentation Group (IRIG). Телеметрические стандарты США IRIG 106-86 [3], разработанные данной группой, допускают к применению следующие способы представления двоичного кода: NRZ-L (без возвращения к уровню «0»), NRZ-M (без возвращения к значению «0»), NRZ-S (без возвращения в область «0»), ВІф-L (би-фазовый уровень или «расщепление фазы»), ВІф-M (би-фазовый признак), ВІф-S (би-фазовое пространство), DBІф-M, DBІф-S. За время действия Договора о СНВ, американской Стороной наиболее часто применяются типы кодирования: NRZ-L, NRZ-S, ВІф-L, а типы кодирования DBІф-M, DBІф-S не применялись и были исключены из последующих редакций телеметрических стандартов США IRIG.

Для передачи ТМИ боеголовок (БГ) американской Стороной применяется помехозащищённый 15-битный тип кодирования RNRZ-L.

Телеметрические стандарты США IRIG 106-86 предполагают использование в качестве первой ступени модуляции кодово-импульсную модуляцию (КИМ) (PSM pulse-code modulation) и амплитудно-импульсную модуляцию (АИМ) (PAM pulse-amplitude modulation). В качестве второй ступени – частотную (ЧМ) (FM frequency modulation) или фазовую (ФМ) (PM phase modulation) модуляцию.

За все время действия Договора о СНВ при передаче ТМИ в эфир американской Стороной активно используются различные виды модуляции сигнала. К основным видам модуляции сигнала относятся:

- КИМ/ЧМ (используется с 1970 года), в США называется фильтруемая непрерывная фазовая манипуляция (модуляция) со сдвигом частоты (CPFSK);
- КИМ/ФМ. Разновидностью фазовой модуляции является бинарная или двух полярная фазовая манипуляция (BPSK phase shift keying) [3].

Телеметрические стандарты США IRIG 106-01 предусматривают, кроме описанных ранее, использование новых видов модуляции таких как квадратурная фазовая манипуляция Фехера (FQPSK Feher's-patented quadrature phase shift keying), и другие модификации квадратурной фазовой манипуляции (OQPSK offset quadrature phase shift keying) [4]. С 2004 года количество модификаций квадратурной фазовой манипуляции увеличилось (SOQPSK – со сдвигом, FQPSK-JR, FQPSK-TG). В 2005 году появилась дельта модуляция (CVSD The continuously variable slope delta) [5].

В ходе проведения отдельных пусков ракет для передачи ТМИ с БГ использовались такие виды модуляции сигнала как квадратурная амплитудная модуляция (QAM-16 quadrature amplitude modulation), и FQPSK.

Американской стороной активно используется передача ТМИ с использованием поднесущих частот (КИМ/ЧМ/ЧМ), что позволяет увеличить объем информации, передаваемой одной несущей частотой. Например, в конце 90-х годов XX века для передачи ТМИ с головной части МБР Минитмен-2 использовалось сразу 5 поднесущих частот. В основном, поднесущие частоты используются для передачи ТМИ БГ. На поднесущих частотах может передаваться как ТМИ содержащая кадры со множеством вложенных параметров так и отдельный телеметрический параметр.

Широкий спектр используемых американской Стороной методов передачи ТМИ в эфир при проведении пусков ракет свидетельствует о постоянном развитии и поиске оптимальных решений для достоверной и помехоустойчивой передачи ТМИ в эфир.

Наземная аппаратура приема и регистрации ТМИ также постоянно совершенствуется.

На самых ранних этапах действия Договора о СНВ использовалась аналоговая аппаратура записи ТМИ, которая позволяла производить запись ТМИ как в преддетекторном, так и в постдетекторном режимах, кроме того она работала с поднесущими частотами. Одним из представителей аппаратуры раннего этапа был специальный магнитный регистратор (СМР) «Model 97» фирмы Metrum. Данный СМР выполнен в виде отдельной стойки и предназначен для записи и воспроизведения ТМИ на магнитные ленты (МЛ) в кассетах диаметром от 10,5 до 16 дюймов и шириной ленты 1 дюйм. Аппаратура производит запись и воспроизведение по 14 дорожкам МЛ. Информация на носителях, совместимых с аппаратурой «Model 97» записывалась в аналоговом виде. Для детектирования и первичной обработки ТМИ требовалось использование определенного комплекта аппаратуры. Данный комплект занимал отдельную стойку и включал: телеметрический приемник Microdin 1400MR, детектор поднесущих частот DMS-105, генератор-транслятор временного кода Datum 9310, синхронизатор бит Loral EMR 700. Для записи и воспроизведения ТМИ, кроме СМР «Model 97», использовались и другие СМР серии «Model 9х». Они отличались друг от друга количеством каналов и рядом других характеристик.

По мере развития телеметрической аппаратуры, в начале 2000-х годов, начали активно использоваться СМР нового на тот момент поколения «Model 64/ARMOR». Он принципиально отличался от используемой ранее аппаратуры, и представлял собой два отдельных блока. Один из них являлся устройством записи на магнитную ленту, второй - устройством управления и демультиплексирования сигналов.

СМР «Model 64/ARMOR» мог использоваться не только для работы с ТМИ МБР и БРПЛ, но и для записи и воспроизведения на кассеты формата S-VHS научных, медицинских, сейсмографических, гидроакустических, графических, и других данных. Запись осуществлялась в цифровом виде. На кассете могло быть записано до 27,5 Гбайт информации.

Следующим этапом развития стала аппаратура «Model 80». Отличие данной аппаратуры заключается в наличии жестких дисков для записи получаемой информации.

С массовым развитием цифровых технологий, в период с 2000 по 2010 год для записи и воспроизведения ТМИ стала использоваться аппаратура цифровой записи DRS8200X фирмы Wideband Systems Inc, выполненная в виде отдельного блока.

В данной аппаратуре в качестве носителя информации используется внешний жесткий диск с файловой системой NTFS, подключаемый через разъем USB, что позволяет использовать его не только с аппаратурой воспроизведения DRS8200X, но и подключать непосредственно к ПЭВМ. Емкость внутренних жестких дисков системы 2,4 Терабайт, скорость записи данных на жёсткий диск составляет 1600 Мегабит/с.

Вслед за аппаратурой DRS8200X появилась ее модификация - DRS8300X. Она имеет улучшенные характеристики, в том числе обладает более высокой скоростью записи данных на жёсткий диск - 3200 Мегабит/с. Емкость жестких дисков системы DRS8300X составляет 3,6 Терабайт [6]. В таблице 1 представлены некоторые сравнительные характеристики систем записи и воспроизведения ТМИ США.

Таблица 1 Основные технические характеристики аппаратуры воспроизведения ТМИ США

Параметры Тип аппаратуры	Количество выходов		Емкость ЗУ, Гб	Габаритные размеры, мм
	аналоговых	цифровых		
<i>Model 90-97</i>	7, 14, 28	-	-	2026x559x737
<i>Model 64/ARMOR</i>	4	4	27,5	178x432x508 222x483x635
<i>DRS8200X</i>	4	4	288, 576, 1200	89x483x584
<i>DRS8300X</i>	Зависит от комплектации		432, 864, 1800	133x483x584
<i>DRS8500X</i>			500, 1200, 2400	222x483x584

Таким образом, прослеживается эволюционное развитие средств регистрации и воспроизведения ТМИ США. Это связано как с появлением и развитием цифровой техники, так и с увеличением количества используемых методов модуляции и передачи телеметрических сигналов в эфир. Можно выделить основные пути совершенствования телеметрической аппаратуры:

- использование МЛ, запись ТМИ в аналоговом виде;
- переход на цифровой вид записи ТМИ и уменьшение геометрических размеров МЛ;
- увеличение универсальности аппаратуры;
- переход на запись ТМИ на жесткие диски;
- увеличение емкости жестких дисков и быстродействия аппаратуры;
- уменьшение геометрических размеров и потребляемой мощности аппаратуры;
- увеличение количества интерфейсных плат.

Таким образом, американской Стороной постоянно проводятся работы по совершенствованию телеметрических систем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Договор между Российской Федерацией и Соединенными Штатами Америки о мерах по дальнейшему сокращению и ограничению стратегических наступательных вооружений. 2010 год.
2. Договор между Союзом Советских Социалистических Республик и Соединенными Штатами Америки о мерах по дальнейшему сокращению и ограничению стратегических наступательных вооружений. 1991 год.
3. Телеметрические стандарты США IRIG 106-86.
4. Телеметрические стандарты США IRIG 106-01.
5. Телеметрические стандарты США IRIG 106-05.
6. Digital Recording system DRS8000 series User's Mfual.

Новое поколение вибропреобразователей для контроля вибропараметров атомных реакторов

Веселова Е.Ю., Свинтицкий В.В., Михалев А.А.

АО «НПО ИТ»

E-mail: npoit@npoit.ru

В связи с разработкой нового поколения реакторов на свинцовом теплоносителе возникла задача контроля вибрационного состояния тепловыделяющих сборок (ТЭВС).

Аналогов данного вибрационного оборудования не существует, поэтому нашему предприятию было предложено разработать малогабаритные вибропреобразователи, обеспечивающие контроль вибрации трубных сборок.

Нашим предприятием был разработан оригинальный двухкомпонентный вибропреобразователь для измерения вибрации конструкций пьезоэлектрических преобразователей, обеспечивающих измерение и контроль параметров изделий в экстремальных условиях.

Основные исходные требования, предъявленные к разрабатываемому вибропреобразователю:

- исполнение для установки в трубы с внутренним диаметром 8,5 мм и 12 мм, имеющие радиус изгиба 600-800 мм;
- одновременное измерение вибрации в двух взаимно перпендикулярных направлениях в поперечном сечении трубы;
- коэффициент преобразования не менее 2 пКл/г;
- относительный коэффициент поперечного преобразования не более 5 %;
- диапазон измеряемых ускорений до 50 g;
- рабочий диапазон температур до 550...600 °С;
- обеспечение радиационной стойкости;
- ресурс до 20000 часов.

Указанные выше условия установки датчика потребовали, чтобы его внешние габариты были не более 10,5 мм диаметром при длине не более 80 мм. Аналогов такого вибропреобразователя, серийно выпускаемого, не существует.

Имеющиеся вибропреобразователи, являются однокомпонентными и обеспечивают измерение виброускорений в одном (осевом) направлении или выполнены двухкомпонентными, но имеют значительно большие габариты. И главное, что не существует вибропреобразователей, соответствующих указанным техническим требованиям по чувствительности и работоспособных длительно при указанных эксплуатационных

воздействиях (температура, радиация). Поэтому данная задача являлась уникальной и потребовала разработки оригинальной конструкции датчика и его чувствительного элемента, чтобы обеспечить одновременное измерение вибрации в поперечном сечении трубы в двух взаимноперпендикулярных направлениях при достаточно малых габаритах.

При разработке конструкции было выяснено, что применение стандартных пьезоэлементов, работающих на растяжение-сжатие, неприемлемо из-за малых габаритов чувствительного элемента и низкого пьезомодуля.

Был разработан оригинальный чувствительный элемент – биморф, состоящий из двух тонких склеенных между собой пьезокерамических пластин с прокладкой между ними или без нее. Пьезокерамическая пластина изготавливается из пьезокерамики системы ЦТС, которая представляет собой твердый раствор титаната свинца и цирконата свинца с модифицирующими добавками.

Чаще всего толщина пластин составляет 0,3 – 0,35 мм, длина варьируется от 4 до 60 мм, а ширина от 1,6 до 20 мм. Однако по специальному заказу возможно изготовление биморфа любой геометрии. Пластины обрабатываются и подшлифовываются с точностью $\pm 0,05$ мм по толщине и $\pm 0,1$ мм по длине ширине.

На пьезокерамическую пластину наносятся электроды из серебра или никеля. Серебряные электроды имеют однородный белый цвет, толщина слоя 6 – 10 мкм.

Биморф, собранный из двух пластин, направление поляризации которых одинаково, называют параллельным биморфом. Биморф, в котором поляризация пластин имеет противоположное направление, обозначают как последовательный биморф.

Центральная прокладка может изготавливаться из различных материалов, например, бериллиевой бронзы, нержавеющей стали, никелевой фольги, графита, композитов.

Для изделий с высокой чувствительностью возможно изготовление биморфа без прокладки.

Прокладка увеличивает механическую прочность, но уменьшает величину перемещения. Применение прокладки из нержавеющей стали обеспечивает на 25% большую прочность элемента и применяется во вживляемых кардиостимуляторах, где имеет место большое усилие.

Толщина клеевого соединения составляет 10 – 15 мкм. Для склеивания применяется эпоксидный или акрилатовый клей, обеспечивающий прочное соединение. Эластичность клеевого соединения обычно устраняет возможность появления вибрационной усталости при длительной работе.

Биморф может работать в двух режимах. При использовании прямого пьезоэффекта происходит преобразование механической энергии, приложенной к биморфу, в электрическую. Механическое усилие вызывает изгиб биморфа. При этом происходит сжатие одной из

составляющих пластин и растяжение другой. Это вызывает в биморфе образование заряда. Биморф работает в режиме генератора.

Биморф, работающий в режиме генератора, используется как гибкий датчик. Датчик генераторного типа не требует для функционирования внешнего источника питания. Датчик предназначен для преобразования динамических деформаций в электрические сигналы с последующей обработкой и регистрацией различными приборами. Датчик может быть использован как самостоятельный преобразователь механической деформации в электрический сигнал, так и быть составной частью более сложного прибора. Датчик может быть сопряжен с системой контроля и управления двумя основными способами: по схеме регистрации напряжения или по схеме регистрации заряда.

Биморф, использующий обратный пьезоэффект — преобразование электрических сигналов в механические усилия, — пьезоэлектрический актюатор. Биморфный пьезоэлектрический актюатор (в дальнейшем актюатор) является пассивным нелинейным четырехполюсником и требует наличия источника питания для возбуждения.

На практике способ возбуждения выбирается с учетом конкретного случая применения и условий работы.

Обычно биморфы монтируются в виде консоли (рис.1), стандартная свободная длина L_p составляет примерно 85% от общей длины (L).

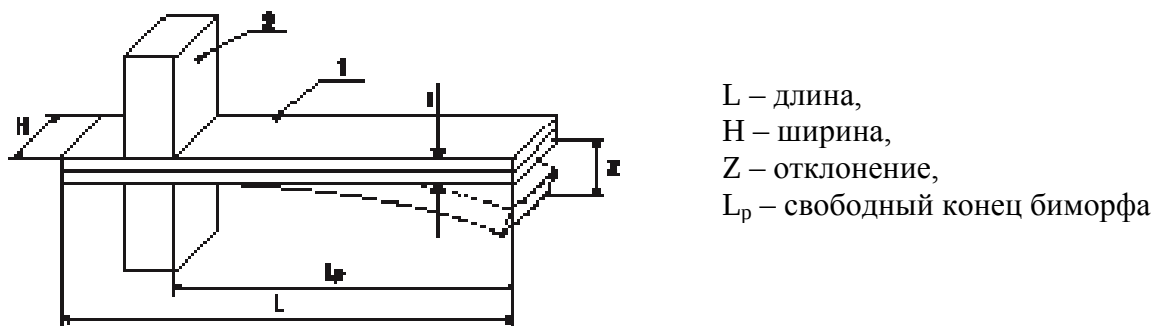


Рис. 1 Конструкция пьезобиморфа (1), закрепленного в консоли (2).

Схемы включения пьезобиморфа-актюатора

В последовательном биморфе пластины соединены по отношению к источнику питания последовательно (рис.2, а). В этом случае пластина с положительной полярностью находится под воздействием положительного напряжения и благодаря обратному пьезоэлектрическому эффекту удлиняется, тогда как пластина отрицательной полярности не работает и препятствует этому изменению длины, что приводит к изгибу биморфа. Так как пьезокерамический элемент обладает свойствами конденсатора, то поглощаемая им энергия высвобождается постепенно после отключения напряжения. Для того, чтобы биморф быстро возвращался в свое первоначальное состояние, между электродами включают два резистора.

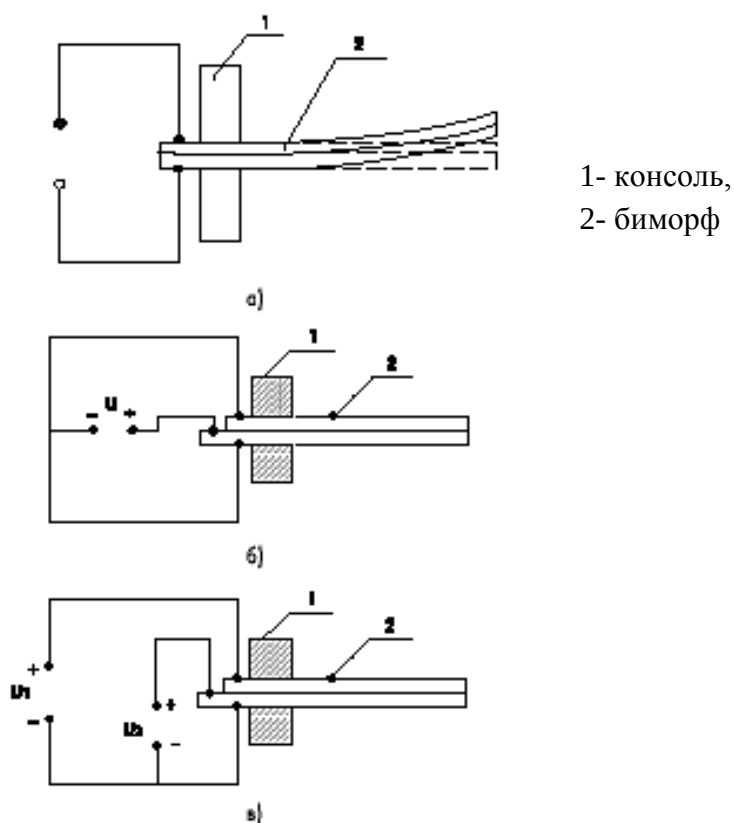


Рис 2. Схема включения пьезобиморфа

Способ включения параллельного биморфа (рис 2, б) состоит в подключении двух внешних электродов к одному выводу. Другим выводом служит центральный электрод.

При параллельном соединении развиваемые усилия в два раза больше, чем при последовательном соединении.

В последовательном биморфе одна из пластин всегда будет находиться под напряжением, противоположном напряжению поляризации, что создает опасность деполяризации. Это также справедливо для параллельного биморфа (рис.2, б).

Для устранения возможного дефекта деполяризации пластин лучше включать биморф в соответствии со схемой (рис.2, в), где обе пластины возбуждаются в направлении поляризации, а подача напряжения смещения позволяет избежать дрейфа характеристик, вызываемого деполяризацией, повышает чувствительность по входу и увеличивает срок службы.

Электрические характеристики биморфов

На практике способ включения и номинальное напряжение выбирается с учетом конкретного случая применения и условий работы.

Быстродействие биморфа определяется значением статической выходной емкости, а ее величина зависит от геометрических параметров элемента и диэлектрических свойств пьезоматериала пластин. Индуктивность биморфа пренебрежимо мала и в расчете не учитывается.

Условия применения

- Диапазон рабочих температур: $-40...+85\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Диапазон температуры хранения: $-20...+60\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Сопротивление изоляции более 100 МОм.
- Длительность эксплуатации более 100 миллионов циклов.

Крепление и подсоединение выводов

Установка биморфов в корпусе изделия возможна с помощью приклеивания, пайки механического зажима. Наилучшим способом является склеивание эпоксидными или акрилатными клеями, при этом должны использоваться клеи с низкой температурой полимеризации, соответствующей 50% значению температуры Кюри поляризованной керамики (примерно $120-150\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Подсоединение выводов к биморфу осуществляется методом пайки. Для минимизации влияния нагрева на свойства биморфа время пайки не должно превышать 3 секунд. Следует обратить внимание, что при пайке на пластине возникает электрический заряд и поэтому необходимо проводить пайку при короткозамкнутых электродах.

Пайка к серебряным электродам осуществляется с помощью припоя типа ПСр 2,5 (62%олова, 35%свинца и 2%серебра), флюсактивная канифоль.

Температура пайки $275-300\text{ }^{\circ}\text{C}$. Для никелевых электродов вместо припоя, содержащего серебро, могут быть использованы оловянносвинцовые припои. Флюс спирто-канифольевый типа ФКСП.

Разработчики и поставщики

Биморфы различной конструкции освоены в производстве и выпускаются миллионными партиями.

Основными разработчиками и производителями биморфов за рубежом являются ведущие мировые производители высокотехнологичных изделий: Morgan Electro Ceramics, Ceram Tec, APC Int., Xinetics, Fuji Ceramics, SPK Electronics, Dyna Optics Motion, Semicom, PI Ceramic, а также российский производитель — «Элпа».

Области применения.

В настоящее время осуществляется широкое внедрение биморфов в различные области науки и техники. Основные достоинства биморфов по сравнению с аналогичными электронными элементами:

- низкая стоимость;
- малое потребление энергии;
- значительная величина перемещения (до 5 мм) и достаточное усилие (до 5 Н);
- компактность, жесткость конструкции;

- высокое быстродействие;
- работа с различными сигналами;
- долговечность (до 100 миллионов циклов) и высокая повторяемость;
- широкий температурный диапазон позволяет широкомасштабное их внедрение в новые проектируемые приборы и аппаратуру различного назначения.

Встроенные в оборудование биморфы постоянно отслеживают сигнатуру вибрации, выдают информацию в реальном масштабе времени о степени износа, прогнозируют преждевременную усталость конструкции.

Создан уникальный чувствительный элемент, обеспечивающий высокую удельную чувствительность в малых габаритах. Разработан унифицированный ряд двухкомпонентных вибропреобразователей ABC 259 с малым диаметром корпуса, работоспособных до 550...600 °С (рис. 3). Вибропреобразователь состоит из корпуса, в котором установлено основание с двумя чувствительными элементами, повернутыми друг относительно друга на 90° в поперечном сечении корпуса. Чувствительный элемент изгибного типа выполнен из высокотемпературной пьезокерамики ТНВ-1. Чувствительный элемент закреплен на основании винтом через упругий элемент. Съем выходного сигнала осуществляется через контактные пластины.

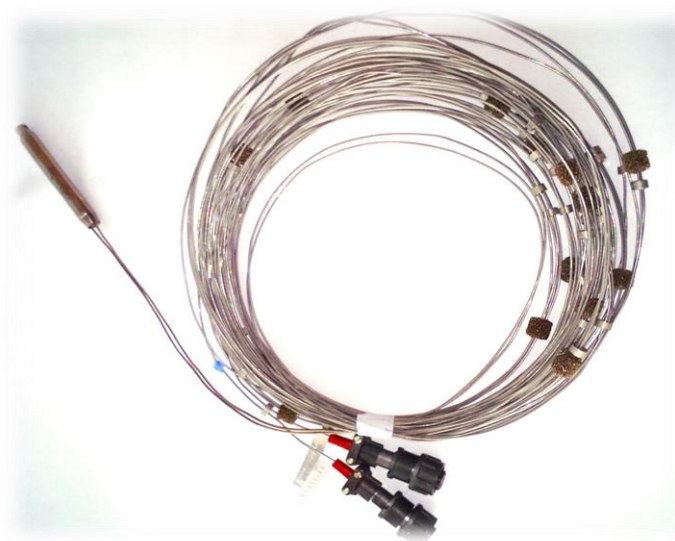


Рисунок 3 - Вибропреобразователь ABC 259

Проведены приемочные испытания вибропреобразователей на оборудовании Заказчика. Проведены длительные температурные испытания, подтвердившие работоспособность вибропреобразователей до 550...600 °С.

Исследования и поиск путей создания датчиков для измерения сверхмощных плотностей суммарного теплового потока для изделий РКТ

Соколова А.В., Федосов Д.А., Соколова А.А., к.ф.-м.н., Проказин Ф.Е.,

Старичихин И.Г.

АО "НПО ИТ", Московская обл., г. Королев

E-mail: npoit@npoit.ru

Одним из востребованных измерительных приборов в последнее время являются датчики теплового потока (ДТП) для непосредственного измерения плотности теплового потока, выделяемого в процессе передачи и распространения тепловой энергии, что особенно актуально при проведении газодинамических и летно-конструкторских испытаний, отработки теплоэнергетических установок и объектов РКТ. Кроме того, существующий стандартный способ измерения плотности теплового потока путем локальных измерений температуры и последующей обработки и преобразования информации в плотность теплового потока сопровождается большими методическими погрешностями более 20 % и потерей значительной части информации о динамике теплового процесса. Анализ информационно-технических материалов, представленных в таблице 1, показал, что большинство фирм выпускает ДТП для применения в народном хозяйстве с максимальной плотностью измеряемого теплового потока не более 500 кВт/м².

Таблица 1. Данные о современных фирмах-производителей ДТП

Наименование фирмы-производителя, страна	Тип ДТП	Максимальный измеряемый тепловой поток
Thermoflux, Швейцария	TFX-191, TFX-178	100 кВт/м ²
Rdf Corporation, США	RA-HFS	94,6 кВт/м ²
Hukselux, Нидерланды	SBCt01	200 кВт/м ²
Wuntronic StmbH, Германия	FR-75Д	10 кВт/м ²
Sequoia, Англия	RHF Range	500 кВт/м ²
АО «НПО ИТ», Россия	ФОА 036	5 кВт/м ²

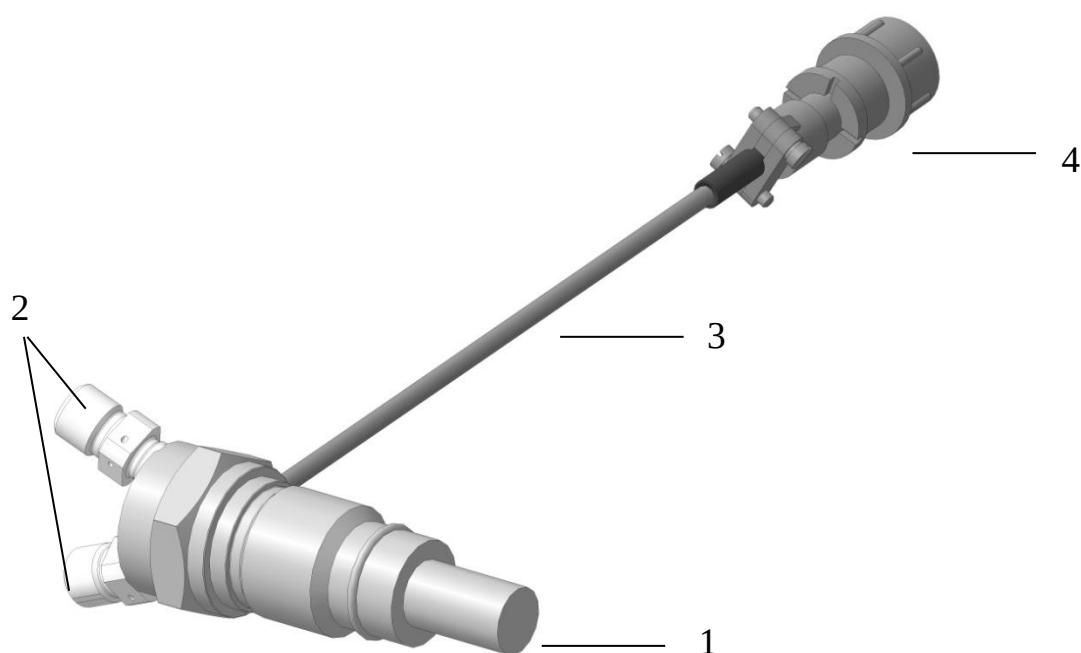
Спрос на датчики теплового потока для измерения плотностей, превышающих 10000 кВт/м², имеется прежде всего в ракетно-космической промышленности для отработки

мощных теплоэнергетических установок и двигателей, а также для получения информации о динамике тепловых процессов и возможности предупреждения нештатных и аварийных ситуаций. Единственная фирма, выпускающая ДТП для измерения плотностей до 10000 кВт/м^2 , применяемых в народном хозяйстве, является фирма Vatel Corporation (США). В РФ для использования на объектах РКТ выпускается ФОО 036 АО «НПО ИТ».

Целью работы является исследование возможности создания ДТП для измерения сверхмощных плотностей тепловых потоков, возникающих при испытаниях современных гиперзвуковых летательных аппаратов (ГЛА).

Рассмотрены конструктивные особенности и технические характеристики ДТП. Предполагается использовать ДТП градиентного типа с поперечным градиентом температуры, создаваемым между поверхностью тепловоспринимающего элемента (ТВЭ), изготовленного из сплава БрХ08 и константановыми электродами, закрепленными на разных расстояниях от ТВЭ. В результате образуется дифференциальная термопара, измеряющая перепад температуры по толщине ТВЭ. Выходной сигнал дифференциальной термопары пропорционален плотности измеряемого суммарного теплового потока. Для увеличения времени непрерывной работы ДТП до 300 с в корпусе ТВЭ выполнены два канала для подвода и отвода воды, расход воды должен составлять до 60 л/мин. Конструкция датчика представлена на рисунке 1.

Показатели технического уровня и сравнение показателей с объектами аналогичного назначения представлены в таблице 2.



- 1 – тепловоспринимающий элемент (ТВЭ)
 2 – каналы охлаждения
 3 – кабель
 4 – разъем

Рисунок 1. Конструкция датчика

Таблица 2. Показатели технического уровня объекта

Наименование показателей	Значение показателей		
	Объект разработки	Vatell Corp.	ФОО 036 АО «НПО ИТ»
Область применения	Объекты РКТ	Народное хозяйство	Объекты РКТ
Плотность измеряемых тепловых потоков, кВт/м ²	0 ... 25000	0 ... 10000	0 ... 5
Чувствительность, мВ·м ² /МВт	0,1 ... 1,3	0,33	2,4 ... 4,0
Погрешность, не более, %	± 5 ... ± 10	нет данных	± 10
Время непрерывной работы, с	300	400	3600

Создание предлагаемых ДТП позволит обеспечить стендовую и наземную отработку высокоэнергетических установок и двигателей объектов РКТ с исключением возможности нештатных и аварийных ситуаций.

Метод решения задачи локализации места возникновения разрушений при аварийной ситуации на объекте

Мороз А.П., д.т.н.

АО «НПО ИТ»

e-mail apmoro@mail.ru

При испытаниях и эксплуатации сложных технических комплексов бывают случаи аварий и катастроф. В ряде случаев развитие аварийного процесса имеет характер взрыва. Для обитаемых объектов (самолеты, вертолеты, подводные лодки и т. д.) в подобных ситуациях нередко экипаж не успевает отреагировать и сообщить не только о причине появления и характере аварийной ситуации, но даже о факте ее возникновения.

Яркими примерами рассматриваемой ситуации являются случаи катастроф космических кораблей США многоразового использования, а также произошедшая 12 августа 2000 г. катастрофа российской атомной подводной лодки «Курск». В последнем случае для определения истинной причины катастрофы, оказалось, необходимо осуществить подъем получившей серьезные разрушения и затонувшей вследствие этого лодки и ее фрагментов, в частности, фрагментов ее первого отсека. На подготовку и проведение колоссальной по стоимости и технической сложности операции по подъему лодки, характеризующейся высокой степенью риска при ее осуществлении, потребовалось два года. При проведении операции были реализованы новейшие технологии, задействованы наиболее совершенные отечественные и зарубежные силы и средства, но однозначный и объективный вывод о первичной причине катастрофы даже после подъема лодки в течение длительного времени сделать было весьма проблематично.

Другим характерным примером является катастрофа, произошедшая в связи с уничтожением 4 октября 2001 г. над Черным морем украинскими зенитчиками пассажирского самолета авиакомпании «Сибирь». В этом случае имели место попытки опровержения украинской стороной связи причины катастрофы с проведением во время учений стрельб зенитными ракетами по движущимся воздушным мишеням. Для определения истинной причины катастрофы потребовалось осуществить подъем с морского дна и проведение экспертизы фрагментов сбитого пассажирского самолёта, в конструкции которого остались застрявшие поражающие элементы зенитной ракеты.

Трудным и длительным является расследование причин катастрофы, произошедшей 25 декабря 2016 г. с российским самолётом ТУ-154 в районе г. Сочи, следовавшим с артистами ансамбля им. Александрова в Сирию.

В связи с этим следует отметить, что усилия по разработкам спутниковых систем для отслеживания передвижения воздушных судов предпринимались на протяжении многих лет, но особый рост интереса к ним начался после исчезновения 8 марта 2014 г. авиалайнера Boeing

777 рейса 370, следовавшего по маршруту Куала-Лумпур (Малайзия) – Пекин (КНР). Этот инцидент инициировал исследования, приведшие к утверждению ИКАО новых стандартов и практических рекомендаций для коммерческой авиации, включающих требования по отслеживанию местоположения самолётов каждые 15 минут.

5 декабря 2016 г. компания Spire Global (США), занимающаяся разработкой группировки кубсатов для предоставления метеорологической информации и данных по сопровождению морских судов, сообщила, что планирует выйти на рынок слежения за воздушными судами, добавив дополнительные датчики на своих будущих спутниках [1]. Мандат Международной организации гражданской авиации (ИКАО), который должен вступить в силу в ноябре 2018 г., предписывает коммерческим авиалайнерам, пролетающим над океанами, представлять сведения о своём местоположении каждые 15 минут. Для выполнения мандата к концу 2017 г. компания Spire Global планирует развернуть группировку в составе 25 спутников и ещё 50 – в 2018 г.

При использовании традиционных методов определения причины аварии или катастрофы взрывного типа обычно возникает дефицит информации, зарегистрированной на аварийном участке. Для выяснения истинной причины катастрофы необходимо получение объективной и достоверной информации о сути происшествия. С этой целью на борту указанных выше объектов с помощью автономных регистраторов (так называемых «черных ящиков») осуществляется запись наиболее информативных параметров.

Основными недостатками такого метода получения информации являются следующие.

1. Низкая информативность систем регистрации. Это обусловлено тем, что на магнитный носитель обычно регистрируются медленно меняющиеся параметры. Поэтому при динамично развивающемся аварийном процессе, например, при взрыве, частоты опроса зарегистрированных данных оказывается, как правило, недостаточно для однозначного определения сечения объекта, в котором начали развиваться процессы разрушения конструкции. С другой стороны, при повышении частоты опроса контролируемых параметров пропорционально возрастает объем регистрируемых данных. Поэтому высокоинформативные системы обычно применяются лишь при испытаниях технически сложных дорогостоящих объектов. На этапе их эксплуатации ограничиваются регистрацией медленно меняющихся параметров, а в ряде случаев информационно-измерительные системы вообще не применяются.

2. Поиск бортовых автономных регистраторов обычно связан со значительными трудностями. Часто материалы регистрации оказываются поврежденными, содержащими значительное количество помех и искажений, или вовсе непригодными для обработки. Это снижает достоверность получаемых данных и приводит к полной или частичной потере информации, зарегистрированной на участке развития аварийного процесса. Иногда точно найти место аварии и «черный ящик» не удается в течение длительного времени, в связи с чем

дорогостоящие поиски прекращаются. В таких случаях истинная причина катастрофы остается невыясненной. Следовательно, в дальнейшем возможны случаи повторного возникновения аномальных ситуаций по одной и той же причине. Но даже при обнаружении и наличии возможности доступа, как к «черным ящикам», так и к самому потерпевшему катастрофу объекту в ряде случаев на протяжении длительного времени очень сложно определить причину катастрофы.

В случаях аварий и катастроф, связанных с возникновением механических разрушений на объекте, весьма эффективным может оказаться следующий метод решения задачи локализации места возникновения разрушений (сечения, из которого начали развиваться механические разрушения). На корпусе объекта, а также внутри его, в критичных местах устанавливаются датчики, чувствительные к механическим разрушениям. Эти датчики являются формирователями сигналов-признаков аварии при возникновении разрушений в зоне чувствительности датчиков. По кабельным (или иным) линиям датчики соединены с аппаратурой обработки сигналов-признаков аварии. Выход аппаратуры обработки подключен к радиопередатчику.

Для подтверждения работоспособности системы в тестовом режиме выполняется проверка её работоспособности.

При отсутствии аварийных сигналов на выход радиопередатчика сигнал не поступает и в эфир ничего не передается.

При поступлении с выходов датчиков сигналов-признаков аварии на вход аппаратуры обработки осуществляется обработка этих сигналов, их кодирование, и по радиоканалу передаются не сами поступившие с датчиков аварийные сигналы, а результаты обработки информации на борту объекта. При этом вначале передается условный номер потерпевшего катастрофу объекта. Содержащейся в принятом аварийном сообщении информации достаточно для того, чтобы оперативно определить следующие данные:

- факт возникновения аварийной ситуации на объекте;
- тип и номер потерпевшего катастрофу объекта;
- точное время возникновения аварийной ситуации на объекте;
- определить координаты катастрофы на маршруте движения, что позволяет своевременно принять необходимые меры по поиску и спасению экипажа и пассажиров;
- место возникновения разрушений на объекте и его характер (например, взрыв внутри объекта и в каком его сечении).

В связи с тем, что по каналу связи передаются не первичные сигналы, зарегистрированные датчиками, а результаты выполненной на борту обработки

сформированных датчиками сигналов, удастся значительно снизить искажающее влияние шумов и помех на достоверность получаемых оценок и выводов. Кроме того, в связи с тем, что объем самого передаваемого сообщения значительно сокращается при одновременном увеличении его информативности, обеспечивается возможность объективного определения места возникновения на объекте разрушений при самых быстротечных аварийных ситуациях, колоссально повышается оперативность определения характера происшествия. Открывается возможность определения технической сущности катастрофы до прибытия экспертов к месту ее происшествия.

Техническое решение, реализующее предлагаемый метод, признано изобретением. Алгоритмы выполняемой на борту объекта обработки информации об аварии или катастрофе представляют собой «ноу-хау». Экспериментальные исследования по диагностированию в течение многих лет изделий ракетной и ракетно-космической техники подтверждают высокую эффективность предлагаемого метода. Тот объем работы, который необходимо было выполнить в инициативном порядке, завершен. Для доведения предложенного метода до практической реализации в виде серийно изготавливаемого устройства необходимо проведение целевой НИОКР, учитывающей специфику оснащаемых этим устройством объектов. Практическая реализация предлагаемого метода с учетом современного уровня развития микропроцессорной техники позволит освоить на Российских предприятиях изготовление высокоинформативных устройств с небольшими массово-габаритными характеристиками и небольшим энергопотреблением. Освоение серийного изготовления таких устройств характеризуется весьма небольшими затратами по сравнению с затратами, требующимися обычно на определение причин катастроф сложных технических объектов и парирование их последствий.

Наиболее целесообразно начать работы по реализации предлагаемого метода применительно к авиационной технике (самолеты).

Решение рассмотренной задачи обеспечивается даже при самых быстротечных авариях типа взрыва. Это достигается благодаря большому сокращению избыточности измерительной информации и, как следствие, существенному снижению влияния на результаты анализа шумов и помех, действующих на полезный сигнал, специфическим особенностям структуры передаваемых сигналов и алгоритмов выполняемой на борту обработки данных на интервале развития аварийного процесса.

Литература

1. США. Spire выходит на рынок слежения за авиалайнерами // РКТ №49 (2973) 9 декабря 2016 г. - Экспресс-информация серия 1. –ГОНТИ ЦНИИмаш. – 20 с.

УДК 621.398.6

Принципы формирования телеметрического кадра в условиях ограниченной информативности канала передачи ТМИ

Иванова Л.М. Тарасов В.С. Тарасова А.С.

Акционерное общество «Научно-производственное объединение автоматики имени академика Н.А. Семихатова», г. Екатеринбург

avt@npoa.ru

При проектировании средств телеконтроля зачастую возникает проблема несоответствия объема информации, необходимого для передачи в эфир, и пропускной способности телеметрического тракта.

Рассмотрим структурную схему СУ объекта контроля:

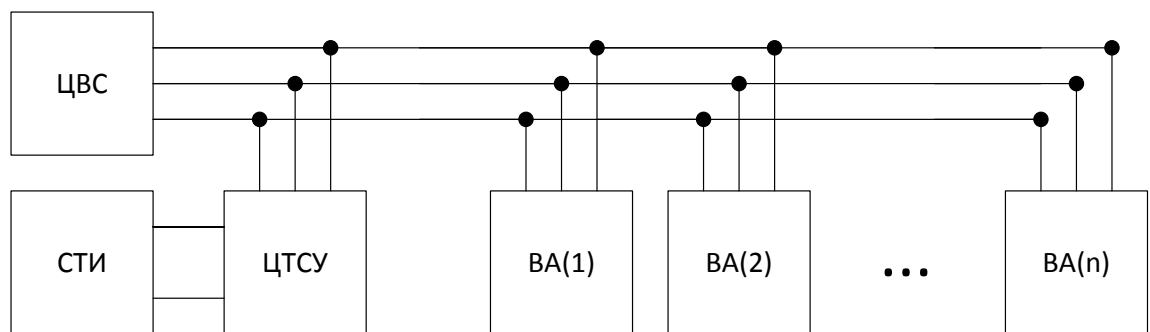


Рисунок 1 – Структурная схема СУ объекта контроля

ЦВС взаимодействует с ВА по 3 канальному резервированному интерфейсу в соответствии с ГОСТ ГОСТ Р 52070-2003. Информация о взаимодействии ЦВС с ВА, а также собственная информация ЦВС, передаются в СТИ одновременно по 2 потокам через ЦТСУ, которое является монитором шины.

Взаимодействие ЦВС с ВА осуществляется циклически с длительностью цикла $T \pm \Delta T$. Из объема информации, поступающего на вход ЦТСУ в течение 1 цикла обмена ЦВС с ВА, в реальном времени формируется телеметрический кадр для передачи в СТИ. Передача сформированного кадра в СТИ осуществляется в течение следующего цикла обмена ЦВС с ВА.

Объем информации, поступающей на вход ЦТСУ за один цикл обмена, складывается из:

- собственной информации ЦВС, выдаваемой напрямую в ЦТСУ ($N_{ЦВС}$);
- обменной информации ЦВС с ВА ($N_{ОБМ}$).

Частота опроса каждого выхода ЦТСУ со стороны СТИ равна $F_{СТИ}$, при этом за каждый опрос в СТИ передается n бит информации.

Таким образом, информативность тракта передачи (S) составляет:

$$S = F_{СТИ} * 2n \quad (1)$$

Обмен по МКЛС осуществляется 16-разрядными словами, количество 16-разрядных слов, передаваемых из ЦТСУ в СТИ за 1 цикл обмена ЦВС с ВА, составляет:

$$N_{СТИ} = (F_{СТИ} * 2n) * (T \pm \Delta T) / 16 \quad (2)$$

Для обеспечения передачи в СТИ всего объема информации, поступившего на вход ЦТСУ, должно выполняться следующее условие:

$$N_{СТИ} \geq N_{ЦВС} + N_{ОБМ} \quad (3)$$

На практике может возникнуть ситуация, когда $N_{СТИ} < N_{ЦВС} + N_{ОБМ}$, в таком случае приходится прибегать к сокращению объема информации, выдаваемой в СТИ.

Сокращение $N_{ЦВС} + N_{ОБМ}$ при формировании телеметрического кадра должно осуществляться без снижения информативности, необходимой для оценки работы СУ. Это позволяют реализовать следующие методы:

- Мажоритация, выборка информации
- Размещение приоритетной информации
- Приоритет первичной информации взаимодействия ЦВС и ВА
- Адресно – позиционная структура кадра
- Упаковка информации
- Исключение служебной информации
- Взаимно обратная структура кадра выходных потоков ЦТСУ

Данные принципы могут использоваться для создания адаптивной распределенной системы телеметрического контроля.

