

Акционерное общество
«Научно-производственное объединение измерительной техники»



Информационно-управляющие и измерительные системы 2018

*Материалы XI отраслевой научно-технической конференции
приборостроительных организаций ГК «РОСКОСМОС»
(29 марта 2018 года)*

*посвящается 30-летию полёта многоразовой транспортной
космической системы «Энергия–Буран»*



Москва 2019

УДК 681.518(063)
ББК 32.965.07я431
И 74

Под редакцией

Артемьева В.Ю., Мороз А.П., д.т.н., Пушкина Н.М., д.т.н.,
Ачкасова В.А.

И 74 **Информационно-управляющие и измерительные системы 2018: Материалы XI отраслевой научно-технической конференции приборостроительных организаций ГК «РОСКОСМОС» (29 марта 2018 года) / Под. ред. Артемьева В.Ю., Мороз А.П., д.т.н., Пушкина Н.М., д.т.н., Ачкасова В.А. – М.: Издательство «Спутник +», 2019. – 133 с.**

ISBN 978-5-9973-5069-7

Рассмотрены состояние и основные направления развития телеметрических и информационно-управляющих систем, новое поколение интеллектуальной датчиково-преобразующей и управляющей аппаратуры, волоконно-оптические гироскопы и приборы на их основе, новые конструкции и технологии, качество производства продукции приборостроительной отрасли.

Издание предназначено для инженеров, научных работников, преподавателей, аспирантов и студентов вузов.

УДК 681.518(063)
ББК 32.965.07я431

Отпечатано с готового оригинал-макета.

ISBN 978-5-9973-5069-7

© АО «НПО ИТ», 2019

Оглавление

Вместо предисловия	6
Повышение надёжности получения телеметрической информации с разгонного блока при возможной нештатной ситуации А.П. Мороз, д.т.н., <i>АО «НПО ИТ»</i>	8
Технологии управления космическими аппаратами, разработанные для многоразовой транспортной космической системы «Энергия-Буран», и направления их развития в современных условиях Г.Н. Мальцев, д.т.н. <i>Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского</i>	14
Повышение эффективности оценки параметров технических систем на основе учета разных типов неопределенности О.М. Полешук, д.т.н., Е.Г. Комаров, д.т.н., С.В. Тумор <i>Московский государственный технический университет им. Н.Э.Баумана</i>	18
Внедрение в гидроэнергетику систем контроля механического состояния гидроагрегатов В.П. Дунаевский, Е.Ю. Веселова, Д.Г. Кряжев, А.А. Михалев, <i>АО "НПО ИТ"</i>	24
Вероятностная оценка эффективности восстановления цифровой телеметрической информации А.В. Франк, С.Ю. Перепелкина, А.А. Федотов <i>АО "Научно-производственное объединение автоматики имени академика Н.А. Семихатова"</i>	26
Типовые сбои ТМИ, регистрируемой МПРС при приеме фазоманипулированного сигнала БРТС «Орбита-IVMO» и способы их устранения А.С. Токарев, <i>Космодром «Плесецк»</i>	30
Поддержка выбора выпускниками оптимального направления профессиональной деятельности О.М. Полешук, д.т.н., Е.Г. Комаров, д.т.н., Тумор С.В., <i>Московский государственный технический университет им. Н.Э.Баумана</i>	34
Дистанционное управление антеннами НПО ИТ – существующая практика и перспективы А.В. Товпеко, <i>Филиал АО «РКЦ «Прогресс» – ОКБ «Спектр»</i>	39
Стенд для измерения расхода воздуха через подвес гироскопических приборов И.С. Ишуткин, <i>АО «НИИ командных приборов»</i>	44
Результаты эскизного проектирования силового гироскопического комплекса для бортовых систем ориентации и стабилизации перспективных орбитальных и межпланетных российских станций Е.О. Андрияшин, В.В. Чудаков, Д.С. Немцов, <i>АО «НИИ командных приборов»</i>	46
Доработка методики калибровки углоизмерительных каналов и каналов измерителей линейного ускорения с учетом циклограммы изменения температуры в реальных условиях С.В. Лазаренко, О.И. Лазаренко, <i>АО «НПО ИТ»</i>	49
Анализ, повышение долговечности радиоэлектронной аппаратуры Р.В. Скворцов., А.П. Мороз., д.т.н., <i>АО "НПО ИТ"</i>	50
Проектирование фильтров низких частот для повышения спектральной эффективности сигналов с частотной и фазовой манипуляцией А.М. Анненков, <i>АО "НПО ИТ"</i>	52

Программный стенд для исследования цифровых фильтров А.Е. Пастухов, <i>АО «НПО ИТ»</i>	54
Двухканальная следящая система с четырехпозиционным сканированием для телеметрических комплексов Е.В. Замятин, А.П. Маликов, В.П. Мартынов, С.Э. Скибин, Г.А. Фоминых, <i>АО «НПО ИТ»</i>	61
УДК 004.921	65
Особенности проведения межведомственных испытаний перебазируемого комплекса телеметрических измерений (ПКТИ) Д.А. Лученко, <i>АО «НПО ИТ»</i>	65
Моделирование работы сигма-дельта АЦП ADS 1282 Е. В. Ковалева, <i>АО «НПО ИТ»</i>	66
Исследование особенностей адаптации алгоритмов измерения угловой скорости для их реализации на отечественной элементной базе Д.В. Николаев, А.А. Архипов, <i>АО «НПО ИТ»</i>	67
Исследование влияния помех при передаче данных полусловами-остатками Прасолов Д.Н., <i>АО «НПО ИТ»</i>	69
Альтернативные методики калибровки гироскопов П.Ю. Пудовченко, <i>ГБОУВО МО «Технологический университет»</i>	70
Перспективы развития средств выведения и наземной космической инфраструктуры на примере развития абляционного защитного покрытия Н.А. Каримов, Е.А. Кустова, <i>ГБОУВО МО «Технологический университет»</i>	75
Алгоритм обработки телеметрируемых параметров бортовых динамических систем космических аппаратов на основе многоступенчатой фильтрации В.Л.Якимов, к.т.н., <i>Военно-космическая академия имени А.Ф.Можайского</i>	81
Использование воксельных моделей для выявления и формализации способов и возможностей диагностирования объектов наземного технологического оборудования стартовых комплексов Е.П. Боровской, <i>Космодром «Плесецк»</i>	87
Анализ и выбор методов преобразования концентрации компонентов ракетного топлива в воздухе рабочих мест и окружающей среды А.В. Мотин, И.Р. Вергазов, Н.С. Чапанов, В.В. Федоренко, <i>Акционерное общество «НИИ ФИ»</i>	92
Особенности разработки систем формирования стоячей волны высокодобротных волновых твердотельных гироскопов при малых временах вхождения в режим А.В. Николаев, А.А. Папко, д.т.н., А.В. Поспелов, <i>АО «НИИ ФИ»</i>	97
Анализ и синтез информационно-измерительных систем контроля токсичных компонентов ракетных топлив на космодромах А.В. Николаев, М.Ю. Михеев, д.т.н., М.В. Тюрин, к.т.н., Д.А. Ярославцева, <i>АО «НИИ ФИ»</i>	99
Низкочастотные электрические поля на поверхности космического аппарата при генерации в ионосферной плазме СВЧ-излучений Н.М. Пушкин, д.т.н. <i>АО «НПО ИТ»</i>	104
Автоматизированное рабочее место для проверки телеметрических приборов Е.Ю. Веселова, И.А., Такшин, А.А. Михалев, <i>АО «НПО ИТ»</i>	107
Измеритель напряженности электростатического поля повышенной точности А.Н. Филиппов, К.В. Лакшин, Н.М. Пушкин, д.т.н., <i>АО «НПО ИТ»</i>	109

Результаты экспериментальной отработки вихревого зондового преобразователя скорости потока с детектором вихрей типа «колеблющееся крыло» на основе дифференциального пьезоэлектрического датчика изгибающего момента 108М А. В. Гладков, Н. А. Степанов, В. А. Чернышев, АО «НПО ИТ»	112
Высокотемпературный радиационно-стойкий датчик линейных перемещений В.Е. Багдатыев, Е.Ю. Веселова, А.А. Михалев, АО "НПО ИТ"	115
Особенности применения полупроводниковой тензометрии при контроле напряженно-деформационного состояния элементов конструкции ЛА в наземных испытаниях В.М. Новичков, к.т.н.; Ю.Н. Мишин МАИ; АО «НПО Лавочкина»	118
Разработка преобразователей теплового потока для перспективных изделий РКТ А.А. Соколова, к.ф-м.н., А.В. Соколова, Ф.Е. Проказин, А.Н. Демин, АО «НПО ИТ»	121
Тенденции развития комплекса командных приборов стратегических ракет США морского базирования М.П. Деряков, Космодром «Плесецк»	123
Подход к отбраковке аномальных ошибок телеизмерений, составляющих вектор исходных данных Г.П. Полозов, Космодром «Плесецк»	126

Вместо предисловия

30 лет назад 15 ноября 1988 года успешно стартовала многоразовая транспортная космическая система «Энергия»-«Буран». Этот год стал яркой вехой в истории отечественной космонавтики! Мир в очередной раз был поражен успехами советских специалистов, воплотивших в жизнь этот грандиозный проект! Продолжительность полёта многоразового орбитального корабля «Буран», выведенного сверхтяжелой ракетой-носителем «Энергия» с космодрома Байконур, составила 205 минут. Корабль совершил два витка вокруг Земли, после чего произвёл посадку на специально построенную полосу. Полёт прошёл без экипажа, полностью в автоматическом режиме с использованием бортового компьютера и уникального программного обеспечения. Данный факт - полёт орбитального самолёта в космос и его посадка в автоматическом режиме вошёл в книгу рекордов Гиннеса.

В те 80-е годы в СССР был создан самый мощный в мире носитель «Энергия». Это - пакет из 5 ракет с кислородно-водородным центральным блоком и полезной нагрузкой до 100 т.

Стартовая масса этой системы составляла около 2600 т.! В пристартовом районе были построены десятки грандиозных по масштабам объектов инфраструктуры! Этот проект пришел на смену гигантской советской ракете Н-1.

Реализация проекта «Энергия - Буран» потребовала от страны огромных материальных и интеллектуальных вложений! Головной организацией РКК «Энергия» была создана кооперация более чем 1200-х предприятий и научных центров!

Важнейшая роль в этой программе отводилась и нашему предприятию. Все ресурсы НПО ИТ были направлены на обеспечение ракетного комплекса новой измерительной техникой. Здесь, на основной площадке НПО ИТ, в 80-е годы работало более 5 тыс. специалистов! Изготовление и поставка на объекты разработанной в этих стенах бортовой, наземной и датчиковой аппаратуры осуществлялась несколькими серийными заводами отрасли.

Для сбора и передачи данных более чем от 5600 единиц датчиково-преобразующей аппаратуры, установленных только на «Энергии», потребовалось оснастить ее шестью комплектами специально созданной бортовой радиотелеметрической системы «Кварц» и восемь комплектами БРТС «Сириус». На ракете использовались также новейшие автономные регистрирующие системы (АРС) разработки НПО ИТ.

На Байконуре (пл. 112) на 5 этажах гигантского МИКа был создан уникальный НТК СИ, обеспечивающий одновременную проверку готовности средств СИ комплекса «Энергия - Буран» в пакете.

НПО ИТ являлось также головной организацией и по разработке полигонного комплекса средств измерений, сбора и обработки телеметрической информации. Разработана новая приемно-регистрирующая станция ПРА-МК, которой совместно с антенными системами «Жемчуг-МС», «Изумруд» были оснащены технические сооружения на всех пристартовых и трассовых ИПах.

В 80е годы специалистами НПО ИТ на Байконуре был создан не имеющий отечественных и зарубежных аналогов территориально-распределенный комплекс сбора и измерений пристартового района (КИПР).

Аппаратно-программные комплексы разработки НПО ИТ стали основой создания беспрецедентного по масштабам и производительности на том уровне развития вычислительной техники информационно-вычислительного центра (ИВЦ) на пл. 10 космодрома Байконур. ИВЦ обеспечивал оперативную автоматизированную обработку огромных потоков телеметрических данных, отображение и документирование ее результатов.

Задачи, возложенные на НПО ИТ, были выполнены в полном объеме, получено 100% ценнейшей информации по уникальному пуску «Энергия - Буран». Многие наши участники работ были награждены высокими правительственными наградами.

В юбилейный год нужно вспомнить наших товарищей – ветеранов НПО ИТ, с которыми нам довелось, порой в непростых полигонных условиях, приближать этот триумф советской и российской космонавтики. Здесь в зале присутствуют ведущие разработчики и непосредственные участники подготовки и испытаний комплекса «Энергия-Буран», среди них: Савин В.И., Победоносцев В.А., Корниенко Г.И., Орлов А.Е. и другие.

Напряженный труд специалистов предприятия в те годы не прошел даром, были созданы уникальные технологии и приборы, решено немало сложнейших технических задач. Накопленный опыт поможет молодежи предприятия в достижении новых побед российской космонавтики!

Козлов А.И.

Повышение надёжности получения телеметрической информации с разгонного блока при возможной нештатной ситуации

А.П. Мороз, д.т.н.,

АО «НПО ИТ»

npoit@npoit.ru

Рассмотрим решение задачи надёжного получения телеметрической информации (ТМИ) при испытаниях и целевом применении изделий ракетно-космической техники (РКТ). В этом случае контролируемый объект перемещается относительно Земли с высокой скоростью на расстояния в тысячи и более километров либо движется по орбите вокруг Земли или по направлению к другим небесным телам. Для обеспечения непрерывного телеметрического контроля таких объектов от момента старта носителя до завершения миссии требуется применение не одного комплекта приёмно-регистрирующей аппаратуры (ПРА), а целого ряда территориально разнесенных приемных систем. С учётом большого количества имевших место аварийных исходов в настоящее время наиболее сложной является задача надёжного получения ТМИ с разгонного блока (РБ).

Изначально ракетные полигоны создавались в отдаленных труднодоступных местах исходя из соображений режима секретности и с учётом требования, чтобы трассы полета ракет проходили над малонаселенными районами СССР. Радиотелеметрические системы (РТС) для приема ТМИ с ракет устанавливали вблизи от стартовых площадок. Так как при пуске ракеты дальность действия РТС ограничивалась прямой видимостью, вдоль расчетной трассы полета устанавливались дополнительные станции в количестве, пропорциональном дальности полета.

В дальнейшем на территории нашей страны ПРА начали размещать на разнесенных в пространстве наземных измерительных пунктах (ИП). ИПы располагают так, чтобы зоны их радиовидимости в процессе сеанса связи с контролируемым объектом перекрывались. При приближении к выходу из зоны видимости одного ИП объект телеконтроля входит в зону видимости следующего ИП. Это позволяет предотвратить потери передаваемой с борта ТМИ, так как отсутствуют перерывы в сеансе радиосвязи с контролируемым объектом. Разнесение по времени, частоте, поляризации и в пространстве позволяют в значительной степени снизить последствия замираний сигнала и кратковременных прерываний связи с объектом телеконтроля.

С развитием ракетной техники, приведшим к созданию межконтинентальных ракет, оказалось, что стационарные ИП не обеспечивают контроль полёта на конечном участке траектории при стрельбе на максимальную дальность в несудоходный район Тихого океана. Кроме того, на строительство стационарных ИП в труднодоступных районах потребовалось бы много времени и средств. Поэтому увеличение дальности полета ракет и разнообразие трасс полёта обусловили необходимость создания мобильных корабельных и самолетных измерительных пунктов (СИП). При испытаниях межконтинентальных баллистических ракет на максимальную дальность в Советском

Союзе с 1959 г. начали широко применяться экспедиционные суда, располагавшиеся во время пусков в акватории Тихого океана в районе приводнения головных частей.

Для управления запуском и полетом космических аппаратов (КА) был создан командно-измерительный комплекс, включающий в себя Центр управления полетами, первоначально располагавшийся в НИИ-4 Министерства обороны, и сеть наземных ИП. Однако для обеспечения связи с КА в течение всего времени его полёта созданных стационарных ИПов, расположенных на территории нашей страны, было недостаточно. После запуска в СССР 4 октября 1957 г. первого искусственного спутника Земли оказалось, что из 16 витков, совершаемых КА за сутки, шесть проходят над океанами. С территории СССР на таких витках КА был невидим, что не позволяло управлять им и получать ТМИ о функционировании его систем. СССР не имел островов и баз в западном полушарии, поэтому оборудовать там наземные ИПы было невозможно. Решить проблему позволили научно-исследовательские суда (НИС), способные обеспечить связь с КА из акватории мирового океана. Использование космического флота позволило обеспечить связь с КА на всех шести ранее недоступных для контроля витках.

Рождением космического флота является 1960 г. По планам С.П. Королева в октябре того года должны были состояться первые запуски дальних КА к Венере и Марсу. По его инициативе в срочном порядке телеметрической аппаратурой были оборудованы три судна-сухогруза. Каждое из судов было оснащено двумя комплектами радиотелеметрических станций «Трал», способными принимать и регистрировать десятки параметров с борта космического объекта. До этого времени станции «Трал» изготавливались только в автомобильном варианте. Доработать их для применения в морских условиях не успевали по срокам. Поэтому в трюмах судов разместили автомобильные кузова с находящейся в них аппаратурой.

12 апреля 1961 г. все три судна были размещены в акватории Гвинейского залива Атлантики. Они успешно выполнили свою задачу и обеспечили получение ТМИ о функционировании бортовых систем при выдаче команд на включение тормозной двигательной установки для спуска с орбиты искусственного спутника Земли первого пилотируемого корабля с космонавтом Ю.А. Гагариным на борту.

В дальнейшем был введен в эксплуатацию ещё ряд НИС, обеспечивавших в акватории мирового океана получение ТМИ и управление полетами пилотируемых космических кораблей, орбитальных станций, КА дальнего космоса при их запусках к планетам Солнечной системы.

НИС морской космической флотилии имели прекрасные мореходные качества, работали во всех районах Мирового океана, в любое время года и в любую погоду, находясь в рейсах по 6...7 месяцев и более. К 2018 г. сохранилось судно измерительного комплекса Тихоокеанского флота ВМФ «Маршал Крылов», а из судов космической флотилии – только НИС «Космонавт Виктор Пацаев», пришвартованное в г. Калининграде.

Для телеметрического контроля при испытаниях различных типов летательных аппаратов в СССР применялись также СИП. Первые отечественные СИП были созда-

ны в 1956 г. для обеспечения радиотелеметрических измерений при испытаниях сверхдальней крылатой ракеты «Буря», разработанной в КБ Генерального конструктора С.А. Лавочкина. Опытная ракета стартовала с полигона Владимировка (Астраханская обл.) и пролетала 8000 км на высоте 20 км над Сибирью и Заполярьем до Камчатки. По расчетам, на трассе полета требовалось разместить 15 стационарных ИП. Построить их в короткие сроки не представлялось возможным, поэтому было принято решение о создании девяти СИП на базе самолетов Ан-2 и Ту-16.

Появление баллистических ракет, стартующих с подводных лодок из подводного положения, испытания которых планировалось проводить на морских акваториях, привело к необходимости создания СИП нового поколения. По инициативе ОКБ В.П. Макеева в 1964 г. на базе серийных самолетов Ил-18В в ОКБ С.В. Ильюшина были оборудованы два СИП, получивших обозначение Ил-18РТ. В пассажирском салоне устанавливались станции двух типов (МА-9МКС и БРС-1С), которые обеспечивали прием и регистрацию радиотелеметрической информации от двух бортовых систем (РТС-9 и БРС-4) испытываемых объектов. Для записи принимаемой информации использовалась аппаратура регистрации на магнитной ленте и стойка графической регистрации.

Ил-18РТ применялись также для обеспечения запусков КА. В 1965 г. в СССР начались запуски аппаратов типа «Зонд», которые должны были облетать Луну и возвращаться на Землю. В начальной фазе полета ракеты-носителя телеметрия принималась наземными станциями, расположенными в районе космодрома, на конечной фазе и при приземлении - СИПами.

Опыт использования Ил-18РТ выявил необходимость постройки подобных самолетов для космического ведомства, но с более эффективными антеннами для приема сигналов из верхней полусферы и более чувствительными приемниками. В связи с этим в 1970 г. вышло постановление Совета Министров СССР о создании отряда из четырех новых СИП. Документ предусматривал разработку, изготовление и испытания новых антенн и приемной аппаратуры. СИПы Ил-20РТ поступили в эксплуатацию в 1980 году с базированием на аэродроме космодрома Байконур. Они применялись при запусках ракет различного назначения.

К концу 1970-х годов технический прогресс сделал очередной шаг. Появились высокоточные крылатые ракеты нового поколения, для испытания которых потребовались новые методики и технические средства. В 1977 г. было принято решение о строительстве двух самолетных командных измерительных пунктов (СКИП) на базе самолетов Ил-76.

Для увеличения дальности действия СКИП и расширения их функциональных возможностей в 1984 г. было принято решение о строительстве пяти машин Ил-976. СКИП 976 конструктивно представляет собой гибрид Ил-76МД и А-50. Аппаратура в самолете размещалась на двух палубах. Рабочие места 15 операторов находились на первом этаже. Экипаж и операторы были обеспечены необходимыми средствами жизнеобеспечения и спасения при полетах как над сушей, так и над водной поверхностью.

Первый СКИП-976 начал эксплуатироваться в 1986 г. Дальность сопровождения объектов составляла от 400 км для маловысотных объектов до 2...3 тыс. км для высотных, а при групповом использовании нескольких СКИП превышала 10 тыс. км.

При запусках ракет-носителей (РН) обеспечить получение ТМИ на неоснащенных ИПами трассах можно с помощью мобильных измерительных пунктов (МИП). Они создавались рядом предприятий. В 2015 г. прошли испытания разработанные в НПО ИТ современные МИП, в том числе морского базирования. Обычно оборудование такого МИП размещают в морском контейнере. Их оснащение позволяет принимать одновременно до 4-х потоков ТМИ, выполнять оперативную обработку принятой ТМИ и её передачу в ЦУП через спутник-ретранслятор.

Принятую с телеметрируемого объекта и зарегистрированную пространственно-разнесёнными средствами ТМИ необходимо собрать с ИП, СИП, судов, МИП в едином центре сбора с последующей выдачей данных потребителям в установленные сроки в заранее определённых объемах. Для этого зарегистрированные ПРА данные по сети связи передают в центр сбора ТМИ. В последнее время широко применяются волоконно-оптические технологии. При этом обеспечивается оперативная доставка информации практически в реальном времени на расстояние в сотни или тысячи километров. На полигонах и космодромах, а так за их пределами для ретрансляции зарегистрированной ТМИ широко применяются радиорелейные линии. Для трансляции данных на большие расстояния ретрансляторы устанавливают через некоторое расстояние на протяжении всей радиолинии.