Способы управления вектором тяги гибридных ракетных двигателей

Великий З.С.

*Космодром «Плесецк»*E-mail: vezase@rambler.ru

К числу перспективных двигательных установок (ДУ) средств выведения, обладающих практически всеми достоинствами современных жидкостных ракетных двигателей (ЖРД) и ракетных двигателей на твердом топливе (РДТТ), относятся гибридные ракетные двигатели (ГРД), работающие на твердом горючем и жидком или газообразном окислителе. Проведенные исследования рабочих процессов ГРД, создание основ проектирования ГРД, выполненные проектные проработки, достижения в области материаловедения показывают, что при разработке и создании ГРД широко используются технические решения, технологические процессы, производственное и испытательное оборудование, применяемое в РДТТ и ЖРД. Однако при разработке ГРД возникает необходимость решения ряда технических задач, включая выбор способа управления вектором тяги двигателя.

Управление ракетой осуществляется с помощью автоматической системы управления (АСУ). Обычно под АСУ понимают совокупность электрических, радиотехнических, цифровых вычислительных устройств и исполнительных механизмов, обеспечивающих управление ракетой в полете. Исполнительным механизмом АСУ является комплекс устройств, позволяющих при получении командного сигнала тем или иным образом изменять величины и направления сил, приложенных к ракете, т.е. управлять ракетой. Такие устройства называются органами управления (ОУ).

Величина потребной управляющей силы, являющаяся исходным параметром при проектировании ОУ конкретной ракеты, выбирается из условия

$$M_{упр} > (M_n + \sum M_b),$$

где: M_n – момент необходимый для реализации потребных программных маневров;

$M_{упр}$ – управляющий момент, создаваемый органами управления;

$\sum M_b$ – сумма возмущающих моментов сил, действующих на ракету в полете.

Органы управления функционируют от момента запуска до останова двигателя, поэтому при проектировании двигателей серьезное внимание уделяют выбору и конструктивной проработке ОУ.

Выбор и обоснование оптимального типа ОУ–задача достаточно сложная. Сформулированы следующие основные требования к органам управления:

1. Обеспечение потребных управляющих усилий при минимуме потерь тяги.

2. Высокая конструктивная надежность и весовое совершенство.
3. Стабильность основных характеристик по времени работы двигателя.
4. Возможность использования рулевых приводов минимальной мощности.
5. Простота компоновки на двигатели, не вызывающая усложнения его конструкции.
6. Технологичность и малые сроки отработки.

В зависимости от способа получения управляющей силы ОУ подразделены на механические и на инжекционные (Рисунок 1) . В механических ОУ управляющая сила возникает либо в результате механического воздействия на газовую струю двигателя, либо в результате отклонения ее вместе с устройством управления. В инжекционных ОУ управляющая сила возникает в результате газодинамического воздействия основной струи с рабочим телом, инжектируемым в расширяющуюся часть сопла. По конструктивному признаку механические органы управления в зависимости от места, занимаемого в конструкции двигателя, подразделены на базисные и надстроечные. Базисные ОУ являются органической частью двигателя, его обязательным элементом, к ним относятся поворотные и вращающиеся сопла, разрезные управляющие сопла (РУС), кососрезанные управляющие сопла и сопла с подвижным центральным телом. Надстроечные ОУ, как правило, являются устройствами дополнительными и устанавливаются только для целей управления, к ним относятся: рулевые двигатели, газовые рули, дефлекторы, спойлеры, интерцепторы. Инжекционные ОУ различают по роду рабочего тела: газообразные продукты сгорания основного либо газогенераторного топлива или жидкости, инжектируемые в расширяющуюся часть сопла.

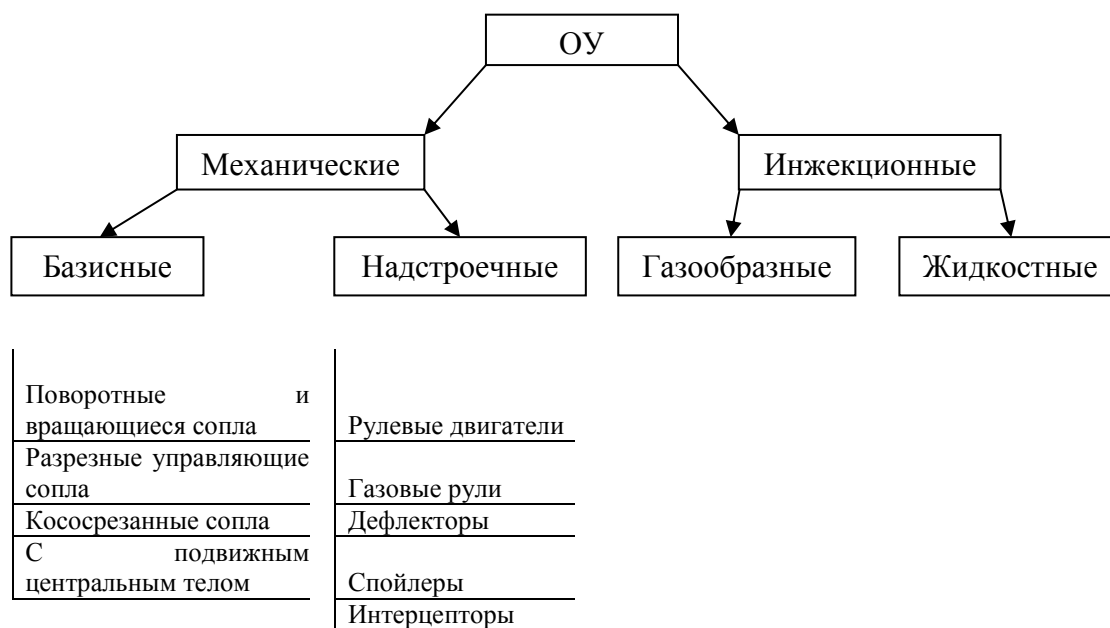


Рисунок 1. Классификация ОУ

Важнейшей величиной, характеризующей работу ОУ, является управляющая сила. Ее значение зависит от типа ОУ и их особенностей. Так, для большинства механических ОУ реализуется управляющая сила являющаяся функцией угла поворота θ :

$$R_y = f(\theta).$$

Для инжекционных ОУ управляющая сила является функцией расхода m инжектируемого рабочего тела (газа, жидкости):

$$R_y = f(m).$$

Качество ОУ характеризуется их эффективностью, т.е. способностью того или иного ОУ создавать максимальную управляющую силу при минимальных потерях тяги и массы конструкции.

Наиболее эффективным, с точки зрения обеспечения минимума потерь тяги, являются поворотные сопла и инжекционные ОУ. Наиболее надежной системой являются спойлеры, однако они создают большие потери удельного импульса – порядка 2...4 % при перекрытии ими 5...10 % выходной площади сопла [2]. Тип ОУ зависит от схемы расположения блоков ДУ на гибридном топливе: последовательная, параллельная. При последовательной коаксиальной схеме расположения блоков жидкого окислителя и твердого горючего ОУ должно обеспечивать управление по всем плоскостям стабилизации. Реализация размещения твердого горючего по схеме «крест» позволяет установить по одному ОУ на каждом из блоков под углом 45° к плоскостям стабилизации и снизить максимальный уровень потребных управляющих усилий на каждом из них на 30 %, либо осуществлять управление дросселированием тяги в блоках горючего.

Рассмотрены наиболее приемлемые для ГРД типы ОУ вектором тяги.

Кольцевые газовые рули (дефлекторы) и спойлеры могут использоваться благодаря их конструктивной простоте и высокой надежности в работе. В исходном положении дефлектор и спойлер находятся вне струи. При подаче управляющего сигнала с помощью приводов они вводятся в сверхзвуковую струю продуктов сгорания у среза сопла. Спойлеры вводятся перпендикулярно оси сопла, а дефлектор под углом к оси сопла по радиусу. Газодинамическая картина взаимодействия этих устройств с газовой струей аналогична и заключается в том, что при вводе таких устройств образуется зона отрыва с повышенным давлением, а за устройством – зона с пониженным давлением. Стенки сопла в области ввода устройства оказываются нагружены перепадом давления, которые обуславливают появление газодинамической силы.

Работа дефлекторов и спойлеров происходит при натекании на них высокотемпературных сверхзвуковых потоков газа. В качестве защитных облицовок широко используются тугоплавкие металлы – молибден, вольфрам и их сплавы. Положительно

зарекомендовали себя в таких конструкциях сплавы на основе вольфрама с пропиткой медью (ВНДС-1) или серебром.

Далее рассмотрены поворотные управляющие сопла (ПУС) и вращающиеся сопла. Управляющие усилия в ПУС создаются путем поворота струи вместе с соплом, при этом происходит поворот вектора тяги относительно продольной оси двигателя. Широкое применение ПУС в качестве исполнительных ОУ объясняется следующими преимуществами:

1. Малыми потерями тяги в процессе функционирования.
2. Линейной зависимостью управляющей силы от угла поворота сопла.
3. Стабильностью основных характеристик в течение работы двигателя.
4. Относительно простой конструкцией и весовым совершенством.

ПУС обычно состоит из неподвижной части, которая крепится к сопловому днищу, и подвижной. Подвижная соединяется с неподвижной с помощью подвеса. Зазор между подвижной и неподвижной частями герметизируется с помощью уплотнения. Узел уплотнения один из самых ответственных элементов поворотного сопла, т.к. предотвращает проход газов через линию разъема.

Сложность изготовления и монтажа сферических подшипников и приводов большой мощности вызвала интенсивные работы по созданию новых принципов проектирования ПУС. Совершенствование функций шарнира и уплотнения привел к созданию поворотных сопел на жидкостных и опорных шарнирах.

Поворотные сопла на эластичном шарнире получили наибольшее распространение из-за их достаточно малой массы, хорошей технологичности, низкой стоимости, хорошей воспроизводимости характеристик во время эксплуатации.

Величина управляющего усилия поворотного сопла:

$$R_y = R_x \sin \theta,$$

где: R_x – тяга, создаваемая поворотным соплом при $\theta = 0^\circ$;

θ – угол поворота сопла, т.е. угол между осью сопла и продольной осью ракеты.

Потери тяги при функционировании поворотного сопла можно оценить по формуле:

$$\Delta R_x = R_x(1 - \cos \theta).$$

Величина угла поворота для поворотных управляющих сопел лежит в пределах от 2 до 10°.

Вращающиеся сопла по характеру управляющей силы аналогичны поворотным. Характерной особенностью вращающихся сопел является наличие угла между продольной осью сопла и осью вращения. При обкатке поворотной части сопла относительно неподвижной угол рассогласования увеличивается, боковая сила возрастает. Преимуществом вращающихся

сопел заключается в резком уменьшении момента трения вследствие замены трения скольжения трением качения, а следовательно, – в уменьшении потребной мощности рулевых приводов. Основными недостатками вращающихся сопел является: наличие большого и тяжелого подшипникового узла и его опоры, повышенные энергозатраты рулевого привода, по сравнению с поворотными соплами, на преодоление боковых сил и газодинамических моментов.

Также в качестве ОУ могут использоваться РУС, которые создают управляющую силу за счет поворота подвижной части сверхзвуковой части сопла, при этом осуществляется механическое воздействие раструба на сверхзвуковую газовую струю. Для осуществления такого воздействия в профилированном сопле создается линия разъема в районе, где поток имеет число Маха $M=1,5\ldots 2$. Подвижная часть сопла, связанная с рулевым приводом, имеет возможность углового перемещения. При повороте подвижной части РУС, в одной из плоскостей стабилизации, возникает косой скачек переменной интенсивности. Интенсивность скачка максимальна на «входящей» в поток стороне и минимальна на «уходящей» из потока стороне, при этом интенсивность скачка убывает в направлении к оси сопла.

Наличие косого скачка уплотнения приводит к перераспределению давления по длине подвижной части сопла, на «входящей» стороне оно возрастает, а на «уходящей» оно уменьшается. В результате, на раструбе возникает боковая сила, величина которой зависит от угла поворота подвижной части. При возвращении подвижной части РУС в исходное положение скачек вырождается и РУС начинает работать как обычное сопло. Наличие линии разъема в сверхзвуковой части мало влияет на «нулевые» потери тяги.

Основные преимущества РУС, как органов управления ГРД, следующее:

1. Простота конструкции, сравнимая с поворотным соплом.
2. Высокая надежность, поскольку узлы уплотнения линии разъема работают в условиях малых давлений и сравнительно низких температур.
3. Линейная зависимость управляющей силы от угла поворота сопла.
4. Высокая эффективность и сравнительно не большие потери тяги при его функционировании.

Основным недостатком РУС является потребность в мощных рулевых приводах для отклонения подвижной части, нагруженной сверхзвуковым потоком. Взаимодействие подвижной части РУС со сверхзвуковым потоком обуславливает возникновение сложного возмущенного течения, это приводит к необходимости тщательной конструктивной проработки зоны линии разъема. Место положения линии разъема оказывает существенное влияние на величину управляющей силы.

К инжекционным ОУ (ИОУ) относятся системы, использующие вдув газа или впрыск жидкости в сверхзвуковую часть сопла. Преимуществами таких систем являются: высокая эффективность, автономность конструкции и повышенная надежность, путем применения стационарных сопел.

С точки зрения массового совершенства наиболее предпочтительной выглядит система, использующая вдув горячего газа, отобранного из камеры сгорания, в расширяющуюся часть сопла. Однако, при этом возникает целый ряд технических трудностей связанных с созданием надежных регуляторов расхода высокотемпературных, химически активных продуктов сгорания твердых топлив. С точки зрения простоты конструкции и обеспечения высокой надежности, эффективно применение в качестве рабочего тела жидкости. Ее легче хранить, дозировать, а ее высокая плотность дает возможность уменьшения массы конструкции.

Расчет основных характеристик ИОУ сводится к определению величины упругости жидкости или газа, либо к расчету расхода инжектанта, потребного для обеспечения заданного уровня управляющей силы.

При проектировании ИОУ ГРД следует учитывать следующее:

1. Для получения максимального отношения управляющей силы к тяги двигателя место инъекции должно располагаться в сечении, площадь которого составляет: $(0,75...0,8)F_a$, где: F_a — площадь сечения на среза сопла.

2. Увеличение числа Маха инжектируемого газа способствует увеличению импульса управляющей силы.

3. Уменьшение молекулярной массы инжектируемого газа способствует увеличению удельного импульса управляющей силы.

4. Увеличение угла инъекции ϵ приводит, с другой стороны к уменьшению управляющей силы, что говорит о существовании определенного оптимума ϵ , который должен определять в каждом конкретном случае.

5. Величина управляющей силы зависит от формы отверстия вдува газа.

В конструктивном плане ИОУ в зависимости от инжектируемого вещества выполняется по конструктивным схемам.

С точки зрения повышения эффективности ИОУ необходимо «горячий» газ без газосохода сразу подать в регулятор расхода и далее в сверхзвуковую часть сопла. В этом случае условия работы регулятора значительно ужесточается, поскольку его рабочие органы подвергаются воздействию высокотемпературных, химически активных продуктов сгорания возможных ГРД. Кроме того, при наличии твердой фазы в продуктах сгорания возможна зашлаковка отверстий в регуляторе. В настоящее время задача создания надежных регуляторов расхода горячего газа, в

основном решена в связи с разработкой жаропрочных и эрозионностойких материалов таких как, углерод-керамические, вольфрам и его сплавы. При использовании системы вдува «теплого» газа от специального газогенератора требования к регуляторам расхода по характеристикам используемых материалов снижается (по сравнению с регулятором расхода «горячего» газа), а по конструктивному исполнению практически остаются такими же. Эффективность системы впрыска даже с использованием жидкости типа фреон-114В, хлорнованиленная кислота почти в два раза ниже, чем при вдуве «горячего» газа.

Надежное управление вектором тяги ГРД обеспечивается применением механических и инжекционных органов управления. Множество разработанных органов управления, в зависимости от решаемых задач, позволяют выбрать наиболее эффективный вариант, который обладает невысокой стоимостью, высокой технологичностью, малой массой и простой конструкцией.

Список литературы:

1. Волков Е.Б., Мазинг Г.Ю., Шишкин Ю.Н. «Ракетные двигатели на комбинированном топливе». М., Машиностроение, 1973 г.-183 с.
2. «Конструкция ракетных двигателей на твердом топливе», под ред. проф. А.Н. Лаврова. М., Машиностроение, 1993 г.-216 с.
3. «Основы теории и расчета жидкостных ракетных двигателей» Книга 1, под ред. проф. В.Н. Кудрявцева. М., Высшая школа, 1993 г.-368 с.

Современные комплексы обработки телеметрической информации перспективы их развития

Захаренков А.В., Лисица Д.В., Тимофеев П.В.

Космодром «Плесецк»

Комплексы сбора и обработки телеметрической информации (ТМИ) создавались и модернизировались для решения задач оценки летно-технических характеристик образцов ракетно-космической техники (РКТ) которые проходили испытание (эксплуатировались) на космодроме «Плесецк». Испытание перспективных образцов РКТ ставит задачу по созданию новых или модернизацию существующих комплексов сбора и обработки ТМИ.

В настоящее время комплексом сбора и обработки ТМИ принято считать не только систему сбора как некую единицу вооружения и военной техники, а всю совокупность изделий, линий связи, методов обработки ТМИ. Полная рабочая цепочка этих составляющих решает основную задачу измерительного комплекса космодрома, которая позволяет обеспечить телеизмерениями и результатами их обработки всех потребителей информации.

На сегодняшний день на космодроме «Плесецк» эксплуатируются две концептуально различные системы сбора ТМИ.

Первая система сбора «Сбор-Р» (разработки ОКБ Спектр г. Рязань) применяется для проведения сбора и обработки ТМИ при обеспечении измерениями пусков ракет стратегического назначения (РСН) [3].

В рамках работы этой системы измерительные пункты посредством специальных автоматизированных программных комплексов самостоятельно осуществляют сбор измерительной информации от бортовых источников различного типа. Формируют репортажный поток, который представляет собой набор телеметрических параметров, определенных заданиями, передают его потребителям в режимах реального и послеполетного времени по каналам связи. Число параметров, попавших в репортажный поток составляет как правило 20-40% от общего потока и обуславливается пропускной способностью каналов передачи данных.

Информационный обмен между абонентами центрального и пристартовых пунктов обеспечивают комплексы средств радиосвязи (КРС) с использованием технологии радио-Ethernet, а также с использованием радиорелейной линии связи. Из общего канала радиорелейной линии связи для передачи ТМИ выделяются два потока пропускной способностью до 2 Мбит/с каждый.

Другая концепция сбора ТМИ применяется для обеспечения измерениями пусков ракет космического назначения (РКН).

В рамках данной концепции информация с приемно-регистрирующих станций поступает по каналам радиорелейной или волоконно-оптической связи на средства универсального аппаратно-программного комплекса (УАПК ТМИ). Для сбора ТМИ с трассовых измерительных пунктов применяются станции системы спутниковой связи «Приморка».

Система сбора ТМИ на УАПК предназначена для обеспечения сбора и передачи телеметрической информации при пусках РКН и обеспечивает:

- прием ТМИ от различных бортовых источников измерительной информации;
- формирование и передачу потребителям ТМИ в РМВ и в режиме послеполетного сбора по радиорелейным, спутниковым и волоконно-оптическим каналам связи;
- регистрацию полного потока различных бортовых структур и их последующую обработку;
- архивирование результатов сеанса измерений.

В данное время эти две концептуально различные системы сбора и обработки ТМИ в полной мере справляются с возложенным на них кругом задач, но это не означает, что они не имеют отрицательных сторон.

Так для системы сбора, при обеспечении измерениями пусков РСН «узким» местом является пропускная способность канала всего 2 Мбит/с. На данном этапе развития ракетно-космической техники этого недостаточно, а для обеспечения испытаний перспективных образцов РСН требуется в разы большая пропускная способность. При развертывании системы трассовые измерительные пункты космодрома (г. Нарьян-Мар и Норильск) также оснащались комплексами средств связи (КСС), а передавать репортажный поток должны были через станции спутниковой связи, входящие в состав системы «Сбор-Р», но данные станции спутниковой связи не способны работать со спутниками ретрансляторами нового поколения (СР «Ямал»). Кроме того, при проведении обработки ТМИ в реальном масштабе времени используется только два репортажных потока со средств приема-регистрации ТМИ космодрома и средств измерений ВМФ (г. Северодвинск) по арендуемому спутниковому каналу связи, что для обеспечения измерениями пусков перспективных МБР недостаточно. Такой способ сбора не позволяет использовать весь спектр имеющихся современных приемно-регистрирующих средств находящихся на измерительных пунктах и средств системы спутниковой связи.

Основной недостаток системы сбора ТМИ на УАПК вытекает из основного преимущества данной системы – сбора полных потоков ТМИ со всех приемно-регистрирующих средств. В каналах передачи данной системы сбора циркулируют одинаковые полные потоки ТМИ от разных приемно-регистрирующих средств. Так при обеспечении измерениями испытаний РКН

Ангара А5 суммарный трафик ТМИ передаваемый в системе составлял около 62 Мбит/с. При этом в составе системы отсутствуют средства контроля передаваемого трафика и работы активного сетевого оборудования [1].

Применение различных видов комплексов, влечет за собой усложнение проведения подготовки исходных данных к обеспечению измерениями в зависимости от типа пускаемого изделия. В одном случае (при пусках РСН) это создание репортажного потока, с введением конкретного адреса и частоты его опроса, создание формуляров отображения и организация визуализации работы параметров, а во втором (при пусках РКН) это создание общей и рабочей баз декоммутации, и введение всех необходимых тарифовочных и уточняющих характеристик [2].

Принято разделять обработку ТМИ по разным типам:

1. По времени:

- обработка в реальном масштабе времени;
- послеполетная обработка.

2. По типу обработки:

- оперативная обработка;
- полная обработка.

3. По типу обрабатываемых параметров:

- обработка медленноменяющихся параметров;
- обработка быстроменяющихся параметров;
- обработка цифровой информации;
- обработка внешне траекторных и навигационных параметров.

Наиболее ответственной составляющей является подготовка к проведению репортажа, так как, в отличие от других составляющих, обеспечение репортажа и непосредственное его ведение является быстротечным процессом и все внезапно возникающие задачи должны решаться максимально оперативно. Поэтому на данном этапе при подготовке исходных данных необходимо учитывать все возможные факторы, которые могут повлечь снижение качества или невозможность ведения репортажа.

Постановка задачи по обеспечению измерениями перспективных образцов РКТ является толчком для усовершенствования, модернизации и, возможно, перевооружения комплексов сбора и обработки ТМИ. Постоянно возрастающие требования к обработке ТМИ ведут к двум основным направлениям возможного перспективного развития:

- развитие системы сбора ТМИ как улучшение характеристик используемых каналов передачи данных;

- развитие специального программного математического обеспечения, которое будет необходимо для обработки и анализа ТМИ при обеспечении измерениями пусков перспективных образцов РКН (РСН).

Развитие каналов связи измерительного комплекса космодрома, в первую очередь необходимо для повышения их надежности и пропускной способности. Поддержание свойств надежности локальной вычислительной сети (ЛВС) на необходимом уровне основывается в первую очередь, в постоянном поддержании ее в рабочем состоянии. Одним из наиболее важных свойств, способных обеспечить безотказную работу оборудования ЛВС является ее эксплуатация в рамках наиболее усредненных тактико-технических характеристик без выхода на максимальные мощности. Это существенно снизит количество рисков отказов. Поэтому первоочередной задачей развития телекоммуникационной вычислительной сети измерительного комплекса является замена участков радиорелейной связи на более надежные и с большей пропускной способностью волоконно-оптические линии связи.

Эксплуатируемое в рамках ЛВС измерительного комплекса космодрома оборудование в данный момент расширяется за счет появления интегрированной системы информационного обмена, которая распространяется на все измерительные пункты. В случае использования наземных приемо-региструющих станций по всей трассе полета РКН (РСН), передача ТМИ в РМВ на УАПК ТМИ, выдача информации потребителям, сбор и экспресс обработка ТМИ в РМВ будет осуществляться с наименьшим количеством потерь достоверности. Это увеличит надежность обеспечения измерениями пусков изделий и контроль полета не только пристартовыми измерительными средствами, но и измерительными пунктами всей территории РФ [4].

Кроме того, эксплуатируемое в рамках линий передачи телеметрической информации измерительного комплекса космодрома оборудование в данный момент расширяется за счет появления интегрированной системы информационного обмена, которая физически распространяется на все узлы системы спутниковой связи «Приморка». В случае использования наземных приемо-региструющих станций на всей трассе полета РКН (РСН), передачи данного сигнала в реальном масштабе времени на УАПК ТМИ, выдача данного сигнала потребителям, сбор и экспресс обработка ТМИ в реальном масштабе времени будет осуществляться с наименьшим количеством потерь достоверности. Это увеличит надежность обеспечения измерениями пусков изделий и контроль полета не только пристартовыми измерительными средствами, но и измерительными пунктами всей территории РФ.

Программное обеспечение как неотъемлемая часть измерений пусков РКН (РСН) не должна, а обязана быть постоянно совершенствующейся и адаптирующей к любым типам обработки ТМИ.

Если говорить о ближайших перспективах, то улучшение программного обеспечения, ввиду использования таких трафикозатратных типов бортовых систем, как «ОРБИТА-4МО» для обеспечения измерениями пусков РКН, дает возможность адаптации и принятия единого программного продукта для проведения обработки и анализа ТМИ как РКН так и РСН. Взаимная адаптация данных продуктов снизит количество эксплуатируемого оборудования что незамедлительно ведет к снижению финансовых и трудовых затрат по эксплуатации комплексов.

Кроме того в конце 2016 года на космодроме были проведены первые испытательные пуски новейших ракет стратегического назначения, таких как Ю75, Ж80, Ж58. Проведение этих пусков позволило сделать соответствующие выводы, как об эксплуатируемом программном обеспечении, которое модернизировалось и отлаживалось прямо в ходе подготовки к проведению измерений, так и о появлении совершенно нового узла в системе сбора и обработки ТМИ. Используемая аппаратура закрытия информации показала как преимущества своей работы, так и недостатки. А это означает что полная отладка программного обеспечения, которое понадобится в дальнейшей работе для обеспечения измерениями еще только начинает проводиться совместным расчетом из числа разработчиков оборудования закрытия информации, разработчиков испытываемых изделий и боевым расчетом, непосредственно эксплуатирующим данные программные продукты.

В заключение необходимо отметить, что перспективы развития измерительного комплекса космодрома взаимосвязаны с перспективами развития ракетно-космической техники, испытываемой на космодроме «Плесецк», а в некоторых аспектах даже шире, чем проведение измерений пусков РСН и РКН. Появление и развитие системы спутниковой связи «Приморка» позволяет решать задачу получения ТМИ с измерительных пунктов, расположенных на всей территории РФ, с последующей ее обработкой и анализом боевым расчетом в режиме реального времени.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Технический проект КРК «Ангара», дополнение № 1, ПЗ, Измерительный комплекс, 1А-0000-0 ПЗ.14-1 ч.15, НИИ КС, 2003 г.
2. Комплекс средств измерений, сбора и обработки информации РКН «Ангара А-5», ИВЯФ.461711.005.
3. Система 14Ц630. Общее описание системы, АС.КТМЯ.461212.009.ПД.
4. Станция МПРС. Руководство по эксплуатации Часть 1, ЯГАИ.464349.015 - 01 РЭ.

Предложение по использованию шины I2C для сбора телеметрической информации изделия

Зыков А.А.

Космодром «Плесецк»

Динамика привлечения технологий, опирающихся на применение космических аппаратов, в различных отраслях экономики и жизни общества свидетельствует о грядущем увеличении присутствия мировых держав в космическом пространстве. Развитие космической отрасли неразрывно связано с повышением сложности объектов ракетно-космической техники и, как следствие, объемов информации о самих объектах и динамики их функционирования. Так, при испытаниях ракеты-носителя (РН) «Ангара» в сравнении с ракетой «Союз-2», потребовалось десятикратно и более увеличить количество анализируемых параметров, что в свою очередь повлекло усложнение системы телеизмерений.

Для решения задачи по сбору и передаче возросшего количества телеизмерений было применено динамическое разделение перечня передаваемых параметров $\mathcal{R}$ по программам сбора. Каждая программа сбора представляет собой подмножество $R_i \subset \mathcal{R}$ телеметрируемых параметров передаваемых в период действия программы T_i . Таким образом, число регистрируемых параметров в конкретный промежуток времени было уменьшено, что позволило оставить неизменной ширину радиоканала. Оставшееся подмножество параметров $\overline{R_i}: \overline{R_i} \subset \mathcal{R}, \overline{R_i} \cup R_i = \mathcal{R}$ не телеметрируется (не опрашивается и не транслируется в радиоканал), и, как следствие, не может быть применено для определения состояния агрегатов и систем контролируемого объекта как прямо, так и косвенно. Стоит отметить, что выполнялось следующее неравенство: $\overline{R_i} < R_i$, позволяющее предположить о минимизации семантических потерь.

В противовес указанному случаю, на ракете «Союз-2», до недавнего времени, применялась статическая программа сбора информации от датчиковой аппаратуры. В данном случае множество $R_1 = \mathcal{R}$ не меняется в процессе полета изделия. Такой подход не исключает потери семантической значимости телеметрического потока по причине упущенных возможностей: на каждом из характерных участков полета (участок работы каждой ступени, моменты отделения пассивных масс) требуется свой определенный набор параметров для оценки штатности функционирования объекта. При начале очередного участка полета (после окончания переходного процесса) часть телеметрических параметров переходит в статичную фазу существования и, зачастую, более не пригодна для анализа и получения информации об изделии. Ввиду статичности программы сбора, в описанном случае отсутствует возможность

перераспределения пропускной способности канала связи для повышения эффективности бортовой телеметрической системы.

Особенности нештатных пусков последних трех лет оправдывают актуальность исследований в направлении увеличения эффективности телеметрических систем в области повышения достоверности выводов о причинах возникновения нештатных ситуаций на борту РН. Рассмотренные случаи приняты как диаметрально противоположные в условиях сохранения ширины полосы радиоканала. Решение целесообразно искать в динамически изменяющейся программе телеизмерений и средствах реализации процесса гибкого опроса телеметрических параметров.

К рассмотрению предложена обобщенная структурная схема бортовых телеметрических систем ракет семейства «Союз-2» и «Ангара» (рисунок 1). Основные различия бортовых телеметрических систем данных РН в рамках данной статьи не рассматриваются.

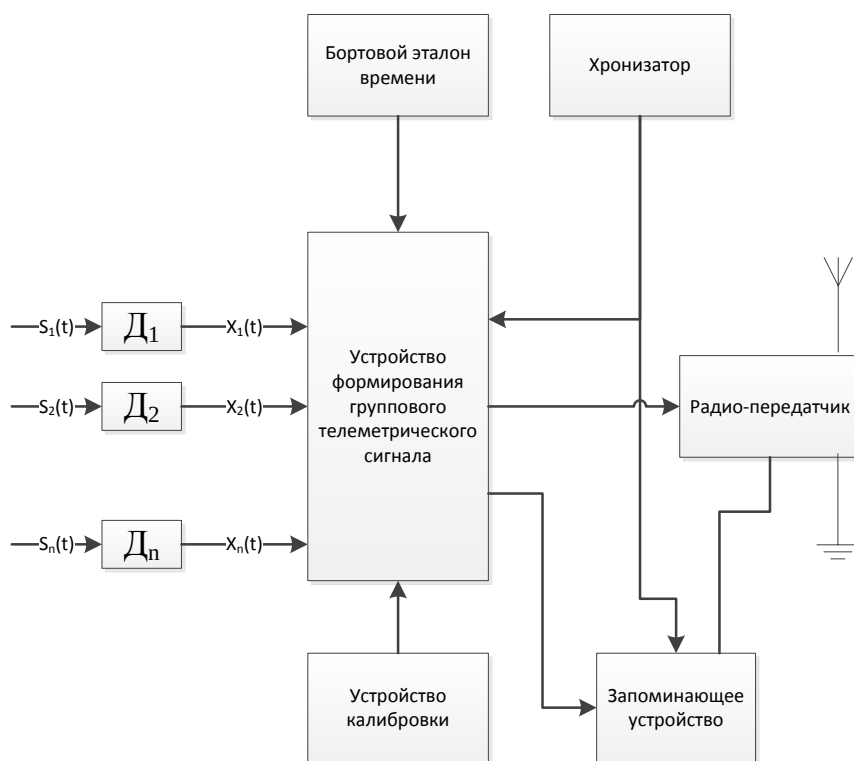


Рисунок 1. Структурная схема бортовой телеметрической системы

Телеметрируемые параметры $S_j(t)$ при помощи преобразователей (датчиков) D переводятся в первичные электрические сигналы и, при необходимости, корректируются согласующими устройствами. Далее зарегистрированные величины $X_j(t)$ объединяются в групповой телеметрический сигнал, который направляется в радиоканал через передатчик [1]. Часть данной схемы, включающая датчиковую аппаратуру и устройство формирования группового телеметрического сигнала, может быть топологически представлена как звезда, в центре которой находится основной коммутатор, а в вершинах датчики или другие

коммутаторы нижнего уровня. Опрос вершин звезды любого коммутатора происходит в строгой последовательности, заданной программой сбора, вне зависимости от происходящих на борту процессов и текущего этапа выведения полезной нагрузки. Изменение программы сбора возможно исключительно в рамках заданной топологии – например, невозможно уменьшить, увеличить частоту или изменить последовательность опроса тех или иных параметров, увеличив тем самым семантическую ценность получаемой информации.

Решение вопроса о повышении гибкости бортовых телеметрических систем следует искать в изменении топологии самой системы и применении принципов автоматизации и самоорганизации. Перспективным направлением выступает применение шинной топологии и стандарта I²C в совокупности с микроконтроллерной регуляцией.

Шина I²C представляет собой концепцию, которая решает многие проблемы интерфейса, с которыми сталкиваются инженеры при проектировании различной аппаратуры [2], и имеет следующие достоинства:

- только две линии - последовательная линия данных (SDA) и последовательная линия синхронизации (SCL);
- каждый элемент, соединенный с шиной является программно-адресуемым своим уникальным адресом, при этом отношения между ними выстраиваются как по простому принципу master/slave, так и в виде multi-master системы;
- это настоящая шина, с возможностью работы в multi-master среде, включая проверку на пересечение и арбитраж;
- последовательная, 8-разрядная двунаправленная передача данных проводится со скоростью до 100 kbit/s в стандартном режиме или до 400 kbit/s в быстром режиме;
- фильтрация сигналов внутри микросхем обеспечивает нечувствительность к выбросам на линии шины данных;
- число устройств, которые могут быть соединены одной шиной, ограничено только максимальной емкостью шины 400 pF;
- высокая помехоустойчивость;
- простота подключения устройств за счет 4-контактного соединителя (две линии питания и две информационных линии);
- широкий диапазон питающих напряжений.

На основе данного предложения возможно создать телеметрическую систему, способную динамически изменять программу сбора информации от датчиковой аппаратуры: исключать или уменьшать частоту опроса параметров, семантическая значимость которых уменьшилась или еще не увеличилась до определенного уровня, высвобождая таким образом

ресурсы для более значимых параметров. Применение универсальных и специализированных вычислителей микроконтроллеров позволит сжимать информацию в режиме реального времени. Использование единой информационной шины позволит уменьшить общую длину кабельных линий, повысив энергоэффективность изделия.

Предлагаемая система имеет топологию звезды-шины, где центром звезды выступает микроконтроллер верхнего уровня, а вершинами – микроконтроллеры направлений (рисунок 2).

Телеметрируемые параметры $S_j(t)$, $W_j(t)$ и $Q_j(t)$ могут быть разделены на группы по своим свойствам или расположению на конструкции изделия. Датчики $D_{j,k}$ для каждого направления подключаются к единой шине данных и питаются от единой шины питания. Микроконтроллеры каждого направления в соответствии с сигналами микроконтроллера верхнего уровня осуществляют опрос датчиков, которые выдают преобразованные в двоичный код $X_{j,k}(t)$ значения параметров. Полученная таким образом информация накапливается в буфере микроконтроллера верхнего уровня и отправляется в радиопередатчик или в запоминающее устройство.

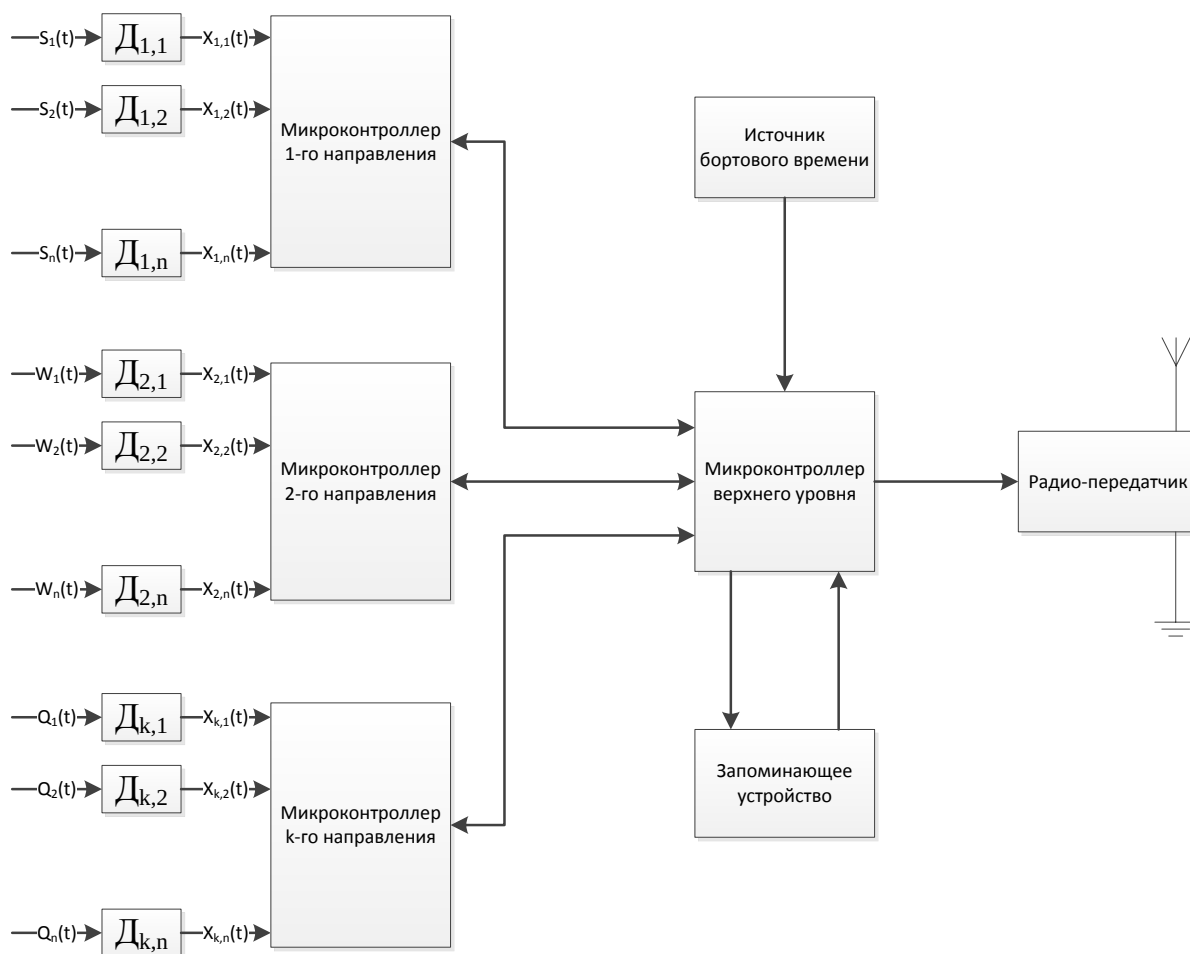


Рисунок 2. Структурная схема альтернативной бортовой телеметрической системы

Все микроконтроллеры направлений, источник бортового времени и запоминающее устройство располагаются на общей информационной шине, где микроконтроллер верхнего уровня работает в режиме «master» и управляет потоками информации, корректирует программу сбора и формирует групповой телеметрический сигнал.

Данный подход позволяет динамически подстраивать телеметрическую систему под процессы, происходящие на борту изделия.

Список литературы:

1. Современная телеметрия в теории и на практике. Учебный курс. – СПб.: Наука и Техника, 2007 – 672с.
2. Краткий обзор интерфейса I²C. – М.: Микро-Чип, 2001 – 7с.

**Локализация источников виброн нагружений конструкции ракетно-космической техники
методом наименьших квадратов**

Р. В. Милехин

Космодром «Плесецк»

E-mail: milekhin@inbox.ru

Вопросы измерений быстроменяющихся параметров (БМП) сложных объектов или систем, обработки полученной информации и ее анализ имеют важнейшее значение при проектировании, конструировании и эксплуатации различных узлов, агрегатов, сложных динамических систем. Виброизмерения в ряде случаев является единственным источником информации о состоянии испытуемого объекта в различные моменты времени.

При возникновении нештатных ситуаций, выявлении причины аварии центральной задачей является локализация места и времени возникновения аварийного процесса.

Представим, что есть некая пространственная модель летательного аппарата, например, ракеты космического назначения (РКН), привязанная к координатному пространству (X, Y, Z). На конструкции этой РКН размещены различные датчики как ММП, так и БМП. В нашем случае нас интересуют только вибродатчики (БМП). Размещение вибродатчиков, которые формируют измерительную сеть, предусмотрено заводом-изготовителем и описано в соответствующей эксплуатационно-технической документации (ЭТД). Каждый датчик D_i , измеряющий определенный параметр, привязан к указанному выше координатному пространству, и имеет свои координаты (x_i, y_i, z_i). Кроме того, каждый датчик имеет определенные характеристики, такие как измеряемый амплитудный диапазон (g_i), измеряемый частотный диапазон (f_i), и ориентацию плоскости измерения (по осям X, Y, Z или R). Таким образом, измерительное поле можно упорядочить с помощью таблицы 1 характеристик вибродатчиков.

Пусть известны начальные моменты регистрации T_i ($i = 1, \dots, n$) вибродатчиками D_i виброакустических колебаний от возникшего источника с координатами (x, y, z), а (x_i, y_i, z_i) – координаты i -го датчика.

Таблица 1

Порядковый номер датчика	Название измеряемого параметра	Измеряемый амплитудный диапазон	Измеряемый частотный диапазон	Координаты датчика	Ориентация плоскости измерения
D_1	$par\ 1$	g_1	f_1	x_1, y_1, z_1	$or\ 1$
D_2	$par\ 2$	g_2	f_2	x_2, y_2, z_2	$or\ 2$
...	...	...	...	...	...
D_k	$par\ k$	g_k	f_k	x_k, y_k, z_k	$or\ k$
...	...	...	...	...	...
D_m	$par\ m$	g_m	f_m	x_m, y_m, z_m	$or\ m$

Задачей локализации виброакустических источников является определение координат этих источников на пространственной модели ЛА, удовлетворяющие условию:

$$\tau_i(x, y, z) = T_i - t \quad (i = 1, 2, \dots, n), \quad (1)$$

где t – время возникновения вибронагружения; x, y, z – его координаты; T_i – время прихода сигнала на i -й датчик; $\tau_i(x, y, z)$ – теоретическое (вычисляемое) время прохождения колебания от источника до i -го датчика, а число датчиков n больше или равно числу неизвестных ($n \geq 4$).

Для определения координат источника вибронагружения и времени его возникновения предлагается использовать нелинейный итерационный методом МНК, который уже давно и успешно применяется в сейсмологии, астрономии и геодезии [1, 2]. Принцип МНК для данной задачи, как известно [1], состоит в том, что ищутся неизвестные параметры t, x, y, z , удовлетворяющие условным уравнениям (1).

Поскольку правые части выражения (1) содержат случайные ошибки измерений, система (1) несовместна, т.е. не существует таких t, x, y, z , которые бы удовлетворяли одновременно всем уравнениям системы. Это означает, что подстановка в уравнение (1) любых значений неизвестных t^*, x^*, y^*, z^* , даст

$$\tau_i(x^*, y^*, z^*) - T_i + t = \delta_i \neq 0 \quad (i = 1, 2, \dots, n). \quad (2)$$

Решение системы (2) находится путем минимизации суммы квадратов δ_i (МНК). Вероятностный смысл этого принципа состоит в том, что так найденное решение наиболее вероятно. Большинство программ, решающих подобную задачу в сейсмологии основаны на методе МНК [2].

Ниже кратко изложим нелинейный итерационный метод МНК. Составим сумму квадратов невязок:

$$F = \sum_{i=1}^n (\tau_i(x, y, z) - T_i + t)^2 \quad (3)$$

Необходимые условия минимума этой суммы дадут так называемые нормальные уравнения

$$\frac{\partial F}{\partial t} = 0, \quad \frac{\partial F}{\partial x} = 0, \quad \frac{\partial F}{\partial y} = 0, \quad \frac{\partial F}{\partial z} = 0. \quad (4)$$

Поскольку функции τ_i нелинейно зависят от своих аргументов, нормальные уравнения являются нелинейными. Таким образом, задача сводится к решению системы четырех уравнений относительно t, x, y, z . В нелинейном итерационном методе для того, чтобы избежать решения нелинейной системы (4), поступают следующим образом.

Пусть t_0, x_0, y_0, z_0 – каким-либо способом найденное приближенное решение (2), которое назовем 0-м приближением к точному решению, а $\delta t, \delta x, \delta y, \delta z$ – поправки к этому приближенному решению до точного. Разложив в уравнении (2) функции $\tau_i + t$ в окрестности точки t_0, x_0, y_0, z_0 – в ряды по степеням $\delta t, \delta x, \delta y, \delta z$ и ограничившись в разложениях 1-ми степенями этих поправок, получим линейные уравнения

$$\tau_i(x_0, y_0, z_0) - T_i + t_0 + \left(\frac{\partial \tau_i}{\partial x} \right)_0 \delta x + \left(\frac{\partial \tau_i}{\partial y} \right)_0 \delta y + \left(\frac{\partial \tau_i}{\partial z} \right)_0 \delta z = \bar{\delta}, (i = 1, 2, \dots, n), \quad (5)$$

где 0 у производных означает, что они берутся в точке t_0, x_0, y_0, z_0 . Теперь роль функционала F будет играть

$$\bar{F} = \sum_{i=1}^n \left[\delta + \left(\frac{\partial \tau_i}{\partial x} \right)_0 \delta x + \left(\frac{\partial \tau_i}{\partial y} \right)_0 \delta y + \left(\frac{\partial \tau_i}{\partial z} \right)_0 \delta z + \tau_i(x_0, y_0, z_0) - T_i + t_0 \right]^2. \quad (6)$$

И система нормальных уравнений (4)

$$\frac{\partial \bar{F}}{\partial t} = 0, \quad \frac{\partial \bar{F}}{\partial x} = 0, \quad \frac{\partial \bar{F}}{\partial y} = 0, \quad \frac{\partial \bar{F}}{\partial z} = 0.$$

будет уже линейной. Выпишем ее подробнее:

$$n\delta t + \left(\sum_{i=1}^n \frac{\partial \tau_i}{\partial x} \right) \delta x + \left(\sum_{i=1}^n \frac{\partial \tau_i}{\partial y} \right) \delta y + \left(\sum_{i=1}^n \frac{\partial \tau_i}{\partial z} \right) \delta z + \sum_{i=1}^n (\tau_i - T_i + t_0) = 0;$$

$$\left(\sum_{i=1}^n \frac{\partial \tau_i}{\partial x} \right) \delta t + \left(\sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial \tau_i}{\partial x} \right)^2 \right) \delta x + \left(\sum_{i=1}^n \frac{\partial \tau_i}{\partial y} \frac{\partial \tau_i}{\partial x} \right) \delta y + \left(\sum_{i=1}^n \frac{\partial \tau_i}{\partial z} \frac{\partial \tau_i}{\partial x} \right) \delta z + \sum_{i=1}^n (\tau_i - T_i + t_0) \frac{\partial \tau_i}{\partial x} = 0;$$

$$\left(\sum_{i=1}^n \frac{\partial \tau_i}{\partial y} \right) \delta t + \left(\sum_{i=1}^n \frac{\partial \tau_i}{\partial x} \frac{\partial \tau_i}{\partial y} \right) \delta x + \left(\sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial \tau_i}{\partial y} \right)^2 \right) \delta y + \left(\sum_{i=1}^n \frac{\partial \tau_i}{\partial z} \frac{\partial \tau_i}{\partial y} \right) \delta z + \sum_{i=1}^n (\tau_i - T_i + t_0) \frac{\partial \tau_i}{\partial y} = 0;$$

$$\left(\sum_{i=1}^n \frac{\partial \tau_i}{\partial z} \right) \delta t + \left(\sum_{i=1}^n \frac{\partial \tau_i}{\partial x} \frac{\partial \tau_i}{\partial z} \right) \delta x + \left(\sum_{i=1}^n \frac{\partial \tau_i}{\partial y} \frac{\partial \tau_i}{\partial z} \right) \delta y + \left(\sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial \tau_i}{\partial z} \right)^2 \right) \delta z + \sum_{i=1}^n (\tau_i - T_i + t_0) \frac{\partial \tau_i}{\partial z} = 0. \quad (7)$$

Система (7) является системой четырех линейных уравнений относительно четырех неизвестных δt , δx , δy , δz и имеет единственное решение при отличном от 0 определителе матрицы системы. Ее решение может быть получено одним из известных численных методов, например методом исключения Гаусса, ортогонализации и др. Найдя поправки δt_0 , δx_0 , δy_0 , δz_0 , вычислим значения неизвестных (первое приближение):

$$t_1 = t_0 + \delta t_0, \quad x_1 = x_0 + \delta x_0, \quad y_1 = y_0 + \delta y_0, \quad z_1 = z_0 + \delta z_0. \quad (8)$$

Затем повторим процесс, но уже для первого приближения. Вновь вычислим коэффициенты системы (7), но в точке t_1 , x_1 , y_1 , z_1 и вычислим новые значения неизвестных (второе приближение)

$$t_2 = t_1 + \delta t_1, \quad x_2 = x_1 + \delta x_1, \quad y_2 = y_1 + \delta y_1, \quad z_2 = z_1 + \delta z_1. \quad (9)$$

Этот итерационный процесс продолжается до тех пор, пока 2 последовательных приближения не совпадут с заданной точностью.

В ходе решения задачи локализации предстоит решить ряд сопутствующих задач, а именно:

1. По данным ЭТД составить пространственную модель летательного аппарата;
2. Для проведения расчетов времен вступления различных вынужденных колебаний построить модель скоростного строения конструкции летательного аппарата.

Итогом проводимых исследований является разработка:

1. Алгоритма расчета основных параметров источника виброкалебания – его пространственных координат и времени возникновения;
2. Методики пространственно-временной обработки быстроменяющихся параметров ракет космического и стратегического назначения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Щиголев Б.М. Математическая обработка наблюдений. М.:Физматгиз, 1962. 344 с.;
2. Кондорская Н. В., Костров Б.В. Алгоритмы и практика определения параметров гипоцентров землетрясений на ЭВМ. М.: Наука, 1983. 158 с.

Предложение по совершенствованию сетевой безопасности комплекса средств измерения сбора и обработки телеметрической информации

Б.В.Неснов

Космодром «Плесецк»

E-mail: camelot163@mail.ru

Современный мир невозможно представить без космических технологий, которые стали частью повседневной жизни. Наряду с растущей потребностью человечества в освоении космического пространства, растет потребность в средствах доставки космических аппаратов. Происходит внедрение новых ракетно-космических комплексов (РКК), совершенствование уже существующих. РКК является сложной, многогранной структурой, охватывающей весь процесс подготовки, запуска, сопровождения ракетоносителя, и включает в себя большое количество подструктур.

Комплекс средств измерений, сбора и обработки информации (КСИСО) является неотъемлемой частью РКК. Он предназначен для обеспечения контроля полета ракеты космического назначения (РКН) на участке выведения, а также обработки поступающей информации. Основными функциями КСИСО являются: сбор ТМИ, в том числе в реальном масштабе времени, с трассовых измерительных пунктов, автоматизированная обработка ТМИ в реальном масштабе времени и отображение оперативных параметров во время пуска и полёта РКН для контроля работы бортовых систем и в целях ведения репортажа, контроль в реальном масштабе времени траектории полёта РКН по результатам оперативной обработки информации аппаратуры спутниковой навигации, передаваемой в кадре ТМИ, передача ТМИ, в том числе в реальном масштабе времени, предприятиям-разработчикам РКН и другим заинтересованным организациям. Распределенность структур, входящих в КСИСО и взаимодействующих с ним, дает возможность отнести комплекс к сетевым системам требующим постоянного контроля безопасности доступа к сетевым и телекоммуникационным ресурсам.

К особенностям сетевых систем можно отнести то, что, наряду с обычными (локальными) атаками, осуществляемыми в пределах одной компьютерной сети, к ним применим специфический вид атак, обусловленный распределенностью ресурсов и информации в пространстве. Это так называемые сетевые (удалённые) атаки (remote или network attacks). Они характеризуются, во-первых, тем, что злоумышленник может находиться за тысячи километров от атакуемого объекта, и, во-вторых, тем, что нападению может подвергаться не конкретный компьютер, а информация, передающаяся по сетевым

соединениям. С развитием локальных и глобальных сетей именно удалённые атаки становятся лидирующими как по количеству попыток, так и по успешности их применения и, соответственно, обеспечение безопасности ЛВС с точки зрения противостояния удалённым атакам приобретает первостепенное значение.

Одним из направлений повышения безопасности сети и защищенности данных, находящихся в ней является анализ использования портов приложениями. При аудите безопасности операционной системы, а так же аттестации и сертификации информационных систем, широко используются системы анализа защищенности (сетевые сканеры уязвимостей (vulnerability scanner)) позволяющие проводить инвентаризацию сети и идентификацию уязвимостей. Анализ предложенных на рынке программных продуктов выявил отсутствие подходящих мобильных программных продуктов, способных оперативно сканировать удаленные узлы. Большинство представленных приложений, разработанных для операционных систем и предназначенных для сканирования сети, являются мощными инструментальными средствами, требующими большого объема вычислительных ресурсов, а также временных затрат на установку и настройку. В свете всего вышеперечисленного создание мобильной программы, для сканирования удаленных узлов на открытые порты и определение служб, которые прослушивают их, является целесообразным. Программа должна позволять выявить «нежелательное присутствие» в кратчайшие сроки, чтобы своевременно принять меры по предотвращению утечки информации, что в значительной степени повысит защищенность системы.

Решить указанную задачу предлагается внедрением специального программного комплекса «L.N.S» (LocalNetworkScan), в полной мере обеспечивающую решение задачи по контролю над использованием портов на основе постоянного сканирования и определения состояния основных сетевых ресурсов. Малый размер занимаемого дискового пространства и высокое быстродействие дают значительный выигрыш программе, если необходима мобильность. Программу «L.N.S» можно легко запустить с дискеты или флеш-карты. Для её работы не требуется установки, так как она представляет собой уже скомпилированный бинарный файл. Результаты сравнения с существующим сканером NMAP(свободная утилита, предназначенная для разнообразного настраиваемого сканирования IP(InternetProtocol)- сетей с любым количеством объектов, определения состояния объектов сканируемой сети(портов и соответствующим им служб)), который является одним из самых мощных сетевых сканеров, показали что L.N.S. имеет высокие показатели быстродействия, что подтверждают диаграммы, приведенные на рисунке 1.

Удобство использования играет также немаловажную роль. К примеру, если необходимо просканировать сеть с машины, на которой NMAP не установлен, то это

становиться проблематично, так как придется устанавливать дополнительные утилиты и прочее, хотя данное не всегда является доступным. Как следствие преимущество не требующего предустановки и настройки «L.N.S.» очевидно.

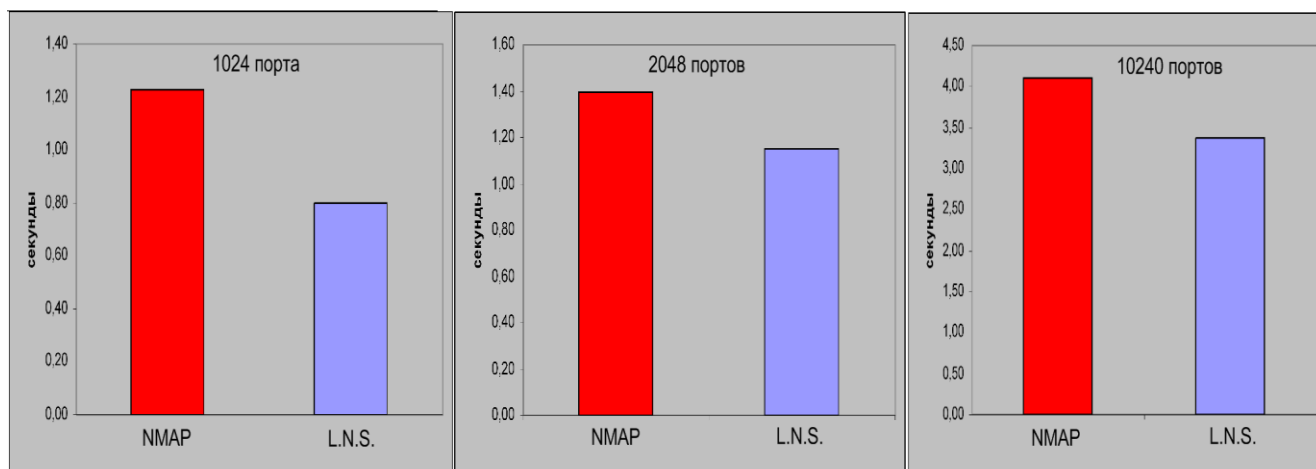


Рисунок 1 - Сравнение скорости сканирования портов у NMAP и L.N.S.

Программа L.N.S. представляет собой сетевую утилиту для сканирования компьютеров локальной сети на наличие открытых портов и sniffер (от англ. to sniff — нюхать) — сетевой анализатор трафика, программа или программно-аппаратное устройство, предназначенное для перехвата и последующего анализа, либо только анализа сетевого трафика, предназначенного для других узлов) активного режима. Особенностью данной утилиты является то, что при сканировании предоставляется возможность сканирования не только определенного порта на определенном компьютере сети, а выставление диапазона адресов компьютеров и диапазона портов на них.

При написании программы были использованы библиотеки для формирования IP-заголовков и формирования RAW-сокетов `netinet/ip.h`; `netinet/tcp.h`; `arpa/inet.h`; `sys/socket.h`. Алгоритм L.N.S. предусматривает систему получения справки по пользованию программой с целью предостеречь пользователя от ошибок ввода данных.

Актуальность данной программы заключается в её быстрой работе и компактности. Будет удобна в использовании системным администраторам, так как обладает всеми коммуникабельными свойствами, а также весьма полезна обычным пользователям персональных компьютеров, так как крайне проста в использовании и имеет справку.

К проблемам и недостаткам настоящей версии программы можно отнести поддержку только активного режима сканирования, недостатком которого является отсутствие возможности корректного сканирования заблокированных портов фаерволом, установленным на машине. Как следствие существует необходимость добавить возможность пассивного режима

сканирования. При данном режиме не удастся узнать имя службы, слушающей данный порт, но зато состояние портов узнать можно будет. Так же будет полезным включить возможность подключения по SSH (SecureShell) и Telnet (TELecommunicationNETwork) протоколам и последующей работы с ними, а также возможность выбора задания SYN-, FIN-, X-mas-, Null-, АСК-сканирования и добавление многопоточного сканирования. Однако необходимо отметить, что тестирование данного программного продукта показало, что данные недостатки не оказывают значительного влияния на исследуемые параметры, а их устранение позволит значительно расширить его возможности.

В заключении хотелось бы отметить, что проблема сетевой безопасности становится очень острой, постоянное развитие компьютерных вычислительных сетей требует всё более мощные, быстрые и функциональные средства защиты. Разработка новых методов сканирования вычислительных компьютерных сетей является важным аспектом построения защиты современных сетей. Таким образом, разработка подобных инструментальных средств и их внедрение является важной аспектом деятельности в сфере безопасности локальных сетей при выполнении задач по предназначению.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Е.Л.Романов, Практикум программирования на C++.–СПб: БХВ-Петербург, 2004.
2. И.Скляр, Программирование боевого софта под LINUX.–СПб: БХВ-Петербург, 2007
3. У.Р.Стивенс, Б.Феннер, Э.М.Рудофф, UNIX разработка сетевых приложений, 3-е издание. -СПб.: Питер, 2007.
4. Шон Уолтон, Создание сетевых приложений в среде Linux. Руководство разработчика. Вильямс, 2001.

Метод построения структуры сложных технических систем

Д.М. Хетчиков, к.т.н., В.А. Пирухин, Л.В. Пилипенко

Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского

E-mail: vka@mail.ru

В докладе представлен вариант решения прикладной задачи формирования и выбора структуры сложной технической системы (СТС), являющейся составной частью процесса структурно-параметрического синтеза при создании СТС. Новизной разработанного метода является использование логико-комбинаторного подхода, в основе которого лежит использование особенных скобочно-нормальных форм булевых функций и контекстно-свободных плекс-грамматик, что позволяет существенно снизить размерность решаемой задачи.

Перспективным направлением решения задачи создания сложных технических систем (СТС), к которым можно отнести космические аппараты, ракеты-носители и другие летательные аппараты (ЛА), является применение методов структурно-параметрического синтеза при наличии ряда ограничений и необходимости решения оптимизационных задач. Методологически разработку СТС и ее элементов можно рассматривать как последовательное решение двух задач [2]:

Задача 1. Формирование и выбор структуры СТС и ее составных частей, то есть решение задачи структурного синтеза.

Задача 2. Выбор числовых значений параметров элементов данной структуры необходимых для формирования требований к элементам СТС, то есть решение задачи параметрического синтеза.

При этом процесс разработки должен обеспечивать возможность итерации циклов исследования. Решение перечисленных задач должно осуществляться на основе системного подхода [1].

Сущность этапов решения задачи построения СТС заключается в следующем:

Этап 1. $\{\{S_j\}, \Phi_1\} \rightarrow S_1$. Формирование множества допустимых вариантов построения СТС (S_1) осуществляется из множества элементов S с использованием процедуры выбора Φ_1 по критерию стоимости:

$$S_1 = \{S_j^0 \mid C(S_j^0) \leq C_{\text{зад}}\}, S_j^0 \in S, j = \overline{1, J}, \quad (1)$$

где, S_j^0 – допустимый j – й вариант построения СТС,

$C(S_j^0)$ – стоимость создания S_j^0 – го варианта построения СТС;

$C_{\text{зад}}$ – лимитная стоимость создания СТС.

Решение задачи структурного синтеза СТС предполагает наличие на начальном этапе исследований множества альтернативных вариантов ее построения. Результаты исследований показывают, что такое множество вариантов (S) целесообразно сформировать в результате решения комбинаторной задачи для исследуемого типа ЛА и уровней построения, для которых проводится разработка СТС с учетом ряда ограничений.

Сформированные варианты построения СТС представляются в виде множества:

$S = \{S_j\}$, $j = \overline{1, J}$, где $S_j : \{ \bigcup_{l=1}^{L_j} M_{lj}, \{X_j\}, F \}$ – j -й вариант множества альтернативных вариантов построения структуры СТС;

$M_j = \bigcup_{l=1}^{L_j} \{M_{lj}\}$ – множество элементов СТС в j -ом варианте его построения;

$\{X\}$ – множество функциональных связей элементов в j -м варианте СТС;

(F) – целевые задачи;

L_j – элементы СТС.

При этом, как показывают проведенные исследования, состав j -го варианта построения системы $M_j = \bigcup_{l=1}^{L_j} \{M_{lj}\}$ фактически определяется типами элементов СТС, из которых она создается. Функциональные связи между ее элементами $\{X\}$ определяются задачами, решаемыми данной системой (F) .

Отличительной особенностью данной задачи, является то, что множество альтернативных вариантов формируется в результате решения комбинаторной задачи для исследуемых типов элементов и уровней построения с учетом возможностей их совместного применения на данном ЛА. Для описания множества альтернативных вариантов структур СТС используется общий логико-комбинаторный подход, в основе которого лежит использование особенных скобочных нормальных форм булевых функций и контекстно-свободных плекс-грамматик, что также является новым в процессе синтеза сложных систем. Представление множества вариантов, построения средств искажения в виде особенных скобочных нормальных форм позволяет снизить размерность данного множества, представленного в виде альтернативного «И-ИЛИ-графа», элементами которого будут различные типы указанных средств.

Селекция элементов множества альтернативных вариантов построения СТС S осуществляется по результатам оценки экономической эффективности применения системы, проводимой с применением методики оценки экономической эффективности [3], и в

соответствии с выбранным критерием предпочтения и процедурой выбора Φ_1 . В результате применения данной процедуры из множества альтернативных вариантов $S = \{S_j\}, j = \overline{1, J}$ формируется множество допустимых вариантов структур СТС $S_I = \{S_j^0\}$, удовлетворяющих требованию по затратам на их создание.

Научная новизна этапа формирования допустимых вариантов структур СТС заключается в том, что формирование множества осуществляется с использованием метода последовательного конструирования, анализа и отбора вариантов с учетом результатов экономических оценок альтернативных вариантов. При формировании множества допустимых вариантов построения СТС методический аппарат позволяет учесть в качестве значимых факторов, влияющих на дополнительные затраты при создании системы, конструктивное исполнение элементов, используемую элементную базу и достигнутый уровень унификации элементов и их составных частей, для чего разработан алгоритм формирования множества допустимых вариантов СТС.

Этап 2. $\{\{S_2\}, \Phi_3 \rightarrow S_2$. Множество предпочтительных вариантов построения СТС (S_2) путем анализа и отбора вариантов на множестве упорядоченных пар $(S_{1k}, S_{1k}) \in S_1 \times S_1$, удовлетворяющих процедуре выбора Φ_2 по критерию эффективности:

$$S_2 = \{S_{1k}^0 \mid W_\Gamma(S_{1k}^0) \geq W_{\text{треб}}\}, \kappa = \overline{1, K}, K \leq J, \quad (2)$$

где, $W_\Gamma(S_{1k}^0) = \min_{i \in D_g} W_i(S_{1k}^0)$ – гарантированное значение эффективности применения ЛА при выполнении целевых задач в заданных условиях (D_g) после применения S_{1k}^0 – го варианта построения СТС;

$W_i(S_{1k}^0)$ – значение эффективности применения ЛА в j – х условиях функционирования после применения S_{1k}^0 – го варианта построения СТС;

$W_{\text{треб}}$ – требуемое значение эффективности применения ЛА;

(D_g) – g – ые заданные условия;

K – вариант построения СТС из множества допустимых вариантов СТС.

Этап 3. $\{\{S_2\}, \Phi_3\} \rightarrow S_2^{\text{опт}}$. Выбор оптимального варианта построения СТС $S_2^{\text{опт}}$ осуществляется из множества S_2 с учетом обеспечения требуемого качества функционирования СТС и минимизации затрат на достижение требуемого уровня эффективности применения ЛА путём решения оптимизационной задачи вида:

$$C(S_2^{\text{опт}}) = \min_{S_{2p} \in S_2} C(S_{2p}), p = \overline{1, P}, P \leq K \text{ при } K_n(S_{2p}) \geq K_{\text{треб}} \quad (3)$$

где, P – вариант построения СТС из множества предпочтительных вариантов СТС.

Выбор оптимального варианта построения СТС $(S_2^{\text{опт}})$ осуществляется на множестве $\{S_2\}$ при использовании логико-комбинаторного подхода и булевой алгебры с учетом процедуры выбора Φ_3 .

Формирование предпочтительных структур СТС и выбор ее оптимального варианта относится к новому направлению в области синтеза структуры сложных объектов, суть которого заключается, в том, что множество допустимых вариантов структуры изначально задается неявным образом в виде альтернативного графа (сети) или морфологической таблицы. Подобная формализация применима к любому проектируемому объекту, закон функционирования которого допускает различные варианты декомпозиции.

Учитывая, что у предпочтительных вариантов нелинейности целевой функции нет и стоимость системы практически представляет аддитивную сумму стоимостей ее элементов, выбор оптимального варианта структуры СТС проводится для случая, когда параметры элементов фиксированы, аддитивны и целевая функция линейна. Вариант построения СТС с минимальным значением стоимости принимается за оптимальный, а структура и параметры выбранного варианта рассматриваются в качестве оптимальных требований к проектируемой системе. Научной новизной процедуры выбора оптимального варианта построения СТС является применение логико-комбинаторного подхода и булевой алгебры.

Таким образом, разработанный метод позволяет практически решить проблему обоснования структуры СТС с использованием критерия «эффективность-стоимость». Предлагаемая итерационная последовательность этапов подготовки и принятия решений и используемый блочно-модульный подход, приводят к созданию оптимального варианта построения СТС. В отличие от работ, в которых используются либо традиционные методы математического проектирования, либо специальные алгоритмы для узкого класса задач разработанный метод основывается на использовании логико-комбинаторного подхода, который, в отдельных случаях, позволяет существенно повысить эффективность алгоритмов синтеза структуры проектируемого объекта.

Список литературы

1. Дворянкин А.М., Половинкин А.И., Соболев А.Я. Методы синтеза технических решений. М., 1997, 104 с.
2. Лебедев А.А. Основы синтеза систем летательных аппаратов. М.: Машиностроение, 1987 г. – 322 с.
3. Химмельблау Д. Прикладное нелинейное программирование. – М. 1975. – 536с.

К вопросу разработки перспективной бортовой радиотелеметрической системы

Морозов С.В., войсковая часть 32103; Белокопытов М.Л., Клыков В.А., Рыжов И.А.,
Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского, Точилев В.А., КБ «Арсенал»

Email: Hommer1990@mail.ru

Введение

К настоящему времени в отечественной радиотелеметрии сложилась ситуация, когда в ракетно-космической технике (РКТ) используются три основных типа радиотелеметрических систем (РТС), имеющие разные структуры кадра и отличающиеся как областью применения, так и ведомственной принадлежностью их разработчиков.

Основные разработчики телеметрических систем РНИИ КП (РТС-9), НПОИТ (БРС-4) и ОКБ МЭИ (Орбита-IV), проектируют несовместимые между собой телеметрические системы, каждый по-своему решали задачу обеспечения телеизмерениями различных ракетно-космических объектов.

К одной из первых телеметрических систем, которая нашла широкое применение в процессе отработки и эксплуатации образцов РКТ, относится радиотелеметрическая система РТС-9 (год начала разработки 1959). Система РТС-9 и ее модификации изначально предназначались для отработки различного класса ракет, но в дальнейшем она была ориентирована на отработку космических аппаратов, в том числе в области дальнего космоса. В основу построения бортовой аппаратуры РТС-9 времяимпульсной модуляции (ВИМ) заложены классические принципы построения РТС с временным разделением каналов.

Развитие систем вооружения, усложнение задач испытаний выдвинули на первый план необходимость повышения информативности, эффективности и достоверности измеряемых параметров. В связи с этим, в начале 70-х годов была разработана новая телеметрическая система БРС-4, которая позволяла получать полный объем информации с высокой степенью надежности в сложных условиях воздействия дестабилизирующих факторов, в том числе на участках плазмообразования. Характерной особенностью систем БРС-4 является возможность получения информации о так называемых быстроменяющихся процессах (вибрациях, перегрузках и т.п.), дополнительно к информации о медленноменяющихся параметрах и различного рода управляющих сигналах и командах. В период с 1969 года по 2000 год система БРС-4, благодаря свойству совмещенности аналоговой и цифровой информации, занимала монопольное положение среди бортовых радиотелеметрических систем (БРТС).

Однако уже с 2000 года лидирующее положение в ракетной радиотелеметрии стала занимать БРТС «Орбита-IV», способная передавать данные о вибрациях в том же объеме, что и БРС-4 (СКУТ), но в цифровом виде. БРТС «Орбита-IV» представляет собой цифровую

высокоинформативную телеметрическую систему, обеспечивающую сбор информации аналоговых, температурных, дискретных датчиков, тензодатчиков и вибрационных датчиков, информации бортовой цифровой вычислительной машины (БЦВМ) и навигационной аппаратуры потребителя (НАП). Вся вышеперечисленная информация преобразуется в цифровой вид и в едином цифровом потоке передается по радиоканалу с фазовой манипуляцией несущей $(0-180)^\circ$ на Землю. Она позволяет гибко строить систему измерения изделия, варьируя количеством и типом телеметрируемых параметров; частотами опроса параметров; коэффициентами усиления; частотами фильтров и режимами работы запоминающего устройства (ЗУ).

Анализ технических возможностей рассмотренных систем показывает, что, несмотря на явный прогресс в их развитии, все они, тем не менее, имеют следующие общие недостатки [2]:

- 1) время разработки этих систем приходится на период с 1960 по 1995 годы и как следствие этого имеет место морального и технического старения;
- 2) во всех перечисленных системах используется жесткая циклическая синхронизация, что не позволяет строить гибкие структуры телеметрических кадров;
- 3) использование устаревшей элементной базы отечественных производителей не позволяет создавать приборы с малыми габаритами и токопотреблением;
- 4) во всех перечисленных системах существует жесткая связь между кабельной сетью и программой измерений, что приводит к необходимости вносить изменения в кабельную сеть бортового измерительного комплекса при проведении изменений в программе измерения на изделии или при возникновении ошибок в кабельной сети.

Перспективная бортовая радиотелеметрическая система

Перечисленные выше недостатки и резко возросшая стоимость систем телеизмерений послужили предпосылками к разработке перспективной БРТС, которая должна явиться системой нового поколения, обладающей улучшенными массово-габаритными характеристиками, низким энергопотреблением и высокой информативностью. Она должна быть построена на современной элементной базе и способна поддерживать форматы существующих телеметрических систем (БРС, Орбита, РТС) и других перспективных структур.

Перспективная БРТС, несомненно, должна строиться по принципу территориально-распределенных устройств сбора данных. При этом каждое из устройств должно обслуживать свой набор датчиков (аналоговых, цифровых, дискретных). Измеряемые параметры с устройств сбора данных будут поступать в головное устройство – формирователь кадра, по высокоскоростному последовательному интерфейсу [3].

Основным предназначением разрабатываемой БРТС должен быть программно-управляемый сбор и преобразование измерительной информации от: аналоговых датчиков; пьезодатчиков;

дискретных датчиков; цифровой информации в последовательном коде в соответствии с ГОСТ Р52070-2003; обмена с внешними источниками информации по различным интерфейсам.

Перспективная БРТС должна обеспечивать:

- 1) построение любой системы телеметрических измерений (СТИ), которая должна иметь различную комплектацию по количеству и типу приборов
- 2) широкий диапазон частот опроса измерительных каналов и возможность гибкого программирования информативности системы, в том числе и в процессе полета изделия;
- 3) передачу информации одновременно по двум радиоканалам двух независимых потоков;
- 4) работу в режимах НП и ЗУ (с возможностью трансформации времени воспроизведения);
- 5) прием и передачу потоков телеметрической информации (ТМИ) с отделяемых элементов на активном участке траектории;
- 6) формирование репортажного информационного потока для аппаратуры ретрансляции;
- 7) формирование информационных потоков для аппаратуры криптографического преобразования и последующую передачу этой информации в передающее устройство.

БРТС должна быть предусмотрена возможность построения гибкой структуры телеметрического кадра. Учитывая существующий парк наземных приемно-регистрирующих станций, которыми оснащены измерительные пункты, в БРТС должна иметься возможность программно реализовать структуры телеметрического кадра РТС-9, БРС-4, «Орбита-IV». Однако, при соответствующей доработке приемно-регистрирующих станций в части организации додетекторной записи высокочастотного сигнала или видеосигнала в БРТС должна быть предусмотрена возможность использования другой структуры телеметрического кадра, более оптимального с точки зрения помехозащищенности, регистрации и обработки (ТМИ) [3].

В состав БРТС должны входить следующие основные приборы:

- радиопередающее устройство (РПУ);
- формирователь кадра (ФК);
- блок аналогового сбора (БАС);
- блок дискретного сбора (БДС);
- блок цифрового сбора (БЦС);
- блок внешних устройств (БВУ);
- формирователь видеокода (ФВК);
- командно-временное устройство (КВУ);
- датчиково-преобразующая аппаратура (ДПА);
- блок сбора сигналов (БСС);

– блок записи информации спасаемый (БЗС).

Состав и количество приборов разрабатываемой БРТС должен варьироваться и зависеть от комплектации изделий, объема измерений по каждой радиолинии и должен определиться по результатам эскизного проектирования.

Обобщенная схема перспективной БРТС представлена на рисунке 1.

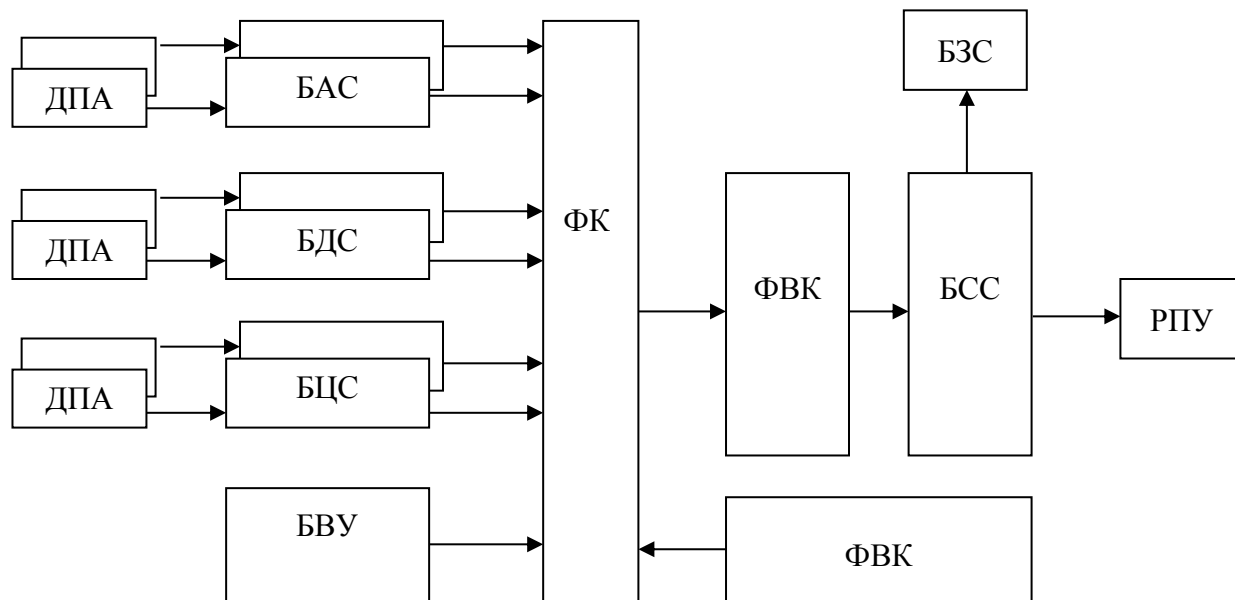


Рисунок 1. Обобщенная схема перспективной БРТС

При разработке БРТС должны быть применены материалы, комплектующие изделия и электрорадиоизделия (ЭРИ) в основном российского производства повышенного качества, разрешенные к применению в военной технике, в том числе межотраслевого применения, соответствующие действующим ограничительным перечням в соответствии с ГОСТРВ 15.209-95.

Однако, как показывает практика, полное выполнение вышеуказанных требований с использованием электронно-компонентной базы отечественного производства зачастую является невозможным. В связи с этим, а также учитывая, что разрабатываемая БРТС будет являться технологическим инструментом и не будет входить в контур боевого управления изделий, допускается при разработке и изготовлении БРТС применение импортной элементной базы с качеством исполнения не ниже «Industrial».

Использование импортной элементной базы позволит: расширить технические характеристики БРТС; уменьшить габариты и энергопотребление элементов БРТС; обеспечить гибкость и оперативную программируемость режимов работы; реализовать широкие функциональные возможности БРТС.

Для реализации требований по минимизации массово-габаритных характеристик в разрабатываемой БРТС должен быть принят ряд мер конструктивно-технологического характера:

- применение больших интегральных схем (однокристалльные АЦП, мультиплексоры, операционные усилители, ОЗУ, ПЗУ и др.), а также ПЛИС;
- применение технологии поверхностного монтажа;
- применение многослойных печатных плат для обеспечения межсоединений плотно расположенных выводов ЭРИ.

Для обслуживания БРТС в части отображения и ввода в блок ФК программы телеизмерений должна использоваться специально разработанная программа, позволяющая осуществлять программирование устройств перспективной БРТС под конкретную программу измерений, а также создавать оптимальную конфигурацию системы на физическом уровне.

Интерфейс программы лучше всего реализовать на принципе «визуального программирования», суть которого заключается в размещении на рабочей области экрана монитора функциональных блоков и объединения их в схему посредством связей. Каждый блок представляет собой законченный функционал, а связи определяют способ обмена данными между блоками. Помимо связей, каждый блок имеет определенный набор настроек, которые определяют его поведение в схеме. Такой подход позволит объединить ввод в программу логической и физической составляющих схемы измерения.

Заключение

Таким образом, учитывая тот факт, что современный этап развития изделий РКТ характеризуется повышенными требованиями к информационно-телеметрическим средствам, актуальным становится вопрос разработки перспективной БРТС, отвечающей требованиям унифицируемости, гибкости и многофункциональности. Разрабатываемая БРТС должна обслуживаться специализированным программным продуктом позволяющим произвольно соединять блоки между собой, что позволит максимально использовать все возможности БРТС и создать гибкие программы измерений с произвольной разрядностью параметров и индивидуальной по каждому каналу частотой опроса.

Литература

1. ГОСТ 19619-74. Оборудование радиотелеметрическое. Термины и определения.
2. *Древин А.В.* Стандарты и технологии современной телеметрии: учебное пособие. СПб.: ВКА имени А.Ф. Можайского. 2005. 128 с.
3. *Лоскутов А.И., Бянкин А.А., Куксенко М.А.* Особенности построения штатных бортовых информационно-телеметрических систем: учебное пособие. СПб.: ВКА имени А.Ф.Можайского. 2013. 52 с.

**Табличные и многомерные модели данных для информационно-управляющих систем
машиностроительных предприятий**

Э.Э. Акимкина, аспирант

Московский государственный областной технологический университет

Email: elakimkina@gmail.com

Введение

Современные информационные технологии управления предприятием используют эффективные методы проектирования хранилищ данных (ХД) и технологии OLAP (от англ. On-Line Analytic Processing – оперативный многомерный анализ данных) [1...3]. OLAP применяется не только для финансового планирования; но и для анализа технологических процессов на машиностроительных, нефтегазовых, электротехнических и других сложных производствах. В процессе производства и организации обмена информации о производственных процессах накапливается огромный объем информации: показатели датчиков, сведения о технологических процессах, технические характеристики изделий, данные о загрузке оборудования. Эти сведения практически не используются для последующего анализа, хотя в них содержится много полезной информации, позволяющей оптимизировать процесс производства, снизить расходы, найти «узкие места». Разработаны оригинальные модели, методы, алгоритмы и инструментальные средства, позволяющие в короткий срок создавать интегрированные прикладные системы для комплексной поддержки сложных задач организационного управления. Однако при внедрении этих методик и подходов предприятие сталкивается со сложностью ИТ-систем, затрудняющих управление предприятием, организацией сбора и обработки данных из разнородных источников, высокой стоимостью текущего сопровождения. Актуальна задача упрощения инструментальных средств информационно-управляющих систем предприятия и снижения стоимости текущего сопровождения.

Инструментальные средства для табличных и многомерных решений

Характеристики информационной системы управления предприятием $A=F(Q,M,S)$ зависят от вектора характеристик предметной области $Q=(q_1, q_2, \dots, q_K)$; вектора характеристик выбранной методологии построения информационных систем $M=(m_1, m_2, \dots, m_L)$; вектора характеристик используемых инструментальных средств $S=(s_1, s_2, \dots, s_N)$. Фактор инструментальных средств приобретает существенное влияние в силу большой развитости и разнообразия этих средств применительно к предметной области, которой описывается предприятие.

Для организации хранения данных может быть использован не только табличный подход в виде реляционной базы данных (БД) с нормализованными отношениями, но и многомерный

подход, реализованный с помощью технологии OLAP, преимущества которой и проблемы использования будут проанализированы ниже.

Технология OLAP заключается в подготовке суммарной (агрегированной) информации на основе больших массивов данных, структурированных по многомерному принципу, с использованием OLAP-кубов (или в случае более трех измерений – гиперкуба). Гиперкуб – это многомерный числовой массив с измерениями (осями) различной длины. Измерения могут иметь иерархическую структуру, в которой интервалы находятся на различных уровнях иерархии и интервалы более низкого уровня объединяются группирующим интервалом более высокого уровня. При разработке предметной области машиностроительного предприятия один и тот же объект предметной области может быть отнесен как к одному, так и к другому суперклассу из тройки «Продукт – Процесс – Ресурс» OLAP-куба, структура которого приведена на рис. 1.



Рис. 1. OLAP-куб с измерениями «Продукт – Процесс – Ресурс»

Под термином «Продукт» подразумевается любое изделие, изготавливаемое предприятием, независимо от того, является оно изделием основного производства, то есть продукцией предприятия, или изделием вспомогательного производства (нестандартное оборудование (НСО) и средства технологического оснащения (СТО)). Как известно, изделие описывается своим проектом и, в соответствии с ГОСТ 2.101-85, представляет собой сборочную единицу, комплекс или комплект. Для шкалы измерения «Продукт» интервалы более низкого уровня характеризуют составные части (сборочные единицы, детали), из которых состоит изделие. Они объединяются интервалом более высокого группирующего уровня при объединении деталей в целое изделие. На практике для того чтобы отличить

сборочную единицу, комплекс или комплект первого уровня от входящих сборочных единиц, комплексов и комплектов, объект первого уровня часто называют просто «изделием».

Подробное описание продукта содержится в его конструкторской документации, которая (для предприятий отечественного машиностроения) должна быть оформлена в соответствии с требованиями стандартов ЕСКД. В классификации раздела «Продукт», приведенной на рис. 2, показано, что с появлением САД-систем (от англ. англ. computer-aided design – система автоматизированного проектирования) понятие модели изделия стало ассоциироваться с его пространственной геометрической 3D моделью. Информация о конструкторской документации является составной частью информации об изделии и должна размещаться в соответствующем подклассе (классе) суперкласса «Продукт», которому можно присвоить имя «Конструкторская документация».