Применяется также передача зарегистрированной ПРА информации в центр сбора через спутники-ретрансляторы. По сравнению с другими методами сбора ТМИ, использование ретрансляторов на основе ИСЗ имеет ряд преимуществ. Прежде всего, это глобальный характер такой системы сбора, что позволяет обеспечить получение в реальном времени необходимых данных почти со всей поверхности планеты.

В России в 2015 г. принята в эксплуатацию отечественная многофункциональная космическая система ретрансляции (МКСР) «Луч», содержащая три КА. Она предназначена для обеспечения контроля и управления объектами РКТ (РН, РБ, КА, включая Международную космическую станцию) на всех этапах их полета, а также ретрансляции информации целевого назначения от космических аппаратов на наземные станции и решения ряда других задач. Трёх КА достаточно для околোগлобального покрытия Земного шара (от 72° с. ш. до 72° ю. ш.).

Космические ретрансляторы могут применяться для доставки в центр сбора принятой с объекта телеконтроля ТМИ, зарегистрированной очень удалёнными ПРА. Например, для передачи в центр сбора данных, зарегистрированных при запусках КА по программе «Морской старт», с Гвианского космического центра (космодрома «Куру» во Французской Гвиане) по международным программам в области космической деятельности. Аппаратурой ретрансляции через различные ИСЗ оснащены космодромы и современные МИПы.

Рассмотрим перспективный, по нашему мнению, метод повышения надёжности получения ТМИ с РБ при возможной нештатной ситуации [1]. В настоящее время, на

участках вне зоны видимости ИПов, ТМИ с РБ не передается, осуществляется только её запись в бортовое запоминающее устройство (ЗУ). Но именно на таких участках происходит основное количество (до 80%) включений маршевых двигателей РБ. При вхождении РБ в зоны видимости ИПов записанная в бортовое ЗУ информация передается на Землю. Например, продолжительность процесса от старта РН «Протон-М» с РБ «Бриз-М» до выведения КА на заданную орбиту составляет 8...10 часов. За это время РБ с КА совершают несколько витков вокруг Земли, а маршевый двигатель РБ включается до пяти.

Такая схема передачи ТМИ оказывается приемлемой при нормальном полете РБ. В случае возникновения нештатной ситуации на участках включения и функционирования маршевого двигателя получить ТМИ обычно не удастся, что не позволяет определить причину возникновения аномалии.

Для обеспечения надёжного получения ТМИ с РБ, при нахождении его вне зон видимости с ИП, можно использовать спутник-ретранслятор. Обеспечить требуемую скорость передачи ТМИ с РБ через спутник-ретранслятор можно при использовании узконаправленных антенн на РБ. Но в этом случае будет иметь место высокая вероятность потери ТМИ при возникновении аварийной ситуации, вызывающей резкую несанкционированную динамику угловой ориентации РБ. Необходимо обеспечить сопряжение спутниковой системы ретрансляции «Луч» и телеметрической аппаратуры РБ.

Для решения этой задачи предлагается ввести промежуточное звено между спутником-ретранслятором и РБ – беспилотный летательный аппарат (БПЛА), который будет выступать промежуточным ретранслятором. Это позволит обеспечить высокую надёжность и необходимую скорость получения ТМИ через спутник-ретранслятор с РБ при нахождении его вне зоны видимости с территории нашей страны даже при нештатной ситуации.

На БПЛА предлагается установить устройство для приема ТМИ с РБ, ЗУ и передающее устройство для ретрансляции принятых данных на МКСР «Луч». Современный уровень развития технологий вполне позволяет это реализовать на практике. Так, требуемая скорость приема с РБ ТМИ и ретрансляции её через МКСР «Луч» составляет единицы Мбит/с. В то же время компания Hughes (США) в настоящее время обеспечивает передачу данных с БПЛА через спутник-ретранслятор со скоростью до 200 Мбит/с.

В настоящее время лидерами в создании БПЛА являются США, Китай, Израиль и Япония. Работы по созданию БПЛА ведутся и в России.

В качестве БПЛА, способного выполнять функцию промежуточного ретранслятора, пригодны аппараты, аналогичные БПЛА «RQ-4 Global Hawk» производства США. Масса пустого аппарата 3,8 т, максимальная взлетная – 12,1 т, масса полезной нагрузки – до 900 кг. При длине 13,5 м, высоте 4,6 м и размахе крыльев 35,4 м он способен на высоте до 19,8 км развивать скорость до 800 км/час и совершать полеты на расстояние до 25 тыс. км. Крейсерская скорость – 650 км/ч. Максимальная продолжительность нахождения аппарата в воздухе составляет 36 часов. Его бортовое оборудо-

вание включает в себя системы ретрансляции сигналов и радиоэлектронной разведки. Количество операторов управления на земле – 3.

В 2003 г. ВВС США профинансировали разработку атомного двигателя для Global Hawk с целью увеличения продолжительности полёта до нескольких месяцев.

При многократном применении предлагаемый метод надёжного получения ТМИ с РБ вне зон видимости с территории России является наиболее эффективным.

Литература

1. Поленов Д.Ю., Мороз А.П. О применении беспилотного летательного аппарата для ретрансляции телеметрической информации разгонного блока // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник, 2015. – №3, т. 19. С. 131 – 135.

**Технологии управления космическими аппаратами, разработанные для много-
разовой транспортной космической системы «Энергия-Буран», и направления
их развития в современных условиях**

Г.Н. Мальцев, д.т.н.

Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского

georgy_maltsev@mail.ru

Эффективное применение по назначению космических аппаратов (КА) и космических систем в целом обеспечивается организацией управления полетом и информационного обмена с КА. Для этого необходимо регулярное проведение сеансов управления КА с помощью радиоэлектронных средств (РЭС) Наземного автоматизированного комплекса управления (НАКУ). Общими тенденциями развития средств управления КА в современных условиях являются, с одной стороны, комплексная автоматизация и унификация технологий управления, наземных и бортовых технических средств управления и алгоритмов управления, с другой стороны, усложнение бортовой аппаратуры КА, расширение номенклатуры решаемых ими задач и возрастание объемов информационных массивов, циркулирующих между КА и наземными РЭС. При этом, несмотря на тенденцию увеличения автономности КА, наземные РЭС управления остаются основным классом средств управления КА, обеспечивающим их применение по назначению.

Многоразовая транспортная космическая система (МТКС) «Энергия-Буран» была одной из двух реализованных в мире систем МТКС и ответом на аналогичную американскую МТКС «Спейс-Шаттл». Разработка МТКС «Энергия-Буран» ознаменовалась широким использованием новых для отечественной космической отрасли технических решений не только в части ракетно-космического комплекса и технологий выведения на орбиту и посадки КА многоразового использования, но и в части технологии радиоуправления КА «Буран» в орбитальном полете. Для управления КА «Буран» в составе НАКУ был создан наземный комплекс управления КА и развернута космическая система ретрансляции, обеспечившие во время полета КА «Буран» реализацию новых для НАКУ режимов радиоуправления КА.

Радиоуправление КА, как правило, осуществляется при их прохождении в зонах радиовидимости РЭС, находящихся на командно-измерительных пунктах НАКУ, в форме передачи командно-программной информации (КПИ), получившей свое название от двух основных видов управляющих воздействий – команд и программ управления. Соответствующий метод радиоуправления КА называется командно-программным.

Передачу КПИ на КА выполняют наземные командно-измерительные системы (КИС), являющиеся основным классом РЭС НАКУ. Кроме передачи КПИ КИС также выполняют измерения текущих навигационных параметров КА, прием с КА телеметрической информации (ТМИ), сверку и коррекцию бортовой шкалы времени и некоторые другие функции информационного обмена с КА [1,2]. Для управления КА «Бу-

ран» были разработаны и реализованы в КИС НАКУ новые технологии и режимы радиоуправления КА, отличающиеся от традиционного командно-программного управления.

К технологиям управления КА средствами НАКУ, разработанным для МКТС «Энергия-Буран», относятся следующие [2,3]:

- информационный обмен с КА в форме единого цифрового потока (ЕЦП);

- транзитный режим передачи сигналов управления КА из Центра управления полетом;

- управление КА с ретрансляцией;

- управление КА через полетное задание.

Для реализации этих технологий был разработан комплекс наземных средств «Квант-Ц», «Квант-СП», «Квант-П», «Квант-Р» и бортовая аппаратура «Квант-В». КИС «Квант-П» и «Квант-Р» были предназначены для непосредственного и ретрансляционного управления КА соответственно. Аппаратный комплекс «Квант-Ц» находился в Центре управления полетом и был предназначен для формирования ЕЦП, передаваемого на КА, и разделения ЕЦП, принимаемого с КА. Он взаимодействовал по каналам системы связи и передачи данных (ССПД) НАКУ с находящейся на космодроме контрольно-испытательной аппаратурой «Квант-СП» при подготовке КА к запуску и с находящимися на командно-измерительных пунктах КИС «Квант-П» и «Квант-Р» при проведении сеансов управления КА.

ЕЦП объединяет несколько потоков цифровой информации от различных источников, передаваемых с временным уплотнением и возможностью перераспределения суммарной скорости передачи информации между источниками. Передача ЕЦП предусматривается как по прямому, так и по обратному радиоканалам информационного обмена с КА. ЕЦП прямого канала может включать следующие информационные потоки: два телефонных канала (ТЛФ), телеграфный канал (ТЛГ), канал передачи КПИ и канал передачи информации межмашинного обмена (ИМО). ЕЦП обратного канала помимо указанных информационных потоков может включать каналы передачи ТМИ. Информация, передаваемая в составе ЕЦП, имеет кадровую структуру, при этом используются 6 видов (форматов) кадров ЕЦП, отличающихся канальной скоростью передачи информации и объединяемыми информационными потоками (функциональными каналами). Максимальная скорость передачи информации в ЕЦП прямого канала составляет 128 кбит/с, в ЕЦП обратного канала – 256 кбит/с. Наиболее информативными являются потоки информации ИМО прямого и обратного канала (до 128 кбит/с) и ТМИ обратного канала (до 256 кбит/с).

Форматы ЕЦП учитывают особенности работы с пилотируемыми КА (передача ТЛФ и ТЛГ каналов), а также обеспечивают возможность метода реализации управления КА через полетное задание (передача ИМО). Управление через полетное задание используется при работе с КА, имеющими развитые бортовые комплексы управления на основе бортовых ЭВМ, и происходит путем обновления их программного обеспечения в ходе полета КА. Это может быть перепрограммирование отдельных программ или запись новых программ автономного управления КА. Для этого по ра-

диоканалам информационного обмена с КА передается ИМО. Передача ИМО может также происходить в так называемых технологических режимах управления для проверки работоспособности бортовой аппаратуры и бортовых ЭВМ. Во всех случаях при передаче ЕЦП прямого и обратного канала используется транзитный режим информационного обмена комплекса «Квант-Ц» с КА через КИС «Квант-П» и «Квант-Р» или аппаратуру «Квант-СП».

Управление КА с ретрансляцией позволяет существенно повысить глобальность и оперативность управления КА, вплоть до возможности оперативного управления КА в любой точке орбиты. Для управления с ретрансляцией КА «Буран» через геостационарный спутник-ретранслятор (СР) «Луч» отечественной командно-ретрансляционной системы первого поколения была разработана КИС «Квант-Р». При использовании управления с ретрансляцией имеется возможность оптимального планирования сеансов управления КА, так как отсутствуют ограничения планов, связанные с нахождением КА вне зон радиовидимости РЭС НАКУ. Так, в представляющем наибольший практический интерес случае управления низкоорбитальными КА в многопунктном наземном комплексе управления без использования управления с ретрансляцией радиосвязь с КА возможна не более, чем в течение 15% времени полета, а в однопунктном наземном комплексе управления, использующем управление с ретрансляцией через два геостационарных СР, при нахождении наземной РЭС в зоне пересечения зон радиовидимости СР радиосвязь с КА возможна в течение 80% времени полета.

Рассмотренные технологии радиоуправления КА, разработанные для МКТС «Энергия-Буран», после прекращения реализации программы получили ограниченное использование и развитие при управлении КИС «Квант-П» и «Квант-Р» орбитальной станцией «Мир» (вплоть до окончания работы с ней) и российскими модулями МКС (в настоящее время). Используется режим информационного обмена с КА в форме ЕЦП, транзитный режим ЕЦП и КПИ из Центра управления полетом и управление КА через полетное задание. С прекращением функционирования СР командно-ретрансляционной системы первого поколения прекратилось использование режима управления КА с ретрансляцией, а КИС «Квант-Р» была выведена из эксплуатации.

Вместе с тем, технологии радиоуправления КА, разработанные для МКТС «Энергия-Буран», востребованы в настоящее время и в современных условиях требуют своего дальнейшего развития и расширенного применения не только при работе с российскими модулями МКС, но и с другими КА различного назначения. Так, создание высокопроизводительных бортовых ЭВМ в сочетании с увеличением сроков активного существования КА на орбите приводят к увеличению роли и удельного веса в комплексе задач управления КА метода радиоуправления через полетное задание с передачей на КА по диоканалам ИМО для обновления программного обеспечения бортовой ЭВМ, а информационный обмен с КА в форме ЕЦП хорошо согласуется с управлением КА с ретрансляцией через СР, функционирующий в режиме «прозрачной» ретрансляции. Реализация этих технологий радиоуправления КА предусматри-

вается в перспективной КИС «Клен», имеющей модификацию «Клен-Р» для ретрансляционного управления КА.

Основой развития методов радиоуправления КА с ретрансляцией является развертывание отечественной командно-ретрансляционной системы второго поколения – Многоцелевой космической системы ретрансляции (МКСР) [4]. В состав МКСР входят три геостационарных СР типа «Луч-5», выведенные в настоящее время на геостационарную орбиту. МКСР предназначена для решения комплекса задач связи и ретрансляции, в том числе задач управления КА. По каналам ретрансляции МКСР предусматривается радиоуправление КА с ретрансляцией КИС «Клен-Р». На СР типа «Луч-5» установлена бортовая ретрансляционная аппаратура S- и Ku-диапазонов, через которую могут быть организованы магистральные и абонентские каналы ретрансляции. При управлении КА с ретрансляцией в качестве абонентов МКСР выступают КИС с ретрансляцией и КА, а пропускная способность абонентских каналов МКСР (до 5 Мбит/с в S-диапазоне, до 150 Мбит/с в Ku-диапазоне) обеспечивает все потребности радиоуправления КА. Каналы ретрансляции МКСР также могут быть использованы как спутниковый сегмент ССПД НАКУ для обеспечения информационного обмена Центра управления полетом с территориально удаленными средствами наземного комплекса управления и реализации транзитного режима информационного обмена с КА. При этом передача различных видов информации в форме ЕЦП согласуется с тенденцией развития ССПД НАКУ как цифровой сети интегрального обслуживания.

Таким образом, на современном этапе развития космических систем технологии управления КА, разработанные для МТКС «Энергия-Буран», представляют несомненный интерес, и имеющийся опыт их практического использования должен быть использован при создании наземных и бортовых комплексов управления современных и перспективных КА различного назначения.

Литература

1. Галантерник Ю.М., Гориш А.В., Калинин А.Ф. Командно-измерительные системы и наземные комплексы управления космическими аппаратами. М.: МГУЛ, 2003. 200 с.
2. Молотов Е.П. Наземные радиотехнические системы управления космическими аппаратами. М.: Физматлит, 2004. 256 с.
3. Кравец В.Г. Автоматизированные системы управления космическими полетами. М.: Машиностроение, 1995. 256 с.
4. Романов А.А., Романов А.А./ Основы космических информационных систем. М.: Радиотехника, 2013. 352 с.

Повышение эффективности оценки параметров технических систем на основе учета разных типов неопределенности

О.М. Поleshчук, д.т.н., Е.Г. Комаров, д.т.н., С.В. Тумор

Московский государственный технический университет им. Н.Э.Баумана

poleshchuk@mgul.ac.ru, komarov@mgul.ac.ru

Для эффективной оценки параметров технических систем и принятия решений на основе этой оценки недостаточно измерять только физические (числовые) значения этих параметров и учитывать неопределенность только в виде случайности. Поэтому физические значения дополняются оценками экспертов, которые используют для этого лингвистические шкалы, формализуя которые, появляется возможность учитывать еще один тип неопределенности - нечеткость. Например, в [1] для оценки параметра «давление пара на входе» изделия «подогреватель высокого давления» используется лингвистическая шкала с уровнями «малое давление пара», «давление близкое к 4», «большое давление пара».

Значения количественных параметров, измеренные в лингвистических шкалах, называются лингвистическими значениями этих параметров. В результате количественный параметр с одной стороны имеет физические значения, измеренные техническим прибором, и с другой стороны имеет лингвистические значения, измеренные экспертом.

Если известна область определения параметра и уровни лингвистической шкалы, то эксперт разбивает эту область на непересекающиеся множества, которые соответствуют уровням лингвистической шкалы. При таком подходе есть существенный недостаток, состоящий в том, что при описании объектов с пограничными значениями параметра эксперт испытывает трудности в связи со скачкообразным переходом от одного физического значения параметра к другому. Поясним сказанное на примере.

Пусть некоторый параметр определен на универсальном множестве X и принимает значения от X_m до X_M . Тогда понятие «нормальное функционирование объекта», исходя из содержательного смысла задачи, может быть определено с помощью множества A , характеристическая функция которого представлена на рис. 1.

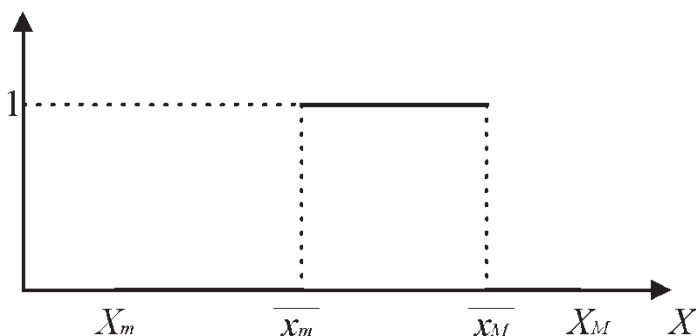


Рис. 1. Характеристическая функция множества A , формализующего понятие «нормальное функционирование объекта».

Рассмотрим рис. 1 с точки зрения описания ситуации человеком.

Отметим три значения параметра: x_1, x_2 и x_3 , представленные на рис. 2.

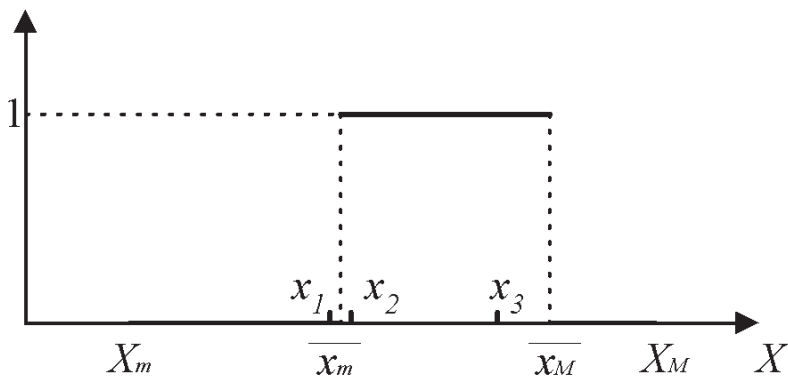


Рис. 2. Характеристическая функция множества A , формализующего понятие «нормальное функционирование объекта».

Очевиден некоторый парадокс: значения x_1 и x_2 для модели являются разными, а x_2 и x_3 - одинаковыми. Компьютерная модель может «видеть» фактически близкие ситуации как разные, а разные - как одинаковые. В результате выводы, полученные при анализе такого рода моделей, могут не соответствовать представлениям экспертов.

В этом несоответствии языка классической теории множеств и способа мышления человека кроется одна из причин неудовлетворительных попыток формализации опыта экспертов в рамках этой теории и появление теории нечетких множеств.

Мы можем определить понятие «нормальное функционирование объекта» как нечеткое множество $\tilde{A}$, функция принадлежности которого представлена на рис. 3.

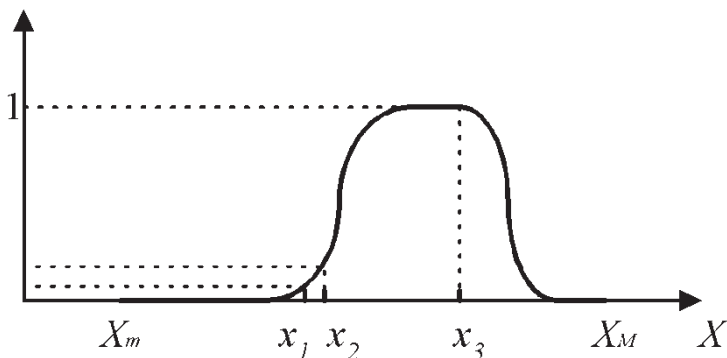


Рис. 3. Функция принадлежности нечеткого множества $\tilde{A}$, формализующего понятие «нормальное функционирование объекта».

Сравнивая рис. 2 и рис. 3, можно заметить исчезновение отмеченного выше парадокса: значения x_1 , x_2 видятся моделью как близкие. Таким образом, компьютерная модель, построенная на принципах теории нечетких множеств, будет «воспринимать» ситуации правильно, а именно – фактически близкие ситуации как похожие и фактически разные как разные.

С позиции теории нечетких множеств каждое физическое значение параметра принадлежит некоторому лингвистическому значению с определенной степенью уверенности в этом эксперта.

Нечетким множеством $\tilde{A}$ называется множество пар вида $\{(x, \mu_{\tilde{A}}(x)) : x \in X\}$, $\mu_{\tilde{A}}(x) : X \rightarrow [0,1]$ [2]. Нечеткой переменной [3] называется тройка $\{X, U, \tilde{A}\}$, где X - название переменной; U - область ее определения (универсальное множество); $\tilde{A}$ - нечеткое множество универсального множества, описывающее возможные значения нечеткой переменной. Лингвистической переменной называется пятерка $\{X, T(X), U, V, S\}$, где X - название переменной; $T(X) = \{X_i, i = \overline{1, m}\}$ - терм-множество переменной X ; V - синтаксическое правило, порождающее названия значений лингвистической переменной X ; S - семантическое правило, которое ставит в соответствие каждой нечеткой переменной с названием из $T(X)$ нечеткое подмножество универсального множества U .