Под термином «Процесс» подразумевается последовательность действий, связанных с функционированием системы технологической подготовки производства (ТПП). Кроме того, в раздел «Процесс» включается описание технологических процессов изготовления продукта (изделия), которые состоят из технологических переходов (законченных частей технологической операции, выполняемой с одними и теми же средствами технологического оснащения). Как и в случае описания продукта, технологические процессы (ТП) могут быть представлены описанием их структуры и соответствующей технологической документацией (ТД). Поэтому оба эти представления будут размещены в соответствующих классах многомерной модели.

Под термином «Ресурс» подразумеваются различные виды обеспечения, используемые при выполнении бизнес-процессов предприятия: кадровый ресурс, обеспечивающий ресурс, производственный ресурс, информационный ресурс, материальный ресурс. Ось измерения ресурсов на более низких уровнях иерархии отображают более детальную информацию. Для детализации кадрового ресурса отображаются сведения об отделах, службах и цехах предприятия, их сотрудников и специалистов, участвующих в процессах ТПП. Для детализации обеспечивающего ресурса отображаются сведения об архивах конструкторской документации (КД) и технологической документации (ТД). Для детализации производственного ресурса отображаются сведения об используемом технологическом оборудовании, различных видах оснастки и инструмента. Для детализации информационного ресурса отображаются сведения о справочно-информационных материалах, нормативно-технологических документах. Для детализации материального ресурса отображаются сведения об используемых материалах, стандартных и покупных изделиях.



Рис. 2. Классификация раздела «Продукт»

При компьютерном проектировании файлы с технологической документацией создаются и хранятся в базе данных (БД) в электронном виде; их можно просматривать на экране или выводить по запросу на принтер или плоттер. Переход от БД КД реляционной структуры к многомерному моделированию OLAP открывает более богатые возможности анализа, чем реляционные системы управления базами данных (СУБД), которые обременены ограничениями в SQL (от англ. Structured Query Language – язык структурированных запросов). Кубы OLAP обычно поддерживают сложные рваные иерархии неопределенной глубины: организационные диаграммы или спецификации материалов. Они используют родной синтаксис запроса, который превосходит методы, применяемые для реляционных СУБД. Размерная OLAP-модель содержит ту же информацию, что и нормированная модель, но упаковка данных происходит в формате, который обеспечивает пользователю большую понятность, производительность запросов и устойчивость к изменению.

С точки зрения классификации, следует различать ТП изготовления конкретных изделий (индивидуальные ТП) и групповые ТП, так как они имеют различную схему обозначений. В связи с этим, указанные виды ТП целесообразно разместить в разных подклассах класса ТП. Помимо этих маршрутно-операционных ТП в отечественном машиностроении широкое распространение получили «упрощенные» ТП в виде маршрутов изготовления деталей по цехам (так называемые расцеховки). Поэтому данный вид ТП также должен получить свое отображение в OLAP-кубе.

Хранилище данных производственного предприятия представлено электронным архивом конструкторской документации (КД) и технологической документации (ТД). Электронный архив – это совокупность КД (ТД) в электронном виде с соответствующей учетной документацией в электронном виде, которая поддерживает статус КД (ТД) в качестве официального электронного технического документа при его эксплуатации и/или хранении в соответствии с требованиями стандартов. Электронный документ в PDM-системе SMARTTEAM представляется учетной карточкой, содержащей идентификационные характеристики документа и присоединенным к ней файлом с содержательной информацией (файл 3D модели, файл чертежа, текстовый файл и др.). Встроенные в OLAP-систему механизмы позволяют автоматически выявлять отклонения от заданных параметров, ранжировать их по степени важности, выявлять причины, вызвавшие дефект и автоматически оповещать заинтересованных лиц о найденных проблемах.

Однако OLAP – очень дорогое решение для многих машиностроительных предприятий. Альтернатива OLAP – решение Pover Pivot, способное самостоятельно создавать решения по результатам анализа данных машиностроительных предприятий, работать с многомерными БД, обрабатывать большие объемы гетерогенных данных из разнородных источников, осуществлять визуализацию данных с помощью инструментов Pivot Table, Pivot Chart, Filter и Slicer, управлять решениями с помощью SharePoint. Для установки этого решения нужны две настройки SQL Server Power Pivot: для Excel и для Share Point.

Выводы

Исследованы инструментальные средства анализа данных, имеющих сложную структуру, а также способы упрощения инструментальных средств путем обратного перехода от многомерной модели к табличной модели, обладающей преимуществами многомерного анализа данных.

Литература

1. Kimball R., Ross M. The Data Warehouse Toolkit: The Complete Guide to Dimensional Modeling, second edition. – Wiley, 2002. – 421 с.

2. Хейдари, М. Использование OLAP технологии и многомерных данных для принятия управленческих решений [Текст] / М. Хейдари // В книге: Информационно-телекоммуникационные технологии и математическое моделирование высокотехнологичных систем: материалы Всероссийской конференции с международным участием. Российский университет дружбы народов. – Москва. – 2016. – С. 186-188.
3. Артюшенко, В. М. Информационные технологии и управляющие системы: монография [Текст] / В.М. Артюшенко, Т.С. Аббасова, Ю.В. Стреналюк, В.И. Привалов, В.И. Воловач, Е.П. Шевченко, В.М. Зимин, Е.С. Харламова, А.Э. Аббасов, Б.А. Кучеров /под науч. ред. док. техн. наук, проф. В.М. Артюшенко. – М.: Издательство «Научный консультант», 2015. – 185 с.
4. Акимкина, Э. Э. Анализ инструментальных средств информационных систем для обработки многомерных данных [Текст] / Э. Э. Акимкина, А. Э. Аббасов // Информационно-технологический Вестник. – №2(08). – 2016. – 61 – 74.
5. Аббасов, А. Э. Оценка качества программного обеспечения для современных систем обработки информации [Текст] / А. Э. Аббасов, Т. Э. Аббасов // Информационно-технологический Вестник. – №3(05). – 2015. – С. 15 – 27.

Современные методы пайки

П.И. Конников магистр ИИС и ТП

АО “НПО ИТ”

E-mail: npoit@npoit.ru

В течение столетия было изобретено множество способов пайки. Наиболее известный из них связан с применением паяльника и уже не отвечает современным требованиям сборки печатных плат.

Пайка в печи оплавления или волной припоя – примеры технологий групповой пайки, когда производится пайка всей печатной платы одновременно (или последовательно в случае пайки волной). Оба представляют собой методы соединения с направленным подводом энергии, когда нагрев локализуется на определенном участке печатной платы, создавая условия для пайки одного или нескольких соединений. Подобная технология обеспечивает нагрев значительно большей площади по сравнению с паяльником. Таким образом, современные технологии пайки можно подразделить на категории в зависимости от площади нагрева или числа одновременно формирующихся соединений.

С развитием технологии поверхностного монтажа количество навесных компонентов в электронных модулях уменьшается, и зачастую среди общей массы поверхностно-монтированных компонентов разработчики оставляют только единичные компоненты, установленные в отверстия, такие, как коннекторы, резисторы и т. д. В таких случаях многие производители традиционно применяют технологию групповой пайки компонентов для печатных плат со смешанным типом монтажа в установках пайки волной припоя.

В настоящее время становится более популярной технология селективной пайки, то есть выборочной пайки навесных компонентов на платах с SMD-компонентами, которая имеет ряд преимуществ. Применение данной технологии позволяет производить установку SMD-компонентов на паяльную пасту с ее дальнейшим оплавлением в конвекционной печи, а затем паять навесные компоненты в системе селективной пайки. Это обеспечивает более высокое качество пайки поверхностно-монтируемых компонентов, чем групповая пайка компонентов в установке пайки волной припоя, особенно при высокой плотности монтажа на плате. К тому же SMD-компоненты не погружаются в волну припоя и не подвергаются дополнительному термическому воздействию. Следовательно, с применением систем селективной пайки сохраняются технологии пайки как поверхностно-монтируемых компонентов, так и компонентов, установленных в отверстия, обеспечивая тем самым высокое качество изделий.

Системы селективной пайки отличаются от обычных систем пайки одинарной или двойной волной припоя тем, что в установках пайки второго типа происходит групповая пайка компонентов, то есть вся плата проходит через волну припоя. Система селективной пайки паяет соединения выборочно, в соответствии с заданной программой. Это происходит следующим образом: в машину загружается рабочая программа, печатная плата устанавливается в паллету, и запускается программа пайки. Транспортная система установки доставляет паллету с платой к модулю спрей-флюсования, который наносит дозы флюса на заданные точки, и к модулю предварительного нагрева. Затем паллета перемещается к паяльной насадке, где происходит пайка соединений в соответствии с заданной программой. Паллета с платой опускается к паяльной насадке и погружает выводы паяемых компонентов в миниволну припоя. Пайка может быть точечной — отдельных выводов компонентов, и линейной — ряда выводов компонента. После выполнения программы пайки готовая плата возвращается в окно загрузки.

Оценивать технологии пайки следует по таким критериям, как технологичность, стоимость и качество паяного соединения. Для оценки могут быть использованы современные методы исследования с использованием рентгенограмм.

Список литературы.

1. Основы технологии поверхностного монтажа Сускин В.В. - Рязань: Узорочье, 2001.
2. Викторова М.О. Исследование эффективности современных методов пайки
3. Ларин В.П. Технология пайки. Методы исследования процессов пайки и паяных соединений: Учебное пособие 2002г.
4. Технологии в электронной промышленности главный редактор Павел Правосудов - ООО «Издательство Файнстрит», №1. 2006 г.

СЕКЦИЯ 1

Информационно- управляющие системы

Руководители секции:

Первый заместитель главного конструктора по измерениям

к.т.н. Кортъев А.В.

Начальник НПЦ1 Давыдов И.А.

13.30 – 13.45	Сенюгин Н.П., Давыдов И.А., Савин С.Б., Шихов С.Н. АО «НПО ИТ» «Устройство многоканальной обработки быстроменяющихся параметров на борту ЛА, выполненное в виде «Системы на одном кристалле»»
13.45 – 14.00	Бондаренко А.С. Космодром «Плесецк» «Структурный анализ построения и перспективы использования автоматизированной мобильной контрольно-проверочной аппаратуры системы измерений при испытаниях ракетных комплексов стратегического назначения»
14.00 - 14.15	Знаменская Т.Д., Вайдецкая Н.В., Чернухина Е.В., МФ МГТУ им. Н.Э. Баумана (МГУЛ), АО «НПО ИТ» «Проблемы обеспечения требуемой надёжности ракетно-космической техники»
14.15 – 14.30	Стефанов И.А., Иванов П.Е., Дорохин А.В. АО «Корпорация ТРВ» «Система видеофиксации срабатывания датчика высоты беспилотного летательного аппарата»
14.30 – 14.45	Ширяева Л.А. АО «РКС» «Особенности формирования микросварных соединений повышенной прочности при высокой плотности монтажа»
14.45 – 15.00	Поспелов А.В., Папко А.А. АО «НИИФИ» «О результатах пробной эксплуатации системы горизонтирования антенного комплекса на основе устройства измерения углов тангажа и крена»
15.00 – 15.15	Новикова Т.О. АО «НИИФИ» «Прогнозирование нештатных и аварийных ситуаций на основе математической модели объекта и статистического анализа телеметрических данных»
15.15 – 15.30	Поленов Д.Ю. АО «НПО ИТ» «Способ повышения эффективности РТС при развитии высокодинамичного аварийного процесса на борту изделия»
15.30 – 15.45	Немцова П.А., Филиппович П.А. АО «НПО ИТ» «Внедрение технологии 3D-прототипирования и отработка технологии печати средств технического оснащения»
15.45 – 16.00	Кокорина Н.А., Чурилова Л.Н. АО «НПО ИТ» «Использование компьютерной техники при нормировании драгоценных металлов при изготовлении изделий на предприятии АО «НПО ИТ»»
16.00 – 16.15	П.И. Конников АО «НПО ИТ» «Исследование качества и надежности паяных соединений печатных плат»
16.15 – 16.30	Анненков А. М. АО «НПО ИТ» «Перспективы развития радиоканалов передачи телеметрической информации»
16.30 – 16.45	Давыдов И.А. АО «НПО ИТ» «Вопросы результативности использования метода контроля достоверности передаваемых сообщений при представлении образами–остатками»

**Устройство многоканальной обработки быстроменяющихся параметров на борту ЛА,
выполненное в виде «Системы на одном кристалле».**

Н.П. Сенюгин, И.А. Давыдов, С.Б.Савин, С.Н. Шихов

АО «НПО ИТ»

E-mail: npoit@npoit.ru

Данное устройство осуществляет сбор и обработку сигналов виброакустических и ударных процессов, и формирует из них следующие пакеты в «Пиритовском» формате:

1. Пакеты с непосредственными отсчетами БМП.
2. Пакеты с «простыми» характеристиками (пиковые значения, среднее значение, среднеквадратичное отклонение) БМП на интервале [0 ... 0.1 сек].
3. Пакеты от вычислителя спектральной плотности мощности БМП полосовыми фильтрами 4-го порядка в 1/3 октавных полосах частот на интервале [0 ... 1 сек].
4. Пакеты от вычислителя ударных спектров на интервале [0 ... 1 сек].

Устройство выполнено на ПЛИС, содержащей большое количество логических элементов. Что позволило создать достаточно сложную техническую систему с малыми массогабаритными характеристиками, высокой надежности и большой помехоустойчивостью.

Для создания поведенческой (behavioral) формы представления системы был использован визуальный, когнитивно-эргономический язык “IntelGraf” и графический редактор “IntelGraf”, разработанные в 121 отделе НПО ИТ (автор Сенюгин Н.П.). Набранные на языке “IntelGraf” схемы, переводились затем встроенным в графический редактор генератором кода в стандартный VHDL-код. Использование указанного выше языка и редактора позволило создать высоконадежный проект при минимальной затрате человеко-часов.

Структурный анализ построения и перспективы использования автоматизированной мобильной контрольно-проверочной аппаратуры системы измерений при испытаниях ракетных комплексов стратегического назначения

А.С. Бондаренко
Космодром «Плесецк»

Современный ракетный комплекс стратегического назначения (РК СН) представляет собой совокупность сложных функционально - связанных между собой систем, решающих задачу старта ракеты, организации полета, приведения в цель и поражение цели.

Измерительный комплекс предназначен для получения требуемого объема телеметрической и траекторной информации, измерений, проводимых на этапе летных испытаний РК с целью подтверждения соответствия его характеристик тактико-техническим требованиям Министерства обороны Российской Федерации ТТТ МО РФ.

В процессе испытаний проводится оценка надежности и безотказности работы как отдельных агрегатов, приборов и систем, так ракеты и всего РК в целом. Поэтому при каждом новом перспективном ракетном комплексе и соответствующему ему наземному оборудованию для контроля качества изготовления составляются специальные программы испытаний с учетом реальных условий боевого применения.

В состав измерительного комплекса входит бортовая, наземная измерительная аппаратура и наземный измерительный комплекс.

Технологический процесс подготовки бортовой и наземной измерительной аппаратуры к применению - это совокупность операций, производимых с элементами измерительной аппаратуры с целью определения их технического состояния и готовности к работе в составе РК в соответствии с конструкторской документацией.

Испытания бортовой и наземной измерительной аппаратуры на всех этапах обеспечиваются наземным измерительным комплексом, включающего в себя:

- контрольно - проверочную аппаратуру;
- приемно-регистрирующую аппаратуру;
- аппаратуру обработки телеметрической информации.

Контрольно-проверочная аппаратура предназначена для дистанционного управления и контроля режимов работы бортовой и наземной измерительной аппаратуры.

Оценка работоспособности проводится оператором путем подачи управляющих команд в бортовую и наземную систему измерений и визуальным контролем за исполнением команд.

Приемно-регистрирующая аппаратура и аппаратура оперативной обработки телеметрической информации предназначена для приема, регистрации и оперативной обработки информации бортовых телеметрических систем.

Проведенный анализ используемых средств наземного измерительного комплекса показывает, что имеющийся состав средств, в целом, способен обеспечивать решение задач испытаний.

Но в тоже время гарантийные сроки аппаратуры, входящей в состав измерительного комплекса истекли, ЗИП израсходован, не восполняется, так как элементная база компонентов снята с производства, имеющиеся средства приема регистрации телеметрической информации позволяют «работать» только по эфиру, что не допустимо при испытаниях перспективных РК СН (в соответствии с инструкцией по противодействию иностранной технической разведке допускается работа только по кабельным линиям связи). Поэтому назрела необходимость разработки и изготовления новой аппаратуры наземного измерительного комплекса, соответствующей современным требованиям, обеспечивающей защиту от иностранной технической разведки, автоматизацию процесса испытаний.

В рамках опытно-конструкторской работы для обеспечения испытаний РК шахтного базирования по исходным данным АО «Корпорация «МИТ» научно-производственным объединением «Мера» была разработана и изготовлена автоматизированная мобильная контрольно-проверочная аппаратура.

[1] Аппаратура предназначена для управления, контроля, оценки функционирования СИ изделия при проведении проверок на СТП, ТП и СП в местах проведения испытаний.

АМКПА выполняет следующие основные функции:

- осуществляет проверку работы СИ в автоматическом режиме;
- осуществляет проверку работы СИ в ручном режиме;
- принимает ТМИ СИ изделия в структурах «Орбита – IVМО»;
- представляет информацию о работе СИ в режиме реального времени;
- документирует и хранит информацию о работе СИ;
- осуществляет дистанционное управление по ВОЛС БСУ и СП ТМИ, расположенными на расстоянии до 15 километров от РС;

- обеспечивает непрерывный прием и запись измерительной информации на НЖМД в рабочих станциях на базе ПЭВМ с одновременным отображением данных измерительной информации в виде осциллограмм или цифровых значений на видеомониторе;

- обеспечивает послесеансную обработку полученной и зарегистрированной ИИ в полном объеме с помощью операторской станции на базе ПЭВМ;

- обеспечивает самодиагностику измерительных модулей и устройств.

АМКПА состоит из следующих составных частей:

- рабочей станции операторов автоматизированной мобильной контрольно-проверочной аппаратуры систем измерений;
- станции приема телеметрической информации;
- блока силового управления;
- системы передачи данных;
- комплектов кабелей;
- комплекта ЗИП.

Изделие выполнено по блочно-модульному принципу компоновки и конструктивно представляет собой одну приборную стойку БСУ и выполненные в настольном исполнении РСО и СП ТМИ а также блок БКИ.

Для проведения испытаний АМКПА реализует следующие режимы:

- режим «Подготовка» - подготовка исходных данных для сеансов электроиспытаний;
- режим «Испытания» - проведение сеансов электроиспытаний и отображение на РСО сведений о контролируемых параметрах в реальном времени;
- режим «Обработка» - послесеансная обработка измерительной информации.

Рабочая станция операторов (РСО) предназначена для:

- разработки программ испытаний СИ;
- обеспечения загрузки программ испытаний СИ;
- изменения программы испытаний СИ в режиме реального времени;
- выдачи управляющих команд на БСУ в автоматическом и ручном режимах;
- регистрации и отображения информации, принятой от БСУ и СИ;
- обработки полученной информации для формирования отчета об испытаниях.

РСО состоит из:

- двух станций операторов контрольно-проверочной аппаратуры ОС КПА №№ 1 и 2 , выполненных на базе ноутбуков с установленным программным обеспечением (ПО) «Рекордер» и специализированным ПО АМКПА; при этом, на ОС КПА №2 установлено ПО для

работы с телеметрической информацией «ТМРегистратор» и она может использоваться в качестве дополнительного регистратора ТМИ;

- модуля синхронизации и коммутации МЕ-815;
- источника бесперебойного электропитания;
- четырех пультов ручного управления оператора;
- принтера.

Ноутбуки ОС КПА, пульта ПУО, принтер подключены к локальному Ethernet-коммутатору модуля синхронизации и коммутации МЕ-815.

Пульт ручного управления оператора ПУО – предназначен для визуализации контролируемых параметров, ручной выдачи команд управления и контроля их исполнения.

Пульт ручного управления оператора - представляет собой специализированную ПЭВМ, выполненную в виде планшетного компьютера с сенсорным экраном, обеспечивающим ввод и отображение информации. Программное обеспечение «Функционирования пульта управления оператора» работает на ПУО в операционной среде Windows XP Embedded и обеспечивает отображение на экране кнопок, считывание воздействия на сенсорную панель в месте расположения кнопки, формирование и выдачу команд с определенным кодом в виде сетевой посылки по интерфейсу Ethernet к БСУ, прием сообщений и измерительной информации от БСУ и отображение на экране ПУО. Все пульта ПУО подключаются к основному Ethernet-коммутатору РСО.

Блок силового управления БСУ представляет собой специализированное устройство на основе вычислительного управляющего комплекса МІС-800 с блоком питания МВР-800, модулем синхронизации и коммутации МЕ-815, источником бесперебойного электропитания. БСУ располагается в стойке приборной. Основной функциональной частью БСУ является комплекс вычислительный управляющий МІС-800, работа которого осуществляется под управлением «Программного обеспечения функционирования блока силового управления» (ПО ФБСУ), располагаемого в памяти контроллера МІС-800. Дополнительно, для обеспечения автономных проверок, в состав БСУ входит ноутбук технологический.

Ethernet-коммутатор модуля МЕ-815 БСУ соединяется с Ethernet-коммутатором модуля МЕ-815 РСО.

Управление автоматикой СИ осуществляется с РСО в ручном или автоматическом режимах выдачи команд управления.

В ручном режиме команды выдаются с пультов ПУО, или с программной панели управления на станции оператора ОС КПА №1.

В автоматическом режиме команды выдаются с ОС КПА №1 в соответствии с циклограммой выдачи команд, предварительно составленной оператором и хранящейся на ОС КПА.

Принцип действия АМКПА заключается [1] в выработке в соответствии с задаваемыми командами аналоговых и цифровых управляющих воздействий, подаваемых в цепи системы датчиков агрегата, контейнера и бортовой СИ изделия, проведения дистанционного мониторинга контролируемых параметров блоком силового управления (БСУ), формируемых последовательно в ручном командном, либо в автоматическом режиме рабочей станцией операторов (РСО), с последующей регистрацией, обработкой и документированием а также приема, демодуляции, регистрации, декоммутации телеметрической информации, поступающей с наземной и бортовой системы измерений.

Функциональные части АМКПА взаимодействуют друг с другом через локальную сеть на основе интерфейса Ethernet, образуемую с помощью Ethernet-коммутаторов, встроенных в модули ME-815 РСО, СП ТМИ и БСУ. Удаленные сегменты сети, размещенные на разных площадках (БСУ с СП ТМИ и РСО), соединены между собой двумя одноименными магистральными ВОЛС, каждая из которых работает в симплексном режиме (одна линия - на прием, другая – на передачу). Преобразование оптического сигнала в электрический и обратно осуществляется с помощью (устройство оконечное медиаконвертора, УО-МК). На местах размещения аппаратуры АМКПА на площадках установлены по два УО-МК. Устройства УО-МК с помощью Ethernet-кабелей подключены к Ethernet-коммутаторам модулей ME-815. При задании оператором команды с терминалов РСО (ПУО, ОС КПА) и СП ТМИ, формируется управляющий пакет данных, по заголовку которого Ethernet-коммутатор модуля ME-815 осуществляет его дальнейшую прямую IP-адресацию внутри системы для задействования тех или иных функциональных устройств посредством коммутации пакетов на локальные Ethernet-коммутаторы соответствующих устройств.

Команды, формируемые и выдаваемые с ПУО или ОС КПА, поступают на Ethernet-коммутатор модуля ME-815 РСО и выдаются с него в виде сетевой посылки в канал связи с БСУ.

В БСУ сетевая посылка от РСО поступает через Ethernet-коммутатор модуля ME-815 в комплекс вычислительный управляющий МІС-800 на контроллер, который обеспечивает обмен по интерфейсу Ethernet и управление модулями ввода-вывода дискретных сигналов, коммутации и измерения в МІС-800 под управлением ПО ФБСУ, располагаемого в энергонезависимой памяти контроллера.

Поступившая в МІС-800 сетевая посылка декоммутируется и преобразуется в команду управления автоматикой или команду управления питанием СИ. Команда управления

автоматикой выдается через модули вывода в кабельную сеть к изделию в виде потенциальных сигналов напряжением до 33В. Команды управления питанием поступают в МПС-800 на модули коммутации. Модули коммутации обеспечивают подачу напряжения на цепи питания СИ, измеряют величину коммутируемого напряжения и тока, обеспечивают измерение и допусковый контроль величины сопротивления изоляции между общей шиной питания СИ и корпусом изделия, величину сопротивления коммутируемых цепей питания перед подачей тока в цепи питания.

Ответные сигналы об исполнении команд и состоянии СИ поступают в МПС-800 БСУ на модули ввода дискретных сигналов с гальванически развязанными входами.

После преобразования измеренные значения и сигналы контроля из БСУ передаются в РСО в виде сетевых посылок и поступают на ОС КПА и пульта ПУО.

Перспективы использования:

Аппаратура АМКПА позволяет без внесения изменений в состав аппаратуры обеспечивать испытания бортовой и наземной систем измерений любого из имеющихся на вооружении РК подвижного и стационарного типов базирования, и перспективных ракетных комплексов, для этого необходимо внести изменения в программное обеспечение (перенастроить систему команд, задать адресацию потоков). Для примера, на аппаратуре УКПА, которая использовалась ранее, необходимо производить замену ячеек пульта. АМКПА позволяет автоматизировать процесс испытаний. Настроив авто программу испытаний, провести автономные испытания СИ и СНИ можно практически нажатием одной кнопки (без необходимости выдачи команд ручным способом, что исключает возможные ошибки оператора). АМКПА позволит сократить число рабочих мест (регистрация и обработка двух потоков ТМИ, разных частот, осуществляется на 1 ПК). Один комплект АМКПА позволяет решить задачу наземного измерительного комплекса для обеспечения предстартовой подготовки, и пуска ракеты.

В марте 2013 года офицеры профильных лабораторий войсковой части были приглашены на этап проведения автономных испытаний на предприятии-заказчике АО "Корпорация "МИТ". Представителями войсковой части, были внесены ряд предложений по удаленному управлению СП ТМИ, размещаемой на стартовой позиции; по отображению телеметрируемой информации на ОС КПА (контроль навигации); по защите от механического отключения сети ЛС. По результатам испытаний был составлен совместный акт с учетом внесенных предложений, которые были реализованы к моменту поставки АМКПА на космодром. В июне 2013 года начались пуско-наладочные работы и комплексные испытания. На этом этапе были выданы и реализованы ещё ряд замечаний. К моменту окончания комплексных испытаний все замечания были устранены.

С августа 2013 года АМКПА обеспечила четыре цикла подготовки изделий к пуску, и пуска ракет по разным программам. Офицерами космодрома внесены предложения руководству АО «Корпорация «МИТ» по модернизации наземного измерительного комплекса путем замены имеющихся комплектов, унифицированной контрольно-проверочной аппаратуры и унифицированного мобильного приёмного телеметрического комплекса (УМПТК) на комплекс АМКПА.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Автоматизированная мобильная контрольно-проверочная аппаратура. Техническое описание. БЛИЖ.425800.010.001 ТО. -09-69 с.

Проблемы обеспечения требуемой надёжности ракетно-космической техники

Т.Д. Знаменская, к.т.н., *МФ МГТУ им. Н.Э. Баумана (МГУЛ)*

Н.В. Вайдецкая, Е.В. Чернухина, *АО «НПО ИТ»*

Е-mail: tzn957@gmail.com

2017 год уникален по числу юбилеев всемирного значения. И среди особо значимых дат - сто десять лет со дня рождения Сергея Павловича Королёва и шестьдесят лет со дня запуска созданного им первого в мире искусственного спутника Земли.

Трудно найти более символическую фигуру в новой истории России, чем С.П. Королёв. Вместе со страной он переживал трагедии и триумфы, суровые испытания закалили его характер и выработали тот стиль руководства и управления, без которого мы не стали бы первыми в космосе.

Надо было опередить Америку, которая располагала огромным технологическим и экономическим преимуществом, на которую работал главный ракетчик гитлеровского рейха штурбаннфюрер СС Вернер фон Браун – именно он и запустил американцам их первый спутник (уже после запуска в СССР двух спутников).

Одним из главных факторов в этой гонке была надёжность. Надёжности - и технической, и информационной – С.П. Королёв придавал особое значение.

Надёжность техники – важнейший, комплексный, стратегический параметр, определяемый не только и не столько комплексом мероприятий на одном данном предприятии, сколько общей технологической культурой страны, традициями и социальным устройством.

Надёжность не возникла ниоткуда – чтобы создавать самые надёжные в мире космические аппараты, страна должна была сначала создать такие шедевры надёжности, как автомат Калашникова, грузовой автомобиль ЗиС-5, самолёт-штурмовик Ил-2. На их конструировании и производстве были отработаны технологические приёмы и решения, создана конструкторская и производственная школа, воспитаны кадры, способные производить такую технику.

Надёжность, как ни один другой параметр, зависит от социальных условий. Смена общественной формации и развал СССР вызвали волну техногенных катастроф именно социального происхождения. К управлению сложными техническими объектами пришли кадры, не имеющие ни соответствующего образования, ни квалификации, а некоторые системы контроля и управления были просто ликвидированы. Была упразднена общесоюзная система управления гидрообъектами – начались паводки и наводнения. Была ликвидирована система управления лесным хозяйством – начались лесные пожары и хищническое уничтожение лесов.

Катастрофа на Саяно-Шушенской ГЭС в 2009 году была предопределена, когда к управлению пришли технически безграмотные «менеджеры». Черeda аварий прошла в период 2010-2015 гг. (последняя – 16 мая 2015 года) с ракетами серии «Протон». Наиболее показательной была предпоследняя авария, 2 июля 2013 года – её причиной стали неверно, с применением силы установленные датчики угловых скоростей [1].

Методы обеспечения надёжности космической техники, заложенные С.П. Королёвым, были настолько эффективны, что и сейчас российская техника по надёжности находится на первом месте в мире – хотя надёжность её продолжает снижаться.

Сравнительные характеристики надёжности современных отечественных и зарубежных ракет-носителей и космических аппаратов с учетом нижних доверительных границ приведены в табл.1.

Таблица 1

Сравнительные характеристики надёжности отечественных и зарубежных ракет-носителей

Страна	Тип РН	Вероятность безотказной работы			
		За весь период эксплуатации		За последние 10 лет	
		точечная оценка	нижняя граница с $\Upsilon=0,9$	точечная оценка	нижняя граница с $\Upsilon=0,9$
РОССИЯ	"Союз"	0,97	0,965	0,99	0,983
	"Молния"	0,9	0,869	0,98	0,931
	"Протон"	0,92	0,893	0,98	0,94
УКРАИНА	"Зенит"	0,8	0,677	0,72	0,545
	"Циклон"	0,97	0,949	0,966	0,912
ФРАНЦИЯ	"Ариан"	0,93	0,888	0,95	0,91
США	"Дельта"	0,941	0,906	0,952	0,925
	"Атлас"	0,879	0,816	0,949	0,89
	"Титан"	0,93	0,9	0,914	0,819
КИТАЙ	"CZ"	0,942	0,868	0,969	0,884
ЯПОНИЯ	"Н"	0,936	0,837	0,91	0,69

Среди стратегических методов, используемых С.П. Королёвым для обеспечения надёжности космической техники и первенства СССР следует отметить следующие:

1. Принципиальная опора только на собственные силы.
2. Организация труда.
3. Подбор и обучение кадров.

Принципиальная опора только на собственные силы

Вся космическая техника, все комплектующие, материалы, электроника и автоматика производились только в СССР и производились по полному циклу, от добычи сырья до готовой продукции. Об эффективности такого подхода свидетельствует то, что ракетный двигатель РД-180 настолько надёжен и эффективен, что США не могут отказаться от его закупок в России [2]. А в середине 90-х годов, когда советские разработки были рассекречены, американский журнал «Электроникс» писал о том, что советские бортовые вычислительные машины (БЦВМ) серии «Салют», созданные в зеленоградском НИИ Микроприборов в сотни раз превосходят американские по объёмной плотности упаковки элементов.

Следует отметить, что такой подход обеспечивает не только высочайшую надёжность, но и даёт технологическую независимость стране. При этом «проблемы импортозамещения» просто не существует, как не существует и самой возможности внедрять шпионские «закладки» в бортовые и наземные системы космической техники.

Организация труда

Для обеспечения надёжности космической техники на ракетных заводах была строжайшая дисциплина и чёткая организация труда, а также действовала система моральных и материальных стимулов.

Добросовестное отношение к работе (один из главных факторов обеспечения надёжности) держалось на двух опорах: личная ответственность и сознание престижности и важности работы.

На курсах для руководящего резерва, которые действовали во всей системе, связанной с космической тематикой, будущим управленцам рассказывали старинную притчу о трёх рабочих, которые делали одно и то же дело – носили камни.

– Что вы делаете? – спросил их прохожий.

– Таскаю эти проклятые камни! – сказал первый.

– Зарабатываю на хлеб своей семье. – ответил второй.

А третий рассказал, что он строит прекрасное здание, которое украсит и прославит его город, и люди из дальних стран будут приезжать любоваться им, а потомки с уважением и гордостью будут вспоминать строителей.

И, вполне понятно, что качество и производительность труда у третьего были наивысшими.

Может быть, этот вопрос – социально-психологический, и является главным в проблеме обеспечения качества.

Подбор и обучение кадров

В 30-е годы в СССР был выдвинут лозунг – «Кадры решают всё!». Именно тогда появились великие авиаконструкторы – Туполев, Яковлев, Лавочкин, Ильюшин, Сухой, именно из тех лет пришёл Королёв. И, конечно же, ничего он не смог бы сделать, если бы не опирался на своих товарищей и соратников, блестящих инженеров, таких, как Черток, Исаев, Бармин, Мишин и других.

Но не маршалы и генералы решают исход боя, а солдаты. Сотни тысяч рабочих самых разных специальностей должны строить ракеты – и именно от их знаний, квалификации, сознания важности дела, добросовестности, и зависел успех, зависела надёжность космической техники.

А где взять эти сотни тысяч? Только вырастить и привить любовь к знаниям, к технике, к честному и квалифицированному труду, привить понимание важности и значимости работы «на космос». И это было сделано – школьные программы давали глубокие знания, по всей стране была развёрнута сеть авиамodelьных и ракетных кружков, каждому была открыта дорога в авиаклуб. Именно с полётов на самолёте Як-18 начался путь в космос выпускника ремесленного училища, литейщика Юрия Гагарина. Так формировалась рабочая гвардия, и невозможно было представить, что в системе Королёва кто-то будет кувалдой загонять датчик в ракету.

В современных условиях обеспечение надёжности перестало быть системным, в цепи полного цикла производства появилось множество слабых звеньев – частных предприятий, по сути ни за что не отвечающих и озабоченных только сбытом товара. Рабочие специальности перестали быть престижными, квалифицированный рабочий имеет низкий доход – следовательно, идёт переток кадров в неважные для страны, но денежные отрасли и общее понижение квалификации.

Система обеспечения надёжности датчико-преобразующей аппаратуры на примере АО «НПО ИТ»

Обеспечение надёжности – сложный, многофакторный процесс, проходящий красной нитью через все стадии процесса проектирования, создания и жизненного цикла изделия. Сейчас существуют различные стандарты и системы менеджмента качества, поддерживаемые системами аккредитации, сертификации и инспекционным контролем, внедрённые на АО «НПО ИТ». Это позволяет не только обеспечить качество и надёжность, но и исключить «обезличку», когда исполнитель конкретной технологической операции для изготовления конкретного изделия остаётся безымянным и безответственным.

Рассмотрим конкретные случаи отказа изделий от потребителей (рекламационные акты) на примере датчико-преобразующей аппаратуры и принятые АО «НПО ИТ» меры для повышения качества и надёжности изделий.

Анализ отказавших изделий, произведенных АО «НПО ИТ» за последние три с половиной года, в период с 2013-го по вторую половину 2016-го показал, что из 36 457 единиц техники отказали 13, или 0,036% от общего количества изготовленных приборов.

Конкретное распределение процента отказов от общего количества изготовленных по типам аппаратуры составило:

- термометры медные ТМ 006 – 0,03%
- термометры медные ТМ232 – 0,02%
- термометры платиновые ТП062 – 0,11%
- преобразователь «Микрон» – 1,77%
- блок проверки питания БПП 022 – 0,06%

что все потенциально ненадёжные элементы не прошли через фильтр входного контроля.

Отказы проволоочных термометров сопротивления ТМ 006, ТМ 232, ТП 062 – типичные «электрические отказы», обрыв и короткое замыкание. Принятые меры дополнительного контроля в процессе изготовления достаточны для исключения подобных отказов в дальнейшем.

Механический дефект в корпусе преобразователя «Микрон» – несоответствие осевого расстояния отверстий – устранён надёжно: в чертежи изделия введены размеры межосевого расстояния, а в техпроцесс введен контроль этих размеров.

Проблема появления микротрещины в переходном отверстии печатной платы, выявленная 28.11.2013 г. была решена приобретением интронметра и терраомметра для контроля технологических операций при изготовлении печатных плат и включением их в технологический процесс предприятия. Это должно повысить качество и надёжность изделия – как и других изделий, содержащих печатные платы.

Поскольку в условиях современной России концепция «импортозамещения» пока не соответствует полноценной концепции опоры на собственные силы, поскольку источник пополнения космической промышленности добросовестными и наиболее квалифицированными работниками, готовыми работать в условиях жёсткой дисциплины и высокой ответственности не действует, единственным путём обеспечения требуемой надёжности ракетно-космической техники является тотальный контроль.

Что, естественно, понизит общую производительность труда и темпы развития отрасли. И результат уже наблюдается – в 2016 году впервые за последние десятилетия Россия осуществила менее двадцати запусков, уступив лидерство США и Китаю [3].

Список литературы

1. Роскосмос: Ракета «Протон-М» упала из-за нештатной работы датчика угловых скоростей. // [Сайт Russia today] URL <https://russian.rt.com/article/12605>.
2. ЖРД РД-180. // [Сайт «Жидкостные ракетные двигатели»] URL <http://www.lpre.de/energomash/RD-180/index.htm>.
3. Россия уступила США и Китаю по количеству космических запусков. // [Сайт Space DaysNote Новости науки и техники] URL <http://sdnnet.ru/n/18900/>

Система видеофиксации срабатывания датчика высоты беспилотного летательного аппарата

И.А. Стефанов, П.Е. Иванов, А.В. Дорохин

АО «Корпорация тактическое ракетное вооружение»

Тел. 8-495-510-48-59

Рассматривается система, позволяющая оценить срабатывание датчика высоты при скорости движения тела свыше 300 м/с без использования каналов телеметрии БПЛА. Предлагается система, состоящая из 4 узко направленных камер с инфракрасными фильтрами и установленной на теле БПЛА мощной инфракрасной вспышки.

Контроль всех систем БПЛА, в том числе датчика высоты осуществляется с помощью передачи телеметрируемых сигналов на наземный пункт по радиоканалу, но качество телеметрии не позволяет оценить работу быстроизменяющихся или коротких сигналов, а также время срабатывания боевой части. Возникает проблема определения высоты срабатывания датчика в реальных условиях летных испытаний.

Заявленные разработчиком характеристики датчика высоты, утверждают, что при движении БПЛА со скоростью, превышающей 300м/с срабатывание датчика на заданной высоте, будет осуществляться с установленной точностью до 1 метра. Поскольку воссоздать в лабораторных условиях такие скорости не представляется возможным, требуется изготовление системы, которая отслеживала бы срабатывание датчика высоты БПЛА при подлете к заданной высоте.

Целью работы являлась разработка независимой от телеметрии системы, позволяющей определить точку срабатывания датчика высоты БПЛА.

Система видеофиксации срабатывания датчика высоты БПЛА состоит из:

-4 узконаправленных высокоскоростных видеокамер, расположенных в зоне падения БПЛА,

-Радио приемника

-Радио передатчика

-Портативного компьютера.

В процессе полета осуществляется фиксация высоты БПЛА при помощи датчика высоты. При достижении БПЛА заданной высоты подрыва боевой части датчик формирует исполнительный сигнал на плату управления инфракрасной вспышки. Высокоскоростные

видеокамеры фиксируют вспышку, проходящую через фильтр, установленный на объективах камер (пропускающий только инфракрасные лучи, для исключения фиксации ложной информации) и передают отфильтрованные данные по радиоканалу на автоматизированное рабочее место.

Предложенная система запатентована, патент на изобретение №2550100 (от 06.04.2015)

Достоверность научных положений и их выводов основывается на:

- Проведение испытаний на определение временного интервала до критической температуры излучателя.
- Проведение оценки максимального расстояния определения, срабатывания устройства формирования вспышки.
- Проведение испытаний на быстродействие устройства формирования вспышки.

По результатам данной работы разработана «Система видеофиксации датчика высоты БПЛА при полете к цели» и внедрена на АО «Корпорация тактическое ракетное вооружение».

Литература:

1. Овчиников А.М. Ильин А.А. «Принцип работы и устройство активно-пиксельных датчиков»
2. Мельканович А.Ф. «Фотографические средства и их эксплуатация» Издание МО СССР, М. 1984

Особенности формирования микросварных соединений повышенной прочности при высокой плотности монтажа

Л.А. Ширяева, начальник отдела
АО «Российские космические системы»
E-mail: lubovshiryaeva@yandex.ru

Целью выполнения данной работы является проведение исследования типов сварных соединений проволочных выводов в изделиях микроэлектроники и разработка технологии высокоплотного монтажа на контактные площадки (КП) малого размера.

В связи с развитием микроэлектронных устройств по пути 3D-интеграции происходит уменьшение КП и повышение плотности монтажа, а, следовательно, и увеличение числа проволочных перемычек, которое может привести к снижению надежности изделия [1].

В результате возникает несколько основных задач, которые необходимо решить при разработке технологического процесса микросварки:

- получение качественного сварного соединения на КП малого размера (60х60 мкм);
- повторяемость и стабильность технологического процесса;
- получение сварного соединения высокой прочности;
- обеспечение точной ориентации проволоки относительно КП при монтаже;
- применение проволоки малого диаметра (≤ 25 мкм).

С целью решения данных задач были исследованы методы получения сварных соединений и выбран метод термоультразвуковой сварки, который особенно эффективен для сварки золотой проволоки с золотыми покрытиями [2]. Так же были рассмотрены несколько типов сварных соединений: «шарик/шарик»; «шарик/клин»; «клин/клин»; «шарик/шарик-клин».

При выполнении данной работы были определены требования, предъявляемые к оборудованию для микросварки, и требования к применяемому инструменту, позволяющие производить высокоплотный монтаж на КП малого размера, определен тип сварного соединения – «шарик/шарик-клин», позволяющий обеспечить высокую прочность сварного соединения.

В результате выполнения данной работы были подобраны оптимальные технологические параметры сварки: сила тока, давление, частота колебаний инструмента, время сварки, температура подогрева рабочего столика, а так же тип сварного инструмента, которые обеспечили решение поставленных задач. Контроль качества сварных соединений

производились стандартными методами в соответствии с ОСТ 11 073.013-83 [3]. Внешний вид полученного сварного соединения представлен на рисунке 1.