Лингвистические переменные используются для построения лингвистических шкал для оценки параметров. В [4] авторами разработан метод построения оптимальных лингвистических шкал. Формализация лингвистических шкал на основе нечетких множеств позволяет при оценке числовых параметров учесть не только случайность, но и нечеткость.

Развитие теории нечетких множеств позволило с появлением Z -чисел [5, 6] ввести более высокий уровень оперирования с числовой информацией и обеспечить ее достоверность.

Z -числом называется упорядоченная пара нечетких чисел $Z = (A, B)$. Первое нечеткое число – это значение, которое принимает некоторая нечеткая переменная X . Второе нечеткое число является показателем надежности (достоверности) первого компонента. Пример: $Z = (\text{около } 45 \text{ минут, очень уверен})$.

Приведем пример, который показывает эффективность оценки числовых параметров с учетом неопределенности типа нечеткость.

Пример. В технических задачах часто возникает необходимость определения степени аналогичности изделий по некоторому параметру. Если областью значений является $[A, B]$, а значения параметра равны a и b , то обычно используется формула [1]

$$\rho_{ab} = 1 - \frac{|a - b|}{A - B}, \quad (1).$$

Недостатком формулы является то, что степень аналогичности зависит только от разности значений параметра и не зависит от места расположения этих значений на всей области $[A, B]$. Этот недостаток является причиной того, что полученные по этой формуле результаты, не всегда согласуются с опытом эксперта. Дело в том, что опытный эксперт выделяет на множестве значений параметра некоторые базовые значения и сравнение изделий осуществляет на их основе. В [1] приведен пример определения степени аналогичности изделий с названием «подогреватель высокого давления» по параметру «давление пара на входе». Параметр имеет область определения [1.1, 6.7]. В примере определяется степень аналогичности изделий со значениями 1.1 и 1.5 и степень аналогичности изделий со значениями 6.1 и 6.6. Приведенная выше формула дает для первой пары изделий степень аналогичности 0.93, а для второй пары степень аналогичности 0.91. В [1] утверждается, что эти результаты не согласуются с опытом экспертов.

В [7] разработана новая формула определения степени аналогичности изделий на основе лингвистических переменных. Эксперт, исходя из своего опыта, выделяет m лингвистических значений этого параметра и для каждого лингвистического значения

указывает соответствующие типичные числовые значения. Исходя из этой информации, строятся функции принадлежности терм-множеств $\mu_l(x), l = \overline{1, m}$ [4].

Определим степень аналогичности изделий со значениями a и b по рассматриваемому параметру по формуле

$$\eta_{ab} = 1 - \frac{\sum_{l=1}^m |\mu_l(a) - \mu_l(b)|}{2}. \quad (2)$$

Функции принадлежности параметра «давление пара на входе» представлены на рис. 4.

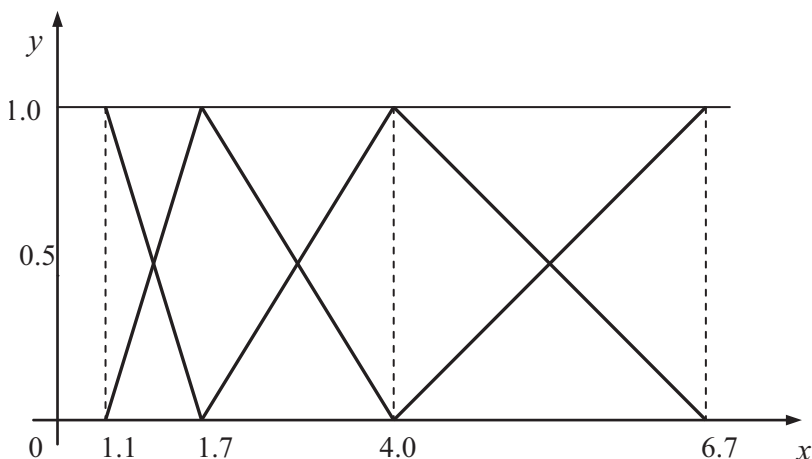


Рис. 4. Функции принадлежности лингвистической переменной «давление пара на входе» изделия «подогреватель высокого давления».

Пользуясь формулой (2), получаем степень аналогичности изделий со значениями 1.1 и 1.5 и степень аналогичности изделий со значениями 6.1 и 6.6 равными: $\eta_{1.1,1.5} = 0.34, \eta_{6.1,6.6} = 0.82$. Исходя из [1] эти результаты согласуются с опытом экспертов.

Литература

1. Малышев Н.Г., Берштейн Л.С., Боженьюк А.В. Нечеткие модели для экспертных систем в САПР. - М.: Энергоатомиздат, 1991. - 136 с.
2. Zadeh L. A. Fuzzy sets // Inform. And Control. - 1965. - №8. - P. 338 - 352.
3. Заде Л.А. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. - М.: Мир, 1976. - 165 с.

4. Poleshchuk O., Komarov E. Expert Fuzzy Information Processing. Studies in Fuzziness and Soft Computing. 2011. Т. 268. С. 1-239.
5. Zadeh, L.A. A Note on Z-numbers // Information Sciences. – 2010. -№181. - Pp. 2923-2932.
6. Полещук О.М., Чернова Т.М. Z-числа и их новые возможности для моделирования реального мира// В сборнике: Современные проблемы физико-математического образования. Сборник материалов VI Международной заочной научно-технической конференции. Государственный гуманитарно-технологический университет. – 2016. – С. 33-35.
7. О.М. Полещук Определение степени аналогичности технических изделий на основе теории нечетких множеств // Лесной вестник. Forestry Bulletin. -2016. - Т. 20, № 6 - С. 146 - 149.

Внедрение в гидроэнергетику систем контроля механического состояния гидроагрегатов

В.П. Дунаевский, Е.Ю. Веселова, Д.Г. Кряжев, А.А. Михалев,
АО "НПО ИТ"
npoit@npoit.ru

Специалистами АО "НПО ИТ" разработана крупная система контроля механического состояния гидроагрегатов СВКА 1-ГЭС.

Система контроля механического состояния гидроагрегатов предназначена для стационарного виброконтроля и диагностики механического состояния крупных, средних и малых гидроагрегатов и обеспечивает контроль следующих параметров:

- абсолютной вибрации (относительное виброперемещение) в диапазоне частот от 0,7 до 200 Гц;
- относительной вибрации (биения вала) в диапазоне частот от 0,7 до 200 Гц при диапазоне измерения размаха виброперемещения до 2000 мкм;
- воздушного зазора "ротор-статор" (диапазон измерения 5...50 мм);
- пульсации давления;
- скорости вращения;
- температуры.

Система разработана на базе аппаратуры СВКА и выполняется как в одноканальном, так и в многоканальном варианте исполнения. Система выполнена на основе датчиков с двухпроводной электрической схемой и включает новые технические решения:

- однокомпонентные вибропреобразователи АНС114-07С;
- трехкомпонентные вибропреобразователи АНС 258-3К;
- датчики воздушного зазора;
- датчики магнитного поля;
- датчики температуры.

В связи с введением в гидроэнергетике обязательных требований по виброконтролю агрегатов задача обеспечения системами виброконтроля с функциями мониторинга и диагностики является архи важной и включает установку новых систем, замену имеющихся импортных, поставку новых модификаций систем для серийных заводов-изготовителей гидроагрегатов, а также создание экспертной системы для проведения обслуживания гидроагрегатов по фактическому состоянию, прогнозирования его сроков работы, а также мероприятий по продлению его ресурса.

Учитывая, что гидроагрегаты имеют низкую частоту вращения (от 0,9 до 10 Гц), основной проблемой при измерении вибрации гидроагрегатов является достоверное обеспечение контроля размаха виброперемещений от 5 до 1000 мкм от очень низких (0,7 Гц) до средних частот (200 Гц) при наличии высокоинтенсивных паразитных гидроударов в рабочем диапазоне частот и жесткой электромагнитной обстановки окружающей среды.

Поэтому в датчиках применялись оригинальные чувствительные элементы и схемотехнические решения, обеспечившие высокую точность измерений в диапазоне частот от 0,5 Гц при воздействии ударов до 500 g и практически отсутствие влияния интенсивных электромагнитных полей на показания датчиков, что подтверждено результатами испытаний в ФГУП "Ростест-Москва".

Широкополосный сигнал датчиков передается в модуль вибродиагностики, осуществляющий оперативный контроль, а также диагностику текущего состояния с последующей экспертной оценкой выявленных дефектов.

Разработанные нами датчики прошли сравнительные испытания с датчиками других производителей на стенде основного производителя гидроагрегатов - АО "Силовые машины" (г.Санкт-Петербург), а также в реальных условиях эксплуатации на гидроагрегатах Красноярской ГЭС. Также проведены были демонстрационные испытания датчиков для представителей ПАО "РусГидро" и фирм - основных производителей АСУ ТП для ГЭС.

Системы и датчики успешно внедрены в гидроэнергетике на Чирюртской, Краснополянской ГЭС, Ульяновской мГЭС в России, каскаде ГЭС Тоачи-Пилатон в Эквадоре (ГЭС Альюрикин, ГЭС Сарапульо, малая ГЭС Тоачи).

В марте 2018 г. на Красноярской ГЭС проведена установка датчиков системы СВКА 1-02/01-ГЭС в штатные каналы измерения на модернизированном гидроагрегате ГА9. При приемочных испытаниях гидроагрегата ГА9 получены положительные результаты работы датчиком системы, заводом-изготовителем гидроагрегатов АО "Силовые машины" отмечена их высокая помехоустойчивость, в результате чего впервые за все время эксплуатации гидроагрегатов на Красноярской ГЭС датчики абсолютной вибрации включены в защиту.

В настоящее время утвержден проект по установке системы СВКА 1-02/01-ГЭС на гидроагрегаты каскада Верхне-Туломских ГЭС. Нашим предприятием с заводом-изготовителем гидрогенератора СВ 600/165-32 согласованы штатные чертежи по установке датчиков. Комплект включает более 50 измерительных каналов. Поставка оборудования будет проведена во 2-3 кв.2018 г. В настоящее время оборудование запущено в изготовление.

**Вероятностная оценка эффективности восстановления
цифровой телеметрической информации**

А.В. Франк, С.Ю. Перепелкина, А.А. Федотов

*АО "Научно-производственное объединение автоматики
имени академика Н.А. Семихатова"*

avt@npoa.ru

Подтверждение технических характеристик образцов ракетно-космической техники при проведении летных испытаний и в процессе штатной эксплуатации напрямую связано с информационно-телеметрическим обеспечением, необходимым для получения объективных данных о функционировании бортовых приборов и систем в полете.

Как правило, зарегистрированная в процессе полета цифровая телеметрическая информация (ЦТМИ) характеризуется наличием целого ряда сбоев, помех, шумов неизвестной модели, разрывов по временной сетке и пр. [1]. Указанные искажения и потери ЦТМИ вызваны как влиянием факторов космического пространства [2, 3], так и особенностями функционирования самого летательного аппарата по траектории [4]. В связи с этим задача надежного послеполетного восстановления максимально достоверной информации является весьма востребованной.

В процессе послеполетной обработки ЦТМИ в АО "НПО автоматики" реализован способ, базирующийся на использовании программно-аппаратной избыточности, заложенной на каждом этапе прохождения ЦТМИ – начиная со сбора и бортовой предобработки, продолжая передачей в эфир и заканчивая регистрацией наземными станциями слежения [5, 6]. Выборка наиболее достоверных данных из набора имеющихся в сводный (единый) поток информации (ЕПИ) осуществляется по принципу мажоритарности с весовыми коэффициентами. Данный подход хорошо зарекомендовал себя при обработке результатов порядка двух десятков летных испытаний [6]. Тем не менее, вопрос формирования оценки, отражающей уровень достоверности сформированного ЕПИ (уровень совпадения информации, переданной с борта объекта ракетно-космической техники, и полученной в процессе послеполетной обработки), остается открытым [6].

В настоящей работе для оценки уровня достоверности ЕПИ, характеризующего эффективность восстановления ЦТМИ в процессе послеполетной обработки, предлагается использовать вероятностную оценку, базирующуюся на сравнении индивидуальных потоков между собой. При этом в качестве единиц информации выступают отдельные кадры ЦТМИ, характеризующиеся сквозным счетчиком кадров $i = 1, 2, \dots, I_{\max}$. Уровень достоверности представляется в виде вероятности попадания искаженных (сбойных) кадров ЦТМИ в результирующий ЕПИ.

Процедура оценки проводится в несколько этапов. На первом этапе рассчитывается вероятность искажения i -го кадра ЦТМИ по каждому j -му индивидуальному потоку информации из числа задействованных наземных станций слежения. Далее пу-

тем сравнения индивидуальных потоков между собой формируются граничные оценки $P_{j_min}(i)$ (нижняя граница) и $P_{j_max}(i)$ (верхняя граница) вероятности искажения i -го кадра ЦТМИ в j -м потоке информации. Знание указанных величин позволяет на втором этапе вычислить аналогичные границы $P_{ЕПИ_min}(i)$ и $P_{ЕПИ_max}(i)$ вероятности искажения каждого кадра ЦТМИ в сводном ЕПИ. Для ЕПИ в целом дополнительно формируется относительная оценка ожидаемого числа сбойных кадров ЦТМИ по отношению к суммарному количеству кадров ЦТМИ.

Для иллюстрации на рисунке 1 представлены графики поведения параметров $P_{ЕПИ_min}$ и $P_{ЕПИ_max}$, а также разности между ними, построенные для фрагмента траектории движения летательного аппарата, в ходе испытаний которого задействовались система телеметрических измерений "Орбита-IVМО" и малогабаритные приемно-регистрирующие станции. По оси абсцисс отложен условный сквозной счетчик кадров ЦТМИ, по оси ординат – вероятность искажения информации.

Для наглядности, в качестве интервала построения выбран участок движения, характеризующийся переходом со спокойного на характерный участок движения (для которого свойственно, как правило, большое количество искажений ТМИ) и сход с него. Как следует из рисунка, до и после характерного участка движения верхняя и нижняя границы вероятности искажения практически совпадают между собой, что свидетельствует о хорошем качестве ЦТМИ. На самом участке наблюдается скачкообразное поведение $P_{ЕПИ_min}(i)$ и $P_{ЕПИ_max}(i)$, свидетельствующие о наличии многочисленных искажений ЦТМИ.

Полученные оценки достоверности ЦТМИ хорошо согласуются с количеством слов, требующих дополнительного ручного анализа при сложившейся в АО "НПО автоматики" практике послеполетной обработки ЦТМИ. Также следует отметить, что такая оценка позволяет выявлять аномальные нарушения по отдельным потокам данных наземных станций слежения и, следовательно, диагностировать бортовое и наземное оборудование за счет локализации источника помех на уровне подсистем бортовой или наземной аппаратуры.

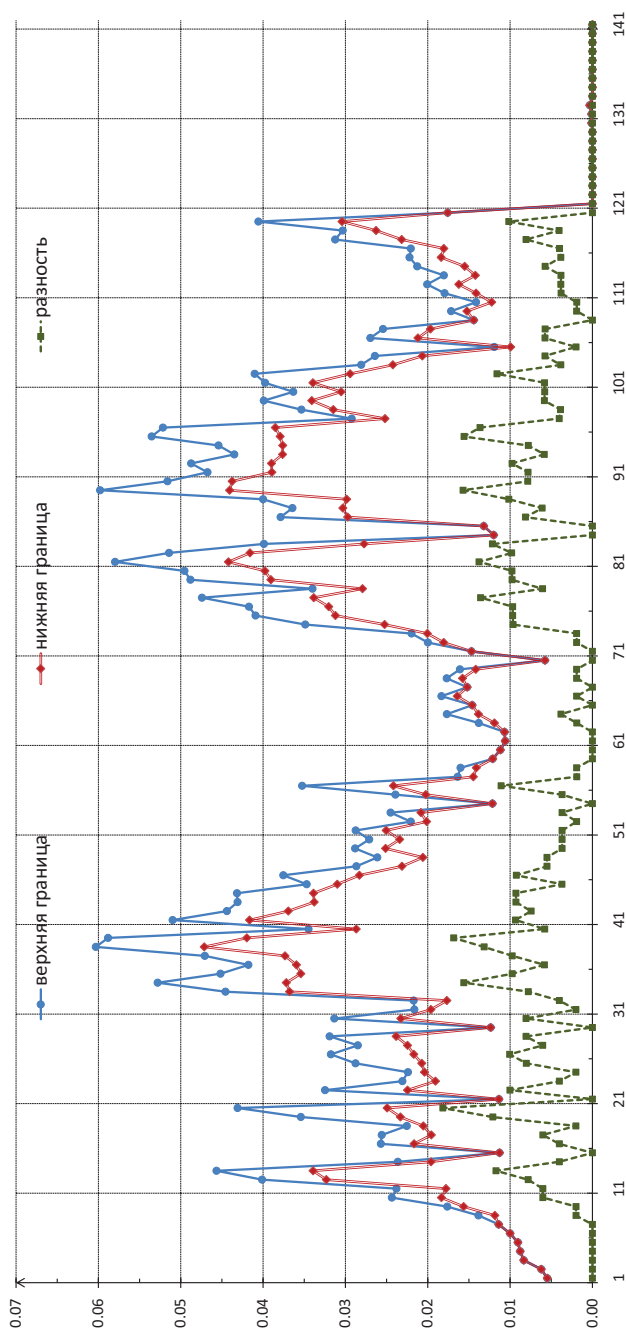


Рисунок 1 – Верхняя и нижняя оценки вероятности искажения кадров ЦТМИ в сформированном ЕПИ на характерном интервале движения

Таким образом, представлен подход по вероятностной оценке эффективности послеполетного восстановления ЦТМИ, характеризующей достоверность сформированного единого (сводного) потока информации о функционировании бортовых приборов и систем в полете.

Литература

1. Князева, Т.Н. Очистка от шума и сбоев телеметрических параметров на основе вейвлет-технологии [Текст] / Т.Н. Князева, Н.И. Орешко // Известия Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета "ЛЭТИ" им. В.И. Ульянова (Ленина). – 2010. – №10. – С. 24 – 29.
2. Jansen, F., Pirjola R., Favre R. Space Weather, Hazard to the Earth? Zurich: Swiss Reinsurance Company, 2000. 112 p.
3. Kappenman, J.G., Zanetti L.J., Radasky W.A. Geomagnetic storms can threaten electric power grid // Earth in Space. 1997. V.9, N 7. P. 9 – 11.
4. Кошевой, А.А. Телеметрические комплексы летательных аппаратов [Текст] / А.А. Кошевой. – М. : Машиностроение, 1975. – 312 с. : ил. – 3000 экз.
5. Перепелкина, С.Ю. К вопросу о восстановлении цифровой телеметрической информации в условиях избыточности и особенностей телеметрического кадра [Текст] / С.Ю. Перепелкина, А.В. Франк // Материалы III Всероссийской научно-технической конференции "Актуальные проблемы ракетно-космической техники" (III Козловские чтения). – Самара: ФГУП "ГНПРКЦ "ЦСКБ-Прогресс", 2013. – С. 298 – 299.
6. Верховых, Н.И. Эффективность восстановления телеметрической информации в условиях избыточности / Н.И. Верховых, С.Ю. Перепелкина, А.В. Франк / Материалы VIII Санкт-Петербургской межрегиональной конференции "Информационная безопасность регионов России". – СПб. : СПОИСУ, 2013. – С. 167 – 168.
7. Вентцель, Е.С. Теория вероятностей: Учеб. для вузов [Текст] / Е.С. Вентцель – М. : Высшая школа, 2002. – 576 с. : ил. – 8000 экз. – ISBN 5-06-003650-2.

Типовые сбои ТМИ, регистрируемой МПРС при приеме фазоманипулированного сигнала БРТС «Орбита-IVМО» и способы их устранения

А.С. Токарев,

Космодром «Плесецк»sheeny82@mail.ru

При организации телеметрических измерений в ходе проведения пусков (запусков) ракетно-космической техники (РКТ) наибольшее значение имеет полнота и качество зарегистрированной телеметрической информации (ТМИ). Однако при проведении практически каждого пуска (запуска) имеют место невосполнимые потери ТМИ. Наиболее часто эти потери имеют место на участке отделения II-й и III-й ступеней ракеты, что связано с экранированием радиоканала факелами двигательных установок и отделяющимися элементами ракеты. При этом информация, передаваемая с борта ракеты в моменты отделения ступеней, имеет повышенную значимость, так как на борту ракеты в это время происходит большое количество событий и процессов, которые подлежат анализу при обработке ТМИ.

С целью определения причин сбоев, возникающих при приеме малогабаритными приемо-регистрирующими станциями (МПРС) фазоманипулированного сигнала бортовой радиотелеметрической системы (БРТС) «Орбита-IVМО», широко применяющейся в настоящее время, был проведен анализ ТМИ в графическом виде. На рисунке 1 представлено графическое изображение ТМИ на участке уверенного приема. При этом способе представления белым цветом отображаются биты слов, имеющие значение «1», черным – «0». Каждый горизонтальный ряд точек представляет собой 32 слова, сформированных МПРС, каждое из которых содержит стандартное слово БРТС (12 бит) и служебную информацию (4 бита). Первый бит каждого нечетного слова БРТС отводится для передачи информации о синхронизации [1].

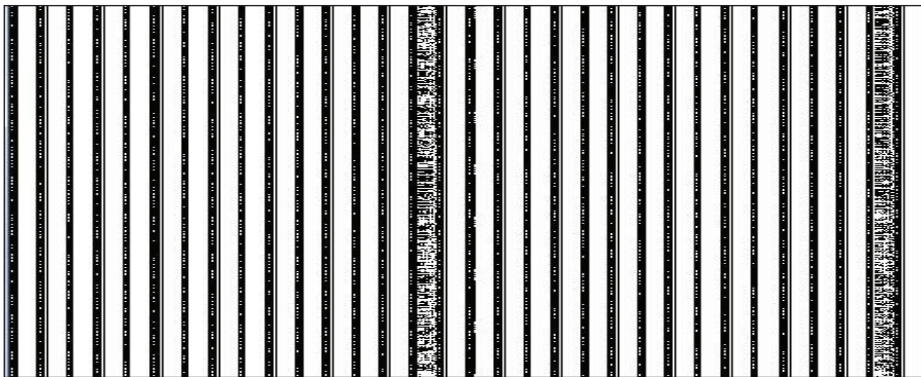


Рисунок 1 – Графическое представление ТМИ на участке уверенного приёма

На рисунке 2 изображена ТМИ на участке отделения II ступени ракеты. Информация на данном участке имеет многочисленные нарушения структуры и для обработки телеметрируемых параметров непригодна.

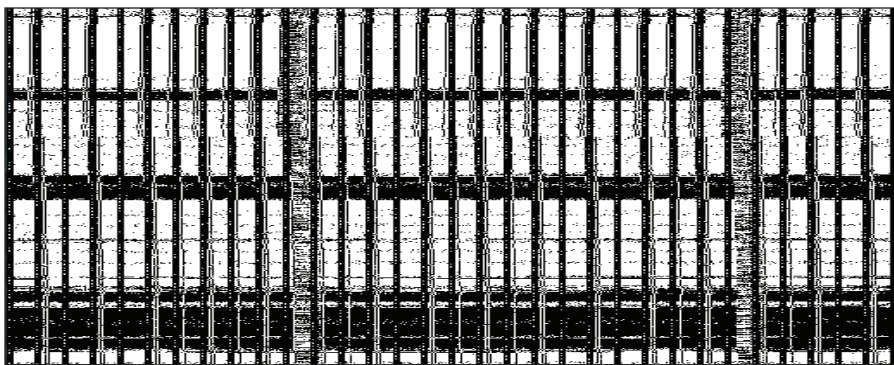


Рисунок 2 – Графическое представление ТМИ на участке отделения II ступени

Также, ТМИ на участках сбоев анализировалась в символьном виде, в котором слова представляются в виде строк, состоящих из символов «1» и «0». ТМИ в символьном представлении изображена на рисунке 3.

1111111111	1101001111	1111101111	1110111111	1111011111	1110001111	0111011111	1110101111	1111000011	0011101111
1111111111	1011101101	1111111110	1111001011	1111110111	1111111011	1111110111	1111101011	1111110100	1101111011
1111111110	1111111010	1111111111	1111111010	1111111011	1111111010	1111111011	1111111011	1111111010	1010101100
0111111111	1111111101	1111101111	1100111101	1111111111	1111111010	1111111111	1111111101	1011111100	1111111100
1011111111	1111111110	1011111011	1111111110	1011111111	0111111110	1011111111	0111111110	1010111111	0011011001
1010111111	1111111111	1010111111	1111111101	1010111110	1101111101	1010111111	1101011111	1110001111	1100111111

Рисунок 3 – Символьное представление ТМИ

При передаче ТМИ БРТС «Орбита-IVМО» в режиме информативности «М16» первый бит каждого нечетного слова фразы отводится для передачи информации о синхронизации, включающей в себя: маркер фразы, маркер группы, маркер номера группы, маркер цикла, маркер кадра. Маркер фразы представляет собой 15 битную последовательность, передаваемую рассредоточенным методом на протяжении двух периодов фразы.

Совместный анализ графического и символьного представления ТМИ показал, что для МПРС при приеме фазоманипулированного сигнала БРТС «Орбита-IVМО» в режиме информативности «М16» характерными являются два вида сбоев: сдвиг измерительной части слов фразы при сохранении служебной части формируемых станцией слов и инверсия измерительной части слов фразы при сохранении служебной части

формируемых станцией слов. Также в ТМИ имеют место комбинации этих типов сбоев.

Определение характера типовых сбоев позволило разработать методику устранения характерных для МПРС сбоев, позволяющую проводить восстановление структуры потока ТМИ на уровне фразы. Это дало возможность устранить значительную часть, считавшихся ранее невосполнимыми потерь ТМИ и получить дополнительный объем измерительной информации для анализа параметров и событий, происходящих на борту ракеты. Методика основана на представлении измерительной части слов ТМИ в виде непрерывного потока бит и поиске в этом потоке отдельных фраз.

На рисунке 4 отображены результаты восстановления структуры информации. В левой половине рисунка отображена исходная информация, зарегистрированная МПРС, в правой части – та же информация после восстановления структуры. Разработанная методика позволяет устранить сдвиг измерительной части фраз, восстановить инвертированную информацию и привести ее к виду, пригодному к дальнейшей обработке.

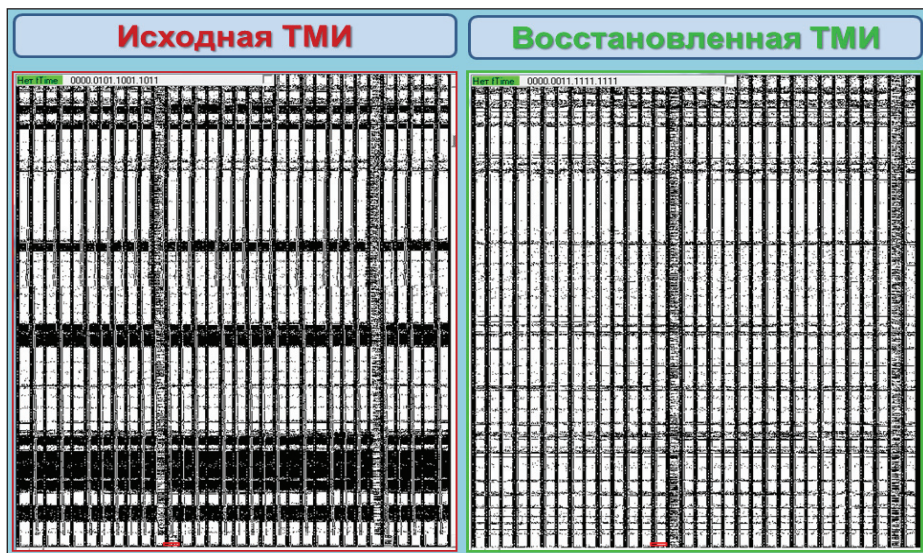


Рисунок 4 – Результат восстановления структуры ТМИ

Для подтверждения корректности восстановления структуры ТМИ были проанализированы параметры аналоговых субкоммутаторов и цифровая информация. Во всех случаях значительно увеличилось число достоверных значений измеряемых параметров. Анализ значений сдвига измерительной части слов показал, что восстановление структуры файла ТМИ целесообразно проводить именно на уровне восстановления по фразам.

По результатам исследования можно сделать следующие выводы:

1. Типовыми сбоями ТМИ, регистрируемой МПРС при приеме фазоманипулированного сигнала БРТС «Орбита-IVМО» в режиме информативности «М16», являются сдвиг измерительной части слов фразы и инверсия измерительной части слов фразы.

2. Разработанная методика восстановления структуры ТМИ БРТС «Орбита-IVМО», зарегистрированной МПРС, позволяет значительно сократить объем потерь телеметрической информации, регистрируемой в ходе проведения пусков РКТ. Использование восстановленной ТМИ при формировании единого группового телеметрического сигнала (ЕГТС) позволяет практически полностью устранить участки потерь информации.

3. Разработанный алгоритм восстановления структуры телеметрической информации БРТС «Орбита-IVМО» может быть внедрен в состав программно-математического обеспечения МПРС, что позволит значительно повысить полноту и качество регистрируемой телеметрической информации без применения дополнительных аппаратно-программных и математических средств.

Литература

1. Аппаратура бортовая «Орбита-IVМО». Руководство по эксплуатации. Часть 1. ЯГАИ.460800.01 РЭ. ФГУП ОКБ МЭИ, 2002.

**Поддержка выбора выпускниками оптимального направления
профессиональной деятельности**

О.М. Полещук, д.т.н., Е.Г. Комаров, д.т.н., Тумор С.В.,

Московский государственный технический университет им. Н.Э.Баумана

poleshchuk@mgul.ac.ru komarov@mgul.ac.ru

Под оптимальностью направления профессиональной деятельности выпускника понимается максимальное соответствие его характеристик требованиям экспертов (работодателей). Формализация характеристик выпускников и требований экспертов осуществляется на основе нечетких множеств. Нечетким множеством $\tilde{A}$ называется множество пар вида $\{(x, \mu_{\tilde{A}}(x)): x \in X\}$, $\mu_{\tilde{A}}(x): X \rightarrow [0,1]$ [1].

Оценка профессиональной подготовки производится на основе анализа успеваемости студента за все время обучения в вузе по фундаментальной, общепрофессиональной и специальной подготовкам, а также по личностным характеристикам и компонентам интеллекта.. Для формализации всех характеристик выпускников предлагается использовать методы, разработанные в [2].

Рассмотрим успеваемость N выпускников по дисциплинам с названиями X_j , $j = \overline{1, k}$. Построим лингвистическую переменную с названием X_j и термножеством «удовлетворительно», «хорошо», «отлично». Обозначим через $\mu_{1j}(x)$ функцию принадлежности нечеткого числа $\tilde{X}_{1j}$, соответствующего терму «удовлетворительно», через $\mu_{2j}(x)$ функцию принадлежности нечеткого числа $\tilde{X}_{2j}$, соответствующего терму «хорошо» и через $\mu_{3j}(x)$ функцию принадлежности нечеткого числа $\tilde{X}_{3j}$, соответствующего терму «отлично». Наряду с оценками «удовлетворительно», «хорошо», «отлично» будем также называть оценками выпускников формализации оценок «удовлетворительно», «хорошо», «отлично», то есть нечеткие числа $\tilde{X}_{lj}$, $l = \overline{1, 3}$, $j = \overline{1, k}$ или их функции принадлежности $\mu_{lj}(x)$, $l = \overline{1, 3}$, $j = \overline{1, k}$. Обозначим через $\tilde{X}_j^n$ и $\mu_j^n(x) \equiv (a_{j1}^n, a_{j2}^n, a_{jL}^n, a_{jR}^n)$, $n = \overline{1, N}$, $j = \overline{1, k}$, оценку n -го выпускника в рамках дисциплины X_j . Очевидно, что нечеткое число $\tilde{X}_j^n$ с функцией принадлежности $\mu_j^n(x)$ равно одному из нечетких чисел $\tilde{X}_{lj}$, $l = \overline{1, 3}$, $j = \overline{1, k}$.

Аналогично построению лингвистической переменной в рамках дисциплины X_j построим $k-1$ лингвистическую переменную в рамках остальных дисциплин. Обозначим весовые коэффициенты рассматриваемых дисциплин через $\omega_j, j = \overline{1, k}$,

$$\sum_{j=1}^k \omega_j = 1.$$

Нечеткая рейтинговая оценка n -го выпускника, $n = \overline{1, N}$ в рамках его профессиональной подготовки $X_j, j = \overline{1, k}$ определяется в виде нечеткого числа

$$\tilde{A}_n = \omega_1 \otimes \tilde{X}_1^n \oplus \dots \oplus \omega_k \otimes \tilde{X}_k^n$$

с функцией принадлежности

$$\mu_n(x) \equiv \left(\sum_{j=1}^k \omega_j a_{j1}^n, \sum_{j=1}^k \omega_j a_{j2}^n, \sum_{j=1}^k \omega_j a_{jL}^n, \sum_{j=1}^k \omega_j a_{jR}^n \right), n = \overline{1, N}$$

Аналогично строятся рейтинговые оценки в рамках характеристик интеллекта и личностных характеристик выпускников. В качестве примера экспертных требований можно привести следующее высказывание: «Не очень важны показатели успеваемости, важны характеристики интеллектуального развития, очень важны личностные характеристики». Для формализации нечетких требований экспертов (нечеткость появляется из-за использования экспертами слов естественного языка) необходимо формализация уровней (лингвистических термов) «совсем не важны», «довольно не важны», «не очень важны», «довольно важны», «важны», «очень важны». Эти уровни расположены в порядке возрастания интенсивности проявления важности. С этой целью используются нечеткие числа $\tilde{D}_1, \dots, \tilde{D}_6$, без ограничения общности, со следующими функциями принадлежности [3]:

$$\begin{aligned} \mu_1(x) &\equiv (0, 0, 0.2), \mu_2(x) \equiv (0.2, 0.2, 0.2), \\ \mu_3(x) &\equiv (0.4, 0.2, 0.2), \mu_4(x) \equiv (0.6, 0.2, 0.2), \\ \mu_5(x) &\equiv (0.8, 0.2, 0.2), \mu_6(x) \equiv (1, 0.2, 0). \end{aligned}$$

Будем предполагать, что нечеткие требования экспертов (работодателей) сформулированы в рамках I^* направлений будущей деятельности выпускников.

Нечеткие рейтинговые оценки профессиональной подготовки выпускников, их интеллектуального развития и личностных характеристик обозначим соответственно через $\tilde{A}_n, n = \overline{1, N}$, $\tilde{B}_n, n = \overline{1, N}$ и $\tilde{C}_n, n = \overline{1, N}$. Тогда в соответствии с экспертным мнением относительно важности характеристик нечеткое число $\tilde{R}_n^i$ может быть

рейтинговой оценкой n -го выпускника в рамках i -го направления его профессиональной деятельности и определяться, не ограничивая общности, следующим образом :

$$\tilde{R}_n^i \equiv \tilde{D}_{1i} \otimes \tilde{A}_n \oplus \tilde{D}_{2i} \otimes \tilde{B}_n \oplus \tilde{D}_{3i} \otimes \tilde{C}_n, \quad n = \overline{1, N}, i = \overline{1, r}.$$

Нечеткие числа $\tilde{D}_{1i}, \tilde{D}_{2i}, \tilde{D}_{3i}$ равны одному из нечетких чисел $\tilde{D}_1, \dots, \tilde{D}_6$.

Обозначим функцию принадлежности нечеткого числа $\tilde{R}_n^i$ через $\mu_n^i(x)$. Рейтинговые оценки для других направлений профессиональной деятельности выпускников находятся аналогично в соответствии с экспертными высказываниями. Таким образом, мы можем получить рейтинговые оценки $\tilde{R}_n^i, n = \overline{1, N}, i = \overline{1, r}$ для каждого выпускника в рамках каждого из направлений его будущей профессиональной деятельности.

Обозначим через $\mu_i(n), n = \overline{1, N}, i = \overline{1, r}$ функции принадлежности соответствия характеристик выпускников требованиям экспертов по рассматриваемым направлениям деятельности.

Если $\sup_n x : \mu_n^i(x) = 1, n = \overline{1, N}$ принадлежит к $\tilde{R}_k^i(x)$, тогда k -ый выпускник считается типичным представителем i -го направления профессиональной деятельности и считается, что $\mu_i(k) = 1$.

Степени принадлежности $\mu_i(n), n = \overline{1, N}, n \neq k$ других выпускников к этому направлению находятся следующим образом:

$$\mu_i(n) = \max_x \min(\mu_n^i(x), \mu_k^i(x)).$$

Если существует несколько типичных представителей i -го направления профессиональной деятельности, например это выпускники $k_1, k_2, \dots, k_p$, тогда находим степени принадлежности $\mu_i^l(n), l = \overline{1, p}, i = \overline{1, r}, n = \overline{1, N}, n \neq k_l$ других выпускников к i -му направлению на основе каждого из типичных представителей [4]:

$$\mu_i^l(n) = \max_x \min(\mu_n^i(x), \mu_{k_l}^i(x)),$$

а потом выбираем максимальную из них:

$$\mu_i(n) = \max_l \mu_i^l(n), n = \overline{1, N}, n \neq k_l, l = \overline{1, p}.$$

Пример. В качестве примера были определены нечеткие рейтинговые оценки пяти выпускников и занесены в таблицу 1.

Таблица 1. Рейтинговые оценки выпускников.

Выпускники	1	2	3	4	5
Нечеткие рейтинговые оценки успеваемости	0.426	0.487	0.519	0.674	0.709
	0.532	0.568	0.686	0.747	0.839
	0.113	0.109	0.106	0.088	0.132
	0.097	0.058	0.113	0.128	0.145
Нечеткие рейтинговые оценки компонент интеллекта	0.312	0.271	0.341	0.498	0.613
	0.376	0.342	0.396	0.539	0.698
	0.114	0.094	0.029	0.126	0.115
	0.204	0.126	0.095	0.103	0.118
Нечеткие рейтинговые оценки личностных характеристик	0.574	0.468	0.602	0.732	0.635
	0.598	0.488	0.625	0.768	0.687
	0.104	0.112	0.109	0.096	0.116
	0.136	0.142	0.134	0.094	0.211

Отбор выпускников производился в рамках четырех направлений деятельности. Для каждого из направлений экспертами были сформулированы требования, обеспечивающие профессиональную успешность претендентов: X_1 - Очень важны показатели успеваемости, очень важны показатели познавательных психофизиологических характеристик и совсем неважны показатели личностных качеств; X_2 - Не очень важны показатели успеваемости, довольно важны показатели познавательных психофизиологических характеристик и очень важны показатели личностных качеств; X_3 - Довольно неважны показатели успеваемости, важны показатели познавательных психофизиологических характеристик и довольно неважны показатели личностных качеств; X_4 - Совсем неважны показатели успеваемости, довольно важны показатели познавательных психофизиологических характеристик и важны показатели личностных качеств. Степени соответствия характеристик выпускников сформулированным требованиям экспертов по четырем направлениям деятельности занесены в таблицу 2.

Таблица 2. Степени соответствия выпускников.

	1	2	3	4
1	0.53	0.61	0.77	0.79
2	0.45	0.76	0.68	0.66
3	0.73	0.85	0.82	0.83
4	0.96	1	1	1
5	1	1	0.98	1

На основании проведенного анализа выпускнику № 1 рекомендовано направление X_4 , выпускнику № 2 рекомендовано направление X_2 , выпускнику № 3 направление X_2 , выпускнику № 4 направления X_2 , X_3 , X_4 , а выпускнику № 5 направления X_1 , X_2 , X_4 .

Таким образом, разработанная модель позволяет не только рекомендовать каждому из выпускников оптимальное направление дальнейшей деятельности, но и ранжировать выпускников в рамках всех рассматриваемых направлений.

Литература

1. Zadeh L. A. Fuzzy sets // Inform. And Control. - 1965. - №8. - P. 338 - 352.
2. Poleshchuk O., Komarov E. Expert Fuzzy Information Processing. Studies in Fuzziness and Soft Computing. 2011. Т. 268. С. 1-239.
3. Аверкин А.Н., Батыршин И.З., Блишун А.Ф., Силов В.Б., Тарасов В.Б. Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта.- М.: Наука. Гл. ред. физ-мат. лит., 1986.- 312 с.
4. Домрачев В.Г., Полещук О.М., Ретинская И.В. Прогнозирование показателей качества образовательных услуг на основе успеваемости // Качество. Инновации. Образование. - 2002. - № 4.- С. 49.
5. Полещук О.М. Некоторые подходы к моделированию системы управления образовательным процессом // Телекоммуникации и информатизация образования. - 2002. - № 3. - С. 4.

Дистанционное управление антеннами НПО ИТ – существующая практика и перспективы

А.В. Товпеко,

Филиал АО «РКЦ «Прогресс» – ОКБ «Спектр»

4370@spectr.ryazan.ru

Автоматизация управления измерительными средствами в настоящее время является одним из важнейших направлений, по которым развиваются испытательные полигоны. Средства дистанционного контроля аппаратуры становятся всё более востребованными. Имеется ярко выраженная тенденция по автоматизации и централизации задач управления полигонным измерительным комплексом. Организационно это обусловлено стремлением перенести задачи квалифицированных специалистов с периферийных площадок в центры, а технически – повсеместным развитием сетей передачи данных, которые становятся достаточными для реализации массы новых функций, в том числе телеуправления.

Радиотелеметрические антенны не стали исключением – за прошедшие несколько лет проведено несколько результативных НИОКР, по которым было успешно апробировано дистанционное управление телеметрическим комплексом в обеспечении лётных экспериментов. Сформирована сложная кооперация предприятий, в которой на ОКБ «Спектр» возложено создание АРМ управления для вычислительных центров, а на НПО ИТ – автоматизация антенных систем. Прежде всего следует выделить два изделия НПО ИТ, на которых управление было испытано – это антенна интегрированного телеметрического комплекса с фазированной решёткой, созданного в ОКР «Интерлюдия» (АК ИТМК), а также система АП-4, контроль которой проработан в рамках ОКР «Перспектива-ПИК». Далее рассматриваются достигнутые результаты, и проводится анализ возможных путей развития этого направления работ, на который должен быть устойчивый спрос в будущем.

Одним из основных отличительных свойств технических решений, принятый ОКБ «Спектр», является разработанный Протокол управления. Протокол создавался не менее двух лет, а при его подготовке проводились консультации с несколькими ведущими предприятиями. Помимо НПО ИТ, это были ОКБ МЭИ (г.Москва) и ФНПЦ «НИИИС им. Седакова» (г.Нижний Новгород), которые анализировали документ на предмет возможной совместимости с антеннами собственного производства. Важную составляющую внёс НИЦ СПб ЭТУ (г.Санкт-Петербург), сделав ценные предложения о способе формирования сообщений. Рекомендации КБ «Кунцево» (г.Москва) были взяты за основу управления и мониторинга фазированных антенных решёток. Тот значительный труд, который вложен в создание Протокола, направлялся на одну главную цель – сделать его максимально универсальным по всем возможным вариантам, которые могут встречаться в антеннах различных поставщиков. Любая команда или запрос состояния применительно к антенным постам должна выражаться языком сообщений Протокола, будь то портативный вариант типа МАС-3 или тяжёлая сложная система АК ИТМК. Выбранное средство сериализации – Google protocol buffers –

обеспечивает возможность дополнять состав и структуру сообщений Протокола с сохранением информационной совместимости старых и новых приёмников и передатчиков посылок. Это свойство открывает такие возможности, как создание специализированных расширений поверх базового Протокола, которые могли бы реализовываться подгружаемыми программными модулями (plug-in) под новые объекты управления со своим узкоспециализированным составом команд и запросов поверх базовой программы управления. Сейчас можно констатировать, что предложенный ОКБ «Спектр» и согласованный пятью организациями Протокол действительно может быть применён для управления многими имеющимися в эксплуатации антеннами. Но до внедряемых в серию решений, на данном этапе развития дошли две системы НПО ИТ.