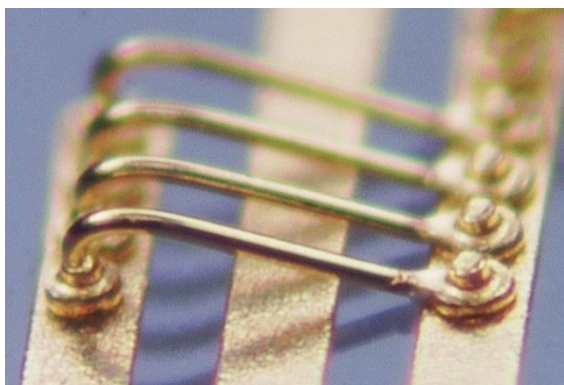


Рис.1. Сварное соединение «шарик/шарик-клин» выполненное на мостах Ланге

Список литературы

1. Integrated Interconnect Technologies for 3D Nano Electronics Systems / Ed. by M.S. Bakir, J.D. Meindl. – London: Artech House, 2009. 528 p.
2. Ланин В., Петухов И., Шевцов В. Ультразвуковое оборудование для сварки микропроводников// Компоненты и технологии, 2009, №8, с.124-128
3. ОСТ 11 073.013-83 Микросхемы интегральные. Методы испытаний.
4. Б. М. Симонов, А. В. Заводян; под ред. С. П. Тимошенкова. Технологические основы микроэлектроники. Учебное пособие: [в 2 частях] - М., МИЭТ, 2008 – 21 с.
5. Ланин В.Л., Петухов И.Б. Получение соединений повышенной плотности термозвуковой микросваркой в 3D интегральных микросхемах// Технология и конструирование в электронной аппаратуре, 2014, №2-3, с.48-52.

**О результатах пробной эксплуатации системы горизонтирования антенного комплекса на
основе устройства измерения углов тангажа и крена**

А.В. Поспелов, А.А. Папко, д.т.н.

АО «Научно-исследовательский институт физических измерений»

г. Пенза, Россия

E-mail: inercial@niifi.ru

Горизонтирование при установке объектов различного назначения на подвижные шасси осуществляется с помощью систем с аналогичным названием.

Неотъемлемой частью систем горизонтирования являются инерциальные системы, предназначенные для измерения углов крена, тангажа и формирования управляющих воздействий для опорно-поворотных устройств установки объектов в заданное положение. При этом эффективность работы систем напрямую связана с точностью измерения углов тангажа и крена.

В качестве измерителей углов в наземных системах горизонтирования, как правило, используются акселерометры уравнивающего преобразования [4]. В отличие от традиционных датчиков угла, использование акселерометров не требует механической связи между чувствительным элементом и подвижным основанием. Акселерометры измеряют углы наклона конструкций относительно вектора гравитационного ускорения g на основе энергетического взаимодействия с ним. При измерении углов тангажа θ и крена γ два акселерометра устанавливаются на платформу измерительными осями перпендикулярно. При этом они измеряют проекции вектора гравитационного ускорения, равные $g_\theta = g \cdot \sin \theta$ и $g_\gamma = g \cdot \sin \gamma$. Для каждого из них выходной сигнал без учета смещения нуля $U_{\text{вых}(\theta)}$ будет равен

$$U_{\text{вых}(\theta)} = K_{g\theta} \cdot \arcsin \frac{g_\theta}{g}, \quad U_{\text{вых}(\gamma)} = K_{g\gamma} \cdot \arcsin \frac{g_\gamma}{g}, \quad (1)$$

где $K_{g\theta}$, $K_{g\gamma}$ – коэффициенты преобразования акселерометров каналов θ и γ по гравитационному ускорению.

Особенностями создания акселерометров для систем горизонтирования является выполнение двух противоречивых требований:

- высокой точности, реализуемой за счет увеличения глубины уравнивания и, как следствие, увеличения собственной частоты;

- устойчивости или сохранения метрологических характеристик при воздействии виброускорений в широком частотном диапазоне, возникающих при работе двигателя шасси, опорно-двигательных и технологических устройств объекта, например вентиляторов. При этом следует иметь в виду, что для систем горизонтирования с использованием акселерометров вибрационные помехи являются влияющей величиной, однородной с измеряемым параметром.

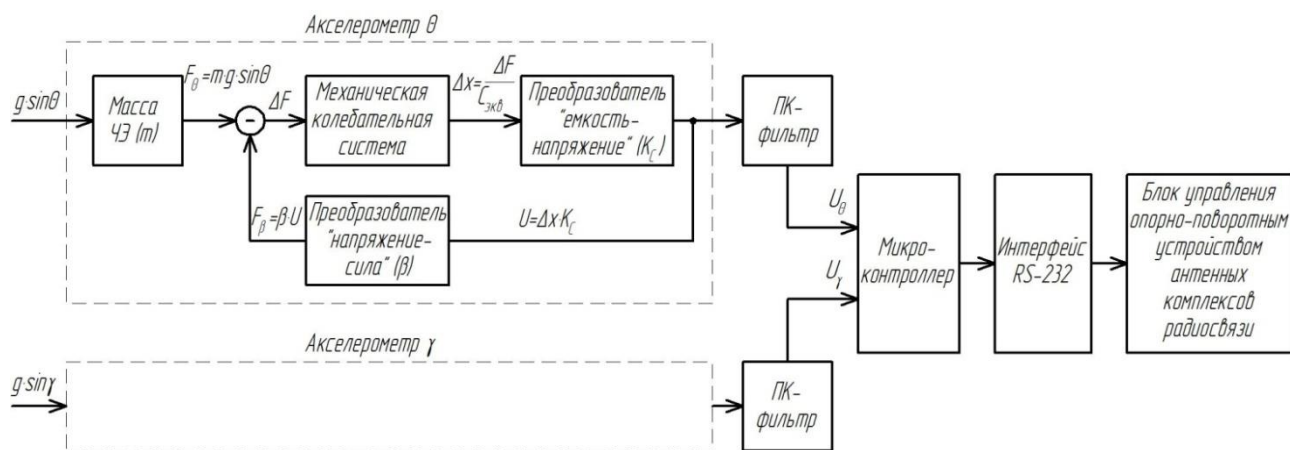
Выполнение указанных требований достигается путем формирования частотного диапазона измерений (ЧДИ), верхняя граница которого определяется контролируемой динамикой объекта и скоростью затухания амплитудно-частотной характеристики в первой октаве за верхней границей ЧДИ до 30 дБ/окт. При этом необходимость выполнения требований осложняется также тем, что параметры влияющих вибраций, как любой реальный сигнал, имеют неограниченный спектр, а требования к их частотному диапазону, как правило, задаются весьма приближенно.

В настоящее время для формирования ЧДИ акселерометров эффективно использование ФНЧ высокого порядка на переключаемых конденсаторах (на ПК-фильтрах). Для микросхем ПК-фильтров частота среза (верхняя граница ЧДИ) и частота генерации встроенного генератора, под которой следует понимать частоту дискретизации, связаны соотношением 50:1.

Структурная схема системы с учетом включения ПК-фильтров на входах АЦП микроконтроллера показана на рисунке 1.

Согласно структурной схеме проекции гравитационного ускорения на измерительные оси акселерометров каналов θ и γ преобразовываются в них в выходные напряжения, которые подаются на ПК-фильтры и входы АЦП микроконтроллера.

В настоящее время в АО «НИИФИ» разработана система горизонтирования типа УИТК. Ее отличительной особенностью является использование акселерометров собственной разработки с применением отечественной комплектации, включая ПК-фильтр, микроконтроллер и приемопередатчик, а также высокая стабильность метрологических характеристик, нормируемая в виде среднеквадратического значения абсолютной погрешности, которое в условиях эксплуатации не превышает ± 20 угловых секунд (табл. 1). Для примера, эталонные средства горизонтирования типа поплавковых и электронных уровней имеют сопоставимую погрешность, но при неизменной температуре окружающей среды и отсутствии влияющих ускорений.



g – модуль вектора гравитационного ускорения;
 θ, γ – углы тангажа и крена соответственно;
 m – масса инерционного элемента;
 Δx – смещение инерционного элемента под действием измеряемой и уравнивающей сил F_θ (F_γ), F_β ;
 $C_{\text{экв}}$ – жесткость подвеса, формируемая электромеханической обратной связью.

Рисунок 1 – Структурная схема системы горизонтирования

Несмотря на положительные результаты разработки и высокий уровень экспериментальной отработки УИТК, при ее пробной эксплуатации на подвижном шасси автомобиля «Тигр-М», системой записан спектр низкочастотного сигнала частотой до 2 Гц, который невозможно интерпретировать в качестве записей вибрации, воспроизведенной работой двигателя автомобиля. В режиме холостого хода автомобиля возможно наложение вибропроцессов от работы различных узлов двигателя, но их нижняя частотная граница, как правило, не бывает менее 300 Гц. Анализ вибрационных составляющих, возникающих при работе двигателя внутреннего сгорания [3, 5], показал, что причиной появления низкочастотной составляющей в спектре УИТК не может являться биение сигналов с незначительно отличающимися частотами, в связи с тем, что биение как линейный процесс не может быть источником новых частотных компонент.

Таблица 1

Диапазоны измерений, град.	от ± 3 до ± 90
ЧДИ, Гц	0 – 4
Среднеквадратическое значение абсолютной погрешности в условиях эксплуатации, угл. сек.	± 20
Время непрерывной работы, час, не более	15
Представление выходной информации	кодировка ASCII
Интерфейс	RS-232
Напряжение питания, В	23 – 34
Ток потребления, мА, не более	100
Температура окружающей среды, $^{\circ}\text{C}$	минус 50 - +70
Виброускорение в направлениях измерительных осей, $\text{м/с}^2/\text{Гц}$	0,5/5-500
Виброускорение в поперечном направлении, $\text{м/с}^2/\text{Гц}$	5/5-500
Масса с корпусом из стали, кг	1,7
Габаритные размеры, мм	100x150x54

Дальнейшие исследования показали, что появление в спектре выходного сигнала УИТК низкочастотной составляющей объясняется эффектом наложения спектров вибрационного сигнала и частоты дискретизации примененного ПК-фильтра. Указанный эффект характеризуется следующими признаками [1 - 2]:

- нарушением условия нахождения анализируемого сигнала (в рассматриваемом случае вибрационного) в зоне Найквиста или нарушением критерия дискретизации Котельникова, согласно которому частота дискретизации должна быть как минимум вдвое больше частоты исследуемого или влияющего сигнала;

- формированием в ПК-фильтре паразитного сигнала или низкочастотного образа реального сигнала, отображаемого в частотном диапазоне измерений системы и воспринимаемого АЦП и микроконтроллером в качестве измеряемого угла наклона (см. рисунок 2).

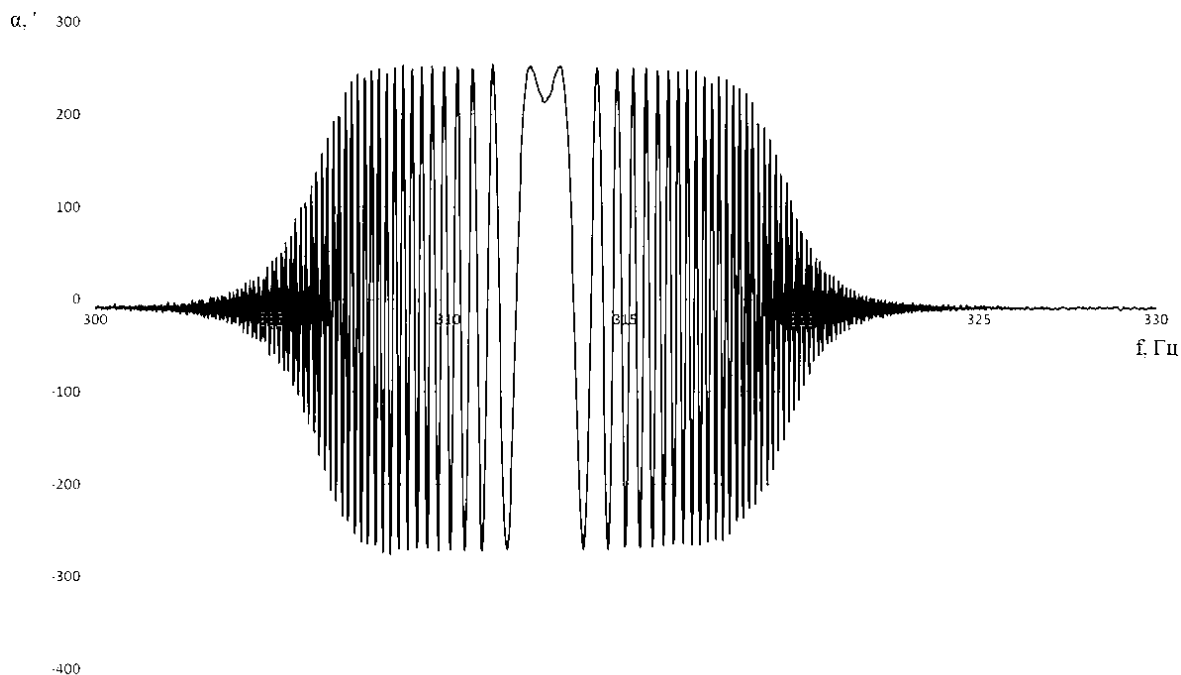


Рисунок 2 – Запись выходного сигнала УИТК при наложении спектров с частотой воздействия вибрации, близкой к частоте дискретизации

В этой связи фактические измерения низкочастотной составляющей при установке УИТК на автомобиль «Тигр-М» объясняются отображением частот выше частоты дискретизации ПК-фильтра в полосу частот полезного сигнала, находящуюся в диапазоне частот от 0 до верхней границы ЧДИ.

Из анализа признаков наложения спектров, а также учитывая, что эффект наложения в цифровом сигнале полностью производится на первом этапе цифро-аналогового преобразования, а в данном случае – в ПК-фильтре, и то, что для любого реального сигнала спектр является бесконечным, следует, что для его исключения при работе УИТК необходимо принятие специальных мер.

К их числу относятся:

- увеличение частоты дискретизации ПК-фильтра, что связано с нежелательным расширением верхней границы ЧДИ;
- использование более предпочтительного решения в виде ограничения спектра измеряемого сигнала путем дополнительной аналоговой фильтрации выходного сигнала акселерометров.

Реализация этого решения и его экспериментальное подтверждение позволили решить достаточно сложную проблему наложения спектра включением пассивного интегрирующего звена первого порядка на вход ПК-фильтра с частотой среза, превышающей верхнюю границу ЧДИ в (5-10) раз.

Таким образом, для правильной интерпретации результатов измерений систем горизонтирования на основе акселерометров в процессе эксплуатации необходимо не только фильтровать анализируемый сигнал до начала дискретизации, но и обращать особое внимание на достоверность представления частотного диапазона вибрационных помех, возникающих при работе шасси, опорно-поворотных и технологических устройств объектов горизонтирования.

Кроме этого представляется целесообразным нормирование частоты наложения спектров в КД системы на основе экспериментального исследования при воздействии влияющих вибраций в интервале частот, верхняя граница которого превышает на порядок максимальную частоту вибраций, установленную в техническом задании.

Список литературы

1. ГОСТ 32108-2013 «Измерения вибрации, передаваемой машиной через упругие изоляторы. Двигатели внутреннего сгорания поршневые высокоскоростные и среднескоростные». М.: Стандартинформ, 2014. 12 с.
2. ГОСТ Р ИСО 13373-2-209 «Контроль состояния и диагностика машин. Вибрационный контроль состояния машин. Часть 2. Обработка, анализ и представление результатов измерений вибрации». М.: Стандартинформ, 2010. 33 с.
3. Куприянов М.С., Матюшкин Б.Д. Цифровая обработка сигналов. СПб.: Политехника, 2000. 592 с.
4. Мокров Е.А., Папко А.А. Статико-динамические акселерометры для ракетно-космической техники. Пенза: ПАИИ, 2004. 164 с.
5. Лайонс Р. Цифровая обработка сигналов. М.: Бином-Пресс, 2006. 656 с.

**Прогнозирование нештатных и аварийных ситуаций на основе математической модели
объекта и статистического анализа телеметрических данных**

Т.О. Новикова

АО «НИИФИ»

tat.xs.ard@gmail.com

В настоящее время в ракетно-космической отрасли существует ряд специфических проблем, связанных со стендовыми испытаниями. Проведение последних требует высоких технических, временных и финансовых затрат, в виду чего возникновение не только аварийных [1], но и нештатных ситуаций, приводящих к необходимости доработки и повторных испытаний объекта, является одной из наиболее значимых проблем.

Как правило, имеющееся в распоряжении у испытателей техническое и программное оснащение не позволяет обеспечить нулевую вероятность возникновения нештатных и аварийных ситуаций, в виду чего возникает необходимость проработки механизмов прогнозирования и реализации механизмов реагирования. Механизмы прогнозирования должны обеспечивать заблаговременное предотвращение аварийных ситуаций и адекватное реагирование на возможные нештатные ситуации, не приводящие к каким-либо нарушениям технического состояния объекта.

В данном случае под прогнозом следует понимать вероятностное научно обоснованное суждение о перспективах, возможных состояниях того или иного явления или объекта в будущем [2]. Классическим вариантом для предупреждения нештатных и аварийных ситуаций является поисковый прогноз, предполагающий условное продолжение в будущее тенденций изменения состояния объекта без учета возможных радикальных изменений.

Существует еще один вид прогноза, характерный не столько для технических наук, сколько для социально-экономических – нормативный прогноз. В его основе лежит определение путей и сроков достижения возможных состояний объектов, принимаемых в качестве цели. Однако именно это и позволит применять нормативный прогноз для предупреждения аварийной ситуации: если в качестве цели принять аварийную ситуацию на том или ином участке объекта, а в качестве сроков – минимальное время срабатывания системы аварийной защиты и управления (САЗУ), можно просчитать, радикальные изменения состояний каких участков и характеристик объекта, а также внешних воздействующих факторов следует

устранить либо предупредить для обеспечения безаварийности. Однако такой прогноз требует больших вычислительных мощностей как на этапе разработки, так и в процессе применения.

В настоящее время используются методы прогнозирования состояний параметров объекта на основе скорости изменения рассматриваемых параметров либо на основе корреляционного анализа.

Первый метод применим при единичном испытании и оперирует массивом только что полученных данных: определяется средняя скорость изменения параметра и ориентировочное время выхода данного параметра за границы допуска. Это самая простая реализация поискового прогноза, требующая минимума статистических данных и вычислительных мощностей. При этом метод обладает недостаточной точностью и не учитывает воздействия других факторов.

Второй метод оперирует накопленными статистическими данными и на их основе позволяет обнаружить связи между парами параметров, однако не дает основания утверждать, что один из параметров предшествует или является причиной изменения второго, или что параметры вообще связаны между собой, а не наблюдается действие третьего фактора [3].

Таким образом, можно сказать, что прогнозирование не дает достаточных результатов без построения корректной математической модели объекта, в достаточной мере имитирующей функционирование объекта во времени. Математическая модель объекта стендовых испытаний представляет собой совокупность моделей физических процессов, в нем протекающих.

Исходными данными имитационного моделирования для решения задач прогнозирования нештатных и аварийных ситуаций являются:

- модель двигателя либо частные модели характерных физических процессов;
- функциональные зависимости изменения граничных условий моделирования, соответствующие смене режимов работы двигателя согласно циклограмме испытания (последовательность изменения состояния исполнительных элементов – ЭПК, ПП);
- банк данных аварийных ситуаций;
- значения постоянных времени датчиков и исполнительных элементов.

В результате имитационного моделирования могут быть определены:

- конфигурация и границы контроля диагностических алгоритмов;
- конфигурация и границы контроля алгоритмов-цензоров;
- предельные значения времён реакции САЗ на отказы, обеспечивающие безаварийное завершение испытания;
- последствия отказов и их критичность с учётом их обнаружения логикой аварийной защиты;

- модельные данные изменения параметров САЗ во времени с шагом 10 мс для нормального и аварийных завершений испытаний. Эти данные используются для комплексных проверок стендовых систем управления и аварийной защиты при подготовке к испытаниям в режиме реального времени [4].

К сожалению, разработка полноценной имитационной математической модели объекта является сложным трудоёмким процессом, что затрудняет ее применение для построения прогнозов. Одним из вариантов снижения сложности задачи является разработка упрощенной математической модели.

При наличии достаточного количества статистических данных телеметрии (в 5-10 раз больше, чем количество рассматриваемых параметров) для безаварийных стендовых испытаний можно получить усредненную математическую модель объекта: путем многократного применения средств корреляционно-регрессионного анализа вывести усредненную регрессионную модель. В отличие от полноценной математической модели она не требует обязательного участия аналитика в конструировании функций закономерности и при этом является более точной [5].

Применение регрессионной модели на основе статистических данных позволит усовершенствовать имеющиеся системы прогнозирования и снизить количество нештатных и аварийных ситуаций в ходе проведения стендовых испытаний.

Литература

1. ГОСТ Р 56523-2015. Системы и комплексы космические. Программа обеспечения безопасности эксплуатации. Общие требования. – Введ. 01.01.16. – М.: Стандартинформ, 2015. – 23 с.
2. Рабочая книга по прогнозированию / Редкол.: И.В. Бестужев-Лада. – М.: Мысль, 1982. – 430 с.
3. Советов Б.Я., Яковлев С.А. Моделирование систем: учебник для вузов. – М.: Высшая школа, 2001. – 343 с.
4. Методология экспериментальной отработки ЖРД и ДУ, основы проведения испытаний и устройства испытательных стендов: монография / Галеев А.Г., Иванов В.Н., Катенин А.В. [и др.]. – Киров: МЦНИП, 2015. – 436 с.
5. Регрессионная модель (Дата обращения: 17.02.17).
[URL:http://www.machinelearning.ru/wiki/index.php?title=%D0%A0%D0%B5%D0%B3%D1%80%D0%B5%D1%81%D1%81%D0%B8%D0%BE%D0%BD%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D0%BC%D0%BE%D0%B4%D0%B5%D0%BB%D1%8C](http://www.machinelearning.ru/wiki/index.php?title=%D0%A0%D0%B5%D0%B3%D1%80%D0%B5%D1%81%D1%81%D0%B8%D0%BE%D0%BD%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D0%BC%D0%BE%D0%B4%D0%B5%D0%BB%D1%8C).

**Способ повышения эффективности РТС при развитии высокодинамичного
аварийного процесса на борту изделия**

Д.Ю. Поленов

АО «НПО ИТ»

polenoff.mitya@yandex.ru

Одним из направлений повышения эффективности существующих РТС контроля РН и РБ является передача ТМИ в ракетной радиолнии с мультиплексированием ортогональных несущих частот [1]. Его суть заключается в разложении последовательности символов цифрового кода и передаче отдельного символа на своей несущей частоте. В результате получается параллельная передача символов. Чем больше несущих используется при передаче, тем дольше длительность символа, передаваемого соответствующей ему несущей.

Благодаря применению указанного способа увеличивается временной интервал передачи каждого символа, что повышает устойчивость передаваемых ИС к явлению многолучевости, характерному ракетному радиоканалу [2], и к воздействию шумов и помех [1]. Связь длительности передаваемых разрядов с внезапным окончанием связи следующая [3]:

$$\tau_i = (N_{\text{нес}} - i) \cdot \tau_p, \quad (1)$$

где τ_i - длительность передачи i -го разряда передаваемого последовательного информационного кода, $N_{\text{нес}}$ - количество используемых несущих, τ_p - длительность передачи одного разряда ИС.

Применение способа передачи ТМИ с мультиплексированием ортогональных несущих частот повышает эффективность РТС и в случае развития высокодинамичного аварийного процесса на борту изделия [3]. В ходе развития аварийного процесса до момента выхода из строя РТС на каждой несущей будет передана следующая временная часть ($\Delta\tau_i$) i -го ИС [3]:

$$\Delta\tau_i = t_{\text{ав}} - \tau_i, \quad (2)$$

где $t_{\text{ав}}$ - время начала аварийного процесса.

Накопленная энергия E_i передаваемого разряда будет равна [3]:

$$E_i = \int_{t_i}^{t_{\text{ав}}} P(t) dt, \quad (3)$$

где t_i - время начала передачи i -го разряда, $P(t)$ - значение мощности передаваемого разряда.

В случае штатной работы БРТС энергия передаваемых i разрядов составит [3]:

$$E_i = \int_{t_i}^{t_i+T} P(t) dt, \quad (4)$$

где $T = \tau_p \cdot N_{нес}$.

Результаты исследований показали, что за время развития аварийного процесса, связанного с механическими разрушениями испытуемого изделия, от начала аварийного процесса до момента выхода из строя бортовой РТС обеспечивается передача объема данных, достаточного для решения диагностической задачи по определению места возникновения разрушений (по быстроменяющимся параметрам).

Список литературы:

1. Мороз А.П., Поленов Д.Ю. Передача телеметрической информации с применением принципа мультиплексирования ортогональных несущих частот. Тезисы докладов XX Научно-технической конференции молодых ученых и специалистов. 10-14 ноября 2014 г. С. 252-254.
2. Поленов Д.Ю. Особенности ракетного радиоканала. Теоретические и прикладные аспекты современной науки. Сборник научных трудов по материалам IX Международной научно-практической конференции. г. Белгород, 31 марта 2015 г. Ч. 2. С. 104-109.
3. Мороз А.П., Поленов Д.Ю. Метод повышения эффективности информационно-телеметрического обеспечения при аварийных испытаниях изделий РКТ. Труды 4 ЦНИИ Минобороны России, посвященные II Всероссийской научно-технической конференции «Актуальные проблемы строительства и развития РВСН», г. Королев. Т. 2, № 130. С. 173-179.

**Внедрение технологии 3D-прототипирования и отработка технологии печати средств
технического оснащения**

П.А. Немцова, П.А. Филиппович

АО «НПО ИТ»

E-mail: Phill07@bk.ru

Технология 3D - прототипирования находит широкое применение в разных сферах деятельности и становится все более доступной. 3D-печать – это новейшая технология изготовления деталей путем аддитивных методов производства («сложение» материала и выращивание твердого тела). В АО «НПО ИТ» происходит поэтапное внедрение 3D-печати, для изготовления оснастки простой и средней сложности. Одним из главных преимуществ данной технологии по сравнению с традиционными методами (мехобработка, литье) является прототипирование изделий и создание макетов. Данная деятельность характерна как для единичного, так и для крупносерийного производства, в котором осуществляются разработки новых изделий с широкой номенклатурой деталей и сборочных единиц.

При печати пластиком на 3D-принтере можно столкнуться с различными дефектами 3D-моделей. Наиболее частыми проблемами являются:

- Недостаточная адгезия первых слоев модели (отлипание детали от рабочего стола);
- Разделение и смещение слоев, щели на верхнем слое, между наполнением и контуром;
- Загибающиеся и неровные углы;
- Недостаточное экструдирование (частичное или полное отсутствие слоев) ;
- Изменённые геометрические параметры модели (усадка материала) ;
- Высокая шероховатость выходных деталей.

Чтобы избежать вышеперечисленных дефектов для каждой детали, которую надо получить, подбираются свои температурные режимы, скорость печати и другие технологические параметры. В некоторых случаях для устранения неровностей и шероховатости применяется механическая (например шлифование) или химическая (обработка в среде ацетона, дихлорметана, лимонена и др.) доработка.

На 3D-принтере уже сейчас осуществляется изготовление таких средств технического оснащения как формы для заливки, тары для транспортировки, крышки, заглушки, колпачки и многие другие виды приспособлений. Использование пластика в качестве материала для оснастки, а также способ её изготовления, позволяют существенно сократить сроки выпуска готового изделия, трудоемкость выполняемых работ и как следствие себестоимость выполняемых работ.

Использование компьютерной техники при нормировании драгоценных металлов при изготовлении изделий на предприятии АО «НПО ИТ»

Н.А. Кокорина, Л.Н. Чурилова

АО «НПО ИТ»

E-mail: Kokorina_N@npoit.com

При разработке современной наземной и бортовой аппаратуры, для обеспечения показателей надежности изделий изготавливаемых на нашем предприятии используются драгоценные металлы и их сплавы:

- золото (проволока, фольга, дицианоаурат калия);
- серебро (проволока, припой ПСр, азотнокислое серебро (AgNO_3));
- платина (проволока);
- палладий (двухлористый палладий (PdCl_2)).

Драгоценные металлы, используемые в процессе производства изделий, расходуются в пределах утвержденных норм расхода в граммах на единицу выпускаемой продукции. Нормирование расхода драгоценных металлов проводится на основании:

- конструкторской документации(КД);
- СТП БЫ0.091.101-86 «Организация работы с драгоценными металлами на предприятии»;
- ОСТ 92-4000-83 «Металлы драгоценные. Нормирование расхода»;
- СТП БЫ0.091.100 «Порядок сбора отходов драгоценных металлов и камней».

Нормирование расхода драгоценных металлов является трудоемким процессом. Для своевременного обеспечения подразделений предприятия ведомостями норм расхода драгоценных металлов была проведена систематизация ведомостей норм расхода. Расчеты производятся в программе MicrosoftOfficeExcel, в результате данной работы повысилась точность расчетов, снизилась вероятность появления ошибок, т.к. расчет производится до 0,0000001 г.

Исследование качества и надежности паяных соединений печатных плат

П.И. Конников

АО “НПО ИТ”

E-mail: npoit@npoit.ru

В настоящее время необходимо производить исследования качества печатных плат и готовых изделий. Не все печатные платы имеют хорошее качество. Если бы мы могли посмотреть на производство через призму развития индустрии печатных плат, использующую одну технологию, то увидели бы экспоненциальное сокращение доли некачественных плат. Совершенствование процессов производства и широкий спектр программ продолжают улучшать качество продукции. Несмотря на эти улучшения, необходимость тестирования остается.

Одна из причин для проведения испытаний - это прекращение затрат на производство бракованной продукции. Рассмотрим печатную плату как компонент полностью собранного изделия. Общепринято, что относительный показатель стоимости брака полностью собранного электронного изделия можно выразить с помощью правила десяти. Смысл правила заключается в том, что чем раньше будет выявлен брак, тем меньше будут потери от последствий брака. В качестве примера приведем разрыв цепи на печатной плате, который не был найден во время электрических испытаний. На бракованную печатную плату устанавливают компоненты, припаивают и тестируют. Если брак будет обнаружен на печатной плате с установленными компонентами, то восстановление или очистка платы будет в десять раз дороже, чем восстановление платы без компонентов. Возникают ситуации, когда сборщик печатных плат перекладывает на производителя «голых» печатных плат часть расходов на удаленные компоненты, монтаж и/или производственные затраты. Это более справедливо в случае дорогих интегральных схем (ИС) с большими возможностями, которые присутствуют во многих изделиях. Если же брак был не замечен на стадии окончательных испытаний и дошел до конечного потребителя, то это влечет за собой еще более высокие затраты. Некоторые из этих расходов в виде обслуживания оборудования, простоя оборудования, стоимости запчастей и оплаты труда являются очень ощутимыми. Прочими затратами можно считать потерю бизнеса и репутации.

Удовлетворение потребностей потребителей. Если правило десяти является логическим осознанием общего положения вещей, которое указывает на необходимость испытаний, то с требованиями пользователя складывается противоположная картина.

Пользователь печатных плат уверен, что электрические испытания не только целесообразны и необходимы, но и должны быть частью процесса производства печатных плат. Это обязанность и ответственность производителя печатных плат, призванные удовлетворить условиям контрактов на покупку его изделий. На практике мы видим, что требования потребителя отражены в контрактах совсем по-разному.

При появлении таких технологий пайки, как пайка волной припоя, пайка оплавлением в печи, селективная пайка (Рис.1), встал вопрос о проверке качества печатных плат. Преимуществом испытаний является совершенствование процессов и, следовательно, сокращение расходов. Так же это необходимо для повышения производительности, снижения отходов и общего улучшения качества производимой продукции.



Рис.1 Система селективной пайки.

Одной из наиболее распространенных проблем для производителей электроники является проблема с низкой механической надежностью паек выводов компонентов, например, кнопок при механическом воздействии. Так как предполагаемая причина плохой механической прочности может быть связана с качеством паяного соединения, проводилось рентгеновское

исследование, чтобы определить качество пайки и причины плохой смачиваемости выводов, бракованных паек и низкой механической прочности некоторых компонентов.

Проведенные работы:

Проведён рентгеновский контроль печатных узлов, уделяя внимание местам паяных соединений кнопок с оценкой количества пустот в местах пайки и их расположение. Рентгеновский контроль проводился на установке с цифровым детектором для получения более четкого изображения при большом увеличении.. Места пайки после исследовали на рентгене и при помощи визуальной системы с увеличением 40 крат для понятия, как произошёл излом и как выглядит место образования интерметаллического слоя.

При рентгеновском контроле в галтелях паяных соединений всех кнопок отмечено большое количество пустот, причем эти пустоты располагаются в основном вокруг вывода компонента (*Рис 2*). Что свидетельствует о плохой смачиваемости покрытия выводов кнопок. Рентгеновское исследование паяного соединения после механического удаления кнопок, подтверждает нахождения пустот именно по границе вывода компонента. Большое количество пустот вокруг вывода компонента возникает за счет плохой смачивасти покрытия вывода компонента, когда смачиваемость покрытия происходит только в некоторых точках, а в другом месте образуется пустота.

Так как площадь смачиваемости маленькая, а пустот много, то механическая надежность паяного соединения кнопки становится меньше. Поэтому при механическом воздействии кнопка отваливается - происходит механический отрыв вывода компонента от галтели пайки. Это подтверждает и осмотр выводов отломанных кнопок, на которых видны части припоя - части галтели паяного соединения остающийся в местах хорошего смачивания покрытия вывода, где есть хороший механический контакт. При этом сам вывод опустился в припой и был покрыт припоем - что свидетельствует о правильно отработанном профиле пайки оплавлением и хорошей работой паяльных материалов. Так как обеспечивается полное расплавление припоя и хорошая смачиваемость, поэтому вывод погружается в припой и припой его обволакивает, создавая внешний вид хорошей пайки.



ДИП 34А-01-01

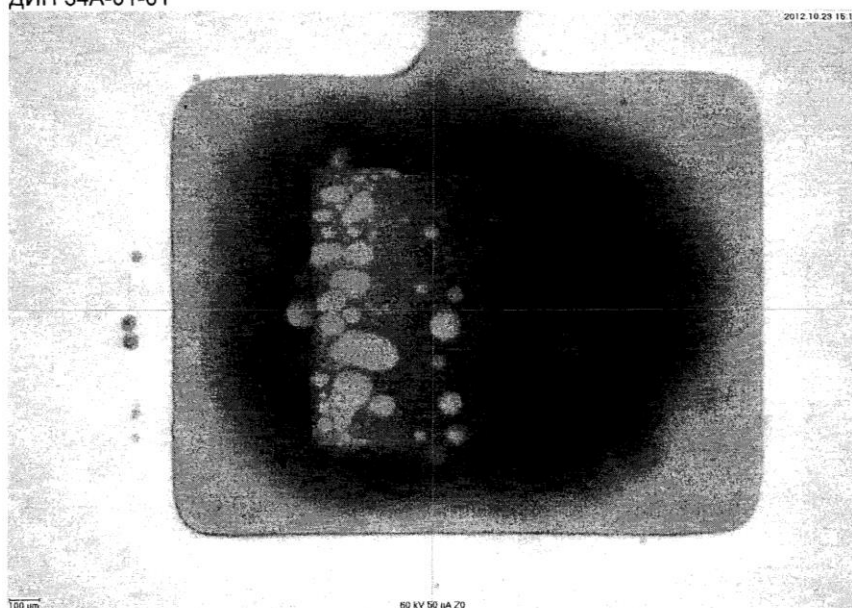


Рис.2 Пустоты в галтели паянного соединения кнопок.

Выводы.

Попытка механического воздействия на другие компоненты показала высокую механическую стойкость к внешним воздействиям. Проблема плохой паяемости отмечена только у кнопок. Причиной этого может служить брак (отсутствие паяемости) при производстве компонента или при его хранении и транспортировке.

Необходимо сообщить производителю об имеющемся дефекте и попросить его прокомментировать подобный дефект. Если производитель отказывается комментировать и не проводит работ по рекламации - рекомендуется признать производителя (поставщика)

некачественным. В дальнейшем рекомендуется произвести смену подобного поставщика по всем направлениям - иначе дальнейшая работа с ним может привести к избыточным экономическим затратам.

У некоторых чипов и выводов других компонентов тоже отмечено наличие пустот в галтелях паяного соединения и располагаются они не только в месте контакта припоя с покрытием вывода можно, но их количество не такое большое и не является критическим. При том механическая надежность этих компонентов значительно выше.

Кнопки не выдерживают механического воздействия потому, что нет паяемости выводов, а значит, нет и нормальной пайки. Большое количество пустот приводит к маленькой площади смачиваемости и образованию интерметаллического соединения только в некоторых точках. Такое паянное соединение не способно выдержать механическое воздействие. Данная проблема никак не может быть связана с некачественной паяльной пастой, так как при рентгеновском исследовании видно нормальное качество пайки остальных компонентов.

Список литературы.

5. Станислав Гафт, Павел Агафонов Время электроники
6. Ларин В.П. Технология пайки. Методы исследования процессов пайки и паяных соединений: Учебное пособие 2002г.
7. Хиро Суганума, Алвин Таманаха, Антон Ефимов Технологии пайки нового поколения
8. Технологии в электронной промышленности главный редактор Павел Правосудов - ООО «Издательство Файнстрит», №1. 2006 г.
9. Джен Фен, Е. Крастев, перевод: О.Зотова. Современные Системы рентгеновского контроля
10. Алексей Попков Селективная пайка - возможности и преимущества
11. Медведев Аркадий, Мылов Геннадий Печатные платы. Требования для поверхностного монтажа 2007г.
12. Монтаж на поверхность: Технология. Контроль качества В.Н. Григорьев, А.А. Казаков, А.К. Джинчарадзе и др.; Под общей редакцией И.О. Шурчкова - М.: Издательство стандартов, 1991г.
13. Исследование качества пайки компонентов Нисан А.А., Ефремов А.М.
14. Моисеенко А. Автоматическая оптическая инспекция – системы Se-300 ultra и Flex ultra // Печатный монтаж. – 2008. – № 4. – С. 4–8.
15. Насонов А. Электрическое тестирование изделий высокой надёжности // Печатный монтаж. – 2008. – № 5. – С. 32–34

Перспективы развития радиоканалов передачи телеметрической информации.

Анненков А. М.

АО "НПО ИТ"

E-mail: npoit@npoit.ru

Цель работы: внедрение современных ЭРИ в состав радиопередающих устройств; применение запоминающих, программируемых и микропроцессорных узлов; снижение занимаемой полосы частот применением фильтрации побочных излучений и спектрально-эффективных методов модуляции; снижение массогабаритных характеристик и энергопотребления.

Результаты работы: создание модернизированного радиопередающего устройства с пониженными массогабаритными характеристиками и энергопотреблением, разработанное с учетом международных стандартов и рекомендаций и обеспечивающее работу как с аналоговой, так и цифровой информацией.

Для обеспечения возможности участия отечественных информационно-телеметрических средств в международных космических проектах телеметрические средства должны создаваться с учетом рекомендаций международных стандартов. При создании предлагаемого радиопередающего устройства будут учтены рекомендации международных стандартов, что позволит более эффективно использовать спектральный ресурс и обеспечить соответствие по этому показателю отечественных устройств аналогичным лучшим зарубежным образцам.

Кроме того, разработанные на основе современных микросхем методы формирования модуляции и радиосигнала позволят существенно снизить массу, спектральные и энергетические характеристики, а также программировать и хранить в памяти микроконтроллеров программы и алгоритмы работы радиопередающего устройства.

Результаты работы направлены на модернизацию радиопередающих устройств, входящих в состав как применяемых в настоящее время (например, «СКУТ-40», «Пирит», «Орбита»), так и перспективных телеметрических систем.

Практическая значимость и эффекты от внедрения результатов проекта состоят:

- в создании радиопередающих устройств, по своим характеристикам совместимых с требованиями рекомендаций современных международных стандартов и не уступающих лучшим зарубежным образцам, что позволит применять российские средства передачи информации на зарубежных ракетах-носителях;
- в применении в радиопередающем устройстве микропроцессоров и микроконтроллеров, позволяющих программировать алгоритмы изменения скорости передачи информации, а также работать как с аналоговой, так и с цифровой информацией.

- в повышении надежности и снижении трудоемкости, времени настройки, регулировки и производства радиопередающего устройства;

Выполнение работ предполагает использование существующей экспериментально-производственной базы АО «НПО ИТ».

Результаты работы планируется использовать при разработке и изготовлении радиопередающих устройств при выполнении инвестиционных программ совместно с предприятиями: ГКНПЦ им. М.В. Хруничева, РКК «Энергия» им. С.П. Королёва, «ГРЦ им. В.П. Макеева», РКЦ «Прогресс», АО «НПК „КБМ“»

Вопросы результативности использования метода контроля достоверности передаваемых сообщений при представлении образами–остатками.

И.А. Давыдов

АО «НПО ИТ»

E-mail: davidov@bk.ru

Одним из развивающихся направлений нетрадиционного представления данных телеизмерений при испытаниях изделий РКТ является представление их образами-остатками. Ряд задач, которые решаются в рамках этого направления, нацелены на повышение эффективности средств информационно-телеметрического обеспечения (ИТО) испытаний и штатной эксплуатации изделий генеральных конструкторов. В частности, особое значение при решении проблемно-ориентированных задач имеет задача повышения показателей помехоустойчивости передачи данных на основе применения аппарата безызбыточных и малоизбыточных помехоустойчивых кодов.

Эффективность применения безызбыточных и малоизбыточных кодов базируется на использовании особенностей внутренней структуры передаваемых данных, содержащей в себе априорную избыточность и наличие корреляционной связи между последовательно передаваемыми цифровыми отсчетами телеметрического параметра. Эта особенность наиболее характерна при передаче медленноменяющихся параметров, когда частота дискретизации параметра значительно превышает основную часть спектральных составляющих процесса.

В информационно-измерительных системах, как правило, процесс повторной передачи данных для повышения достоверности принимаемых сообщений может быть реализован через режим «линии задержки ЛЗ» (циклические системы). Применительно к адаптивным системам в дополнение к режиму ЛЗ, действующих на активных участках полета, используется режим передачи данных из буферной (долговременной) памяти ДП телеметрической системы после завершения целевой задачи средством выведения.

Так, в адаптивной телеметрической бортовой системе «Пирит-РБс», устанавливаемой на РБ «Бриз-М», повторная передача пакетов данных осуществляется из бортового устройств долговременной памяти в режимах ЛЗ и после увода и ориентации РБ по завершению отделения КА для дальнейшей передачи записанных в ДП данных на наземные приемно-регистрирующие станции. В том случае, когда процесс повторной передачи данных для уточнения их достоверности невозможен, для оперативного анализа достоверности принимаемых данных, представленных в нетрадиционной форме образами-остатками, предлагается использовать механизм контроля через абсолютные разности последовательных отсчетов телеметрируемого параметра. В статье рассматриваются особенности и ограничения, накладываемые на использование этого метода применительно к различным шкалам (разрядности) представления параметра, выбору модулей деления, а также содержатся предложения по расширению возможностей оценки достоверности и восстановления сбойных сообщений в условиях воздействия аддитивных помех в канале передачи данных.