Первый объект, на котором был опробовано специальное программное обеспечение управления – это АК ИТМК, развёрнутый на Космодроме «Плесецк». АК ИТМК – оригинальная, в некотором смысле революционная, антенна на основе фазированной решётки, в которую заложены такие редкие функции, как автоматический поиск помех, поиск объекта по характеристикам спектра радиосигнала, формирование адаптивных нулей диаграммы направленности для огибания стационарных источников помех и др. На примере АК ИТМК были отработаны все основополагающие режимы управления. Среди них «таблица целеуказаний» с коррекцией по каналу автосопровождения, «переброс» – выход на указанные углы с максимальным ускорением, «вращение» – пробные повороты в заданном направлении с ограничением оборотов привода, «автосопровождение» с таблицей приоритетов нескольких наблюдаемых целей, «оценка радиообстановки». Здесь же были предусмотрены различные сценарии диагностирования – алгоритмы анализа сообщений для оценки состояния с оперативной выдачей заключения по антенне и по каналу связи с ней. В конечном итоге задача дистанционного управления АК ИТМК успешно реализована, и сейчас контроль над антенной может осуществляться не только на площадке, где она установлена, но и в подразделении сбора и обработки телеметрической информации центра (в десятках километров от самой антенны). Следует заметить, что работа над АК ИТМК объединило в общий продукт множество решений в нескольких областях – от протокола обмена до графики визуализации, от защиты канала контроля до специальной диагностики работоспособности.

Второй антенной, на которой экспериментально апробированы наши подходы управления, стала система АП-4, установленная на Полигоне «Капустин-Яр». АП-4 по синтаксическому составу команд проще АК ИТМК. Условно, это функциональный аналог известной распространённой системы «Жемчуг», не имеющий модуля автосопровождения, фазированной решётки и, следовательно, того круга специализированных задач, которые обеспечивались бы ими. Управление АП-4 фактически ограничивается поворотами и диагностикой, а его сообщения являются подмножеством более общего Протокола для АК ИТМК. Однако именно на примере АП-4 совместно с НИЦ СПб ЭТУ была испытана важнейшая составляющая автоматизации – оперативная корректировка целеуказаний в реальном времени. Оперативная корректировка заклю-

чается в том, что система баллистико-навигационного обеспечения в темпе поступления измерительной информации (в том числе радиотелеметрии от этих же антенн) рассчитывает для заданных постов углы позиционирования. По мере наступления траекторных отклонений (или отличий фактического времени старта от планового) скорректированные целеуказания всё больше отличаются от предустановленных априорных, иногда – на величины, сопоставимые с шириной диаграммы направленности. Оперативная рассылка целеуказаний предотвращает те случаи, когда отклонения, вызвавшие выход объекта из плановых секторов обзора антенн, не могут быть парированы автосопровождением по мощности сигнала. Для траекторий с участками срыва приёма коррекция через вычислительный центр, собирающий траекторные измерения от различных средств нескольких пунктов – это более надёжный вариант, чем полагаться на собственный автопоиск антенны. Другой важный результат по АП-4 – полноценная реализация обоих базовых подходов к дистанционному управлению:

- программного – предопределённого известной трассой и временем старта;
- директивного – с возможностью вмешательства пользователя в случае отклонений или нештатных ситуаций непосредственно в процессе сеанса.

ОКБ «Спектр» была реализована единая среда контроля, позволяющая силами одного оператора на одном АРМ контролировать несколько объектов одновременно (в том числе и несколько антенн). При этом среда предоставляет декомпозицию работ от измерительных пунктов к конкретным антеннам и от общих заданий к отдельным операциям, где на каждом из уровней пользователь может ввести свои коррективы как до, так и во время натурной работы.

Другое отличительное свойство задела ОКБ «Спектр» – активное использование трёхмерной графики для визуализации измерительных постов. Помимо тривиальных таблиц и диаграмм азимута-возвышения, пользователю предложены наглядные модели поворотов с трассировкой направлений, отображением диаграммы направленности и множеством настроек представления. Чтобы результирующие экранные формы выглядели современно и красиво, применены векторные изображения (3ds) и текстуры, сменные фоновые окружения сцены и др.

Поводя общий итог для двух разных ОКР можно уверенно констатировать следующее:

- АРМ управления и объекты контроля действительно получились совместимыми (несмотря на технические отличия самих изделий и несмотря на то, что программирование осуществлялось на разных платформах – AstraLinux для АК ИТМК и БИЗКТ МСВС для АП-4);
- выбранная структура Протокола и приложений способствует возможности наращивания сообщений и их атрибутов (команды АП-4 как подмножество АК ИТМК);
- выбранный состав режимов, команд, запросов и опций соответствует всей полноте настройки антенных систем, предлагаемых НПО ИТ. Расширяя область применения, Протокол может быть распространён не только на радиотелеметрию, но и на

радары, антенны связи и прочую «периферийную» технику на основе опорно-поворотных механизмов.

Рассмотрим, что же препятствует повсеместному внедрению данной технологии – почему за несколько лет исследований и разработок задача получила прикладное решение всего в двух системах. Даже при всей очевидности положительного эффекта и при наличии готовых, проработанных на практике, решений имеются три объективные проблемы организационно-технического характера:

- 1) существование действий, не подлежащих автоматизации;
- 2) надёжность и информационная безопасность дальних каналов;
- 3) противоречия со структурой эксплуатирующих организаций.

Первое препятствие заключается в том, что измерительные пункты не могут стать полностью безлюдными, по крайней мере, на современном этапе развития измерительных средств. Остаются операции типа технического обслуживания или проверки, которые требуют участия инженеров (не техников, а специалистов) на месте. Возникает дилемма – если перед ответственными работами испытатель вынужден лично прибыть на площадку, так ли востребован дистанционный контроль? Вывод, который мы должны извлечь из первой проблемы – одновременно с внедрением управления должно упрощаться обслуживание антенн и их подготовка к работе. Вторая проблема – устойчивость и защита информационной сети – вполне решаема технически. С точки зрения пропускной способности для комфортного управления и мониторинга антенны достаточно не более 0.3 Мбит/с (при обязательном минимуме 0.1 Мбит/с), что делает пригодной практически любую современную сеть. Тем не менее, инфраструктура многих трассовых пунктов не готова в данный момент к внедрению управления, и требует если не обновления средств дальней связи, то организации защищённых тоннелей VPN, чтобы в открытые каналы типа спутниковой или радиосвязи не мог войти злоумышленник. Третья проблема – сугубо субъективная. Централизацию управления могут рассматривать не только в свете оптимизации труда, но и в русле соответствия существующей оргструктуре, которая может включать множество штатных единиц на «периферии». Иными словами, это препятствия, не зависящие от техники, и которые связаны с невозможностью реорганизации эксплуатирующих организаций в ближайшее время.

Кроме указанных проблем, имеется острый вопрос об унификации средств управления. Идея телемеханики антенн не является новой, и ряд разработчиков предусмотрел такую возможность ранее самостоятельно, создав собственные протоколы и собственные программы контроля. Данные индивидуальные решения не универсальны и не совместимы с созданными АРМ от ОКБ «Спектр», которые в ближайшем будущем ставятся на серийное производство. Имеющийся задел, созданный совместными усилиями ОКБ «Спектр» и НПО ИТ, должен рассматриваться как расширяемая основа для управления всеми антеннами, как общий базис команд и запросов, который потенциально может быть расширен под специализированные функции и опции без потери совместимости со специальным программным обеспечением АРМ управления. Именно возможность функционального наращивания – это ключ к тому,

чтобы принять отработанные на АК ИТМК и АП-4 решения за основу. Предлагается рассмотреть возможность отраслевой стандартизации созданного Протокола управления, наиболее важным итогом которой стала бы рекомендация поддержки универсального Протокола во всех вновь создаваемых и модернизируемых антенных системах. При этом оригинальные протоколы сохраняют право на существование и самостоятельное развитие, они вполне могут применяться в своей нише – например, на объектах, куда универсальные АРМ управления, поставляться не смогут. Стандартизация – это не только расширение области применения АРМ управления, от поддержки универсального Протокола имеются плюсы для самих разработчиков антенн:

- совместимость с серийными комплексами средств автоматизации ОКБ «Спектр» и, как следствие, возможность поставки антенн в состав автоматических измерительных пунктов на объектах Минобороны России, возможность управления несколькими антеннами на нескольких площадках от единого пункта управления измерительным комплексом;

- возможность использования готового кроссплатформенного программного обеспечения управления вместо трудоёмкой разработки и испытаний собственных средств.

Сделаем выводы о текущем состоянии и перспективах в области управления антеннами:

- 1) действующий задел для дистанционного управления антеннами в программном и директивном режиме создан и успешно апробирован в изделиях ОКБ «Спектр» и НПО ИТ;

- 2) повсеместное внедрение управления на испытательные полигоны очень актуально, но ему препятствуют ряд организационных причин, в том числе проблема унификации;

- 3) вопрос унификации может быть разрешён отраслевой стандартизацией, по результатам которой могли бы быть сформированы технические рекомендации для поддержки универсального Протокола серийных АРМ управления в новых антенных системах (как радиотелеметрических, так и других – радарных, связных и т.д.)

Стенд для измерения расхода воздуха через подвес гироскопических приборов

И.С. Ишуткин,

АО «НИИ командных приборов»

ishytinho777@gmail.com

При использовании приборов с воздушным подвесом в рамках заводских испытаний необходимо измерение расхода воздуха через подвес – параметра, который определяет режим работы подвеса. Режим работы должен быть оптимальным для получения наилучших характеристик подвеса. Для определения расхода через подвес разработана схема стенда с использованием наиболее современных высокоточных контрольно-измерительных приборов. Разработанный стенд выводит информацию об измеряемых датчиками давления и расходомерами величинах на компьютер. Стабилизация входного и выходного давлений осуществляется при помощи следящих систем регулирования с обратными связями, при этом регулятор реализован в виде компьютерной программы. Использование систем автоматического регулирования (САР) с обратными связями, поддерживающих давление на входе подвеса и выходе расходомера, позволяет отказаться от вносящих существенные погрешности и требующих дополнительного измерительного оборудования формул учёта атмосферных условий, при которых производится измерение. При помощи указанных систем условия работы подвеса при измерении максимально приближены к существующим в гироскопическом комплексе. Схема стенда разработана для проведения проверки как отдельных приборов, так и всего набора гироскопических приборов комплекса.

На рисунке 1 представлена принципиальная схема стенда измерения расхода через воздушные подвесы.

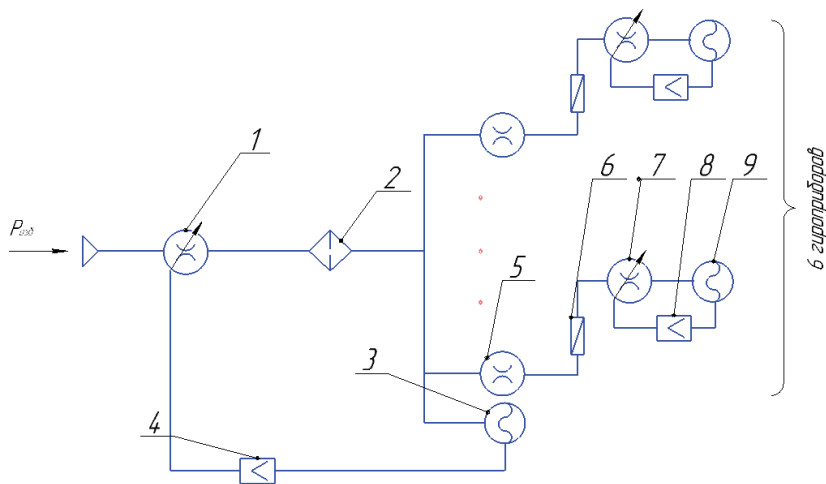


Рис. 1. Принципиальная схема стенда измерения расхода через воздушные подвесы

На схеме изображены:

- 1, 7 – Гидравлический дроссель с регулятором давления
- 2 – Фильтр тонкой очистки
- 3, 9 – Датчики дифференциального давления с обратной связью
- 4, 8 – Усилительно-преобразовательное устройство
- 5 – Гироприборы
- 6 – Расходомеры

Разработан стенд измерения расхода воздуха через воздушный подвес гироскопических приборов с автономным регулированием давления посредством системы автоматического регулирования (САР) на входе в гироприборы и на выходе с измерителя расхода, что позволяет не зависеть от изменений атмосферного давления. В разработанном стенде использованы новейшие тепловые измерители расхода воздуха. Все выше перечисленные внедрения обеспечивают высокоточный контроль расхода воздуха через гироприборы.

Результаты эскизного проектирования силового гироскопического комплекса для бортовых систем ориентации и стабилизации перспективных орбитальных и межпланетных российских станций

Е.О. Андreyшин, В.В. Чудаков, Д.С. Немцов,

АО «НИИ командных приборов»

info@niicom.ru

В рамках Федеральной космической программы России на 2016-2025 гг. АО «НИИ командных приборов» в 2016-2017 гг. были выполнены работы по первому этапу СЧ ОКР «Гироскоп-2025» (СГК) – разработка эскизного проекта СГК тяжелого класса.

СГК входит в состав системы управления движением космического аппарата (КА) и предназначен для создания управляющего момента посредством принудительного поворота гиromотора (ГМ) вокруг оси вращения подвеса в соответствии с управляющим кодом, поступающим из бортового цифрового вычислительного комплекса, и обеспечивает совместно с другими исполнительными органами заданную ориентацию КА.

СГК с кинетическим моментом 2000 Н·м·с впервые разрабатывается в истории современной России. Актуальность работы продиктована длительными сроками разработки, отработки и изготовления СГК в сравнении с подавляющим количеством аппаратуры служебных систем орбитальных станций, а также необходимостью решения ряда технологических проблем производства тяжелых СГК.

СГК состоит из силового гироскопического прибора (СГП), представленного на рисунке 1 и электронного прибора (ЭП), представленного на рисунке 2.

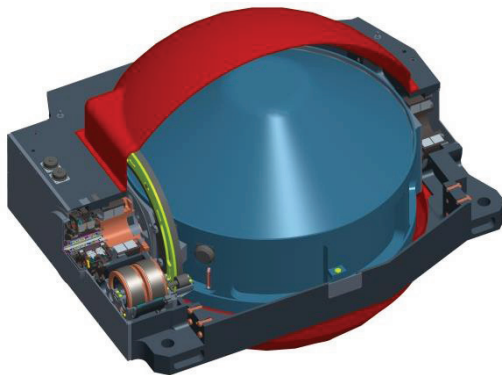


Рисунок 1. Вид силового гироскопического прибора СГК



Рисунок 1. Вид электронного прибора SGK

СГП входит в состав SGK в качестве электромеханического исполнительного органа и предназначен для создания управляющих гироскопических моментов, пропорциональных сигналам управления, поступающим из электронного прибора (ЭП) и соответствующим угловому коду скорости, а также выдачи в ЭП кода угла поворота подвеса ГМ.

Состав СГП:

- гиromотора;
- устройства контактного;
- датчика угла;
- редуктора;
- двигателя исполнительного электропривода;
- преобразователя электронного.

Основные технические характеристики СГП:

- габаритные размеры – (654 x 1135 x 686) мм;
- масса – 148 кг;
- ресурс – 150 000 ч;
- скорость вращения ротора ГМ – 7500 об/мин;
- условия эксплуатации – группа 5.3 по ГОСТ РВ 20.39.304-98;
- элементная база – ОП.

ЭП SGK предназначен для выдачи команд управления в СГП, поступающих из БЦВК, а также выдачи ТМ-информации о состоянии параметров устройств SGK и состоит из:

- блока сопряжения с БЦВК (БС);
- блока управления двигателем гиromотора (БУД);
- блока управления исполнительным электроприводом (БУП).

Основные технические характеристики ЭП:

габаритные размеры – (340 x 228 x 180) мм;

масса – 10 кг;

ресурс – 150 000 ч;

условия эксплуатации – группа 5.3 по ГОСТ РВ 20.39.304-98;

напряжение питания постоянного тока 100 ± 2 В;

элементная база – ОП.

Безусловно, создание такого СГК современного уровня требует значительных затрат ресурсов: трудовых, финансовых, временных и управленческих, существенно превышающих сложившуюся практику создания СГК.

Основными проблемными вопросами создания такого СГК являются:

1) обеспечение ресурса СГК (150 000 ч);

2) разработка ЭП с напряжением питания постоянного тока 100 ± 2 В;

3) необходимость существенного дооснащения производственной и экспериментальной баз для изготовления и испытаний СГК и его составных частей.

Результаты СЧ ОКР могут быть использованы при создании российской орбитальной или межпланетной станции (РОС), наличие СГК такого класса в составе которой является необходимым.

Доработка методики калибровки углоизмерительных каналов и каналов измерителей линейного ускорения с учетом циклограммы изменения температуры в реальных условиях

С.В. Лазаренко, О.И. Лазаренко,

АО «НПО ИТ»

sergei.lazarenko@mail.ru

В 2018 г. на экспериментальной базе АО «НПО ИТ» были проведены испытания с целью проверки эффективности примененных в программно-математическом обеспечении прибора БИБ ФГ дополнительных алгоритмических компенсаций температурных погрешностей углоизмерительных каналов и каналов измерителей линейного ускорения. Эти компенсации были введены после их дополнительной калибровки по доработанной методике с учетом циклограммы изменения температуры в реальных условиях.

Доработанная методика калибровки включала в себя следующие дополнительные операции:

- проведение верификации результатов калибровки нулевых сигналов углоизмерительных каналов в диапазоне температур от минус 20 до 60°C шагом 5°C;
- проведение верификации результатов калибровки масштабных коэффициентов в диапазоне температур от минус 20 до 60°C шагом 5°C;
- проведение верификации результатов калибровки нулевых сигналов с учетом циклограммы изменения температуры в реальных условиях.

По итогам этой докалибровки были получены следующие выводы для углоизмерительных каналов и каналов измерителей линейного ускорения:

- а) Отсутствует необходимость введения дополнительных алгоритмов для компенсации температурных погрешностей масштабных коэффициентов.
- б) Необходимо ввести дополнительные алгоритмы компенсации температурных погрешностей нулевых сигналов в программно-математическое обеспечение прибора БИБ ФГ.

После введения алгоритмов компенсации погрешностей нулевых сигналов были проведены испытания в термокамере. В ходе испытаний были получены следующие результаты:

- значения нулевых сигналов углоизмерительных каналов и каналов измерителей линейного ускорения, рассчитанные за время линейного изменения температуры, лежат в пределах допустимых значений;
- значения нестабильности нулевых сигналов углоизмерительных каналов за время интенсивного нагрева лежат в пределах допустимых значений;
- значения нестабильности выходных сигналов по каналам измерителей линейного ускорения за время интенсивного нагрева лежат в пределах допустимых значений.

В соответствии с полученными в ходе испытаний прибора БИБ ФГ результатами можно сделать вывод об эффективности доработанной методики калибровки углоизмерительных каналов и каналов измерителей линейного ускорения с учетом циклограммы изменения температуры в реальных условиях.

Анализ, повышение долговечности радиоэлектронной аппаратуры

Р.В. Скворцов., А.П. Мороз., д.т.н.,

АО "НПО ИТ"

roma154@rambler.ru

Одной из приоритетных задач бортовых радиотелеметрических средств (РТС) ракет-носителей (РН) и разгонных блоков (РБ) является контроль и обеспечение заданной долговечности прибора. Контроль – это одна из основных функций системы управления. Долговечность – это свойство объекта сохранять работоспособное состояние в течение заданного времени или отработки. В совокупности два этих свойства обеспечивают заданную надежность БРТС.

Основным компонентом РЭА являются печатные платы (ПП) с электрорадиоизделиями (ЭРИ), соединенными между собой слоями проводников. В РЭА используются односторонние (ОПП), двухсторонние (ДПП), многослойные печатные платы (МПП). В качестве объекта исследования были взяты многослойные печатные платы, т.к. они являются более востребованными для РЭА [1].

Уровень надежности МПП по показателю «долговечность» в ряде случаев не соответствует нормативному требованию (20 лет), установленному ГОСТом 23752.79 «Платы печатные. Общие технические условия». В связи с этим большинство отказов бортовых РТС происходит из-за отказов МПП. В настоящее время не в полной мере обеспечивается контроль и долговечность МПП на этапах изготовления и эксплуатации [2]. Причинами этого являются:

устаревшие технологии не в полной мере обеспечивают заданное качество, надежность долговечность изготовления печатных плат;

недостаточная компетентность в выборе оборудования по плану технического перевооружения, что обуславливает очень большой стоимостью оборудования и незнанием для каких основных задач предназначено.

Для достижения поставленной цели и решения научной задачи проведены исследования по следующим направлениям:

1. Анализ результатов применения МПП бортовых РТС РН и РБ. Определены основные виды возникновения отказов МПП в процессе эксплуатации бортовой РЭА. Проанализированы известные методы повышения долговечности МПП бортовой РЭА.

2. Разработана методика оценки фактической долговечности МПП и алгоритм определения технологических процессов их изготовления, оказывающих наибольшее влияние на интенсивность потока отказов МПП в процессе гарантийного срока эксплуатации.

3. Разработана методика оценки направлений повышения долговечности МПП, основанная на сопоставлении ожидаемой прибыли до и после реализации мероприя-

тий по совершенствованию технологических процессов изготовления МПП для устранения причин возникновения их отказов.

В дальнейшем планируется разработать алгоритм, программу для оперативного расчета методик, а также разработать практические рекомендации по реализации оптимальных направлений повышения долговечности МПП.

Литература

1. Сковрцов Р.В., Мороз А.П. Методический аппарат оценки надежности и определения приоритетных направлений повышения долговечности многослойных печатных плат бортовой РЭА для ракет-носителей и разгонных блоков. Стр.60-68. Информационно-технологический вестник. Том 6, номер 4. Изд-во Технологический университет (Королев).

2. Сковрцов Р.В., Мороз А.П. Математический аппарат по повышению долговечности многослойных печатных плат бортовой РЭА для ракет-носителей и разгонных блоков // Качество в производственных и социально-экономических системах: сборник научных трудов 3-й Международной научно-технической конференции (28 - 29 апреля 2015 года) / редкол.: Павлов Е.В. (отв. ред.); ЮгоЗап. гос. ун-т., Курск, 2015. 203 с. С.148-153. 2015 г.

3. ГОСТ 23752-79 Платы печатные. Общие технические условия, С.32. Издательство стандартов.

Проектирование фильтров низких частот для повышения спектральной эффективности сигналов с частотной и фазовой манипуляцией

А.М. Анненков,

АО "НПО ИТ"

aannenkov@yahoo.com

При организации радиоканалов передачи телеметрической информации в настоящее время рекомендованы к применению частотная манипуляция с непрерывной фазой (ЧМнНФ) и фазовая манипуляция (ФМн). Для обеспечения узкой полосы пропускания модулированных сигналов требуется применение предварительных сглаживающих фильтров. Согласно нормативным документам комитета CCSDS обеспечить требуемые характеристики радиосигналов позволяют сглаживающие фильтры Гаусса для модуляции ЧМнНФ и фильтры Баттерворта для модуляции ФМн.

Вследствие необходимости увеличения пропускной способности радиоканалов за счет информативности передаваемых сигналов становится актуальной задача проектирования предварительных сглаживающих фильтров. Необходима детальная проработка всех вопросов, сопровождающих процесс разработки и проектирования фильтров для различных скоростей передачи информации. Применение сглаживающих фильтров обусловлено необходимостью уменьшения занимаемой полосы скруглением фронтов модулирующих сигналов. Степень скругления и скорость следования импульсов являются ключевыми параметрами при проектировании.

Основная задача состоит в моделировании параметров сглаживающих фильтров, применяемых в радиоканалах передачи телеметрической информации с максимальной в настоящее время информативностью 4 Мбит/с.

Для обеспечения надежности принятых технических решений было проведено предварительное математическое моделирование исследуемых сигналов с целью получения исходных данных. При проведении математического моделирования была применена система САПР VisSim 7.0.

При отсутствии сглаживающих фильтров вследствие мгновенного переключения значений модулирующего сигнала вида $[-1; +1]$ (без возврата к нулю) обладают спектральными характеристиками, не удовлетворяющими требованиям международных стандартов.

Для исключения возможных ошибок, сопряженных с отработкой макетов, посредством применения САПР Filter Solutions было проведено предварительное проектирование топологий исследуемых фильтров низких частот.

В результате отработки макетов были подтверждены заложенные при проектировании частотные характеристики исследуемых фильтров. Таким образом, сглаживающие фильтры в тракте формирования модулированных сигналов понижают занимаемую полосу частот и позволяют по уровню минус 60 дБ (от максимума спектральной плотности мощности) достигать ширины полосы порядка $3 \cdot R$, где R – скорость передачи информации.

Литература

1. Феер К. Беспроводная цифровая связь. -М.: Радио и связь, 2000г.
2. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. Изд. 2-е, испр.: Пер. с англ. -М.: Издательский дом «Вильямс», 2003 г. – 1104с.
3. Анненков А.М. Анализ помехоустойчивости телеметрических сигналов. Журнал «Вестник МАИ», № 2, 2011 г., стр. 175-179.
4. Анненков А.М. Анализ совместимости требований отечественных и зарубежных стандартов современной телеметрии по видам модуляции. Журнал «Электро-связь», № 9, 2010 г., стр. 51-53.
5. Анненков А.М., Юдин В.Н. Формирование и передача телеметрических сообщений. Журнал «Информационно-измерительные и управляющие системы», № 9, 2011 г.
6. Telemetry Standard RCC Document 106-13.
7. CCSDS 401.0-B Blue Book. Radiofrequency and modulation systems. 2008.
8. CCSDS 413.0-G Green Book. Bandwidth-efficient modulations. 2007.

Программный стенд для исследования цифровых фильтров

А.Е. Пастухов,

АО «НПОИТ»

npoit@npoit.ru

Цифровой фильтр можно реализовывать на основе программируемой логической интегральной схемы, сигнального процессора и микроконтроллера, а также в виде компьютерной программы. В любом случае, характеристики фильтра можно перенастраивать, не изменяя электрической схемы прибора [1].

Прежде чем реализовать фильтр, необходимо убедиться в его работоспособности и эффективности, для этого надо определить характер искажений сигнала, вид и параметры передаточной функции, АЧХ фильтра. Желательно при этом получить возможность визуального представления результата работы фильтра. Для этих целей создан программный стенд для исследования цифровых фильтров.

Программный стенд позволяет: смоделировать входные сигналы, подать их на вход фильтра и посмотреть результат фильтрации, определить длительность переходного процесса на «ступенчатый» сигнал (в литературе упоминаемые как дельта-функции или единичный импульс [2].)

С помощью программного стенда возможно получение импульсной характеристики и АЧХ фильтра. Все эти процессы и характеристики визуализированы.

Функциональная схема программного стенда приведена на рисунке 1.

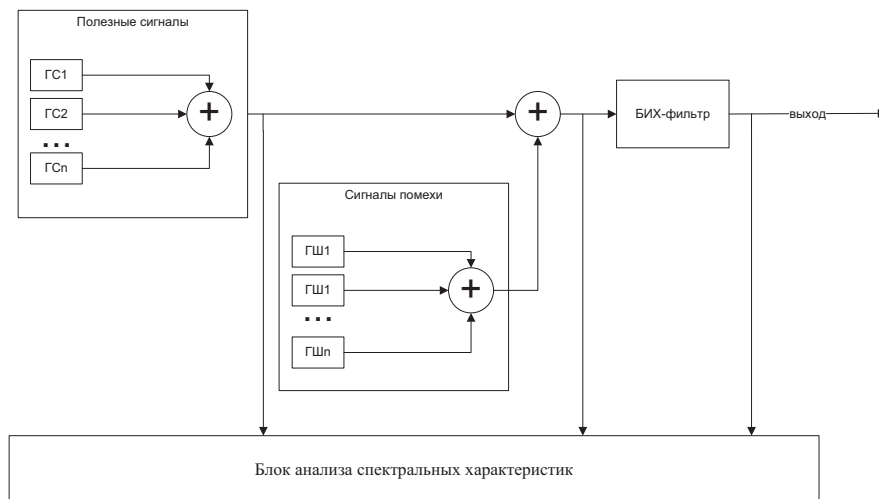


Рисунок 1 – Функциональная схема программного стенда

Функциональная схема программного стенда включает:
модуль генераторов сигналов, формирующий полезный сигнал и сигналы помехи;

цифровой (рекурсивный) БИХ-фильтр с изменяемой передаточной характеристикой, задаваемой коэффициентами;

блок анализа спектральных характеристик, позволяющий определить частотную характеристику сигнала.

На рисунке 2 изображено главное окно программы. Визуально поле разделено на три области:

Левая область – это исходный сигнал.

Центральная область – область шумов. Область шумов начинается от первой вертикальной линии. Использование этой области не обязательно, она введена для наглядности. При желании зашумленный сигнал можно сгенерировать от начального отсчета.

Правая область – область выходного сигнала фильтра. Область фильтра обозначается двумя вертикальными линиями.

В левом верхнем углу имеется окно «Спектральная плотность мощности», где отображается спектральная характеристика сигнала. Область анализа так же выбирается с помощью курсора. На рисунке 2 также изображен спектральный анализ шумов.

Программный стенд работает в трех режимах:

режим «Стоп кадр»;

режим «Непрерывный»;

режим «Пошаговый».

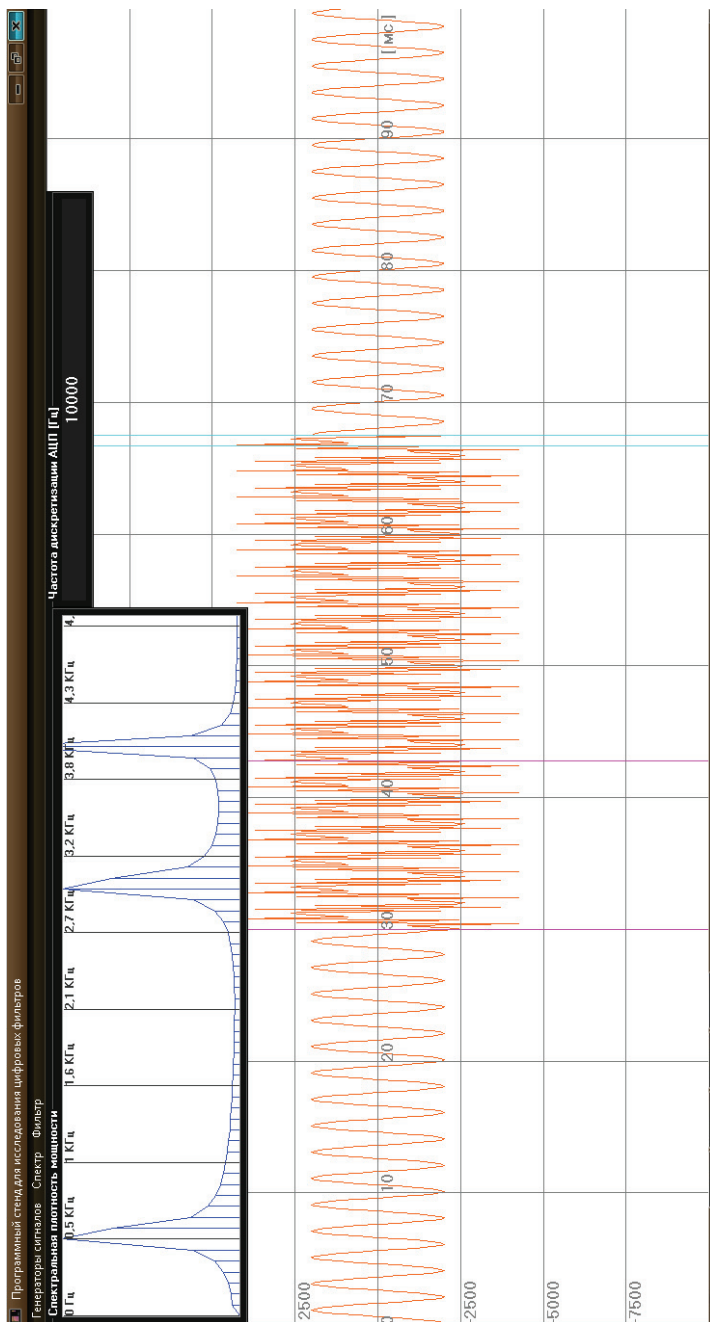


Рисунок 2 – Главное окно программы

Генераторы синусоидальных сигналов.

Исходные сигналы создаются с помощью генераторов синусоидальных сигналов. Для настройки генераторов необходимо вызвать меню «Генераторы сигналов». После чего появится список генераторов (рисунок 3).

Как видно из рисунка 3, список содержит 6 колонок:

1) Состояние: Включение \ выключение генератора;

2) Тип генератора: Сумматор \ модулятор;

Примечание. В сумматоре происходит сложение сигналов, в модуляторе - перемножение.

3) Частота - количество периодов колебания за единицу времени [1 сек]. Если в данную позицию ввести ноль, то генератор будет работать как источник шума, добавляя в отсчет псевдослучайное значение;

4) Амплитуда: в данном случае – это безразмерная величина, характеризует уровень сигнала;

5) Фаза: смещение сигнала;

6) Местонахождение: всего определено два места для генератора.

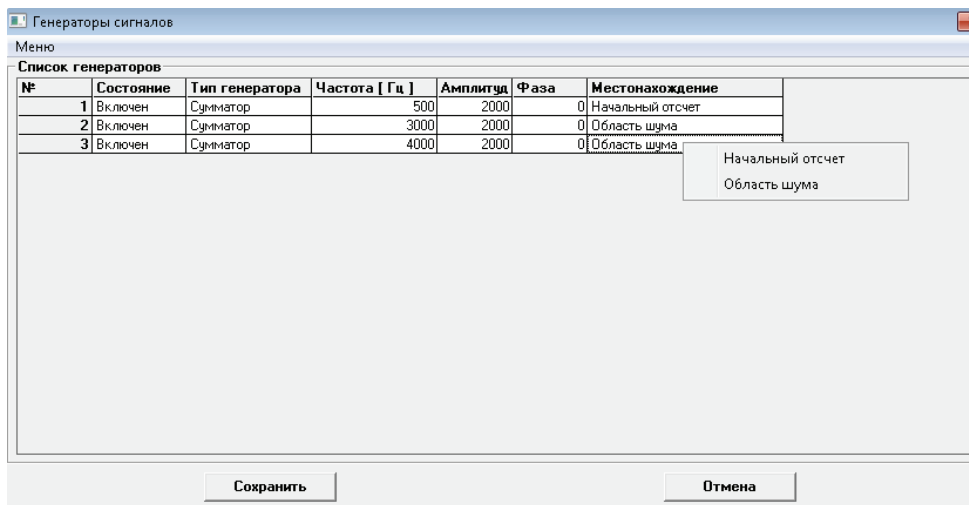


Рисунок 3. Окно программы «Генераторы сигналов».

При необходимости количество генераторов можно изменить. Реализуется данная опция в окне «Генераторы сигналов» с помощью «Меню» -> «Добавить генератор» / «Удалить генератор» (рисунок 3).

Модель генератора описывается следующим образом [3]:

Модель сумматора:

$$\lambda_i = \lambda_i + A \sin(i k + \varphi), i = 0.. \infty (1)$$

Модель источника шума:

$$\lambda_i = \lambda_i \times Ax$$

где:

$$k = \frac{2\pi\omega}{\Omega} = const;$$

ω – частота сигнала;

Ω – частота дискретизации;

A – амплитуда сигнала;

φ – фаза;

x – псевдослучайное число.

Рекурсивный фильтр

Область фильтра обозначаются двумя вертикальными линиями (см. рисунок 4).

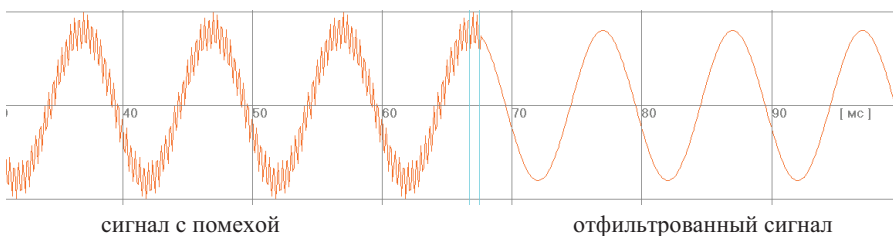


Рисунок 4. Область фильтра

Расстояние между линиями зависит от добротности фильтра, т.е. от количества коэффициентов передаточной функции. Чем больше порядок фильтра, тем больше расстояние между линиями.

Модель фильтра описывается следующим образом:

$$y(k) = \frac{1}{a_0} (\sum_{m=0}^k b_m x(k-m) - \sum_{m=1}^k a_m y(k-m)),$$

где:

$y(k)$ – отсчеты на выходе фильтра;

$x(k)$ – входные отсчеты;

b_m и a_m – коэффициенты числителя и знаменателя передаточной функции фильтра.

Обязательное условие для БИХ-фильтра: хотя бы одно значение a_m (помимо a_0), должно быть отличным от нуля.

Коэффициенты передаточной функции формируются исходя из заданной аппроксимации (Баттерворта, Чебышева, Бесселя и др.), типа фильтра (ФНЧ, ФВЧ, ПФ, РФ) и порядка фильтра [4].

Спектральный анализ.

Для спектрального анализа необходимо запустить модуль спектроанализатора и указать одну из трех областей сигнала. Реализуется эта опция с помощью меню «спектр», далее выбирается одна из трех областей сигнала:

исходный сигнал (анализ ведется от начального отсчета);

область шумов (анализ с отсчета, обозначенный оранжевой линией);

область фильтра (анализ выходного сигнала фильтра, правая красная полоса).

После запуска модуля, в окне отображается спектральная характеристика фильтра, полученная в результате подачи на вход фильтра дельта-функции (одиночного импульса).

Две зеленые вертикальные полосы отображают область спектрального анализа (см. рисунок 5).

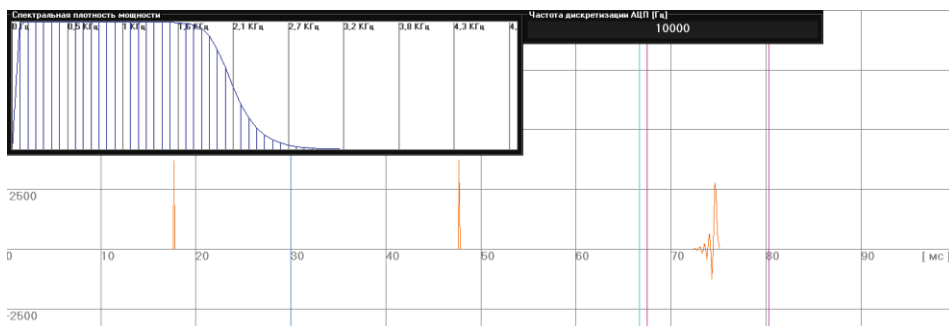


Рисунок 5 – Спектральный анализ импульсной характеристики фильтра

Данная часть программы реализована с помощью дискретного преобразования Фурье (ДПФ) по формуле [3]:

$$S(k) = \sum_{n=0}^{N-1} s(n) \exp(-j \frac{2\pi}{N} n k), \quad k = 0..N-1$$

где:

$S(k)$ – спектральный отсчет (комплексный);

$s(n)$ – отсчеты сигнала

$|S(k)|$ – отображаемый спектральный отсчет

Информация о среде разработки программного стенда.

Программный стенд разработан в среде Microsoft Visual Basic 6.0.

Это язык программирования высокого уровня, с его помощью можно решить любую задачу. Данная среда позволяет в кратчайшие сроки разработать оконное приложение под операционную систему Windows [5].

Литература

1. Айфичер Э.С. Цифровая обработка сигналов: практический подход / Э. С. Айфичер, Б. У. Джервис / 2-е издание. Пер. с англ. М.: Изд. дом "Вильямс", 2004. - 992 с.
2. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов. СПб.: Питер, 2002.-608с.
3. Куприянов, М.С. Цифровая обработка сигналов: процессоры, алгоритмы, средства проектирования / М.С. Куприянов, Б.Д. Матюшкин; 2-е издание. : СПб.: Политехника, 1999. - 592 с.
4. Лэй, Э. Цифровая обработка сигналов для инженеров и технических специалистов: практическое руководство: Пер. с англ. М.: ООО "Группа ИДТ", 2007. - 336 с.
5. Сергеев, В. Visual Basic 6.0. Наиболее полное руководство для профессиональной работы в среде Visual Basic 6.0. - СПб. БХВ-Петербург, 2004. – 992 с.

Двухканальная следящая система с четырехпозиционным сканированием для телеметрических комплексов

Е.В. Замятин, А.П. Маликов, В.П. Мартынов, С.Э. Скибин, Г.А. Фоминых,
АО «НПО ИТ»
npoit@npoit.ru

При построении телеметрических комплексов большое внимание уделяется обеспечению требований, предъявляемых кантенным системам: эффективной поверхности, коэффициенту усиления, КСВ, диаграмме направленности, а также обеспечению точности наведения. Динамическая и статическая ошибки не должны превышать 20 и 10 угл. минут соответственно. Все эти параметры являются важными для качественного приема радиосигнала, особенно для приема телеметрической информации (ТМИ). Чем выше качество принимаемой ТМИ, тем больше информации можно получить о состоянии объекта во время полета. На сегодняшний день антенные комплексы, эксплуатируемые на измерительных пунктах, обеспечивают необходимое качество принимаемого радиосигнала, но только в том случае, если изделие движется по ранее рассчитанной траектории - по целеуказаниям. В случае возникновения нештатной ситуации, и отклонения изделия от заданной траектории, происходит потеря радиосигнала. Данная проблема решается оснащением антенных комплексов следящей системой измерения направления (СИН).

Перед современными антенными комплексами стоит задача приема ТМИ в широком частотном диапазоне: от 125 МГц до 2,3 ГГц.

Рассмотрим построение двухканальной следящей СИН для широкого частотного спектра с использованием четырехпозиционного сканирования.

При выборе метода построения СИН для телеметрического комплекса рассмотрены классические методы измерения направления. За основу выбран метод последовательного сравнения сигналов по амплитуде (амплитудно-фазовый). Модель, в основе которой лежит данный метод, проста в реализации, имеет хорошие массогабаритные показатели и соответственно меньшую стоимость. Так как телеметрический комплекс предназначен для слежения за космическими объектами (космическими аппаратами - КА), то нарастание радиосигнала КА будет происходить плавно, так же как и угасание, в результате чего не будет происходить флуктуаций амплитуды, которые нарушают работу системы.

Блок-схема СИН для одной из поляризаций представлена на рисунке 1.

С антенных модулей на входы фазовращателей радиосигналы поступают в любом частотном диапазоне. Модуль управления (МУ) по команде от микроконтроллера (МК) с частотой 625 Гц последовательно отклоняет диаграмму направленности по положениям, представленным на рисунке 2. Сигналы с выхода сумматора (Σ) поступают на входы приемника (Пр), который осуществляет перенос спектра несущей в область более низких частот - 70 МГц. Далее с выходов приёмника сигнал подается на вход амплитудного детектора (АД), где происходит выделение прямоугольных

импульсов, в которых заложена информация о рассогласовании источника сигнала к оси(нормали) антенны. Модулированный сигнал оцифровывается (АЦП), затем в микроконтроллере (МК) высчитывается значение сигнала рассогласования. Сигнал рассогласования передается на персональный компьютер (ПК), который вырабатывает сигналы управления опорно-поворотным устройством.

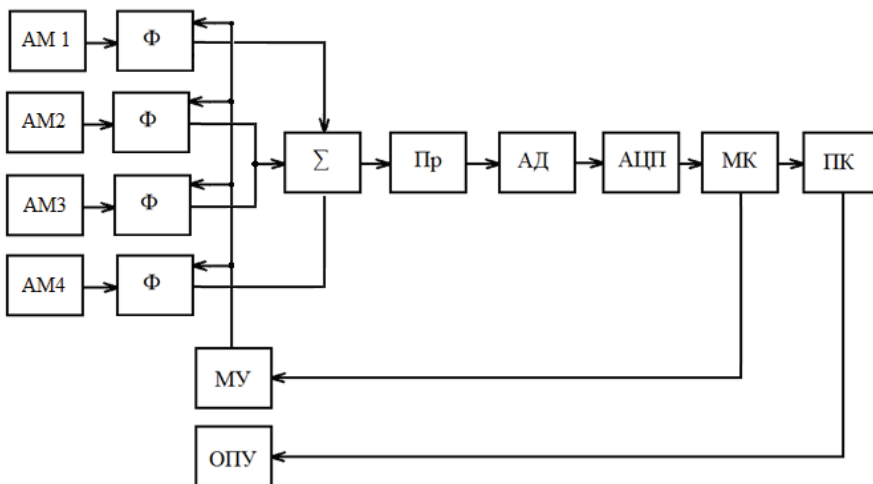


Рисунок 1 - Блок-схема СИИ

Антенное полотно состоит из четырех антенных модулей (см. рисунок 2). Геометрически главный лепесток диаграммы направленности находится в положении 1 (см. рисунок 2). Для изменения диаграммы направленности используются четыре фазовращателя для двух поляризаций (вертикальной и горизонтальной). Отклонение диаграммы направленности происходит в положении 2,3,4,5 (см. рисунок 2) на угол, при котором пересечение главного лепестка в положении 2 и 4, 3 и 5 находится на уровне минус 3 дБ относительно положения 1, как представлено на рисунке 3.