**Передача данных в системе остаточных классов для повышения достоверности
передачи информации**

Прасолов Д.Н.

АО “НПО ИТ” г. Королев

E-mail: npoit@npoit.ru

Одно из перспективных направлений в теории помехоустойчивой передачи телеметрической информации связано с разработкой проблемно-ориентированного кодирования. Оно базируется на использовании специфических особенностей различных классов передаваемых данных. Прежде всего, это относится к такой отличительной особенности данных, как структурная избыточность измерительной информации и наличие у телеметрируемых процессов свойств непрерывности. Одна из возможностей полезного использования свойств непрерывности телеметрируемых процессов и объективно существующей структурной избыточности телеметрической информации связана с переходом к представлению результатов телеизмерений в остаточных классах. Основная его суть заключается в том, что значение параметра x может быть однозначно представлено остатками $\{b_1, b_2, \dots, b_k\}$ от деления x на модули сравнения $\{m_1, m_2, \dots, m_k\} \in \mathbb{Z}$, $\mathbb{Z}$ - множество целых чисел. При этом вместо значения результата телеизмерений X передаче подлежат сообщения, составленные из значений остатков $b_1, b_2, \dots, b_k$ [1]. Основным возникающий при этом положительный эффект связан с переходом от позиционной системы представления данных к более экономичной смешанной (модулярной) системе (позиционной в части представления значений остатков и одновременно непозиционной вследствие независимости результата от позиционного расположения остатков различных модулей сравнения). При этом под экономичностью понимается запас чисел, для записи которого в данной системе представления требуется определенное количество символов. Например, для того, чтобы в десятичной позиционной системе счисления записать тысячу чисел (от 0 до 999), необходимо 30 символов, т. е. по 10 символов для каждого разряда. В то же время для однозначного представления натурального ряда чисел от 0 до $m_1 * m_2 = 1056$ в десятичной смешанной системе счисления, представленной системой остатков b_1 и b_2 при модулях сравнения $m_1 = 32$ и $m_2 = 33$, достаточно 28 символов [2].

Для класса телеметрических процессов, обладающих априорно известными свойствами непрерывности, можно использовать способ телеизмерений, который заключается в передаче только одного остатка $b_1(t) \pmod{m_1}$ параметра $x(t)$ с его дублированием в двоичном слове. При этом в моменты его обнуления (ноль в 4-х младших разрядах) вместо

дублирования с ним передается результат сравнения параметра $x(t)$ $b_2(t)$ по модулю $m_2 = m_1 - 1$, который образует 4 старших разряда двоичного слова. Шкала телеметрирования в этом случае окажется поделенной на множество узких неперекрывающихся шкал представления результатов телеизмерений, ограниченных модулем m_1 . При этом подставленные значения результатов сравнения по модулю m_2 будут маркерным значением (маркером) в двоичном коде для узкой шкалы, за которым последуют значения двоичных слов в пределах данной узкой шкалы.

Указанные двоичные слова с дублированием остатков восстанавливаются при приеме таким образом, что значения двоичных слов умножаются на коэффициент $1/(2^4 + 1)$ [1].

В рассмотренной методике передачи данных маркерные значения для узких шкал должны передаваться в момент перехода в конкретную шкалу, т.е. когда точка опроса впервые попадает в конкретную шкалу. При этом сразу после передачи маркерного значения передаются собственно результаты измерения в данной узкой шкале, и так происходит до перехода к следующей узкой шкале. Таким образом происходит “привязка” измеренных значений параметра к конкретной узкой шкале во всей шкале измерений.

В данной методике рассматривается двухмодульное преобразование с использованием модулей сравнения $m_1=16$, $m_2=15$. Исходные данные составляют диапазон значений от 0 до 255 (шкала измерений), который превосходит диапазон, образованный с помощью модулей сравнения ($m_1 \cdot m_2 = 240$), на 15 единиц (на 6% шкалы). Полученные в результате преобразования в системе остаточных классов (СОК) два полуслова-остатка можно рассматривать с точки зрения традиционного позиционного представления как одно восьмиразрядное слово данных.

При передаче данных с дублированием полуслов-остатков в слове данных между соседними маркерными значениями одиночные искажения бит приводят к принятым словам данных, представленным в таблице 1. Погрешность передачи при этом зависит от положения слова данных в конкретной узкой шкале на шкале телеизмерений. Поэтому в таблице 1 для погрешности принятых слов данных встречаются прочерки.

Способ оценки принятых слов данных состоит в проверке, является ли слово данных маркерным значением. Именно к маркерным значениям происходит “привязка” измеренных значений параметра в конкретной узкой шкале. Маркерные значения передаются двоичным кодом в четырех старших битах слова данных (старшие полуслова), а в четырех младших битах (младшие полуслова) передаются нули.

Поэтому если было принято слово данных с любым старшим полусловом и с единицей только в одном из младших бит, считается, что было передано маркерное значение с ошибкой в этом бите. Когда в принятом слове старшие и младшие полуслова совпадают при числе единиц в них более одного, то принято информационное слово данных. Когда в принятом слове

старшие и младшие полуслова не совпадают при числе единиц в них более одного, следует ориентироваться на полуслово с максимальным числом единиц. По нему принимают решение о принятом информационном слове данных.

Значение нуля в шкале измерений передается старшим полусловом с нулевыми битами, младшим полусловом с единичными битами. Значение максимума в шкале измерений передается старшим полусловом с единичными битами, младшим полусловом с нулевыми битами.

Как было показано выше, передача маркерного значения с нулями в четырех младших битах приводит к ошибке передачи. Так как, если при передаче информационного слова данных в единице остается один из четырех младших бит, то считается переданным маркерное значение вместо информационного слова данных. В результате в среднем по шкале получается малый выигрыш по критерию дисперсии погрешности по сравнению с передачей данных в двоичном коде.

Можно избежать такого перехода информационных слов данных в маркерные значения, если закодировать четыре младших бита (младшие полуслова) в маркерных значениях. Способ кодировки может заключаться в том, чтобы инвертировать четыре старших бита и передать их инверсию в четырех младших битах маркерного значения.

В результате такой кодировки получаются маркерные значения, приведенные в таблице 2. Как видно из таблицы 2, маркерные значения отличаются друг от друга как минимум в двух битах в случае передачи данных без ошибок. В случае одиночных искажений бит информационных слов данных эти слова данных отличаются от маркерных значений в трех, или в пяти битах, и такой же результат получается при одиночных искажениях бит в маркерных значениях. Исследуем, что происходит с маркерными значениями, когда возможны одиночные искажения бит при передаче данных. В этом случае возможно отличие в одном бите одних маркерных значений от других, в зависимости от того, в каком бите происходит ошибка, что показано в таблице 3.

Таблица 1. Принятые слова данных

Переданное слово	Биты слова данных								
		1	2	3	4	5	6	7	8
1	Принятое слово	16	3	5	9	1	32	80	144
	Погрешность Передачи	-	2	4	8	0	-	-	-
2	Принятое слово	3	32	6	10	48	2	96	160
	Погрешность Передачи	1	-	4	8	-	0	-	-
3	Принятое слово	48	48	7	11	3	3	7	11
	Погрешность Передачи	-	-	4	8	0	0	4	8
4	Принятое слово	5	6	64	12	80	96	4	192
	Погрешность Передачи	1	2	-	8	-	-	0	-
5	Принятое слово	80	7	80	13	5	7	5	13
	Погрешность Передачи	-	2	4	8	1	2	4	8
6	Принятое слово	7	4	96	14	7	4	2	14
	Погрешность Передачи	1	2	-	8	1	2	4	8
7	Принятое слово	6	5	7	15	6	5	3	15
	Погрешность передачи	1	2	0	8	1	2	4	8
8	Принятое слово	9	10	12	128	144	160	192	8
	Погрешность передачи	1	2	4	-	-	-	-	0
9	Принятое слово	144	11	13	144	8	11	13	1
	Погрешность передачи	-	2	4	-	1	2	4	8
10	Принятое слово	11	160	14	160	11	8	14	2
	Погрешность передачи	1	-	4	-	1	2	4	8

Продолжение таблицы 1. Принятые слова данных

Переданное слово	Биты слова данных								
		1	2	3	4	5	6	7	8
11	Принятое слово	10	9	15	3	10	9	15	3
	Погрешность передачи	1	2	4	8	1	2	4	8
12	Принятое слово	13	14	192	192	13	14	8	4
	Погрешность передачи	1	2	-	-	1	2	4	8
13	Принятое слово	12	15	13	5	12	15	9	5
	Погрешность передачи	1	2	4	8	1	2	4	8
14	Принятое слово	15	12	10	6	15	12	10	6
	Погрешность передачи	1	2	4	8	1	2	4	8
15	Принятое слово	14	13	11	7	14	13	11	7
	Погрешность передачи	1	2	4	8	1	2	4	8

По данным таблицы 3, погрешность передачи маркерных значений постоянна для каждого бита и равна для 1-го и 5-го бита – 16, для 2-го и 6-го бита – 32, для 3-го и 7-го бита – 64, для 4-го и 8-го бита – 128.

Вычислим средние значения дисперсий погрешности в каждом разряде и по всем разрядам слов данных в шкале измерений при традиционном представлении данных и представлении данных в СОК с учетом приведенного выше правила восстановления данных.

$$D_{1p} = (16 \cdot 16^2 + 105 \cdot 1^2) / 240 = 4201 / 240 = 17,43 \quad (1)$$

Таблица 2. Закодированные маркерные значения

Маркерное значение	Старшее полуслово (номера бит)				Младшее полуслово (номера бит)			
	8	7	6	5	4	3	2	1
0	0	0	0	0	1	1	1	1
16	0	0	0	1	1	1	1	0
32	0	0	1	0	1	1	0	1
48	0	0	1	1	1	1	0	0
64	0	1	0	0	1	0	1	1
80	0	1	0	1	1	0	1	0
96	0	1	1	0	1	0	0	1
112	0	1	1	1	1	0	0	0
128	1	0	0	0	0	1	1	1
144	1	0	0	1	0	1	1	0
160	1	0	1	0	0	1	0	1
176	1	0	1	1	0	1	0	0
192	1	1	0	0	0	0	1	1
208	1	1	0	1	0	0	1	0
224	1	1	1	0	0	0	0	1
240	1	1	1	1	0	0	0	0

Таблица 3. Маркерные слова при одиночных искажениях бит

	Искажаемый бит данных							
	8	7	6	5	4	3	2	1
Маркерное слово / новое маркерное слово	0/128	0/64	0/32	0/16	0/128	0/64	0/32	0/16
	16/144	16/80	16/48	16/0	16/144	16/80	16/48	16/0
	32/160	32/96	32/0	32/48	32/160	32/96	32/0	32/48
	48/176	48/112	48/16	48/32	48/176	48/112	48/16	48/32
	64/128	64/0	64/96	64/80	64/192	64/0	64/96	64/80
	80/208	80/16	80/112	80/64	80/208	80/16	80/112	80/64
	96/224	96/32	96/64	96/112	96/224	96/32	96/64	96/112
	112/240	112/48	112/80	112/96	112/240	112/48	112/80	112/96
	128/0	128/192	128/160	128/144	128/0	128/192	128/160	128/144
	144/16	144/208	144/176	144/128	144/16	144/208	144/176	144/128
	160/32	160/224	160/128	160/176	160/32	160/224	160/128	160/176
	176/48	176/240	176/144	176/160	176/48	176/240	176/144	176/160
	192/64	192/128	192/224	192/208	192/64	192/128	192/224	192/208
	208/80	208/144	208/224	208/192	208/80	208/144	208/224	208/192
	224/96	224/160	224/208	224/240	224/96	224/160	224/208	224/240
	240/112	240/176	240/208	240/224	240/112	240/176	240/208	240/224

$$D_{2p} = (16 \cdot 32^2 + 105 \cdot 2^2) / 240 = 16804 / 240 = 69,73 \quad (2)$$

$$D_{3p} = (16 \cdot 64^2 + 105 \cdot 4^2) / 240 = 67216 / 240 = 278,9 \quad (3)$$

$$D_{4p} = (16 \cdot 128^2 + 105 \cdot 8^2) / 240 = 268.844 / 240 = 1115,62 \quad (4)$$

$$D_{5p} = (16 \cdot 16^2 + 105 \cdot 1^2) / 240 = 4201 / 240 = 17,43 \quad (5)$$

$$D_{6p} = (16 \cdot 32^2 + 105 \cdot 2^2) / 240 = 16804 / 240 = 69,73 \quad (6)$$

$$D_{7p} = (16 \cdot 64^2 + 105 \cdot 4^2) / 240 = 67216 / 240 = 278,9 \quad (7)$$

$$D_{8p} = (16 \cdot 128^2 + 105 \cdot 8^2) / 240 = 268.844 / 240 = 1115,62 \quad (8)$$

$$D_{\text{сок}} = (17,43*2 + 69,73*2 + 278,9*2 + 1115,62*2)/8 = (34,76 + 139,46 + 557,8 + 2237,24)/8 = 2963/8 = 370 \quad (9)$$

$$D_{\text{трад}} = 21845/8 = 2730 \quad (10)$$

Вычислим отношение средних значений дисперсий погрешности по всем разрядам слов данных в шкале измерений при традиционном представлении данных и представлении данных в СОК.

$$D_{\text{трад}}/D_{\text{сок}} = 2730/370 = 7,38 \quad (11)$$

Из отношения средних значений дисперсии погрешности следует, что данная методика обеспечивает большой выигрыш по достоверности передачи данных по сравнению с традиционным представлением данных в среднем для шкалы измерений при наличии одиночных искажений бит данных.

Литература

1. Кукушкин С.С. Конечные поля и информатика: в 2 т.- т.1:Методы и алгоритмы, классические и нетрадиционные, основанные на использовании конструктивной теоремы об остатках.- М: МО РФ, 2003.- 284 с.
2. Макклеллан Дж., Рейдер Ч. Применение теории чисел в цифровой обработке сигналов. Пер. с англ.- М.: Радио и связь, 1983. -376 с.

СЕКЦИЯ 2

ДАТЧИКОПРЕОБРАЗУЮЩАЯ АППАРАТУРА

Руководители секции:

Начальник НПЦ4 Кочемасов В.В.

Главный конструктор по направлению, д.т.н. Пушкин Н.М.

13.30 – 13.45	А.Н. Пестунов, Е.В. Ковалева АО «НПО ИТ» «Моделирование канала измерения угловой скорости на основе цифрового волоконно-оптического гироскопа»
13.45 – 14.00	Иванов С.Ю. ФГУП ЦНИИ Химии и Механики «Возможности температурной самокомпенсации в микромеханическом гироскопе с кольцевым резонатором и цифровой системой управления»
14.00 - 14.15	Грабов А. Б., Суханов В. И., Ажаева Л. А., Буянов А. В., Тимофеев Б. В. АО «НПО ИТ» «Тонкопленочные магниторезистивные датчики и измерительные преобразователи магнитной индукции»
14.15 – 14.30	Лакшин К.В., Иванов Т.В., Бацев С.В., Пушкин Н.М., Старичихин И.Г., Селезнев А.А. АО «НПО ИТ» «Миниатюрный измеритель параметров электризации КА»
14.30 – 14.45	Филиппов А.Н., Фролов А.В., Бацев С.В., Пушкин Н.М. АО «НПО ИТ» «Особенности гальванической развязки в измерительных цепях аппаратуры измерения параметров электрических полей»
14.45 – 15.00	Панов Д.А., Кочемасов М.В. АО «НПО ИТ» «Информационно – измерительная платформа для бортовых измерений в РКТ»
15.00 – 15.15	Веселова Е.Ю., Михалев А.А. АО «НПО ИТ» «Автоматизированная установка для проведения испытаний высокотемпературных датчиков вибрации»
15.15 – 15.30	Дерденков Е.А., Горбаткин Ю.Б., Яковлева Н.В. АО «НПО ИТ» «Об особенностях преобразования сигнала емкостных датчиков уровня»
15.30 – 15.45	Смыслов В.И., Суровикин С.А., Демин А.Н. АО «НПО ИТ» «Миниатюрный волоконно-оптический датчик магнитного поля и электрического тока на основе эффекта фарадея с чувствительным элементом на кристалле Bi12GeO20»
15.45 – 16.00	Зубанов Е.А., Клементьев А.Т., Суровикин С.А. АО «НПО ИТ» «Универсальный микроэлектронный преобразователь температуры с цифровым выходом»
16.00 – 16.15	Гладков А.В., Петров С.В., Чернышев В.А. АО «НПО ИТ» «Обеспечение помехоустойчивости индукционных тахометрических преобразователей при воздействии неоднородных низкочастотных магнитных полей»
16.15 – 16.30	Севостьянов С.С., Горбаткин Ю.Б., Чернышев В.А., Яковлева Н.В. АО «НПО ИТ» «Особенности работы резервированных ультразвуковых сигнализаторов уровня импедансного типа при горизонтальной установке»
16.30 – 16.45	Батырев Ю.П., Кряжев Д.Б., Веселова Е.Ю., Михалев А.А. АО «НПО ИТ» «Внедрение цифровых датчиков контроля механического состояния роторных машин в современных АСУ ТП»

Моделирование канала измерения угловой скорости на основе цифрового волоконно-оптического гироскопа

А.Н. Пестунов, к.т.н., Е.В. Ковалева

АО «НПО ИТ»

e-mail: npoit@npoit.ru

Характерная особенность волоконно-оптических гироскопов, применяемых в малогабаритных бесплатформенных инерциальных блоках производства АО «НПО ИТ», – отсутствие оптической обратной связи.

Для обработки информации волоконно-оптического гироскопа (ВОГ) применяется аналоговая схема синхронного детектирования со стабилизацией оптической мощности суперлюминесцентного диода (СЛД).

В настоящее время развитие техники цифровой обработки сигналов позволяет применять для получения информации с ВОГ оцифровку полигармонического сигнала с последующей обработкой в сигнальном процессоре или на ПЛИС. Подобные методы обработки сигнала ВОГ применяются зарубежными фирмами, например, фирмой «KVH» [5] для БИБ с характеристиками, аналогичными характеристикам приборов, выпускаемых АО "НПО ИТ".

Статья посвящена рассмотрению одного из возможных вариантов построения канала измерения угловой скорости с применением цифровой обработки сигнала. Настоящий метод отличается от метода, предложенного фирмой «KVH», введением контуров стабилизации следующих параметров: индекса модуляции и оптической мощности.

1. Особенности электрофизической схемы канала измерения угловой скорости на ВОГ без обратной связи

Волоконно-оптический гироскоп содержит два функциональных блока: оптический и электронный. В оптическом блоке гироскопа при вращении оптоволоконного контура с распространяющимся в нем световым лучом формируется сложный электрический сигнал, содержащий высокочастотные составляющие, пропорциональные измеряемой угловой скорости.

В электронном блоке гироскопа выполняется избирательное линейное преобразование сигнала высокой частоты, сформированного в оптическом блоке, в низкочастотный аналоговый электрический сигнал. Амплитуда низкочастотного электрического сигнала пропорциональна измеряемой угловой скорости.

В блоке электроники гироскопа формируются необходимые для работы оптического блока и измерительного тракта модулирующие и опорные сигналы высокой частоты, сигналы

для подсистем автоматического регулирования режимов в контурах стабилизации индекса модуляции и оптической мощности излучающего диода.

Качество работы всех трактов в основном определяется стабильностью их амплитудно-частотных и фазо-частотных характеристик, которые согласовываются с частотным спектром рабочих сигналов. Основная полоса рабочих частот лежит в диапазоне от 70 до 80 кГц и определяется рабочей частотой применяемого оптического фазового модулятора в оптическом блоке.

Аналитическое представление сигнала, формируемого в оптическом блоке и подвергаемого преобразованию в блоке аналоговой электроники гироскопа, имеет вид [1]:

$$I_{\Phi D}(t) = I_{\Phi} \{1 + \cos(\psi_c) \cdot [J_0(m) + 2 \cdot \sum_{k=2n} J_k(m) \cdot \cos(k\omega t)] - \\ - 2 \sin(\psi_c) \cdot \sum_{l=2n-1} J_l(m) \cdot \sin(l\omega t) + 2 \sin(\varphi_0) \cdot J_1(m) \cdot \sin(\omega t) + \\ + 2 \sin(\varphi_{СК}) \cdot J_1(m) \cdot \cos(\omega t)\}, \quad n = [1, \infty], \quad (1.1)$$

$$I_{\Phi} = K_{\Phi D} \cdot P_{\Phi D},$$

где I_{Φ} – выходной ток фотодиода,

$K_{\Phi D}$ – чувствительность фотодиода,

$P_{\Phi D}$ – мощность оптического излучения,

ψ_c – фаза Саньяка, рад,

$J_i(m)$ – коэффициенты функции Бесселя первого рода i -го порядка,

m – индекс модуляции,

ω – круговая частота модуляции,

φ_0 – оптический сдвиг, рад,

$\varphi_{СК}$ – квадратурный сдвиг, рад.

В выражении (1) составляющие k -го порядка представляют четные гармоники, составляющие l -го порядка – нечетные гармоники сигнала. Типовое значение частоты первой гармоники составляет 75 ± 5 кГц.

Информационным сигналом, выделяемым в тракте аналогового преобразования сигнала ВОГ, является составляющая сигнала (1), приходящаяся на первую гармонику частоты фазовой модуляции излучения СЛД. Из формулы (1) видно, что полезный сигнал пропорционален синусу фазы Саньяка.

В гироскопах с аналоговой системой обработки сигнала напряжение с трансимпедансного усилителя приходит на синхронный детектор, который работает по первой гармонике напряжения, подаваемого на пьезомодулятор. Условия, обеспечивающие наилучшую точность измерения:

- оптимальное значение индекса модуляции ($m = 1,84$), при котором масштабный коэффициент слабо чувствителен к внешним воздействиям;
- стабилизация мощности излучения СЛД;
- сдвиг по фазе между опорным напряжением и первой гармоникой сигнала (0).

На рис. 1 представлена схема канала измерения угловой скорости на основе ВОГ без обратной связи.

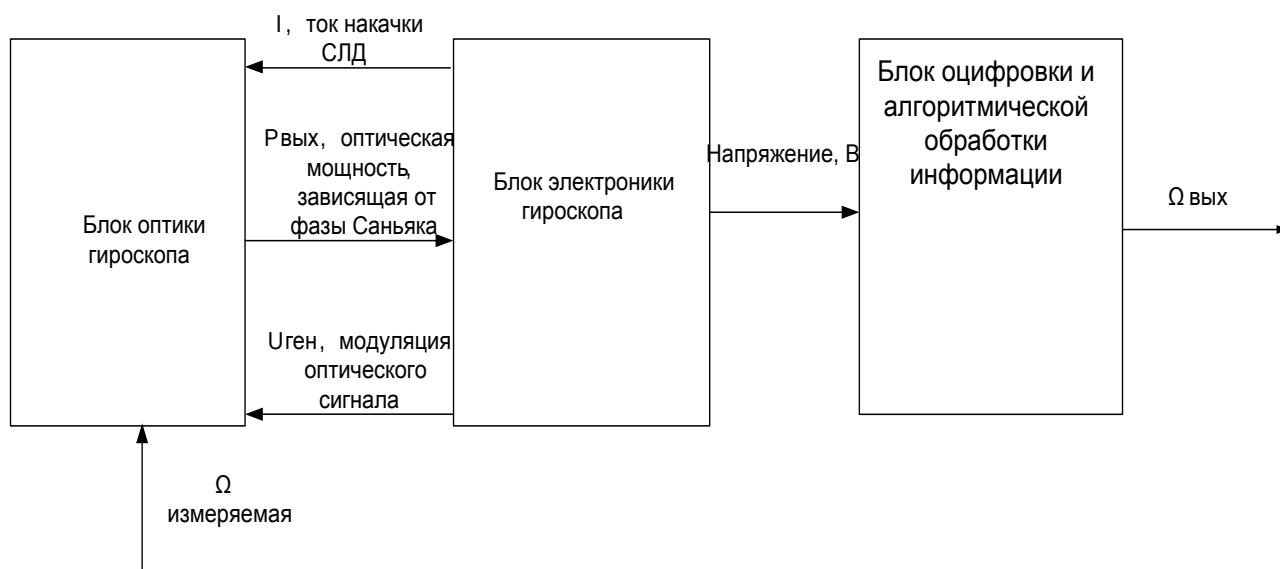


Рис. 1. Схема канала измерения угловой скорости

Как видно из рис. 1, канал измерения угловой скорости, основанный на аналоговом принципе обработки сигнала ВОГ, имеет сложную структуру, и, как отмечено ранее, качество его работы зависит от стабильности характеристик каждого звена, кроме того, выходной сигнал принципиально нелинеен. Последнее обстоятельство заставляет применять многоступенчатые методы компенсации погрешности нелинейности, требующие значительных затрат времени и приводящие к усложнению модели погрешностей канала измерения угловой скорости.

Как альтернатива методу аналогового синхронного детектирования предлагается метод оцифровки сигнала непосредственно после преобразователя ток-напряжение.

2. Основные принципы цифровой обработки сигнала ВОГ

Суть метода состоит в оцифровке сигнала сразу после трансимпедансного усилителя и дальнейшем детектировании гармоник с применением численных алгоритмов [5]. Так как при настройке индекса модуляции на значение $m = 1,84$ основная часть энергии сигнала сосредоточена на первых четырех гармониках, то оцифровку сигнала можно осуществлять на частоте от 1 МГц, что существенно расширяет выбор аналого-цифрового преобразователя (АЦП).

В данном методе применяется цифровая фильтрация посредством фильтров с конечной импульсной характеристикой. Такие фильтры имеют строго линейную фазовую характеристику и всегда устойчивы [2].

Импульсная характеристика полосовых фильтров определяется по формуле [4]

$$h(n) = \begin{cases} \frac{\lambda_U - \lambda_L}{\pi}, m = 0 \\ \frac{1}{m\pi} [\sin(m\lambda_U) - \sin(m\lambda_L)], m \neq 0 \end{cases}, \quad (2.1)$$

где

$$\lambda_U = \frac{f_U \pi}{f_d},$$

f_U – нижняя частота среза фильтра,

f_d – частота дискретизации,

λ_L – параметр фильтра,

$$\lambda_L = \frac{f_L \pi}{f_d},$$

f_L – верхняя частота среза фильтра.

Для сглаживания частотной характеристики фильтра применяется взвешивающее окно.

Импульсная характеристика окна описывается формулой [4]

$$w(n) = 0.54 - 0.46 \cos\left(\frac{2\pi n}{N-1}\right). \quad (2.2)$$

Нужная гармоника выделяется путем выполнения операции свертки дискретизованного сигнала с импульсной характеристикой фильтра:

$$s_n = \sum_{k=0}^n x_n \cdot h_{n-k}, \quad (2.3)$$

где x_n – отсчет дискретизованного сигнала,

h – импульсная характеристика фильтра.

После обработки по полученным данным можно определить

– величину индекса модуляции, пользуясь постоянством соотношения значений функций Бесселя при заданном индексе модуляции:

$$m = \frac{A4}{A2} = \frac{K \cdot 2 \cdot J4(m) \cdot \cos(\varphi_c)}{K \cdot 2 \cdot J2(m) \cdot \cos(\varphi_c)} = \frac{J4(m)}{J2(m)}, \quad (2.4)$$

где $A2$ – значение амплитуды второй гармоники,

$A4$ – значение амплитуды четвертой гармоники,

$J_4(m)$, $J_2(m)$ – значения функций Бесселя четвертого рода и второго рода при индексе модуляции m ;

– постоянную составляющую сигнала, не зависящую от фазы Саньяка, которая может использоваться для стабилизации мощности излучения СЛД:

$$U_{\max} = \bar{S} - A_2/2 = K \cdot (1 + J_0(m) \cdot \cos(\varphi_c) - J_2(m) \cdot \cos(\varphi_c)) \approx K, \quad (2.5)$$

где $\bar{S}$ – среднее значение сигнала,

A_2 – значение амплитуды второй гармоники,

$J_2(m)$ – значение функции Бесселя второго рода при индексе модуляции m ;

нужно отметить, что соотношение (2.5) верно только для $m = 1.84$. В этом случае из-за того, что $J_0(m) \cdot \cos(\varphi_c) - J_2(m) \cdot \cos(\varphi_c) \approx 0,0009$ постоянная составляющая может быть измерена с точностью до третьего знака после запятой;

– угловую скорость:

$$\omega = \frac{J_2(m)}{J_1(m)} \cdot \frac{1}{T_{\text{вог}}} \cdot \arctg\left[\frac{A_1}{A_2}\right], \quad (2.6)$$

где $J_1(m)$, $J_2(m)$ – значения функции Бесселя второго рода при индексе модуляции m ,

$T_{\text{вог}}$ – оптическая постоянная времени ВОГ,

A_1 – значение амплитуды первой гармоники,

A_2 – значение амплитуды второй гармоники.

Чтобы определить правильно направление вращения по формуле 2.6, необходимо знать соотношение фаз первой и второй гармоник. Фаза определяется по фазовому спектру с использованием алгоритма быстрого преобразования Фурье.

3. Результаты моделирования метода

Цели моделирования:

Определить точность вычисления величин m , ω , $U_{\max}$ при условиях, максимально близко воспроизводящих реальную шумовую картину.

Для моделирования выбрана схема обработки информации оптического блока гироскопа, представленная на рис. 2.

Моделирование проводилось при следующих условиях:

- сигнал гироскопа задавался с наложением случайного процесса: «белого» шума, $3\sigma = 0,032$ В, что моделирует работу блока оптики, фотоусилителя и каскада согласования с АЦП;
- на входе системы задавались угловые скорости, которым соответствуют следующие величины фазы Саньяка: $0, \pi/6, \pi/3$;
- имитировалась работа 14-ти разрядного АЦП последовательного приближения[3];
- выходные величины ω и m и $U_{\max}$ вычислялись по формулам (2.6), (2.4), (2.5).

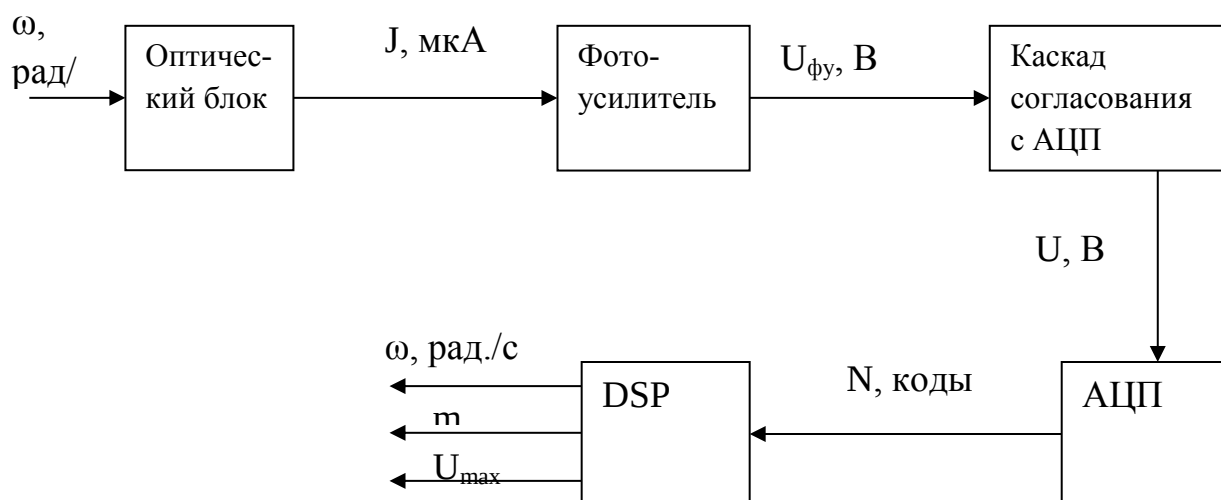


Рис. 2. Схема обработки информации оптического блока гироскопа

Результаты моделирования приведены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты моделирования

Задаваемая величина фазы Саньяка, рад	ноль			$\pi/6$			$\pi/3$		
	100	50	1	100	50	1	100	50	1
Задаваемая частота дискретизации сигнала, МГц	100	50	1	100	50	1	100	50	1
Погрешность определения ω , %	—	—	—	0,006	0,14	0,4	0,01	0,05	0,1
Погрешность определения m , %	0,01	0,03	0,5	0,02	0,13	0,25	0,04	0,05	0,05
Погрешность определения $U_{\max}$, %	0,01	0,01	0,16	0,04	0,013	0,05	0,05	0,015	0,02

Из приведенных результатов можно сделать выводы:

При заданных условиях моделирования метод недостаточно чувствителен к малым угловым скоростям. Погрешность измерения высоких угловых скоростей достигает 0,01% при частоте дискретизации 50 МГц. Для повышения точности измерения на угловых скоростях,

близких к скорости вращения Земли, необходимо повысить разрядность АЦП как минимум до 16 разрядов.

Точность измерения индекса модуляции позволяет применять результат измерения в системе автоматической стабилизации напряжения генератора. В системе с аналоговой обработкой сигнала блока оптики выражение для выходной величины имеет вид (при скважности опорного сигнала 0,5 и нулевой разности фаз между информационным сигналом и опорным сигналом синхронного детектора):

$$U_{\text{вых}} = K \cdot J_1(m) \cdot \sin(\omega \cdot T_{\text{ВОГ}}),$$

где $K = P \cdot C \cdot R$,

P – оптическая мощность, приходящая на фотоприемник, Вт,

C – коэффициент преобразования фотоприемника, А/Вт,

R – сопротивление преобразователя ток-напряжение, Ом.

Потенциальная точность стабилизации величины первой гармоники при погрешности измерения $\delta m = 0,4 \%$ составляет порядка $10^{-3} \%$.

Что касается системы стабилизации оптической мощности, то при чувствительности мощности излучения СЛД к температуре 10^{-5} Вт/°С (чувствительность тока СЛД 1мА/°С, чувствительность мощности определяется по характеристикам используемой модели СЛД – SLD-57-MP) при воздействии скорости изменения температуры 0,2°С/мин погрешность приведенного метода поиска максимума позволит обнаружить изменение мощности за время не менее 1 с. Потенциальная точность стабилизации оптической мощности – 0,01 %.

Заключение

Результаты моделирования метода цифровой обработки сигнала ВОГ доказывают возможность применения данного метода в текущих разработках БИБ, а также возможность реализации описанного принципа построения углоизмерительного канала с применением ЭРИ отечественного производства, при этом массогабаритные характеристики приборов сохраняются на уровне не более 1,3 кг.

Список литературы

1. Волоконно-оптические датчики / Под ред. Э. Удда. Приложение А. М.: Техносфера, 2008.
2. Мошиц Г., Хорн П. Проектирование активных фильтров / Пер с англ. М.: Мир, 1984.
3. Аналого-цифровое преобразование / Под ред. Уолта Кестера. М.: Техносфера, 2007. 1016 с.
4. Steven W. Smith. The scientist engineer's guide to digital signal processing. Second edition. California Technical Publishing, 1997–1999.
5. Steven Emge, Thomas Monte, Jeff Brunner, Robert Miller, Kalyan Ganesan. Advances in Open-loop FOG Sensors. KVH Industries, Inc. 50 Enterprise Center, Middletown, RI 02842, 2006.

Возможности температурной самокомпенсации в микромеханическом гироскопе с кольцевым резонатором и цифровой системой управления

С.Ю. Иванов

ФГУП Центральный научно-исследовательский институт химии и механики

ivanov.s.yu@yandex.ru

По мере улучшения точностных параметров микроэлектромеханических (МЭМ) гироскопов, предназначенных для измерения угловой скорости, происходит значительное расширение области их применения. Одним из путей совершенствования их характеристик является разработка усовершенствованных электронных подсистем, в частности с использованием цифровых технологий. Структурная схема разработанной цифровой системы управления МЭМ гироскопа с кольцевым резонатором представлена на рисунке 1. Отличительной особенностью данной системы является полностью цифровая петля фазовой автоподстройки частоты контура первичных колебаний.

Система управления с высокой точностью поддерживает амплитуду и частоту первичных колебаний кольцевого резонатора при изменении внешних условий (прежде всего, температуры). Зависимость параметров чувствительного элемента от температуры может быть использована для температурной самокомпенсации выходного сигнала гироскопа. Данный подход позволяет добиться лучшей компенсации (например, с меньшим гистерезисом) по сравнению со случаем использования внешнего термодатчика. Кроме того, определение точности измерения температуры по параметрам первичных колебаний позволяет оценить точность и стабильность самой цифровой системы управления.

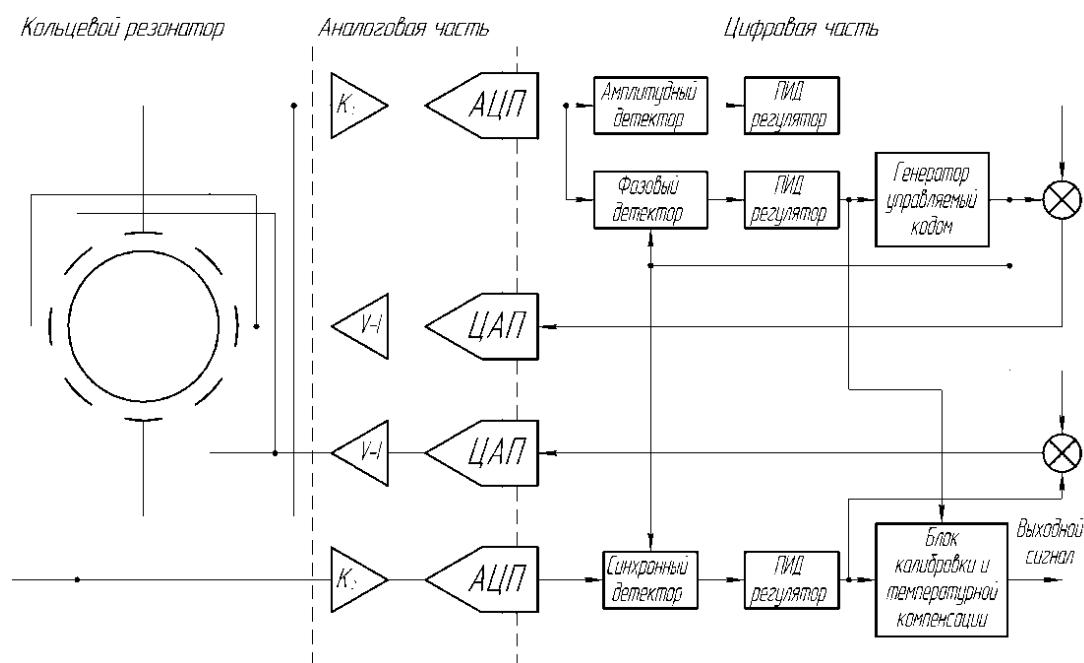


Рисунок 1 – Структурная схема цифровой системы управления гироскопа

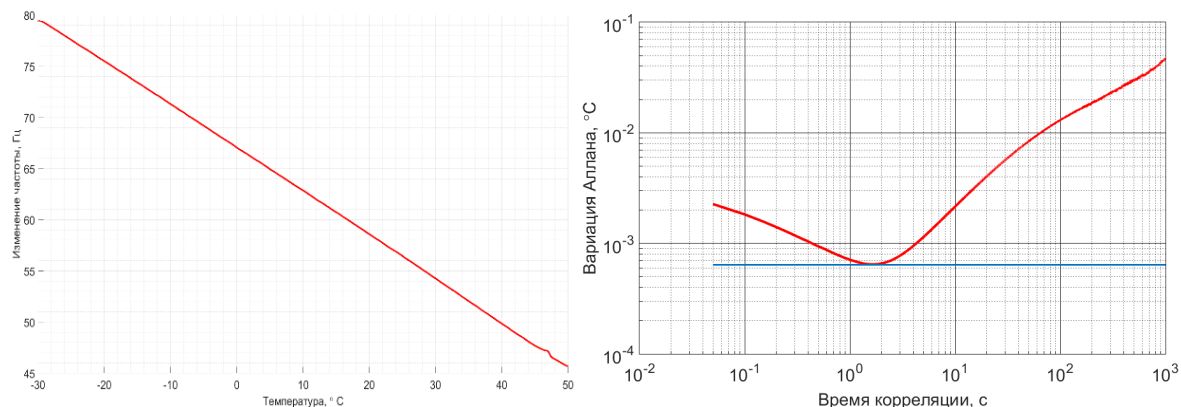


Рисунок 2 – Зависимость частоты первичных колебаний от времени и график вариации Аллана для измерения температуры по этой зависимости

Значение температуры может быть получено из температурной зависимости частоты первичных колебаний. Расчетное значение изменения частоты первичных колебаний от температуры составляет для используемого чувствительного элемента $-0,44 \text{ Гц/}^\circ\text{C}$. Экспериментальные зависимости для этого способа определения температуры приведены на рисунке 2. Угловой коэффициент зависимости частоты от температуры $-0,426 \text{ Гц/}^\circ\text{C}$. Минимум вариации Аллана для значения температуры, вычисленного на основании изменения частоты первичных колебаний, $-6,4 \cdot 10^{-4} \text{ }^\circ\text{C}$ при времени корреляции $\approx 15 \text{ с}$. Разрешающая способность при времени усреднения 1 с – $0,002^\circ\text{C}$. Дальнейший рост вариации обусловлен изменением температуры в помещении.

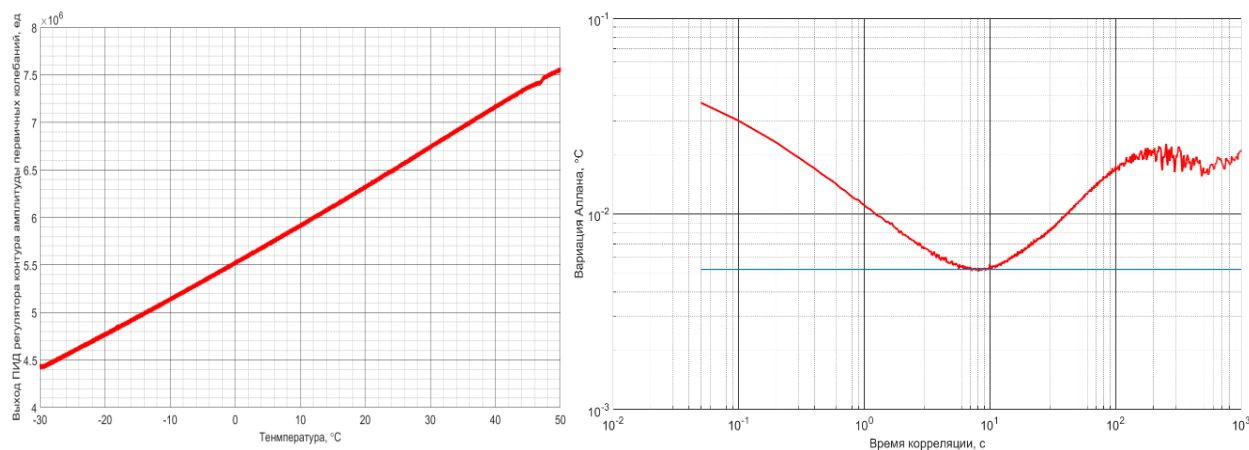


Рисунок 3 – Зависимость амплитуды возбуждающего сигнала контура первичных колебаний от времени и график вариации Аллана для измерения температуры по этой зависимости

Другим способом измерения температуры может быть изменение добротности чувствительного элемента. В установившемся режиме (при постоянной амплитуде колебаний) возбуждающий сигнал контура первичных колебаний обратно пропорционален добротности. На рисунке 3 приведены экспериментальные зависимости для данного способа определения температуры. Из первого графика видно, что при изменении температуры от -30 до $+50^\circ\text{C}$ для поддержания постоянной амплитуды первичных колебаний потребовалось увеличение возбуждающего сигнала на 40%. Минимум вариации Аллана для значения температуры в

случае её вычисления по амплитуде возбуждающего сигнала первичных колебаний составляет $5,2 \cdot 10^{-3} \text{ }^{\circ}\text{C}$ при времени усреднения $\approx 9 \text{ с}$. Разрешающая способность при времени усреднения 1 с . – $0,03^{\circ}\text{C}$.