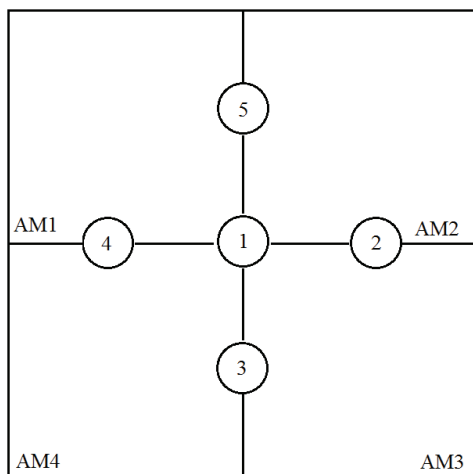


Рисунок 2 –Схема отклонения диаграммы направленности

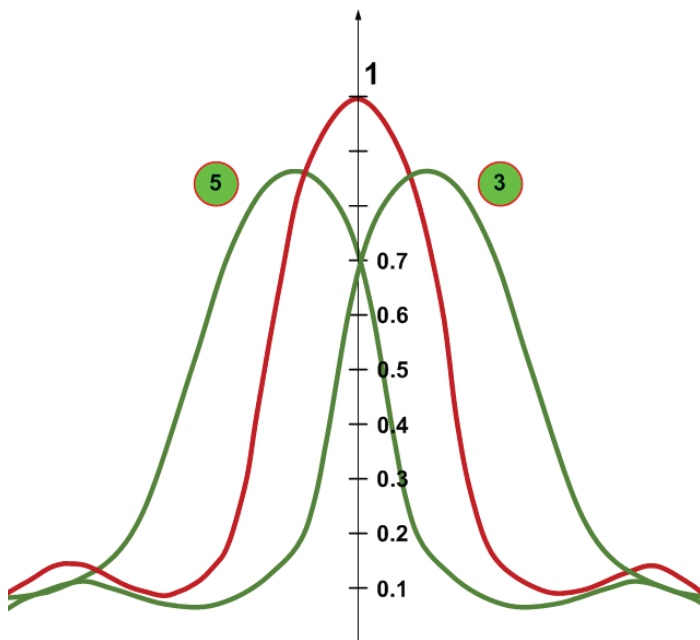


Рисунок 3 –Графики пересечения отклоненной диаграммы направленности

Для расчета разности фаз для разных длин волн примем антенный модуль за отдельную антенну. Расстояние между центрами антенных модулей, называемое базой, равно d . Источник сигнала удален на расстояние $D \gg d$, тогда направления векторов сигналов на антенны А1 и А2 можно считать параллельными. При этом разность расстояний можно вычислить по формуле:

$$\Delta D = D_1 - D_2 = d \sin \alpha \quad (1)$$

Соответственно, при длине волны λ разность фаз φ можно вычислить по формуле:

$$\varphi = 2\pi \frac{d}{\lambda} \sin(\alpha) \quad , \quad (2)$$

где α угол между нормалью антенны и принимаемым сигналом.

Исходя из формулы (2) разность фаз φ для разных длин волн λ , при одном и том же угле α , будет разной.

Однако, значения сигналов фазовращателей, необходимые для отклонения диаграммы направленности на левой границе диапазона принимаемых частот, при использовании в центре диапазона или на правой границе, могут дать неверный сигнал рассогласования или вообще развалить диаграмму направленности. Значит, время задержки прохождения сигнала через фазовращатель должно быть регулируемым - вплоть до единиц градуса. Это обеспечивается применением фазовращателей, управляемых при помощи сигнала широтно-импульсной модуляции (ШИМ). Соответственно, для каждого диапазона частот необходимо подобрать значения управляющего напряжения на границах и в центре диапазона. Значения управляющих напряжений необходимо записать в энергонезависимую память МК.

Таким образом, данная реализация систем измерения направления в современных антенных комплексах позволяет обеспечить качественный прием ТМИ и сопровождение объекта в случае его отклонения от траектории движения по целеуказаниям.

Особенности проведения межведомственных испытаний перебазировемого комплекса телеметрических измерений (ПКТИ)

Д.А. Лученко,
АО «НПО ИТ»
npoit@npoit.ru

Объектом исследований в настоящей работе является Перебазировемый комплекс телеметрических измерений (ПКТИ), с входящей в его состав приемо-регистрирующей станцией, антенной системой, электрооборудованием и системой жизнеобеспечения.

Целью исследований является анализ особенностей проведения межведомственных испытаний ПКТИ и его составных частей в части проверки выполнения требований по приему и регистрации ТМИ при проведении натурных работ на космодроме Плесецк.

Пребазировемый комплекс телеметрических измерений (ПКТИ) предназначен для приема и регистрации до шести разночастотных, ортогонально-поляризованных потоков ТМИ, а также выдачи результатов приема ТМИ в реальном масштабе времени. Оснащен антенной системой, способной работать в диапазонах МП, МПП, ДП, ДПД, ДПДВ с системой автосопровождения в каждом из диапазонов, а также усиленной конструкции корпуса, позволяющей, помимо традиционных транспортных средств, осуществлять перебазирование на внешней подвеске вертолета.

В работе приведено краткое описание ПКТИ, материалы результатов натурной отработки ПКТИ по приему телеметрической информации с КА «Метеор-М» №1,2 и РБ «Фрегат», запущенного с космодрома Восточный, схемы зон радиовидимости, изображения спектров и качества принятой ТМИ.

Также в работе приведены материалы с результатами экспресс-анализа телеметрической информации, принятой в ходе натурной отработки и сравнение результатов приема с результатами, полученными от штатных средств измерительного комплекса космодрома. На основе данных материалов сформированы выводы о выполнении требований назначения ПКТИ.

В ходе натурной работы были подтверждены требования назначения ПКТИ. Для этого был организован прием телеметрической информации с использованием канала автосопровождения по двум проходящим виткам КА «Метеор-М» №1, двум проходящим виткам КА «Метеор-М» №2, а так же третьему и четвертому виткам РБ «Фрегат», запущенного с космодрома «Восточный» в рамках работ по обеспечению запуска КА «Канопус-В» №3,4.

Моделирование работы сигма-дельта АЦП ADS 1282

Е. В. Ковалева,
АО «НПО ИТ»
evikol@mail.ru.

В настоящее время АО "НПО ИТ" ведет разработку ряда малогабаритных БИБ, каналы измерения угловой скорости которых выполнены на основе волоконно-оптических гироскопов (ВОГ).

Характерной особенностью работы каналов измерения угловой скорости в разрабатываемых БИБ является наличие фазовой манипуляции полезного сигнала с целью компенсации дрейфов "нуля" звеньев тракта аналогового преобразования информации ВОГ. Данная особенность построения каналов измерения угловой скорости приводит к необходимости тщательного подбора частоты фазовой манипуляции и алгоритма опроса АЦП и обработки информации, поступающей с него.

В качестве аналого-цифрового преобразователя в каналах измерения угловой скорости применяется сигма-дельта АЦП ADS 1282 производства "Texas Instruments".

Разработанная модель функционирования сигма-дельта АЦП ADS 1282 позволила отработать множество вариантов алгоритма обработки данных, поступающих с ВОГ, без многократного перепрограммирования процессора БИБ и выбрать оптимальный с точки зрения выполнения требований технического задания.

Исследование особенностей адаптации алгоритмов измерения угловой скорости для их реализации на отечественной элементной базе

Д.В. Николаев, А.А. Архипов,

АО «НПО ИТ»

npoit@npoit.ru

В ходе выполнения работ по внедрению отечественных ЭРИ возникла необходимость исследования возможности применения отечественных микроконтроллеров и АЦП для использования алгоритмов вычисления угловой скорости.

Актуальность данной работы состоит в экспериментальном исследовании возможности замены ЭРИ зарубежного производства на отечественные аналоги для при реализации программно-математического обеспечения инерциального измерительного модуля.

Целью работы является доказательство возможности достижения необходимой точности описания модели погрешностей датчиков угловой скорости при использовании отечественных ЭРИ.

Задачами работы являются:

1, Экспериментальное исследование переходных процессов АЦП отечественного производства и их влияние на полосу пропускания датчика угловой скорости.

2. Определение возможности реализации алгоритмов расчета измеряемых параметров при использовании полной модели погрешностей и ограничения накладываемые на структуру модели связанные с быстродействием микроконтроллера.

В данном докладе рассматривались два аспекта применения отечественной ЭРИ для решения задач в которых применяется аппаратура зарубежного производства.

В первой части проводились исследования реальной полосы пропускания АЦП и требований и ограничений накладываемых на параметры аналогового сигнала волоконно-оптического гироскопа(ВОГ) без обратной связи необходимые для достижения определённых точностей. В частности в алгоритме работы ВОГ используется метод инвертирования(модуляции) измеряемого сигнала для устранения постоянной составляющей вызванной несовершенством электронного блока. Применимость данного метода(без снижения частоты модуляции) зависит от длительности и характеристик переходных процессов АЦП. В частности значения АЦП полученные в ходе протекания переходного процесса имели критические шумовые характеристики. При этом отбрасывание слишком большого числа значений приведет к увеличению шумовой составляющей вследствие снижения количества точек подлежащих осреднению. В данной части были определены зависимости стабильности сигнала от частоты выдачи информации АЦП и частоты модуляции сигнала с учетом длительности переходных процессов.

Во второй части были описаны алгоритмы связанные с вычислением измеряемой угловой скорости из выходных кодов АЦП и алгоритмы компенсации погрешностей полученных после первой итерации вычисления. Данные алгоритмы представляют

собой совокупность расчетных соотношений среди которых большую часть занимают полиномиальные зависимости. Для адаптации данных алгоритмов под возможности отечественных ЭРИ потребовалось определить возможности быстродействия микроконтроллеров и при необходимости применение альтернативных упрощенных вариантов применения алгоритма связанных с экстраполяцией значений алгоритма в виде таблицы охватывающей определенный диапазон и работы с дискретным представлением модели погрешностей вместо её реального расчета на каждом такте измерения.

Вывод: Была продемонстрирована возможность применения отечественных микроконтроллеров для выполнения алгоритмов расчета угловой скорости по аналоговому сигналу датчика. Были установлены зависимости погрешностей измерения угловой скорости и шумовых характеристик выходного сигнала при варьировании параметров датчика и частоты выдачи конечной информации.

Литература

1. Чувькин Б.В, Долгова И.А., Сидорова И.А. Вопросы проектирования высокоточных сигма-дельта АЦП в составе информационноизмерительных систем // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. - 2013. - № 3 (5). - С. 39-44.:
2. Голован, А.А. Математические основы навигационных систем: Часть I: Математические модели инерциальной навигации. – 3-е изд., испр. и доп. / А.А. Голован, Н.А. Парусников – М.: МАКС Пресс, 2011. –136 с.

Исследование влияния помех при передаче данных полусловами-остатками

Прасолов Д.Н.,

АО "НПО ИТ"

npoit@npoit.ru

В докладе предложена методика передачи данных в системе остаточных классов для непрерывных параметров. Одна из возможностей использования свойств непрерывности телеметрируемых процессов и 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 $\{m_1, m_2, \dots, m_k\}$. При этом вместо значения результата телеизмерений x передаются сообщения, составленные из значений остатков $b_1, b_2, \dots, b_k$. Проведено сравнение влияния помех при передаче данных обычным двоичным кодом и их представлении остатками $b_i(t)$ параметра $x(t)$ по модулю $m_1 = 8$, причем остатки дублируются в двоичном слове данных. При этом в моменты обнуления остатков (ноль в 3-х младших разрядах) вместо их дублирования передается результат сравнения $b_2(t)$ параметра $x(t)$ по модулю $m_2 = 32$, который образует специальное слово данных. Шкала телеметрирования в этом случае окажется поделенной на множество узких неперекрывающихся шкал результатов телеизмерений, ограниченных модулем m_i . При этом подставленные значения остатков по модулю m_2 будут маркерными значениями (маркерными словами), которые в двоичном коде определяют номер связанной с ними узкой шкалы.

Указанные двоичные слова с дублированием остатков восстанавливаются при приеме по методу, когда значения двоичных слов из двух остатков умножаются на коэффициент $1/(23+1)$.

Показано, что передача данных остатками по сравнению с обычным двоичным кодом позволяет повысить достоверность передачи данных при одиночных искажениях бит в словах данных.

Альтернативные методики калибровки гироскопов

П.Ю. Пудовченко,

ГБОУВО МО «Технологический университет»polina.pudovchenko@yandex.ru

Инерциальные навигационные системы получают все большую популярность в военной и аэрокосмической отраслях. Возросшая потребность человечества в автономных датчиках слежения, во-первых, обуславливается отсутствием наличия каких-либо ориентиров или сигналов для передачи сообщений о местонахождении объекта, во-вторых, относительной простотой данных.

Методы инерциальной навигации были разработаны еще в 30-е годы XX века [1]. Однако особое место в технике заняло создание специальной инерциальной навигационной системы. Суть ее в том, что измерение перемещения объекта, находящегося под наблюдением, происходит с помощью набора специальных датчиков. Переданный ими сигнал анализируют, и с последующей обработкой этого анализа, определяют местоположение объекта в пространстве по его траектории движения. Основными параметрами, которые анализируют, являются ускорение (измеряется при помощи акселерометров) и угловая скорость вращения (измеряется с помощью гироскопов); получаемые углы – крен, тангаж и рыскание дают наблюдателям ориентацию в пространстве. Эти датчики обычно соединены в систему, состоящую из комбинации трех ортогональных акселерометров и трех ортогональных гироскопов.

В последнее время особой популярностью в военизированных отраслях пользуется передовая технология волоконно-оптических гироскопов, которую относят к полуманалитической системе навигации (непрерывно стабилизируемой по местному горизонту) [2]. Технологии волоконно-оптических гироскопов практически заменили «механические» лазерно-кольцевые гироскопы. В их преимущества входят: низкий уровень потребления энергии, отсутствие вращающихся двигательных частей, требующих частого технического обслуживания и сравнительно низкая себестоимость. Однако проблемой нового поколения датчиков являются частые ошибки в экспозиции, в том числе координат.

Именно поэтому цель данной работы – рассмотрение процесса калибровки волоконно-оптических гироскопов с разных сторон, использующих эффект Саньяка, определяющий угловую скорость вращения при помощи лазерного света, проходящего через оптоволокно. Обязательный процесс тарировки требует много времени, которое можно потерять, в виду влияния окружающей среды такое, как изменение температуры, влажности, давления, или выпадение осадков, на действующий датчик. Калибровкой датчика нельзя пренебрегать, так как это процесс, при котором можно выявить погрешности изготовления прибора. Если эти погрешности измерения не будут устранены, они повлекут за собой отклонение предполагаемого местоположения объекта от его истинного положения и как следствие, ошибку всей траектории для наблюдателя. Как только ошибки охарактеризованы, их можно выявить в инерциальной системе для того, чтобы улучшить точность всей системы навигации. Класс дат-

чика определяется количеством остаточных ошибок; небольшую погрешность имеют дорогостоящие датчики. В исследовании рассмотрено определение возможности снижения стоимости калибровки волоконно-оптических гироскопов за счет использования инновационных стратегий калибровки. Использование нейронных сетей представлено как альтернатива традиционным стратегиям калибровки, которая составляет понимание параметров погрешности с помощью метода стохастической оценки, например, такой как фильтры Калмана.

Основной посыл, представленный в этой работе, заключается в том, что традиционная стратегия калибровки рассматривается в качестве осуществления задачи калибровки в области идентификации систем; представлена унифицированная парадигма погрешности, которая сочетает в себе ряд, казалось бы, противоречивых моделей ошибок, доступных в технической литературе; методы вычислительного интеллекта используются для выполнения калибровки гироскопа; предложена новая нелинейная стратегия калибровки гироскопа; датчики калибруются при одновременном динамическом возбуждении полного диапазона многомерных условий окружающей среды.

Обновленная стратегия во многом превосходит существующие, и, при наличии высокопроизводительных встроенных вычислительных платформ, она может претендовать на использование в операционной среде.

Гипотеза представлена таким образом: возможно ли разработать метод калибровки для инерционных датчиков, которые имеют существенный разрыв в текущих стратегиях калибровки.

Для гироскопа основным параметром точности измерения является дрейф датчика, параметры которого относят к позиционной ошибке (ошибка, возникающая при измерениях). Скорость дрейфа гироскопа определяется эквивалентной позиционной ошибкой вдоль экватора после одного часа навигации (стоит обратить внимание на уравнения, представленные Титтертоном и Уэстеном, изобр.1).

На рис.1 в красном контуре представлена система акселерометров, гироскопов и их необработанные параметры. Примечательно, что оба набора измерений выполняются одновременно, по оси тела. Измерения угловой скорости гироскопами обработаны в блоке "компьютера ориентации" для того, чтобы определить углы ориентации корабля. Эти данные использованы для того чтобы преобразовать измерения акселерометра для оси навигации. После этого преобразования, измерения ускорения интегрированы дважды для того, чтобы определить скорость и положение в оси навигации. Контур обратной связи на рис.1 представляют различные силы возмущений, влияющие на навигационное вычисление.

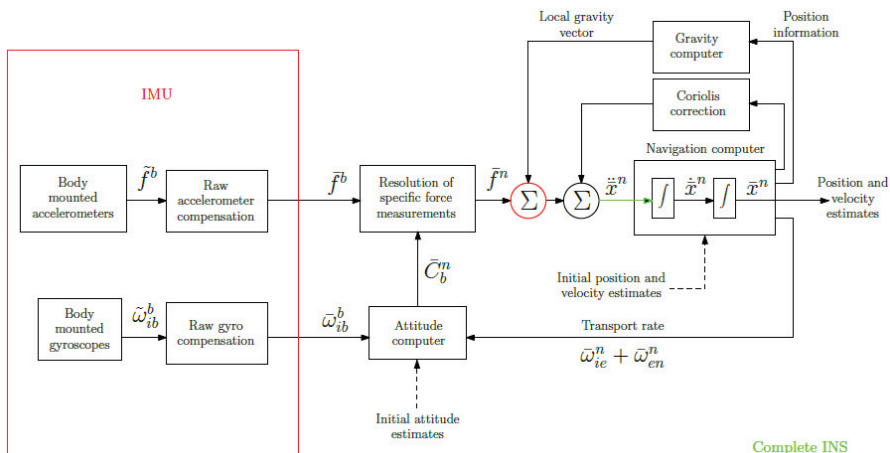


Рис.1 Локальная механизация структуры географической навигации, представленная в Титтертоне и Уэстоне[3].

Исследуемые оптико-волоконные гироскопы занимают высшую техническую ступень в классификации по Шмидту [4]. Предел работы у таких датчиков более 1000 град/час. Это достоинство оценивается после калибровки. Стоит отметить также, что процесс лабораторной тарировки занимает отдельное место в производстве датчиков. Он составляет порядка 25% от всей стоимости гироскопа.

В целом, процесс калибровки состоит из теоретической и экспериментальной частей. Первый этап калибровки – это разработка математического описания погрешности, присутствующей при измерении датчика. На втором этапе коэффициенты модели погрешности измерений характеризуются с помощью экспериментального процесса.

Подобно процессу тарировки, который фокусируется больше на эмпирической части эксперимента, чем на теории, применение нейронных сетей к процессу калибровки не выйдет дальше разработки теоретических нейронных сетей. Одни из задач исследования – это применение существующей теории нейронных сетей в процессе калибровки, и определение оптимального (или хотя бы подходящего) сочетания нейронной сети к конфигурации и стратегии обучения, которые могут быть использованы для решения таких задач, как калибровка.

В области системной идентификации представлен структурированный подход к теоретическим и экспериментальным аспектам исследований. В связи с этим можно утверждать, что была использована методология экспериментальных исследований, которая строго согласуется с системным подходом к решению проблем.

В калибровке используется ряд традиционных методов, отличающихся друг от друга лишь незначительной пользой. Например, такие как Титтертон и Уэстон [3], Rogers [5], Aggarwaletal. [6], Lawrence [7] и Chateld [8] – во всех них присутствуют незначительные вариации традиционного подхода к тарировке гироскопа.

Традиционный метод калибровки воспроизводит таблицу вращения 3 осей, или вращение Земли, как одну из координат, для определения калибровочных условий. Необходимо откалибровывать датчики, используя таблицу вращения 3 осей для того, чтобы расширить динамический диапазон, при котором результаты тарировки применимы.

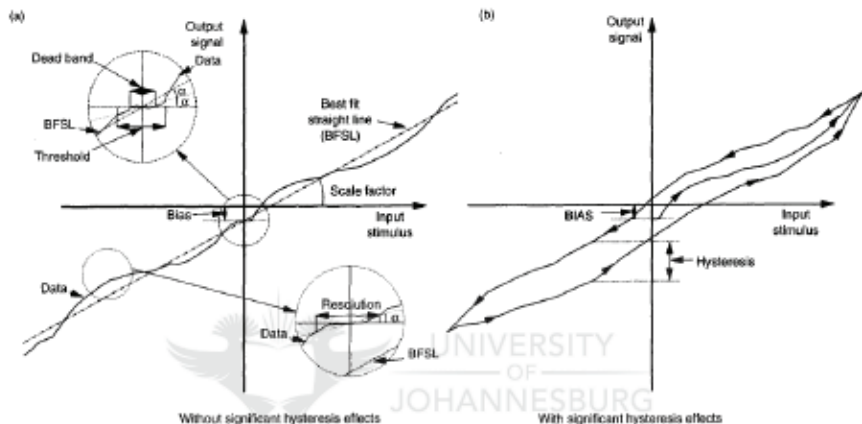


Рис. 2 Используемые модели калибровки по Титтертону и Уэстону [3].

Стандарт IEEE FOG [9], установленный для оптоволоконных гироскопов, указывает на то, что кроме температурного воздействия окружающей среды, нужно характеризовать датчики и по изменению напряжения тока, вибрации, магнетизма и радиации. Влияние магнетизма согласно законам Фарадея – ярчайшее отличие между механическими и оптоволоконными гироскопами. Почти всегда можно охарактеризовать воздействие условий на датчики, но не всегда возможно исправить комплекты для гироскопов, необходимые для определенного мониторинга окружающей среды. Подачу напряжения можно измерить сразу, также, как и вибрации могут быть обнаружены с помощью акселерометров в инерционной конфигурации.