На рисунке 4 приведено сравнение значения температуры с внешнего температурного датчика со значением, полученным по изменению частоты первичных колебаний. Длительность эксперимента около 12 часов, данные регистрировались с частотой 1 Гц. В качестве внешнего температурного датчика использован цифровой 12-ти битный датчик TMP112 с разрешением $0,0625^{\circ}\text{C}$.

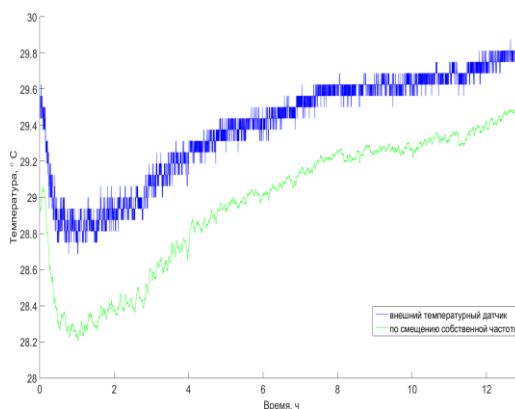


Рисунок 4 – Сравнение значения температуры с внешнего температурного датчика со значением, полученным по изменению частоты первичных колебаний

Полученная оценка точности измерения температуры близка к результатам, получаемым для специализированных МЭМ термометров. Например, в работе [1] при использовании гироскопа другого типа минимум вариации Аллана для температуры составил $4 \cdot 10^{-4} \text{ }^{\circ}\text{C}$ при времени корреляции 40 с. В работе [2] при использовании специально разработанного МЭМ элемента на том же принципе изменения собственной частоты при изменении температуры получена разрешающая способность $1,6 \cdot 10^{-4} \text{ }^{\circ}\text{C}$ (СКЗ при времени усреднения 1 с.).

Полученные результаты подтверждают высокую точность поддержания частоты и амплитуды первичных колебаний гироскопа, обеспечиваемую цифровой системой управления. Следует также отметить, что построение системы самотермокомпенсации не требует дополнительного усложнения управляющей схемы, т.к. необходимые для этого сигналы в цифровом виде в ней уже присутствуют.

Список литературы

- 1) Prikhodko I.P., Trusov A.A., Shkel A.M. Compensation of drifts in high-Q MEM Sgyroscopes using temperature self-sensing // Sensors and Actuators A: Physical. – 2013. – V. 201. – P. 517–524.
- 2) E.J. Ng, H.K. Lee, C.H. Ahn, R. Melamud, T.W. Kenny, Stability measurements of silicon MEMS resonant thermometers. Proceedings of the IEEE Sensors Conference, Limerick, Ireland, October 28–31, 2011, – P. 1

Тонкопленочные магниторезистивные датчики и измерительные преобразователи магнитной индукции.

А. Б. Грабов, В. И. Суханов, Л. А. Ажаева, А. В. Буянов, Б. В. Тимофеев.

АО «НПО ИТ»

E-mail: npcm_npoit@mail.ru

В измерительных преобразователях магнитной индукции, в частности индукции магнитного поля Земли, в настоящее время широкое применение нашли датчики (первичные преобразователи), основанные на использовании анизотропного магниторезистивного эффекта в тонких пленках ферромагнетика. Наиболее известными производителями таких датчиков являются компании Honeywell и Philips [1,2]. Достоинством тонкопленочных датчиков является их надежность в жестких условиях эксплуатации и высокая чувствительность к магнитному полю, обеспечивающая возможность создания электронных компасов и других приборов и систем, основанных на измерении магнитной индукции. В измерительных преобразователях магнитного поля Земли применяются магниторезистивные датчики с так называемой нечетной функцией преобразования [3]. Такие преобразователи содержат три тонкопленочных датчика, каждый из которых имеет одну ось чувствительности и которые установлены таким образом, что их оси чувствительности образуют ортогональную систему координат. Выходной сигнал каждого датчика пропорционален проекции вектора магнитной индукции на его ось чувствительности.

В АО «НПО Измерительной Техники» разработана технология изготовления тонкопленочных магниторезисторов, на основе которой созданы одноосные датчики магнитной индукции ММКК247 и ММКК247-01, трехосный датчик магнитной индукции МЧЭ033 и измерительный преобразователь индукции магнитного поля Земли с цифровым выходным сигналом МРД009. В докладе представлены результаты исследований основных метрологических характеристик разработанных изделий.

Список литературы:

- 1 Sensor products. <http://www.ssec.honeywell.com>.
- 2 Discrete semiconductors. <http://www.philips.com>.
- 3 Касаткин С.И., Васильева Н.П., Муравьев А.М. Спинтронные магниторезистивные элементы и приборы на их основе. М. Электросервис, 2005, 160 с.
4. S. Tumanski. Thin film magnetoresistive sensors. IOP Publishing Ltd, 2001, 441 с.
5. Ажаева Л.А., Грабов А.Б., Суханов В.И. и др. Патент RU2561762. Магниторезистивный датчик. Опубликовано 10.09.2015. Бюл. №25.

Миниатюрный измеритель параметров электризации КА

К.В. Лакшин, Т.В. Иванов, С.В. Бацев, Н.М. Пушкин, И.Г. Старичихин, А.А. Селезнев

АО «НПО ИТ»

E-mail: npoit@npoit.ru

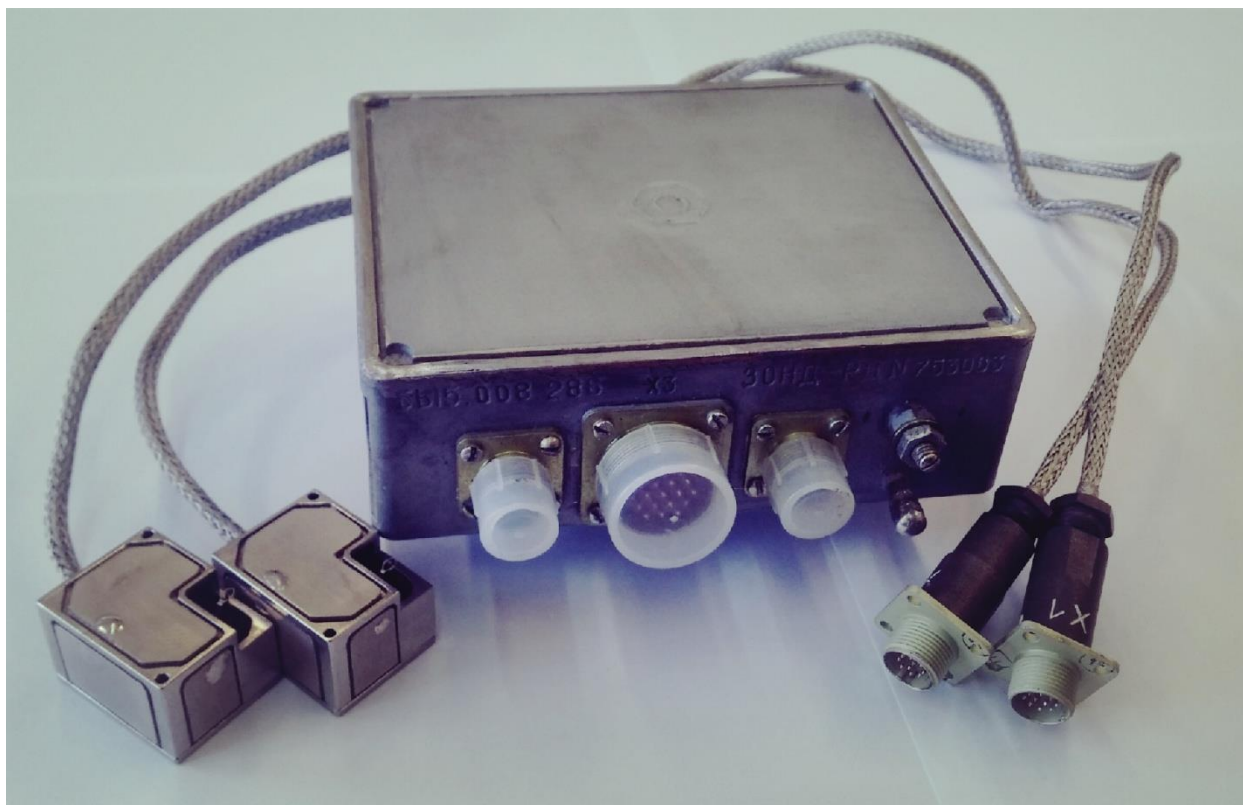
Одной из актуальных проблем, связанных с полетом космических аппаратов (КА) в открытом космосе, является электризация их поверхности. Оказывающие влияние на корпус космического аппарата потоки ионосферной плазмы, радиационные потоки и другие факторы, приводят к электризации его поверхности. В зависимости от материалов и геометрического расположения деталей корпуса, они могут заряжаться по-разному, создавая тем самым разницу потенциалов, достигающую десятков киловольт. Подобная разница потенциалов создает риск возникновения электрических разрядов, которые могут привести к сбою или выходу из строя отдельных электронных компонентов. Кроме того, электрически разряды могут восприниматься как помеха, при проводимых на борту КА исследованиях и измерениях, искажая получаемую полезную информацию.

Более того, за прошедший год было выявлено несколько случаев выхода из строя спутников, предположительной причиной которых являлось воздействие на них радиационных потоков, и последующее возникновение разрядных процессов. Это еще раз доказывает необходимость контроля параметров подобного рода, и перспективность исследований и разработок в данной области.

Проблема электризации КА является весьма актуальной на сегодняшний день в виду недостаточного количества исследований. Обеспечением измерений эффектов электризации КА с 1970-х годов активно занимается АО «НПО ИТ». Проводимые исследования позволили не только выпустить серийный трехканальный датчик измерений параметров электризации Зонд-3М, но и разработать его современный, малогабаритный аналог, для обеспечения контроля электростатических полей и разрядов.

В 2016 году предприятием был разработан датчик Зонд-11.

Малогабаритный измеритель параметров электризации «Зонд-11» (рис. 1) является трехканальным измерителем, и способен измерять постоянное электрическое поле амплитудой от 1 до 100 кВ/м, переменное поле амплитудой от 0,1 до 1 кВ/м с частотой 10-2000 Гц, а так же токи натекания амплитудой 0,1 – 5 мкА. Габариты нового датчика не превышают 21х28х18мм, а его вес составляет около 64 граммов. В качестве чувствительных элементов датчика являются: плоская антенна, для регистрации переменного и импульсного электрического поля, а так же токов натекания, и антенна с вибрационным модулем, для измерения постоянного электрического поля.



(Рисунок 1. Зонд-11 с преобразователем)

Успешно проведенные заводские испытания показали, что датчик способен выдерживать температурный режим от минут 50 до плюс 50 градусов по Цельсию, а так же полностью сохранять свою эффективную работоспособность при проведении линейных ускорений, амплитудой 100 м/с², ударов амплитудой 400 м/с² и синусоидальных вибраций амплитудой 100 м/с².

Масса датчика в 5 раз меньше его предыдущего аналога, что делает его не только пригодным для установки на микроспутники, но также дает возможность установки нескольких его образцов взамен одного старого. Это может существенно повысить объем контроля параметров электризации. Миниатюризация не только дает выигрыш в весе датчика, но и позволяет устанавливать его в труднодоступные места корпуса космического аппарата, но также дает возможность его применения для контроля внутриприборной электризации.

Зонд-11 имеет сравнительно небольшую мощность потребления, что в совокупности с его габаритами и, подтвержденными испытаниями, характеристиками, ставить его выше прочих немногочисленных современных аналогов. Он способен обеспечить контроль электризации космической аппаратуры всех классов, так же и на аппаратах, работающих на геостационарных, высокоэллиптических и полярных орбитах. Для решения актуальной проблемы электризации космических аппаратов, Зонд-11 является наиболее оптимальным выбором на сегодняшний день, как для крупных, так и для малых космических аппаратов нового поколения, например микро- и наноспутников.

Особенности гальванической развязки в измерительных цепях аппаратуры измерения параметров электрических полей.

А.Н. Филиппов, А.В. Фролов, С.В. Бацев, к.т.н., Н.М. Пушкин, д.т.н.

АО «НПО ИТ»

E-mail: npoit@npoit.ru

Для изучения электрофизических процессов на внешней поверхности изделий РКТ, связанных с накоплением электрических зарядов, на предприятии была разработана Зонд-Заряд. Аппаратура Зонд-Заряд позволяет измерять напряженность постоянного электрического поля в диапазоне от 6,0 кВ/м до 600 кВ/м и определять его полярность. Конструктивно аппаратура Зонд-Заряд состоит из датчика электрического поля Зонд, соединительного кабеля длиной 1-5 м и преобразователя Заряд. Датчик Зонд воспринимает постоянное электрическое поле, преобразует его в соответствующий электрический сигнал и по соединительному кабелю передает его на преобразователь Заряд, который осуществляет дальнейшую обработку принятого электрического сигнала до уровня $3,0 \pm 3,0$ В, пригодного для передачи его на телеметрию. Преобразователь Заряд так же вырабатывает необходимые напряжения питания электронных схем каналов постоянного и переменного полей и осуществляет возбуждение электромеханической части датчика Зонд.

В датчике Зонд используется метод измерения, известный в технике как метод «динамического конденсатора». В этом методе чувствительный электрод периодически экспонируется в исследуемом электростатическом поле с помощью экранирующего электрода. Экранирующий электрод механически связан с электромагнитным приводом, который подключен к выходу генератора возбуждения. Экранирующий электрод за счет электромагнитного привода колеблется с частотой, задаваемой генератором, изменяя при этом степень электростатической связи чувствительного электрода с исследуемым электрическим полем. Благодаря этому на чувствительном электроде наводится переменный электрический заряд, пропорциональный напряженности измеряемого электрического поля. Наведенный заряд затем преобразуется усилителем, синхронным детектором и фильтром нижних частот в постоянное напряжение, величина которого пропорциональна напряженности измеряемого электрического поля, а знак – его полярности.

При разработке аппаратуры Зонд-Заряд пришлось столкнуться и решить ряд проблем, связанных с процессом измерения постоянного электрического поля, а, именно, построением стабильного электромеханического вибратора датчика Зонд, работающего на резонансной частоте электромагнитного привода (порядка 200-300 Гц), и подавлением различных электрических помех, которые ограничивают чувствительность аппаратуры. Для подавления внешних электромагнитных наводок соединительный кабель помещен в экран, а сигнальный и общий провода кабеля перевиты между собой. Однако, не все виды помех удалось устранить таким методом.

Хорошо известная в аналоговой и цифровой схемотехнике «помеха по общему проводу», обусловленная протеканием «больших» (цифровых) токов помехи по общим измерительным (аналоговым) цепям. Для ее подавления обычно делают отдельно общий провод для цифровой части схем (цифровая земля) и общий провод для аналоговой части схем (аналоговая земля). После чего провода «аналоговой земли» и «цифровой земли» подключают в одной точке как можно ближе к общей шине источника питания. Тем самым исключается протекание большого тока помехи по общему проводу аналоговой части схем, а, следовательно, и попадание помехи на вход аналоговой части схемы и появление помехи на ее выходе.

Однако, такой метод оказался не эффективен для аппаратуры Зонд-Заряд. Это объясняется тем, что методы измерения электростатического поля требуют гальванической связи общего провода измерительного усилителя (Общ.1), с корпусом и общим проводом генератора возбуждения и электромагнитного привода (Общ.2) в одной точке у чувствительного электрода. Поэтому, дополнительное соединение общих проводов Общ.1 и Общ.2 у выхода источника питания не исключает попадания помехи от работы генератора возбуждения и электромагнитного привода по общему проводу на вход измерительного усилителя, в который входят предусилитель датчика Зонд и масштабный усилитель преобразователя Заряд.

Как уже упоминалось выше, эта помеха создается за счет протекания переменного тока возбуждения генератора и электромагнитного привода по общей шине измерителя. Общая шина аппаратуры Зонд-Заряд вместе с общим проводом соединительного кабеля имеет конечное омическое сопротивление порядка гобщ. = 2...10 Ом. Поэтому протекание тока возбуждения генератора и электромагнитного привода создает падение напряжения (синфазное с полезным сигналом), поступающее на вход измерительного усилителя. Синфазная помеха заметно ограничивает чувствительность аппаратуры Зонд-Заряд.

Для исключения синфазной помехи по общему проводу и повышению чувствительности аппаратуры Зонд-Заряд в нее был введен дополнительный источник питания, гальванически развязанный от основного источника питания, и блок гальванической развязки. От основного источника питания запитаны измерительный усилитель, фазовый детектор и фильтр нижних частот и выходная ступень блока гальванической развязки. От дополнительного источника питания запитаны генератор возбуждения, электромагнитный привод и входная ступень блока гальванической развязки. Выходная ступень блока гальванической развязки подключена к управляющему входу фазового детектора. Входная ступень блока гальванической развязки подключена к выходу генератора возбуждения.

Это техническое решение позволило исключить синфазную помеху в аппаратуре Зонд-Заряд, благодаря чему ее чувствительность увеличилась более, чем в 10 раз, что позволило выполнить ТЗ заказчика.

Данное техническое решение защищено патентом РФ №2606927.

Информационно – измерительная платформа для бортовых измерений в РКТ

Д.А. Панов, М.В. Кочемасов

АО «НПО ИТ»

E-mail: npoit@npoit.ru

В докладе рассмотрена возможность создания информационно – измерительной платформы для бортовых измерений в РКТ. Целью данной работы является рассмотрение возможности создания блочно – модульного ряда преобразователей для датчиков различных физических параметров (температуры, давления, вибрации, расхода, уровня и т.п., а так же сигнализаторов и контактных датчиков).

В состав информационно – измерительной платформы могут входить различные функциональные модули, сконфигурированные под конкретную задачу измерений.

Предлагаемое решение позволяет минимизировать габаритно – массовые характеристики, унифицировать преобразующую аппаратуру, провести локализацию измерений, создание информационно – измерительных систем при использовании нескольких платформ, работающих на один интерфейс локальной сети для многоточечных измерений.

Предложенный конструктив информационно – измерительной платформы обладает следующими преимуществами:

- удобное и надежное соединение модулей в любом порядке;
- имеет встроенный межблочный интерфейс;
- отсутствие внешних кроссировочных вилок;
- возможность наращивания системы при необходимости использования большего количества информационно – измерительных каналов.

Автоматизированная установка для проведения испытаний высокотемпературных датчиков вибрации

Веселова Е.Ю., Михалев А.А.

АО «НПО ИТ»

E-mail: npoit@npoit.ru

При изготовлении высокотемпературных датчиков вибрации возникает потребность в проведении испытаний по определению погрешности от влияния повышенных температур (+400...+600°C). Существуют методики для определения погрешности влияния температуры, предполагающие дискретные замеры коэффициента преобразования датчика на постоянном уровне вибрации при разных температурах с определенным шагом (например, через каждые 50°). При использовании подобных методик отсутствует информация об изменении коэффициента преобразования в процессе нагрева датчика.

При создании автоматизированной установки для проведения испытаний высокотемпературных датчиков вибрации были поставлены следующие задачи:

- максимальное приближение эксплуатационных условий при испытаниях к реальным, что обеспечивает повышение качества продукции;
- увеличение точности измерений;
- снижение трудоемкости испытаний;
- выявление переходных процессов;
- определение факторов, влияющих на качество выходного сигнала;
- исключение человеческого фактора.

Максимальное приближение эксплуатационных условий при испытаниях обеспечивается следующими факторами:

- задание вибрации, по амплитуде и частоте совпадающей со значениями на изделии при эксплуатации;
- задание верхней границы и градиента изменения температур близкого к температуре корпуса изделия в месте установки датчиков.

Увеличение точности измерений достигается применением цифровой регистрацией выходных сигналов с контрольного и испытуемого датчика.

Выявление переходных процессов обеспечивается путем записи выходного сигнала в непрерывный архив с фиксированием времени и температуры.

Определение факторов влияющих на качество выходного сигнала, обеспечивается построением спектральных характеристик и их сравнением с типовыми признаками дефектов.

Исключение человеческого фактора обеспечивается отсутствием регулировок посредством человеческого труда и заменой на автоматическое регулирование температуры, частоты и амплитуды, регистрацией в архивные данные и автоматическим расчетом температурной погрешности.

Для решения поставленных задач была спроектирована автоматизированная установка (рисунок 1), в состав которой входят следующие комплектующие:

- электродинамический вибростенд со стержнем для отведения тепла от контрольного датчика;

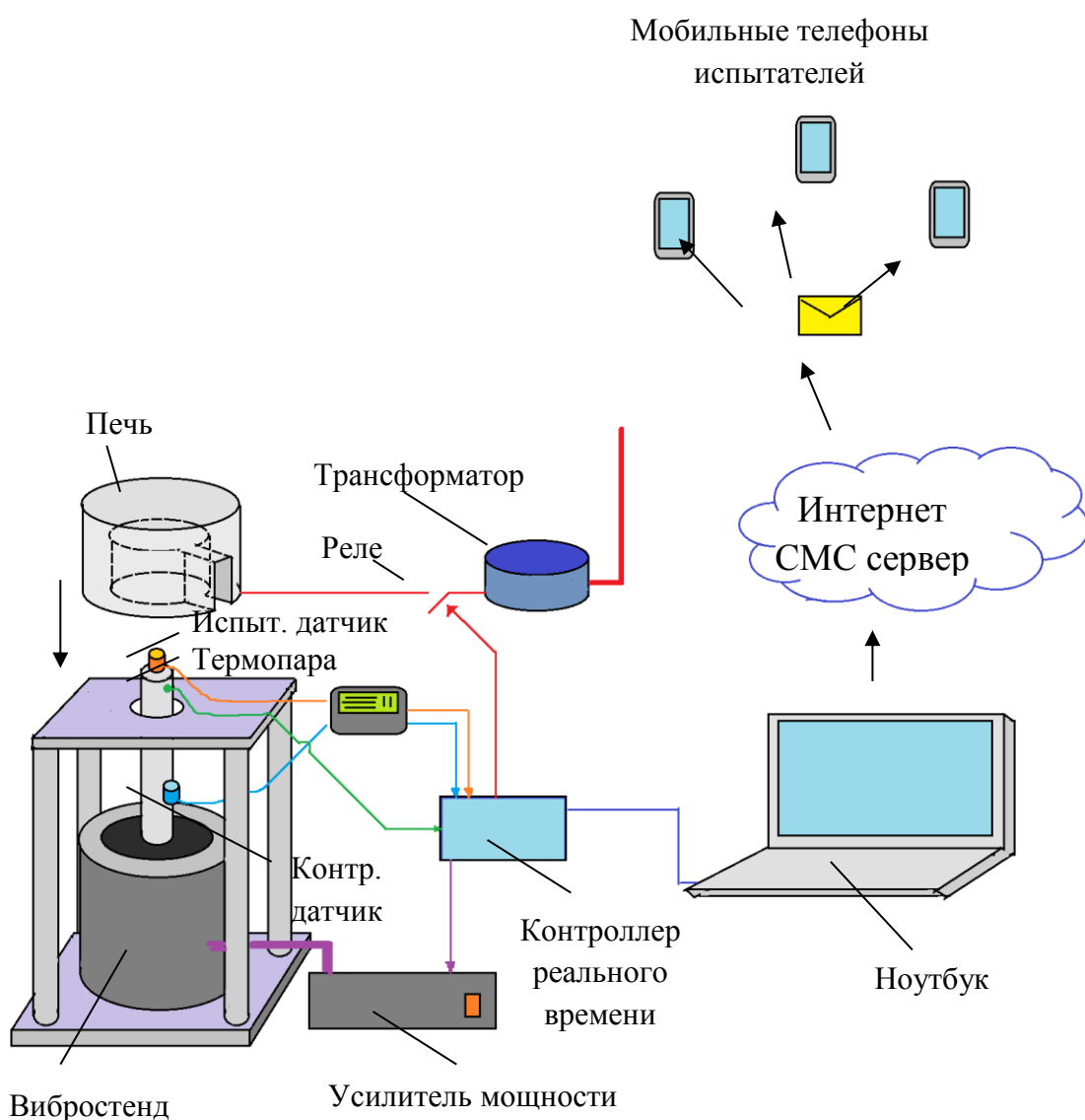


Рисунок 1 – Принципиальная схема автоматизированной установки для проведения испытаний высокотемпературных датчиков вибрации

- усилитель мощности для активации вибростенда;

- специальный стол для установки высокотемпературной печи над стержнем;
- высокотемпературная печь с датчиком температуры;
- нормирующий преобразователь - двухканальный усилитель заряда для контрольного и испытываемого датчика;
- система реального времени, включающая контроллер и модули аналогового ввода;
- ноутбук для регистрации сигналов на жесткий диск и просмотра архивов.

Для функционирования установки было разработано специальное программное обеспечение (рисунок 2), выполняющее следующие функции: регистрацию непрерывного сигнала с выходов усилителя заряда и последующей записью на жесткий диск; контроль температуры внутри печи с автоматическим отключением по заданному порогу; контроль заданного уровня вибрации на вибростенде и автоматическим регулированием; информирование испытателя об окончании проведения испытаний СМС-сообщением; определение погрешности влияния повышенных температур; определение качества выходного сигнала по спектральным характеристикам; просмотр архивных данных по окончании испытаний; передача информации в базу данных автоматизированной системы испытаний датчиков вибрации.

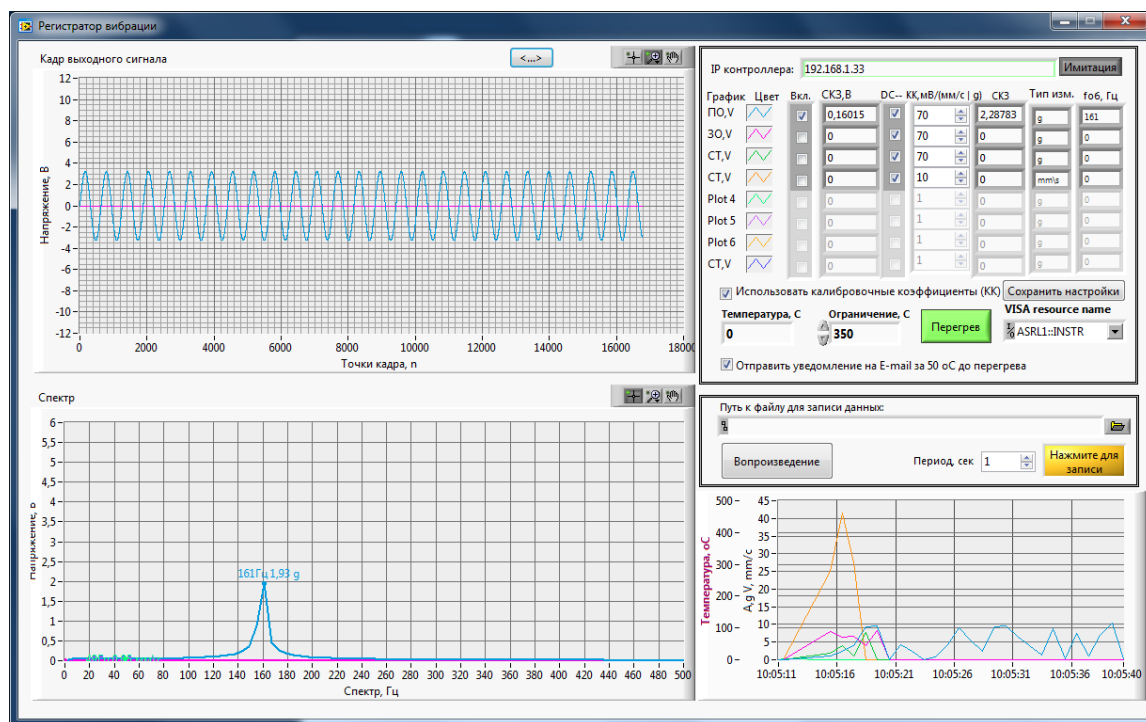


Рисунок 2 – Основное окно программного обеспечения установки

Автоматизированная установка функционирует следующим образом:

- 1) Вводят начальные данные: заводской номер и тип датчика.
- 2) По введенному типу датчика из базы данных задается максимальная рабочая температура и допустимая погрешность датчика.
- 3) Устанавливают датчик и запускают испытание в автоматическом режиме.
- 4) Программа автоматически поддерживает постоянный уровень вибрации, регистрируя выходные сигналы, управляет температурой печи.
- 5) По достижению максимальной температуры происходит остывание при постоянном уровне вибрации и регистрации сигналов.
- 6) При достижении комнатной температуры запись останавливается, отключается вибростенд. Происходит отправка СМС-сообщения испытателю.
- 7) Строится график зависимости температурной погрешности и выдается заключение. Полученное значение сохраняется в базе данных автоматизированной системы испытаний датчиков вибрации.

Разработанная автоматизированная установка успешно внедрена и прошла опытную эксплуатацию при отработке и испытаниях высокотемпературных вибропреобразователей АНС 260, АНС 259, АВС 145.

Об особенностях преобразования сигнала емкостных датчиков уровня.

Дерденков Е.А., Горбаткин Ю.Б., Яковлева Н.В.

АО «НПО ИТ»

Е-mail: n.23.y@mail.ru

В настоящее время находят достаточно широкое применение емкостные сигнализаторы и датчики уровня, выполненные на основе дискретных чувствительных элементов (ЧЭ) конденсаторного типа малой емкости. К ним относятся сигнализаторы уровня УДЕ 304 (фото 1), а так же конденсатор измерительный БЫ5.183.119 (фото 2,3), используемый в сигнализаторах СУС-314 и датчиках уровня стендовых ДУС и выполненный в виде цилиндрического конденсатора.



Фото 1 Сигнализаторы уровня УДЕ 304



Фото 2 Конденсатор измерительный БЫ5.183.119



Фото 3 Конденсатор измерительный БЫ5.183.119

Величина емкости таких миниатюрных конденсаторов в воздушной среде составляет всего 1 пф (начальная емкость - C_0). Значение емкости такого конденсатора при погружении его в неэлектропроводную жидкую среду с относительной диэлектрической проницаемостью ϵ может составлять от 1,5 пф до нескольких пикофард. Т.е. девиация (приращение) полезного измерительного сигнала является небольшой. Целью данной статьи является анализ путей оптимизации схемы преобразования сигнала с таких датчиков.

Не останавливаясь на рассмотрении различных схем измерения емкости, таких, например, как включение измеряемой емкости в «плечо» мостовой схемы измерения. Рассмотрим наиболее приемлемую схему измерений, в случае, когда датчик удален от вторичного преобразователя на расстояние от нескольких метров до нескольких десятков метров, что является типичным для стендовых и бортовых измерений.

На рис.1 приведена структурная схема емкостного сигнализатора малой емкости при большой емкостной нагрузке - емкости кабеля линии связи между датчиком и вторичным преобразователем.

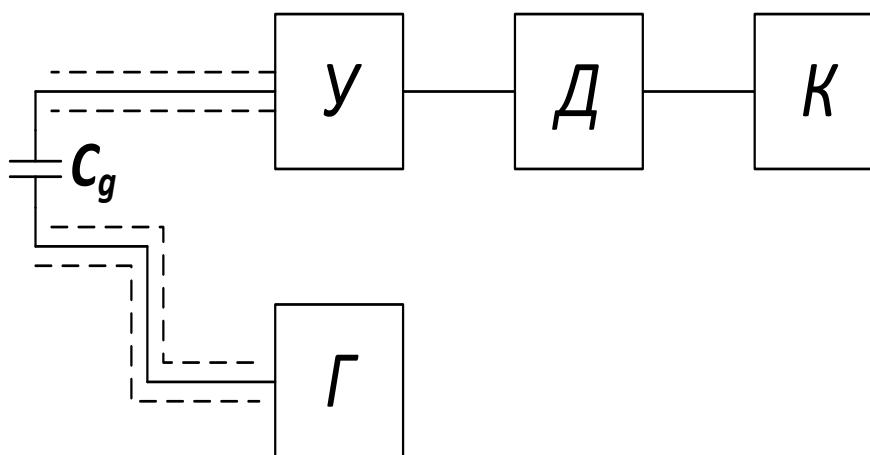


Рис 1. Структурная схема емкостного сигнализатора малой емкости

Где, C_g -емкость датчика,

Г- генератор,

У- усилитель,

Д- детектор,

К- компаратор.

Эквивалентная схема, учитывающая влияние емкости кабеля приведена на рис.2.

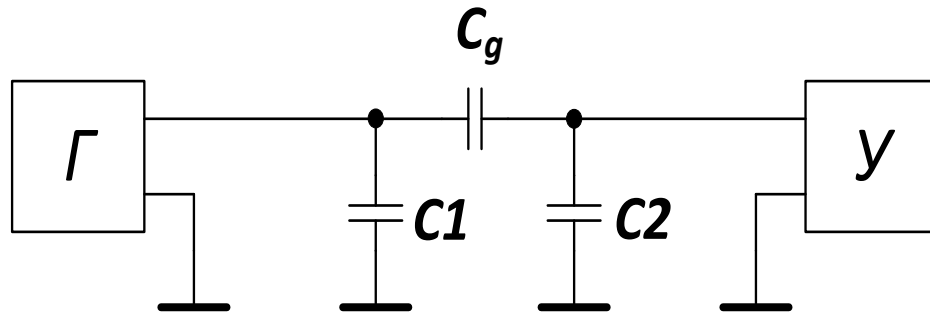


Рис.2 Эквивалентная схема, учитывающая влияние емкости кабеля

Где C_1 и C_2 -емкости между линией связи и экраном.

Основное требование к такой схеме:

Кабельная сеть между Г и C_g , между C_g и У должна быть выполнена в экране, желательно в сплошном не имеющим разрывов;

Длина кабельной линии связи по возможности должна быть минимальной;

Экран линий связи между C_g и У, Г должен быть надежно соединен с шиной «общий», обозначенный на рис.4 символом $\perp$.

На рис.2 емкость C_1 нагружает генератор Г, что приводит к искажению его выходного сигнала. Т.е. выходное сопротивление генератора должно быть минимальным, таким, чтобы постоянная времени $\tau = RC_1$ была существенно ниже периода генератора.

Емкость C_2 влияет на точность преобразователя сигнала усилителя У.

Влияние емкости кабеля можно значительно уменьшить за счет применения «двойной» экранировки, что схематично показано на рис.3.

Внешний экран Э₂ соединен с цепью «общий» ($\perp$).

На внутренний экран Э₁ через эмиттерный повторитель ЭП поступает сигнал, равный сигналу, поступающему на вход усилителя У. За счет того, что потенциал измерительного сигнала и потенциал на Э₁ приблизительно равны, ток, который через паразитную емкость C_2 протекал в цепь «общий»- существенно уменьшается, снижая тем самым влияние емкости кабеля.

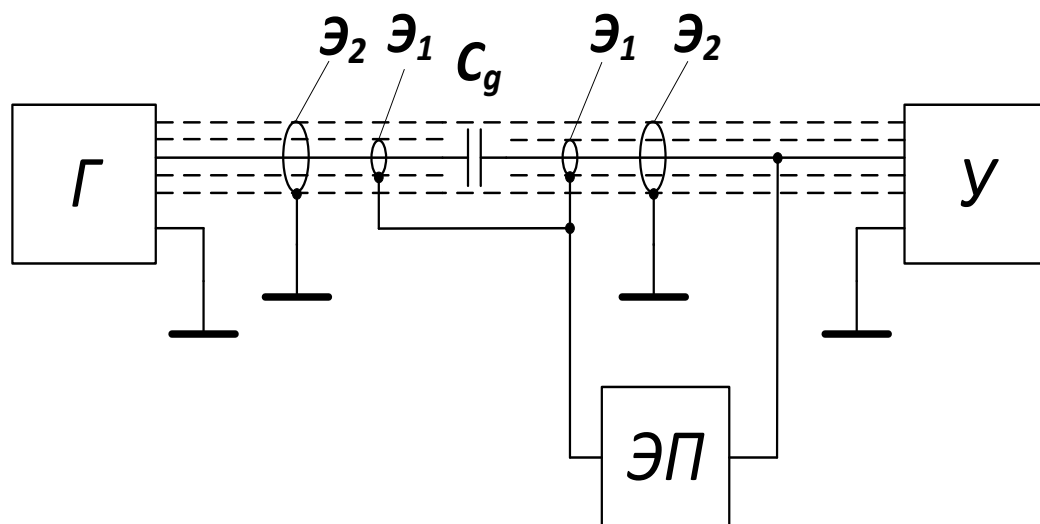


Рис.3. Схема, с применением «двойной» экранировки

Одна из простейших схем генератора на операционном усилителе (ОУ) приведена на рис.4, а временные диаграммы его работы на рис.5.

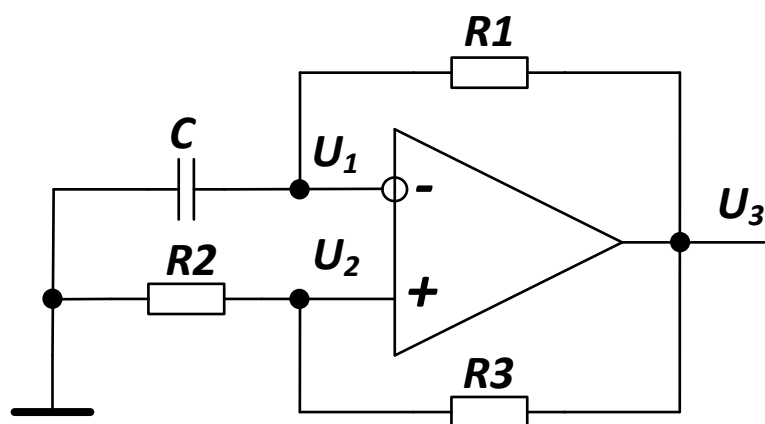


Рис.4 Генератор на операционном усилителе

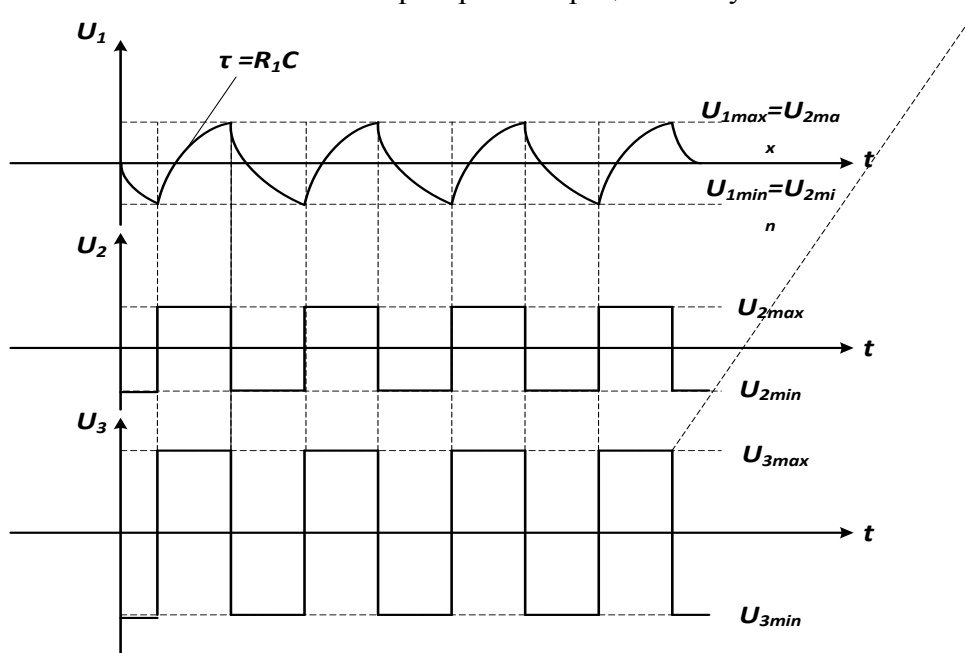


Рис.5 Временные диаграммы генератора на операционном усилителе

Выходной сигнал генератора симметричен, скважность ≈ 2 .

Питание двухполярное $\pm 15\text{В}$, стабильное от стабилизатора питающего напряжения.

Напряжение на не инвертирующем входе ОУ определяется:

$$U_2 = U_3 \frac{R_2}{R_2 + R_3} \quad (1)$$

Частота генерации определяется постоянной времени:

$$\tau = R_1 C, \quad (2)$$

т.е. при достижении с этой постоянной времени значения

$U_{1\max} = U_{2\max}$ или $U_{1\min} = U_{2\min}$ (см. рис.4) изменяется полярность напряжения U_3 на выходе генератора.

Стабильность элементов R_1, R_2, R_3 и C определяет стабильность частоты генератора. Но главное - стабильность амплитуды его выходного сигнала, определяемая стабильностью напряжения питания ОУ. Желательно иметь большую амплитуду выходного сигнала генератора, поэтому его питание составляет $\pm 15\text{В}$. При работе на емкостную нагрузку на выходе генератора необходимо иметь усилитель мощности с малым выходным сопротивлением.

В практических схемах генераторов частота выбиралась в диапазоне $30 \div 60 \text{ кГц}$.

На рис.6 приведена простая схема усилителя $У$, имеющего двухполярное питание $\pm 15\text{В}$ и выполнена на основе операционного усилителя (ОУ).

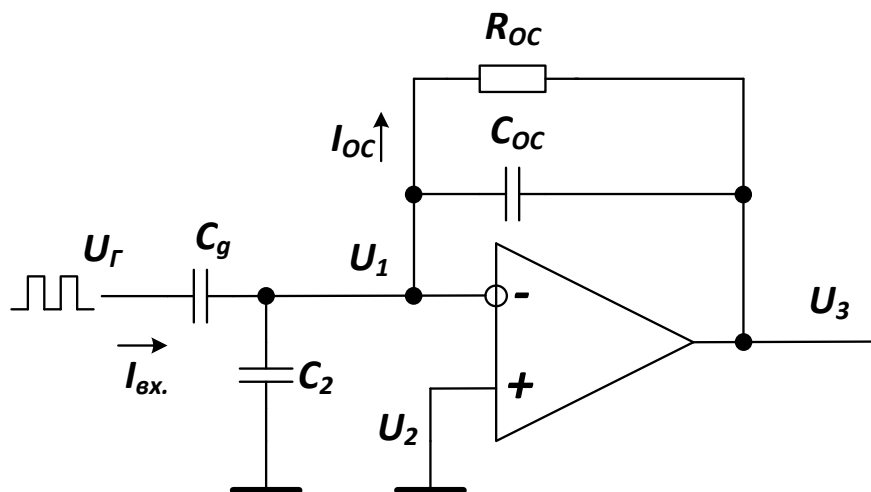


Рис.6 Генератор на ОУ с двухполярным питанием

$$U_1 \approx U_2 = 0$$

ОУ следует выбирать с малым входным токами, высоким быстродействием типа 544УД2 и большим коэффициентом усиления. Выходное напряжение U_3 определяется соотношением:

$$U_3 = -U_r \frac{C_g}{C_{oc}} \quad (3)$$

Из формулы 3 следует, что для получения достаточно большого значения U_3 величину C_{oc} следует выбирать порядка $4 \div 10$ пф (при $C_g \approx 1$ пф), т.е. одного порядка со значением C_g .

R_{oc} величиной порядка $1 \div 5$ Мом обеспечивает стабильность включения ОУ за счет обеспечения отрицательной обратной связи по постоянному току.

Стабильность C_{oc} влияет на погрешность измерительного сигнала U_3 , как это следует из формулы 3.

Влияние емкости кабеля C_2 в данной схеме нивелируется за счет большого коэффициента усиления ОУ, так входная эквивалентная емкость такого усилителя будет равна:

$$C_{вх.экв.} = KC_{oc} \gg C_2$$

Электроды датчиков, приведенных на фото 1,2,3 полностью изолированы от корпуса, что обеспечивает стабильность его работы. Если, одним из электродов датчика является металлический корпус сосуда или бака, то одной из первых причин неустойчивости является длина пути от измерительного электрода до корпуса.

При измерении емкости датчика важно не только само значение емкости датчика, а величина ее приращения при погружении датчика в жидкость- ΔC .

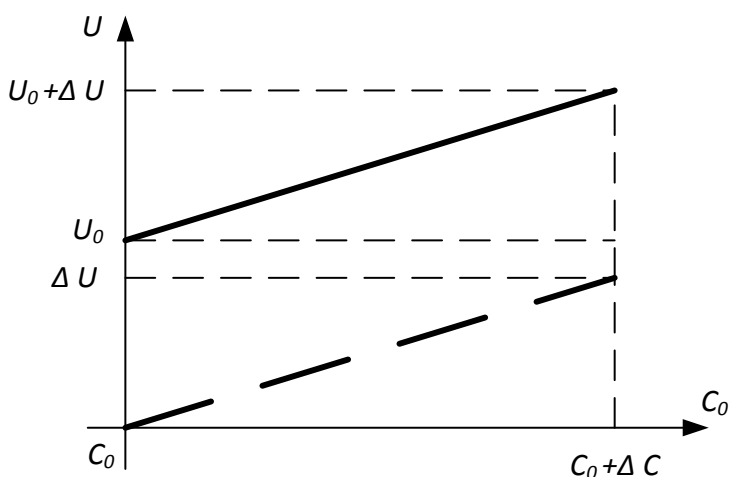


Рис.7 характеристика зависимости выходного сигнала усилителя в зависимости от емкости датчика

На рисунке 7 приведена линейная характеристика зависимости выходного сигнала усилителя в зависимости от емкости датчика.

Здесь C_0 — начальное значение емкости датчика, не погруженного в жидкость, а U_0 — соответствующее емкости C_0 напряжение на выходе усилителя.

Из рисунка 7 видно, что в усилительном тракте полезно ввести опорное напряжение- U_0 для компенсации влияния значения C_0 «сухого» датчика. В этом случае характеристика на рисунке 7 будет как показано пунктиром — линейной, изменяться от 0 до ΔU .

Если с одним и тем же датчиком работать на дистиллированной воде или на углеводородном продукте (бензине, керосине и т.д.), то желательно при смене продукта менять и коэффициент усиления схемы, например, переключением величины C_{oc} в усилителе У (смотри рисунок 6). На дистиллированной воде C_{oc} должна быть на порядок больше, поскольку у дистиллированной воды $\epsilon \approx 78$, что более чем на порядок больше, чем у углеводородных продуктов. Если же работать на обычной водопроводной воде, являющейся проводящей жидкостью, то входной усилитель У будет работать уже не по емкости, а по проводимости, которая в этом случае превалирует. Использовать рассмотренную схему можно для сигнализации наличия уровня проводящей жидкости с большим коэффициентом усиления, определяемым соотношением $K = \frac{R_{oc}}{R_g}$, где R_g - эквивалентное сопротивление датчика, тем меньшее, чем выше проводимость воды.

В заключение надо отметить, что датчики УДЕ 304 (фото1) успешно используются при работе на криогенных продуктах, а ЧЭ на фото 2,3 при работе на дистилляте и бидистилляте.

Литература

1. «Измерения в промышленности», справочник под редакцией П.Профоса Москва, изд. «Металлургия», 1980г.
2. «Аналоговая электроника на операционных усилителях» А.Дж.Пейтон, В.Волш Москва, изд. «БИНOM», 1994г.
3. Мир электроники «Современные датчики». Справочник Дж. Фрайден (перевод с английского). Москва, ТЕХНОСФЕРА, 2006г.

Миниатюрный волоконно-оптический датчик магнитного поля и электрического тока на основе эффекта Фарадея с чувствительным элементом на кристалле $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$

В.И. Смыслов, к.т.н., С.А. Суровикин, А.Н. Демин

АО "НПО ИТ"

E-mail: npoit@npoit.ru

Волоконно-оптические датчики (ВОД) магнитного поля и электрического тока находят все более широкое применение в измерительных системах различного назначения. Принцип построения таких датчиков в большинстве своем основан на использовании эффекта Фарадея в магнитооптических средах. По сравнению с традиционными датчиками магнитного поля и электрического тока такие ВОД имеют ряд существенных преимуществ: электромагнитная совместимость, пассивность чувствительных элементов (отсутствие электрического питания), пожаровзрывобезопасность, высокое быстродействие, дистанционность измерений и гальваническая развязка.

На практике существует ряд важных задач по измерениям магнитного поля и электрического тока в труднодоступных местах, где при высокой чувствительности и точности требуются минимальные размеры чувствительных элементов.

Проведен анализ возможностей создания таких волоконно-оптических датчиков магнитного поля и электрического тока на основе кристаллов $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$. Предложена и реализована конструкция датчика. Проведенные испытания показали, что при минимально возможных габаритах такие датчики имеют пороговую чувствительность по магнитному полю $\approx 45 \text{ A/м} / \sqrt{\text{Гц}}$ или $\approx 0,6 \text{ эрстед} / \sqrt{\text{Гц}}$ на частоте измерения 87 Гц. Быстродействие датчика составило $\approx 10^{-6}$ с. Полученные характеристики датчика позволяют говорить о его востребованности и широких перспективах применения в различных областях науки и техники.

Универсальный микроэлектронный преобразователь температуры с цифровым выходом

Е.А. Зубанов, А.Т. Клементьев, к.т.н., С.А. Суровикин

АО «НПО ИТ»

E-mail: npoit@npoit.ru

Одним из главных направлений совершенствования датчиков температуры для изделий РКТ является объединение чувствительного элемента и его вторичного электронного преобразователя в едином микроэлектронном интеллектуальном преобразователе температуры с цифровым выходом. Применение такого термопреобразователя позволяет повысить точность, надежность, срок службы и помехоустойчивость измерений температуры при снижении его массы и энергопотребления. Применение таких термопреобразователей позволяет также качественно уменьшить массово-габаритные характеристики кабельных сетей информационно-измерительных систем изделий РКТ, т.к. для их подключения требуется только одна цифровая шина, к которой подключаются все используемые термопреобразователи.

На сегодняшний день для термопреобразователя полностью разработан микроэлектронный чувствительный элемент, сформулированы требования и изготовлен макет микроэлектронного вторичного преобразователя, а также проведены их испытания, которые подтвердили правильность выбранных технических решений, включая диапазон измеряемых температур от минус 50 до + 140 °С и основную погрешность измерений 0,5 °С.

**Обеспечение помехоустойчивости индукционных тахометрических преобразователей при
воздействии неоднородных низкочастотных магнитных полей**

А.В. Гладков, С.В. Петров, В.А. Чернышев

АО «НПО ИТ»

E-mail: npoit@npoit.ru

Магнитоиндукционные тахометрические преобразователи (МИТП) широко применяются в таких измерительных устройствах, как турбинные и шариковые расходомеры, датчики числа оборотов, датчики крутящего момента и т. д. МИТП представляет собой катушку с сигнальной обмоткой и магнитным сердечником. При пересечении вращающимся ферромагнитным индуктором (лопасть вертушки, вставка на валу турбонасосного агрегата, шарик) силовых линий поля, создаваемого магнитом МИТП, в сигнальной обмотке генерируется ЭДС (полезный сигнал). Одна из проблем, возникающих при эксплуатации МИТП, - влияние на его работу низкочастотных магнитных полей (НМП), сопровождающих работу электрооборудования, расположенного в непосредственной близости от МИТП (электроприводы насосов, силовые кабели и др.). Частота НМП находится в рабочем диапазоне частот измеряемого параметра, поэтому создаваемую НМП помеху нельзя отфильтровать. Помеха воспринимается как полезный сигнал, и при нулевом значении измеряемого параметра устройство выдает ложную информацию.

Исследования показали, что полезная ЭДС, генерируемая в витках обмотки МИТП, уменьшается с удалением витков от индуктора, т. е. основная часть ЭДС формируется в витках, приближенных к индуктору. При большой высоте обмотки верхняя (бóльшая по объему) ее часть выполняет отрицательную роль, т. к. в ней формируется основная часть наводки, а ее вклад в ЭДС невелик. Уменьшение высоты обмотки позволило значительно увеличить отношение «сигнал/наводка», однако этого оказалось недостаточно для обеспечения работоспособности МИТП при частоте НМП 500 Гц, поскольку чувствительность МИТП к наводке растет прямо пропорционально частоте. Применение экрана, например пермаллового, позволяет ослабить НМП внутри МИТП, однако на низкой частоте экраны недостаточно эффективны.

Для исключения влияния НМП на работу МИТП нами предположено разместить на одной оси с сигнальной обмоткой дополнительную (компенсационную) обмотку с тем же числом витков, соединив ее последовательно встречно с сигнальной. ЭДС, наводимые НМП в

обмотках, имеют одинаковую величину и разную полярность и компенсируют друг друга. Компенсационная обмотка располагается дальше от индуктора, чем сигнальная, поэтому уровень полезного сигнала в ней меньше и при вычитании сигналов обмоток имеется остаточный (полезный) сигнал. Поскольку НМП, создаваемая электрооборудованием, является сильно неоднородной, обе обмотки должны располагаться как можно ближе друг к другу и иметь как можно меньшую высоту, в связи с чем остаточный сигнал существенно меньше ЭДС, генерируемых обмотками. Для увеличения остаточного сигнала обмотки выполняются с большим числом витков (4000) тонким (0,04 мм) эмалированным микропроводом ПЭТ-имид. Кроме того, для увеличения сигнала применяется мощный редкоземельный магнит «самарий/кобальт», а сам магнит и сигнальная обмотка придвигаются как можно ближе к индуктору.

Экспериментальная отработка описанного МИТП проводилась на генераторе НМП 50 Гц типа ИГП1.1 при напряженности поля в центре рамки с током 80 А/м. Во время экспериментов МИТП в составе турбинного преобразователя расхода РТ044 располагался вблизи рамки с током, где наблюдается максимальная неоднородность НМП, а напряженность поля составляет 240 А/м. Установлено, что применение компенсационной обмотки обеспечивает увеличение отношения «сигнал/наводка» на два порядка без применения экранирования. Результаты лабораторных исследований были подтверждены при натурных испытаниях МИТП в составе турбинного расходомера РЖ295 на реальном объекте в условиях воздействия неоднородного НМП, создаваемого электроприводами двух насосов, с напряженностью 90 А/м и частотой 50 и 200 Гц.

По результатам работ проведена доработка конструкции расходомера РЖ295.

**Особенности работы резервированных ультразвуковых сигнализаторов уровня
импедансного типа при горизонтальной установке**

Севостьянов С.С., Горбаткин Ю.Б., Чернышев В.А., Яковлева Н.В.

АО «НПО ИТ», Московская обл., г. Королёв

E-mail: npoit@npoit.ru

Сигнализаторы уровня широко применяются в качестве элементов автоматики различных технических объектов для контроля наполнения или опорожнения резервуаров и трубопроводов. Одним из наиболее простых и надежных является ультразвуковой сигнализатор уровня импедансного типа, в котором чувствительным элементом является автогенератор, в цепь обратной связи которого включены последовательно цилиндрический пьезоэлемент, нагруженный на полуволновой вибратор и резистор. Вибратор представляет собой цилиндрический стержень, жестко закрепленный в узловой плоскости, причем общая длина вибратора равна половине длины продольной ультразвуковой волны на частоте резонанса пьезоэлемента. Если волновод контактирует с газом (воздухом), то в схеме обеспечиваются условия для возникновения генерации, и на выходе индикаторного устройства появляется напряжение, сигнализирующее о том, что уровень жидкости находится ниже волновода. Когда волновод касается жидкости, сопротивление излучения преобразователя заметно увеличивается, его добротность резко снижается и условия для возникновения генерации не выполняются: отсутствие на выходе индикаторного устройства напряжения свидетельствует о наличии жидкости.

В системах управления, к которым предъявляются повышенные требования по надежности, применяются резервированные (трехканальные) ультразвуковые сигнализаторы уровня, содержащие три чувствительных элемента, расположенных в общем корпусе под углом 120 град. К ним относятся разработанные АО «НПО ИТ» в разное время сигнализаторы уровня типа ИС 555, СПУ 010, ДСУ 313, 316, 317, 319, а также вновь разработанный сигнализатор уровня типа СУ 312. Для того чтобы близко расположенные чувствительные элементы не мешали друг другу, собственные частоты каналов разносятся на величину, превышающую ширину полосы пропускания амплитудно-частотной характеристики пьезоэлемента. При установке сигнализатора в вертикальном положении в ёмкости большого объёма разнесение частот обеспечивает нормальную работу сигнализатора.

В некоторых случаях сигнализатор приходится устанавливать на объекте в горизонтальном положении в байпасе, когда волноводы датчиков располагаются на разной высоте и на небольшом расстоянии от волноводов находится стенка (сигнализатор СУ312). При этом наблюдаются ложные срабатывания (сбои) каналов сигнализатора.

Для выявления причины сбоев рассмотрим работу двух каналов сигнализатора, расположенных на разной высоте, при изменении уровня раздела сред, например, при погружении сигнализатора в жидкость, т. е. при наполнении резервуара. До касания жидкости волновода нижнего канала оба генератора работают в режиме автоколебаний каждый на своей частоте. Поскольку окружающей средой является газ (воздух), акустический импеданс (произведение скорости звука на плотность) которого на три порядка меньше импеданса жидкости, ультразвуковые колебания (УЗК), распространяющиеся в волноводе, испытывают практически полное отражение на границе «волновод-среда» - реализуется режим стоячей волны. При этом энергия не излучается, и потери в колебательном контуре невелики. При погружении нижнего волновода в жидкость часть энергии УЗК переходит в жидкость через смоченную поверхность, что эквивалентно увеличению сопротивления потерь контура. Наступает такой момент, когда отток энергии из контура превышает ее поступление, и автоколебания срываются – сигнализатор срабатывает. Через какое-то время начинает погружаться в жидкость волновод верхнего канала, и часть энергии излученных им УЗК переходит в жидкость. При наличии вблизи от волноводов стенок корпуса УЗК отражаются от них, и часть энергии возвращается к верхнему волноводу, а часть – к нижнему волноводу. При увеличении поступающей энергии выше определенного уровня в нижнем волноводе возобновляются автоколебания – за счет эффекта «затягивания» колебаний. При этом нижний (погруженный в жидкость) канал меняет свое состояние и переходит в состояние «газ», т. е. происходит сбой в работе сигнализатора.

С целью исключения сбоев нами предложено автоматически изменять активное сопротивление контура сработавшего чувствительного элемента, подключая с помощью ключа вместо одного резистора другой – с большим сопротивлением. Увеличение активного сопротивления контура предотвращает возникновение в нем автоколебаний при попадании на вибратор этого канала отраженных от стенок корпуса УЗК, излучаемых смежными каналами. Изменение активного сопротивления контура при срабатывании сигнализатора приводит также к появлению дифференциала срабатывания, т.е. к разнесению уровней, при которых происходит срабатывание и отпускание. При этом исключается «дребезг» выходных контактов (многократные срабатывания) реле в момент пересечения границей раздела жидкой и газообразной фаз назначенной плоскости срабатывания сигнализатора.

Результаты экспериментальных исследований доработанного сигнализатора СУ312 подтвердили эффективность предложенного технического решения и целесообразность его внедрения в последующих модификациях трехканальных ультразвуковых сигнализаторов уровня импедансного типа.

Введение цифровых датчиков контроля механического состояния роторных машин в современных АСУ ТП

Батырев Ю.П., Кряжев Д.Г., Веселова Е.Ю., Михалев А.А.

Е-mail: npoit@npoit.ru

Датчики предназначены для измерения виброскорости в диапазоне 0-30 (0-20) мм/с в полосе частот 10-1000 Гц и осевого смещения роторных машин. Измеренные значения виброскорости передаются по интерфейсу RS-485 (двухпроводная линия) протоколу Modbus RTU. Скорость передачи определяется пользователем, может выбираться из ряда 9600, 19200, 38400, 57600, 115200 бит/с. Аналогично пользователь может проводить контроль четности и задавать количество стоп-бит.

Конструктивно датчик виброскорости представляет из себя пьезоэлектрический акселерометр со встроенной внутрь датчика электроникой. Выходной кабель датчика защищен металлорукавом и может оканчиваться либо разъемом, либо свободными концами для клеммных колодок.

Электрическая схема датчика размещена на трех печатных платах, соединенных между собой паяными штыревыми соединениями. Собранные в сборе печатные платы имеют монолитную конструкцию и устанавливаются в корпус датчика. К модулю печатной платы припаиваются выводы керамического элемента и провода выходного кабеля, после чего он фиксируется прижимным элементом и крышкой. После прохождения всех видов испытаний корпус датчика заливается компаундом.

Электрическая схема датчика делится на три части (три печатные платы) по функциональному признаку – плата питания, плата измерительная и плата интерфейсная.

Плата питания включает в себя гальванически изолированный преобразователь входного напряжения +24В в 5В и элементы защиты входных цепей датчика от электромагнитных помех и перенапряжений. Также введена защита от переплюсовки питания.

Плата измерительная состоит из усилителя заряда, принимающего сигнал от пьезокерамики, интегратора, фильтра верхних частот, фильтра нижних частот, программируемого усилителя, дополнительного усилителя, детектора среднеквадратического значения сигнала с фильтром нижних частот. Управление работой схемы осуществляет микропроцессорное устройство dsPIC33F. По его команде происходит аналого-цифровое преобразование сигнала, пересчет в СКЗ виброскорости и выдача значения виброскорости по протоколу Modbus RTU через плату интерфейсную.

Плата интерфейсная состоит из гальванически изолированного модуля интерфейса RS-485 и элементов защиты, обеспечивающей выполнение требований стандартов ГОСТ Р 51317-4-2, ГОСТ Р 51317-4-4-99, ГОСТ Р 51317-4-5.

В докладе представлены результаты испытаний в инженерно-испытательном центре ПАО «Транснефть-Ухта», а так же опыт эксплуатации на объектах.

Корректировка зависимости $Sh=F(Re)$ высокоточной дозирующей установки ВДУ-65 на месте эксплуатации

А.О. Лобанов, Н.А. Степанов, В.А. Чернышев

АО «НПО ИТ», г. Королев, Московская область

E-mail: npoit@npoit.ru

В настоящее время осуществляется замена устаревших аналоговых весовых дозирующих установок Омега-2 поставляемыми АО «НПО ИТ» высокоточными цифровыми дозирующими установками ВДУ-65 (далее – ВДУ), рисунок 1 [1].



Рисунок 1 – Высокоточная дозирующая установка ВДУ-65

В ВДУ масса дозы вычисляется как произведение объема на плотность, причем плотность измеряется косвенно – через температуру продукта. Для измерения объема используется вихревой преобразователь расхода, а для измерения температуры (которая используется также для вычисления зависящих от температуры параметров ВДУ - плотности, вязкости и линейных размеров измерительного патрубка) - встроенный термометр сопротивления (далее – ТС). Таким образом, ВДУ имеет два канала измерений – объема и температуры, объединенные в один преобразователь расхода и температуры (далее - ПРТ).

Принцип действия канала измерения объема ВДУ основан на эффекте образования регулярной вихревой дорожки за помещенным в поток плохобтекаемым телом, рисунок 2.

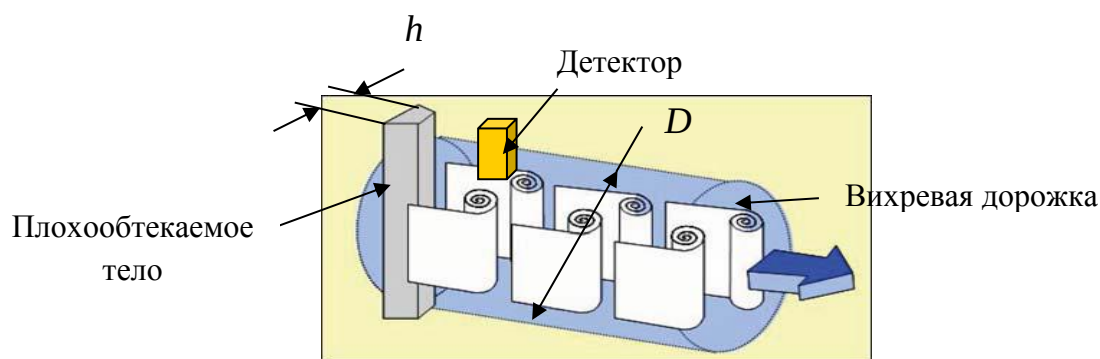


Рисунок 2 – Образование вихрей Кармана за плохообтекаемым телом

Частота вихреобразования f пропорциональна скорости потока V в самом узком сечении:

$$f = \frac{Sh \cdot V}{h}, \quad (1)$$

где h – фронтальная ширина тела обтекания, $Sh = \frac{f \cdot d}{V}$ – безразмерное число Струхала.

Каждый вихрь преобразуется детектором вихрей в электрический импульс. Количество накопленных импульсов N пропорционально объему W продукта, прошедшего через ПРТ за время накопления:

$$W = \frac{K_{\Gamma} \cdot N}{Sh}, \quad (2)$$

где $K_{\Gamma} = S \cdot \beta$ – геометрический коэффициент ПРТ;

$S = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \left(1 - \frac{4}{\pi} \beta \right)$ – площадь самого узкого сечения потока;

D – диаметр измерительного патрубка (40 мм), $\beta = h/D$.

Число Струхала Sh является функцией числа Рейнольдса Re :

$$Sh = F(Re), \quad \text{где} \quad (3)$$

$$Re = \frac{D \cdot V}{\nu} = \frac{D \cdot Q}{S \cdot \nu} = \frac{\beta \cdot D \cdot Q}{K_{\Gamma} \cdot \nu} \quad (4)$$

где Q – объемный расход, ν – кинематическая вязкость КРТ.

Рабочие диапазоны числа Рейнольдса для установки ВДУ-65 приведены в таблице 1.

Таблица 1

Продукт	Расход, Q , м ³ /ч		Число Рейнольдса, $Re \cdot 10^{-5}$	
	min	max	min	max
Амил	3,5	24	0,821	7,007
Гептил			0,322	3,108

Определение зависимости $Sh = F(Re)$ (градуировка канала измерения объема) проводится на поверочной установке УПСЖМ300 [2] в полном диапазоне значений Re с использованием принципа подобия [3], рисунок 3.



Рисунок 3 – Автоматизированная поверочная установка УПСЖМ 300

При этом для воспроизведения значений числа Рейнольдса $(5-11) \cdot 10^5$ используется подогрев градуировочной жидкости (воды) до температуры $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ [3], при которой кинематическая вязкость воды уменьшается практически в два раза, приближаясь к кинематической вязкости продукта «амил» (вязкость продукта «гептил» близка к вязкости воды).

При градуировке на весы сливается масса воды $M \approx 1,5\text{ т}$ и фиксируется число выходных импульсов N , время слива Δt и температура воды θ . Далее по таблицам, приведенным в [4], рассчитывается плотность $\rho(\theta)$ и вязкость $\nu(\theta)$ воды, число Рейнольдса - по формуле:

$$Re = \frac{D \cdot V}{\nu} = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot D \cdot \nu} = \frac{4 \cdot M}{\rho(\theta) \cdot \Delta t \cdot \pi \cdot D \cdot \nu(\theta)}, \quad (5)$$

и число Струхала – по формуле:

$$Sh = \frac{f \cdot d}{V} = \frac{N \cdot K_{\Gamma}}{\Delta t \cdot Q} = \frac{N \cdot \rho(\theta) \cdot K_{\Gamma}}{M} \quad (6)$$

Полученная зависимость $Sh = F(Re)$ заносится в формуляр ВДУ и в память микроконтроллера в виде 19 значений числа Струхала (Sh_i ; Re_i) для 19 равноотстоящих «узловых» значений числа Рейнольдса, охватывающих полный диапазон значений Re ,

приведенный в таблице 1. Погрешность калибровки канала измерения объема ВДУ на воде составляет 0,03-0,05 %.

На АЗ продукт поступает на вход ПРТ с выхода центробежного насоса, претерпевая на небольшом расстоянии два резких поворота в разных плоскостях на 90° и 180° (рис. 4).

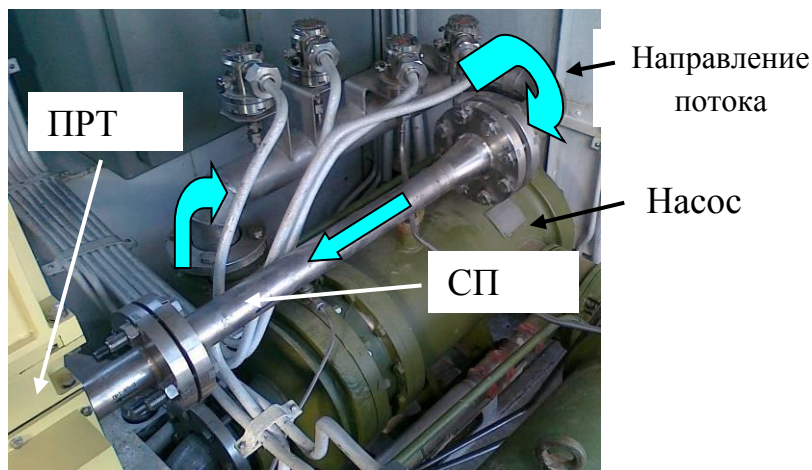


Рисунок 4 – Расположение ПРТ на АЗ

При такой конфигурации трубопровода входной поток имеет значительную закрутку и сильно искаженную (по сравнению с нормальной) эпюру скоростей. Для снижения влияния искажений потока на работу ВДУ на входе в ПРТ установлен стабилизатор потока (далее – СП), содержащий стабилизирующие элементы «конфузор» и струевыпрямитель «трубчатый». Проведенный в 2016 г. на установке УПСЖМ300 эксперимент показал, что при наличии на входе ПРТ поворота трубопровода в одной плоскостях на 180° зависимость $Sh = F(Re)$ смещается на величину от 0,05 % до 0,5 %, т. е. СП не полностью парирует эти искажения, рисунок 5.

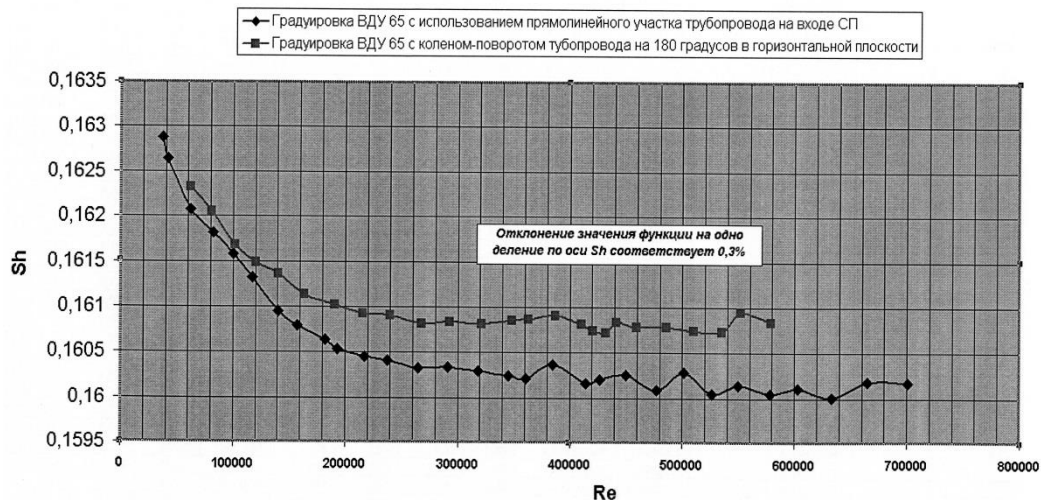


Рисунок 5 - Изменение $Sh(Re)$ при наличии искажений потока

Из сказанного следует, что после установки ВДУ на АЗ зависимость $Sh(Re)$ необходимо корректировать. Алгоритмом работы ВДУ предусмотрена возможность введения поправки в соответствии с выражением:

$$W = \frac{K_{\Gamma} \cdot N}{Sh} K_{\Pi} , \quad (7)$$

где K_{Π} – поправочный коэффициент, близкий к единице.

Однако, как видно из рисунка 5, умножение функции $Sh(Re)$ на постоянное число не позволяет учесть ее изменение при наличии искажений потока. В связи с этим нами предложено проводить калибровку ВДУ на КРТ непосредственно в составе АЗ. К сожалению, для этого нельзя использовать соотношение (6), т. к. на АЗ штатное подключение ВДУ не предусматривает получение данных о количестве выходных импульсов N . Выход был найден благодаря возможности перепрограммирования ПРТ с использованием технологического дисплея и рабочей клавиатуры блока задания дозы БЗД.

Методика калибровки ВДУ на КРТ на АЗ состоит в следующем.

1 Определяются минимальные и максимальные значения расхода и температуры, при которых выполняется дозирование, и рассчитываются по формуле (4) минимальное ($Re_{\min}$) и максимальное ($Re_{\max}$) значения числа Рейнольдса с использованием следующих формул для вычисления вязкости:

$$\text{амила} - \nu_A = 0,02344 \cdot e^{\frac{749,8}{273+\theta}} \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с} \text{ и} \quad (8)$$

$$\text{гептила} - \nu_{\Gamma} = 0,0124 \cdot e^{\frac{1175}{273+\theta}} \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с} \quad (9)$$

2 По таблице (Sh_i ; Re_i) из формуляра ВДУ определяются значения Re_i , попадающие в интервал ($Re_{\min}$; $Re_{\max}$), а также ближайшее значение Re_1 , меньшее $Re_{\min}$, и ближайшее значение Re_2 , большее $Re_{\max}$.

3 С помощью клавиатуры и технологического дисплея блока БЗД в память контроллеров ПРТ записываются следующие значения программируемых параметров:

а) коэффициенты в формулах (10), (11) для вычисления плотности продуктов:

$$\text{«амил»} - \rho_A = \rho_0 - A \cdot \theta - B \cdot (\theta)^2 = 1490,03 - 2,133 \cdot \theta - 0,002925 \cdot (\theta)^2 \text{ кг/м}^3 \quad (10)$$

$$\text{и «гептил»} - \rho_{\Gamma} = \rho_0 - A \cdot \theta = 811,1 - 1,01 \cdot \theta \text{ кг/м}^3 \quad (11)$$

полагаются равными: для продукта «амил» - $\rho_0 = 1468,7 \text{ кг/м}^3$, $A=B=0$, для продукта «гептил» - $\rho_0 = 801 \text{ кг/м}^3$, $A=0$ (что соответствует температуре 10°C);

б) в таблице зависимости $Sh(Re)$ все значения Sh в диапазоне значений $Re_1 \dots Re_2$ полагаются равными некоторому среднему значению числа Струхала, известному из предыдущего опыта $Sh^*=0,165$. Остальные значения Sh не изменяются;

в) K_{II} полагается равным 1.

При описанном задании программируемых параметров контроллер блока ПРТ вычисляет значение расхода, достаточно близкое к действительному, что позволяет регулировать расход и задавать величину дозы, используя показания индикаторов, расположенных на лицевой панели БЗД.

4 При каждом из узловых значений числа Рейнольдса из диапазона (Re_1 ; Re_2) выдается несколько контрольных доз. Перед выдачей доз по технологическому дисплею БЗД определяется с дискретностью 0,1 °C температура продукта θ , при которой будет проводиться выдача дозы. Далее по формулам (8), (9) рассчитывается вязкость продукта, после чего рассчитывается значение расхода по формуле:

$$Q = \frac{Re \cdot \pi \cdot D \cdot \nu}{4} \quad (12)$$

С помощью входящих в состав АЗ средств регулирования задается расход, рассчитанный по формуле (12), и выдается на весы доза продукта. В журнал испытаний заносятся следующие данные:

- значение температуры продукта θ ;
- действительное значение массы дозы M_D , измеренной весами;
- значения массы дозы $MI(2)$, измеренные каналами ВДУ;
- время выдачи дозы Δt_D .

5 Обработка полученных данных и расчет программируемых параметров выполняется для каждой дозы в следующем порядке:

- а) рассчитывается вязкость продукта ν по формуле (8) или (9);
- б) рассчитывается плотность продукта ρ : «амил» - по формуле (10), «гептил» – по формуле (11);
- в) рассчитывается число Рейнольдса по формуле:

$$Re = \frac{4 \cdot M_D}{\rho \cdot \Delta t_D \cdot \pi \cdot D \cdot \nu} \quad (13)$$

- г) рассчитывается средняя частота следования выходных импульсов:

$$f = \frac{M^* \cdot Sh^*}{t_D \cdot \rho^* \cdot K_{\Gamma}} \quad (14)$$

д) рассчитывается число Струхала:

$$Sh = \frac{f \cdot t_D \cdot K_{\Gamma} \cdot \rho}{M_D} \quad (15)$$

е) значения Sh_i для значений Re_i , в общем случае не совпадающих с рассчитанными по формуле (13), вычисляют путем линейной интерполяции с использованием ближайших меньшего и большего значений Sh ;

ж) вновь полученные значения Sh_i заносят в таблицу (Sh_i ; Re_i) вместо старых (остальные значения Sh_i остаются без изменения, поскольку в этом нет необходимости: в измерениях они не участвуют).

Описанная технология позволяет определять зависимость $Sh = F(Re)$ на месте эксплуатации ВДУ с погрешностью, ограничиваемой погрешностью весов (эти же весы используются для проведения текущей и годовой поверок ВДУ). Обязательным условием является достоверность значений температуры продукта, используемых для вычисления плотности и вязкости продукта.

Методика была апробирована в 2016 году при проведении в в/ч 89553 годовой поверки установки ВДУ-65 заводской номер 753004. В таблице 2 приведены значения погрешности выдачи контрольных доз продукта «амил» при разных значениях температуры продукта «амил» после корректировки зависимости: корректировка позволила обеспечить дозирование с погрешностью менее $\pm 0,1 \%$.

Таблица 2

Т _{низ} , °С	M ₁ , кг	M ₂ , кг	Δt , с	M _Д , кг	δ , %	
					1 к	2 к
10	15004	15004	1842	14998,6	0,036	0,036
11,5	15003	15005	1850	14998,9	0,027	0,04
13,5	10003	10004	1238	10002,7	0,003	0,013
17	15003	15004	1880	14998,6	0,029	0,036
18,5	15002	15004	1888	14993,7	0,05	0,068
20	10003	10004	1261	10002,9	0,001	0,011
17,5	15002	15004	1882	15000,8	0,001	0,021
16,5	10003	10004	1257	10000,9	0,021	0,031
17,5	10004	10004	1257	10000,9	0,031	0,031
6	15004	15003	1860	14991,4	0,087	0,077
8	10004	10004	1244	10002,4	0,016	0,016
9	10004	10004	1246	9999,7	0,043	0,043

Из полученных результатов можно сделать следующие выводы.

1 При вводе в эксплуатацию высокоточных дозирующих установок ВДУ-65(80) после установки ПРТ в магистраль АЗ необходимо предусматривать коррекцию градуировочной характеристики канала измерения объема (зависимости $Sh = F(Re)$) для учета отличий структуры потока на входе ПРТ в АЗ и на поверочной установке.

2 Предлагаемая методика коррекции не требует привлечения дополнительного оборудования и может быть рекомендована к внедрению. Относительным недостатком методики является необходимость выдачи дополнительных доз продукта.

Литература

1 Ю. Б. Горбаткин, Е. А. Дерденков, А. О. Лобанов, Чернышев В.А. Высокоточная дозирующая установка ВДУ-65 для заправки разгонных блоков. Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы. 2015, том 2, выпуск 3, с 56-61.

2 Установки поверочные автоматизированные УПСЖМ. Описание типа средства измерений. Госреестр, №53855-13.

3 Чернышев В.А. Градуировка дозаторов ВДУ-65, 80 на воде с использованием метода гидродинамического подобия. Информационно-технологический вестник. №4(06) 2015, с. 93-102.

4 ГСССД, Плотность, энтальпия и вязкость воды, М.: Изд-во ВНИИЦ СП В, 1993.

Обзор и перспективы разработки волоконно-оптического гироскопа.

Дубина О.С., Лазаренко С.В.

АО «НПО ИТ», г.о. Королев, Московская обл.

sergei.lazarenko@mail.ru, olga.sergeevna13@yandex.ru

Волоконно-оптический гироскоп (ВОГ) – оптико-электронный прибор, создание которого стало возможным лишь с развитием и совершенствованием элементной базы современной электроники. Прибор измеряет угловую скорость и углы поворота объекта, на котором он установлен. Принцип действия ВОГ основан на вихревом (вращательном) эффекте Саньяка [1].

Интерес зарубежных и отечественных фирм к оптическому гироскопу базируется на его потенциальных возможностях применения в качестве чувствительного элемента вращения в инерциальных системах навигации, управления и стабилизации. Этот прибор в ряде случаев может полностью заменить сложные и дорогостоящие электромеханические (роторные) гироскопы и трехосные гиросtabilизированные платформы. По данным зарубежной печати в будущем в США более половины всех гироскопов, используемых в системах навигации, управления и стабилизации объектов различного назначения предполагается заменить ВОГ.

Возможность создания реального высокочувствительного ВОГ появилась лишь с промышленной разработкой одномодового диэлектрического световода с малым затуханием. Именно конструирование ВОГ на таких световодах определяет уникальные свойства прибора [2]. К этим свойствам относят:

1. Потенциально высокую чувствительность (точность) прибора, которая в настоящее время на экспериментальных макетах имеет погрешность $0,1 \text{ }^\circ/\text{ч}$ и менее;
2. Малые габариты и массу конструкции, благодаря возможности создания ВОГ полностью на интегральных оптических схемах;
3. Невысокую стоимость производства и конструирования при массовом изготовлении и относительную простоту технологии;
4. Низкое потребление энергии, что имеет немаловажное значение при использовании ВОГ на борту;
5. Большой динамический диапазон измеряемых угловых скоростей (от $1 \text{ }^\circ/\text{ч}$ до $300 \text{ }^\circ/\text{с}$);
6. Отсутствие вращающихся механических элементов (роторов) и подшипников, что повышает надежность и удешевляет их производство;
7. Практически мгновенную готовность к работе, поскольку не затрачивается время на раскрутку ротора;

8. Высокую помехоустойчивость, низкую чувствительность к мощным внешним электромагнитным воздействиям благодаря диэлектрической природе волокна.

Волоконно-оптический гироскоп может быть применен в качестве жестко закрепленного на корпусе носителя чувствительного элемента (датчика) вращения в инерциальных системах управления и стабилизации. Механические гироскопы имеют так называемые гиromеханические ошибки, которые особенно сильно проявляются при маневрировании носителя (самолета, ракеты, космического аппарата). Перспектива использования дешевого оптического датчика вращения, который способен работать без гиromеханических ошибок в инерциальной системе управления, есть еще одна причина особого интереса к оптическому гироскопу. Появление идеи и первых конструкций волоконного оптического гироскопа тесно связано с разработкой кольцевого лазерного гироскопа (КЛГ). В КЛГ чувствительным контуром является кольцевой самовозбуждающийся резонатор с активной газовой средой и отражающими зеркалами, в то время как в ВОГ пассивный многовитковый диэлектрический световодный контур возбуждается «внешним» источником светового излучения. Эти особенности определяют, по крайней мере, пять преимуществ ВОГ по сравнению с КЛГ:

1. В ВОГ отсутствует синхронизация противоположно бегущих типов колебаний вблизи нулевого значения угловой скорости вращения, что позволяет измерять очень малые угловые скорости, без необходимости конструировать сложные в настройке устройства смещения нулевой точки;

2. Эффект Саньяка, на котором основан принцип работы прибора, проявляется на несколько порядков сильнее из-за малых потерь в оптическом волокне и большой длины волокна.

3. Конструкция ВОГ целиком выполняется в виде твердого тела (в перспективе полностью на интегральных оптических схемах), что облегчает эксплуатацию и повышает надежность по сравнению с КЛГ.

4. ВОГ измеряет скорость вращения, в то время как КЛГ фиксирует приращение скорости.

5. Конфигурация ВОГ позволяет «чувствовать» реверс направления вращения.

Эти свойства ВОГ, позволяющие создать простые высокоточные конструкции полностью на дешевых твердых интегральных оптических схемах при массовом производстве привлекают пристальное внимание разработчиков систем управления. По мнению ряда зарубежных фирм, благодаря уникальным техническим возможностям ВОГ будут интенсивно развиваться.

Зарубежные авторы констатируют, что разработка конструкции ВОГ и доведение его до серийных образцов не простая задача [3]. При разработке ВОГ ученые и инженеры сталкиваются с рядом трудностей.

Первая связана с технологией производства элементов ВОГ. В настоящее время еще мало хорошего одномодового волокна, сохраняющего направление поляризации; производство светоделителей, поляризаторов, фазовых и частотных модуляторов, пространственных фильтров, интегральных оптических схем находится на начальной стадии развития. Число разработанных специально для ВОГ излучателей и фотодетекторов ограничено.

Вторая трудность связана с тем, что при кажущейся простоте прибора и высокой чувствительности его к угловой скорости вращения он в то же время чрезвычайно чувствителен к очень малым внешним и внутренним возмущениям и нестабильностям, что приводит к паразитный дрейфам, т.е. к ухудшению точности прибора. К упомянутым возмущениям относятся температурные градиенты, акустические шумы и вибрации, флуктуации электрических и магнитных полей, оптические нелинейные эффекты флуктуации интенсивности и поляризации излучения, дробовые шумы в фотодетекторе, тепловые шумы в электронных цепях и др.

В специальной научной и периодической литературе по проблеме создания высокоточных ВОГ опубликован ряд работ. Их анализ этих статей свидетельствует о необходимости дальнейшего исследования и разработки новых способов улучшения точностных характеристик ВОГ.

Список литературы

1. Шереметьев А.Г. Волоконно-оптический гироскоп. – М.: Радио и связь, 1987. – 152 с.
2. Филатов Ю.В. Волоконно-оптический гироскоп: Учеб. пособие. – СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2005 – 52 с.
3. Волоконно-оптические датчики. Под ред. Э. Удда, пер. с англ. – М.: «Техносфера», 2008. – 520 с.