В качестве завершающего комментария на эту тему следует отметить, что лаборатория инерциальных датчиков традиционно рассматривается как совокупность процессов, в которых константы определяются внутри статической системы. Эта идея немного модифицирована для оперативной калибровки, где параметры системы оцениваются как часть операции мониторинга состояния. Стоит отметить, что стратегия оперативной калибровки может быть представлена в еще более широкой картине новых идей. Актуальна эта тема и потому, что во многих научных центрах мира заинтересованы в создании максимально удобной и простой в использовании, высокотехнологичной, оптоволоконной инерциальной системы для передовой приборостроительной промышленности воздушных и космических судов.

Литература

1. AGGARWAL, P., SYED, Z., NOURELDIN, A., and EL-SHEIMY, N., MEMS Based Integrated Navigation. 'GNSS Technology and Applications Series'. Boston, USA: Artech House, 2010 [6]
2. BOSE, A., PURI, S., and BANERJEE, P., Modern Inertial Sensors and Systems. Prentice-Hall of India, 2008 [1]
3. CHATFIELD, A. B., Fundamentals of High Accuracy Inertial Navigation. Progress in Astronautics and Aeronautics. Reston, Virginia, USA: AIAA, 1997 [8]
4. JEKELI, C., Inertial Navigation Systems with Geodetic Applications. Walter de Gruyter, 2001. // AGGARWAL, P., SYED, Z., NOURELDIN, A., and EL-SHEIMY, N., MEMS-Based Integrated Navigation. 'GNSS Technology and Applications Series'. Boston, USA: Artech House, 2010 [2]
5. IEEE, "IEEE Standard Specification Format Guide and Test Procedure for Single Axis Interferometric Fiber Optic Gyros." IEEE Std 952-1997, 1998.[9]
6. LAWRENCE, A., Modern Inertial Technology - Navigation, Guidance and Control. Mechanical Engineering Series. New-York, USA: Springer-Verlag, 2001 [7]
7. ROGERS, R. M., Applied Mathematics in Integrated Navigation Systems - 2nd Edition. Blacksburg, Virginia, USA: AIAA Education Series, 2003 [6]
8. SCHMIDT, G., "INS/GPS Technology Trends." in Low-Cost Navigation Sensors and Integration Technology - RTO EN-SET-116, NATO RTO Educational Notes, RTO NATO, May 2009 [4]
9. TITTERTON, D. H. and WESTON, J. L., Strapdown Inertial Navigation Technology - 2nd Edition. Institution of Electrical Engineers / American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2004 [3]

Перспективы развития средств выведения и наземной космической инфраструктуры на примере развития абляционного защитного покрытия

Н.А. Каримов, Е.А. Кустова,

ГБОУВО МО «Технологический университет»

nail-karimov-1997@mail.ru

Актуальность темы

Для развития средств выведения космических объектов и спускаемых аппаратов нами было изучено и рассмотрено абляционное защитное покрытие. При входе в плотные слои атмосферы корабль подвергается колоссальным нагрузкам и экстремальным температурам [1] что негативно влияет на его корпус. Учёными из Манчестерского Университета совместно с учеными из Китая был разработан концепт материала способный выдерживать такого рода нагрузки [3].

Целесообразность применения и нанесения данного покрытия

К перспективе развития инфраструктуры средств выведения космических аппаратов, в последующем их спуск на Землю, относятся изучение и разработка, и далее в последующем испытания космических материалов и новых космических технологий. Высокие скорости, экстремальные температуры входящих в атмосферу космических аппаратов приводят к тому, что температура у передней и боковой кромки достигает порядка 7.000 С. На рис. 1 изображены температурные характеристики посадочного модуля.

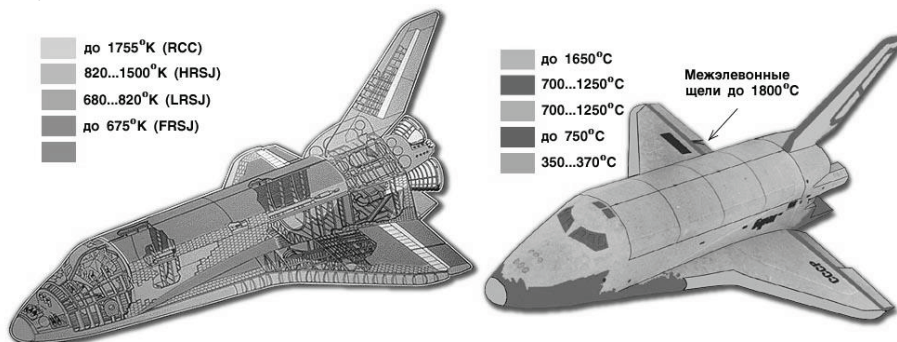


Рис. 1. Влияние на корпус температуры при входе в атмосферу

Метод, будучи рассмотренный в нашей работе, основанный на поглощении теплового потока, называется абляционным охлаждением и используется как абляционная защита. К примеру, космическая обшивка корабля – абляционная защита, способная не испаряться при температуре 3.000 С. Кратко говоря, это защита космических

кораблей на основе абляционных материалов, состоящих из силового набора специальных асбест текстолитовых колец и «обмазки». Данное покрытие обеспечивает защиту спускаемых аппаратов, подвергающихся экстремальным температурам, оно состоит из таких химических элементов как титан, бор, сера и цирконий. При соединении этих элементов в цепочку $Zr_{0,8}Ti_{0,2}C_{0,74}B_{0,26}$ и получения покрытия, оно наносится на космический аппарат с помощью ультра-реактивной инфильтрации расплава и цементирования. Данное покрытие превосходит все существующие системы покрытия спускаемых аппаратов, не говоря уже об образцах прошлого, которые выдерживали температуру в 1.500 – 2.000 С. В доказательство полезности и уникальности данного покрытия был предоставлен график сопротивлению абляции по отношению к скорости абляции по массе (MAR) и скорости линейной абляции (LAR) различных термостойких материалов, использующихся в авиации и в космонавтике как показано на следующем графике.

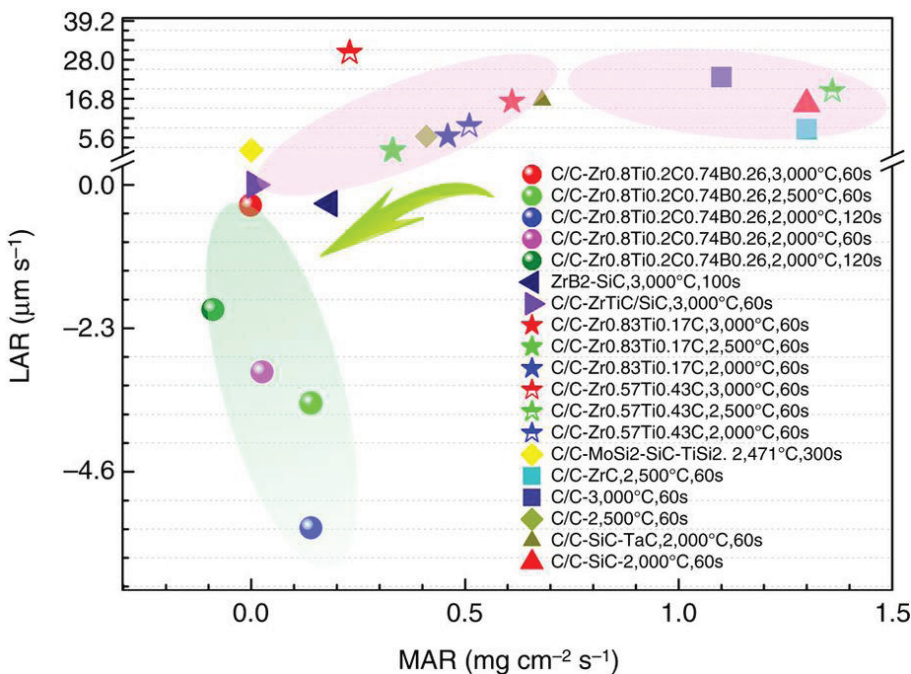


Рис. 2. График сопротивлению абляции по отношению MAR к LAR [1]

Как мы заметили, наш элемент $Zr_{0,8}Ti_{0,2}C_{0,74}B_{0,26}$ достойно превосходит различные материалы в тесте по температуре и по времени. Круглые отметки в зеленом поле и есть выбранный нами материал. К примеру сплав циркония и углерода ZrC при

температуре около 2.500 °C теряет 1,10 мг массы на см² в секунду, в отличие от Zr_{0,8}Ti_{0,2}C_{0,74}B_{0,26} который при таких же показателях теряет 0,14 мг. При других аналогичных тестах, но при температуре свыше 2.000 °C материал показывал около нулевую отметку потери веса, обозначающую великолепную теплостойкость и малую абляцию в потоке газа.

На другом тесте, на рис. 3 показан темно – серый материал и рядом стоящие результаты двухминутного испытания при температуре 2.500 °C. На нижнем графике был представлен тест при температуре, уже, в 3.000 °C, где благодаря абляции заметны выпуклости не более 72 мкм, на поверхности отсутствуют какие-либо полости или выбоины, что говорит о надежности данного материала.

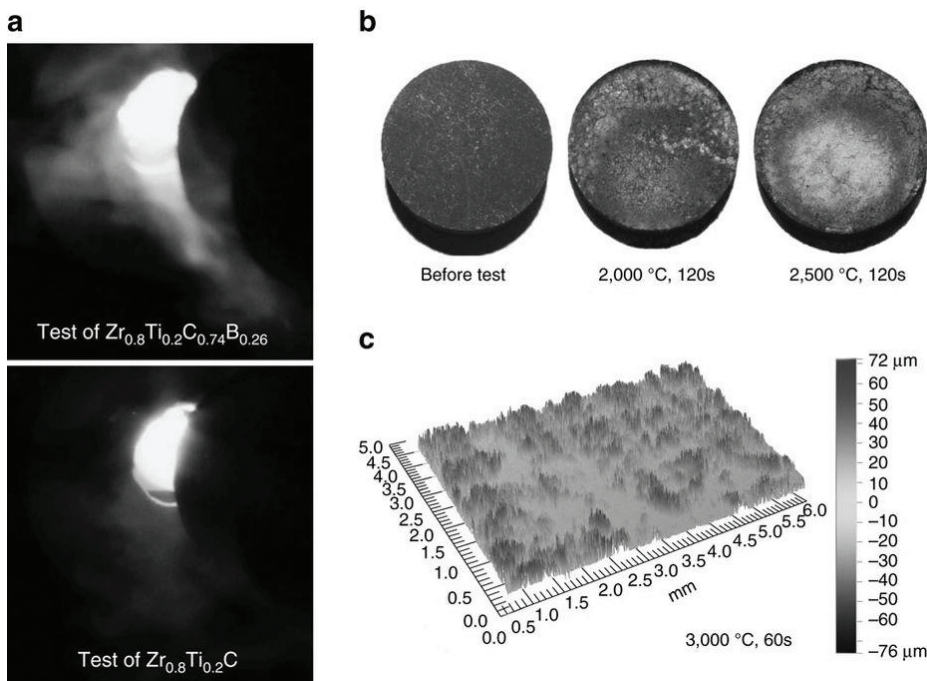


Рис. 3. Тестирование абляционной защиты [1]

а) Сравнение старой реакции по отношению к новой реакции абляционной защиты; б) Поверхность материала до нанесения абляционной защиты; с) Тест при нанесенном покрытии при температуре в 3.000 °C и времени 2х минут.

Ученные из Национального института научных исследований материалов и инноваций в Манчестере, Великобритания показали с помощью рентгеновской компью-

терной томографии доказательство защиты абляционного покрытия который вы можете наблюдать на графике рис. 4.

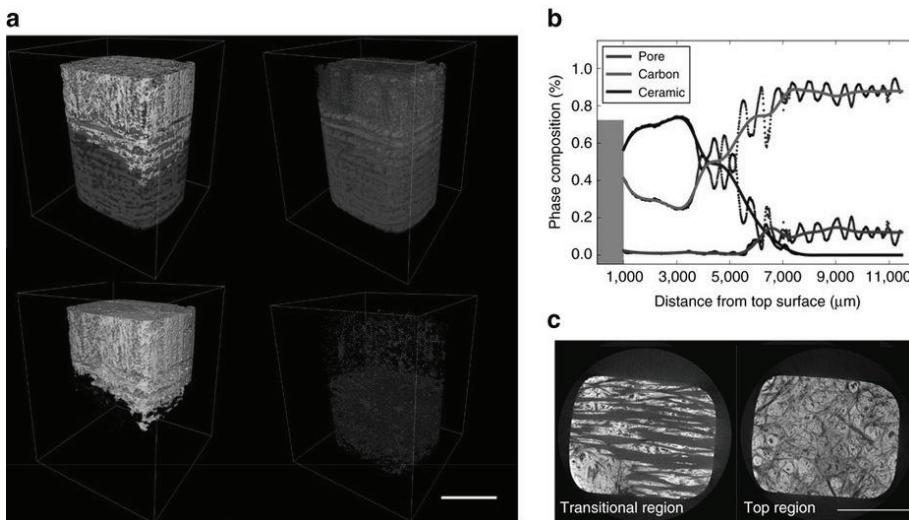


Рис. 4. Морфология $C - Zr_{0,8} Ti_{0,2} C_{0,74} B_{0,26}$ с помощью рентгеновской компьютерной томографии [3]

а) Общий вид композитов, содержащих карбиды (желтый), углеродные волокна и пироуглерод (серый) и поры (красный). Из-за предела разрешающей способности количественно определяются только поры размером более 1000 мкм³; б) Распределения фаз от верхней части до нижней части образца, определенные на виртуальных срезах рентгеновской компьютерной томографии (КТ). Точки представляют собой объемный процент каждой фазы, рассчитанный для каждого виртуального среза. Сплошные линии - это встроенные кривые. Зигзагообразная форма точки связана с чередующимися слоями. Серая область представляет собой верхнюю часть образца, которая была исключена из количественного определения из-за сильных артефактов; в) Виртуальные сечения, показывающие переходную область, содержащую углеродную матрицу и керамику (40 об.%). Область вблизи верхней части (керамика: 76 об.%).

По уровню зон покрытий спускаемого аппарата она подразделяется на 4 зоны:

- 1 – это углеродное соединение, армированное углеродным волокном;
- 2 – специальное высокотемпературное теплозащитное покрытие;
- 3 – специальное низкотемпературное теплозащитное покрытие;
- 4 – специальное гибкое теплозащитное покрытие;

5 – металл и стекло.

Данные уровни покрытий вы можете наблюдать на следующем рис. 5. Покрытие из углеродного волокна является одноразовой защитой, и после каждой посадки требует замены. Данное покрытие также может быть использована для защиты камер сгорания и сопла – любых компонентов, где присутствует экстремально высокая температура.

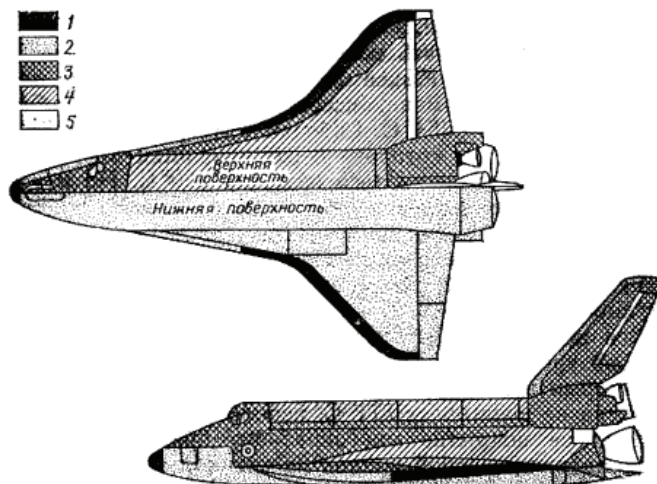


Рис. 5. Размещение видов защитных покрытий на корпусе корабля [2]

Хотелось бы заметить, что выбранное покрытие уже использовалось в конструкции известных спускаемых аппаратов, таких как Восток, Восход, Меркурий, но выдерживала только температуру 1.500 – 2.000 С, а данная разработка, как мы видели, выдерживает 3.000 С. Выбранная мною, защитное покрытие является действительно космической инфраструктурой, способной выдерживать и сохранять спускаемый аппарат в условиях экстремальных температур и на высоких скоростях.

Выводы

В заключении хотел бы сказать, что данная защитная система спускаемых аппаратов является перспективным средством космической инфраструктуры. Образцы абляционной защиты старого образца хоть и являются крепкими, но новый вид данной защиты способен выдерживать более высокие температуры. В нашей работе были рассмотрены основные тесты, проводимые в Великобритании, наш собственный вы-

вод и заключение. При нанесении данного покрытия на облицовку капсулы спускаемого аппарата позволит снизить давление, температуру и разрушения капсулы.

Литература

1. Новая абляционная защита ракет и самолётов не испаряется даже при 3000°C // geektimes.ru // 10 июля 2017 года // <https://geektimes.ru/post/290949/>
2. Домой сквозь плазму // «Космическая энциклопедия ASTROnote» // astronaut.ru // <http://www.astronaut.ru/bookcase/books/salah03/text/05.htm>
3. Ablation-resistant carbide $\text{Zr}_{0.8}\text{Ti}_{0.2}\text{C}_{0.74}\text{B}_{0.26}$ for oxidizing environments up to 3,000 °C // nature.com // 14 июля 2017 года // <https://www.nature.com/articles/ncomms15836>

Алгоритм обработки телеметрируемых параметров бортовых динамических систем космических аппаратов на основе многочастичной фильтрации

В.Л.Якимов, к.т.н.,

Военно-космическая академия имени А.Ф.Можайского

yakim78@yandex.ru

Рассмотрены вопросы построения моделей временных рядов телеметрируемых параметров в фазовом пространстве бортовых динамических систем космических аппаратов. Представлен алгоритм обработки, основанный на использовании предложенных моделей и методов многочастичной фильтрации.

Первичная обработка телеметрируемых параметров является одним из этапов процесса определения технического состояния бортовой аппаратуры (БА) космических аппаратов (КА). При этом многие процессы функционирования БА можно рассматривать как динамические, описываемые моделью вида (1) [1, 2, 3]:

$$\begin{aligned} \mathbf{Q}_k &= \mathbf{F}(\mathbf{Q}_{k-1}, \mathbf{S}_k), \\ \mathbf{Z}_k &= \mathbf{H}(\mathbf{Q}_k, \mathbf{V}_k), \end{aligned} \quad (1)$$

где $\mathbf{Q}_k$ – вектор состояния БА;

$\mathbf{Z}_k$ – вектор измеряемых значений параметров БА;

$\mathbf{S}_k$ и $\mathbf{V}_k$ – вектор возмущающих воздействий и шумов измерений соответственно;

$\mathbf{F}$ и $\mathbf{H}$ – функционалы, описывающие процесс изменения вектора состояния параметров и процесс измерения значений параметров БА;

k – номер дискретного отсчета времени.

Часто модель (1) упрощают и рассматривают воздействие на БА аддитивных возмущений и шумов. Если шумы измерений гауссовские, а функционалы $\mathbf{F}$ и $\mathbf{H}$ являются линейными, то для решения задачи оценивания вектора состояния оптимальным является метод Калмановской фильтрации. Ситуация усложняется, когда функционалы $\mathbf{F}$ и $\mathbf{H}$ нелинейные, а на динамическую систему (ДС) воздействуют негауссовские шумы и помехи. Именно в таких случаях используются многочастичные фильтры (МЧФ), в которых осуществляется аппроксимация произвольного распределения вектора состояния на основе метода Монте-Карло. Зарубежом данный класс фильтров получил название «partical filtr» [2, 3, 4]. При диагностировании БА наиболее сложными являются ситуации нахождения ее в частично работоспособном состоянии, а также на этапах эксплуатации КА за пределами сроков активного существования. При этом важными особенностями телеметрируемых параметров (ТМП), зачастую сильно влияющих на результаты их обработки, являются: нелинейный характер временных рядов во времени; наличие во временных рядах аномальных отсчетов и негауссовских шумов и помех; наличие в динамике временных рядов скачков и, следовательно, разрывов производной; негауссовское распределение значений ТМП. Именно поэтому

при реализации первичной обработки ТМП в бортовых и наземных комплексах оперативной обработки телеметрической информации (ТМИ) зарубежных КА получили распространение алгоритмы МЧФ. Если функционалы F и H известны, то с использованием алгоритмов МЧФ можно получить хороший результат оценивания вектора состояния ДС. Очень часто модель поведения ТМП бортовых ДС неизвестна, но имеется возможность ее синтезировать на основе значительных объемов имеющейся статистической информации.

Бортовые динамические системы (ДС) КА удобно анализировать в их фазовом пространстве. В соответствии с теоремой Такенса, формулирующей требования к реконструкции фазового пространства ДС, их поведение можно описать по временной реализации параметров системы с использованием метода задержек [5]. При этом параметр ДС должен быть представлен дискретными отсчетами: $x_0, x_1, x_2, \dots, x_M$, где M – количество отсчетов экспериментальной реализации параметра, полученных с интервалом Δt , который обычно выбирается равным времени первого пересечения нуля автокорреляционной функцией временного ряда [5]. Для цифровых систем значение Δt кратно периоду дискретизации временного ряда ТМП. Под состояниями ДС будем понимать точки

$$\mathbf{X}_{t,0}=[x_0, x_1, x_2, \dots, x_{N-1}], \mathbf{X}_{t,1}=[x_1, x_2, x_3, \dots, x_N], \dots, \mathbf{X}_{t,M-N}=[x_{M-N}, x_{M-N+1}, x_{M-N+2}, \dots, x_{M-1}]$$

в N – мерном фазовом пространстве, где число состояний составляет $M - N + 1$, а координаты $x_k, x_{k+1}, x_{k+2}, \dots, x_{k+N-1}$ представляют собой значения параметров k – го состояния и образуют фазовую траекторию. Важным достоинством рассмотрения ДС в фазовом пространстве является то, что близлежащие точки фазового портрета в некоторых его проекциях могут находиться на достаточно большом расстоянии друг от друга на временной оси и при этом одинаково характеризовать поведение системы, что позволяет создавать достаточно качественные модели ДС на основе кусочно-локальной аппроксимации. Кроме того, наличие аттракторов у ДС можно использовать для создания моделей глобального поведения ДС. При этом широкое распространение получили полиномиальные авторегрессионные модели, которые, однако, характеризуется следующими недостатками: плохой аппроксимацией временных рядов ТМП, содержащих разрывы производной; значительной погрешностью описания поведения сигнальных и цифровых ТМП; чувствительностью к появлению во временных рядах ТМП случайных трендов и аномальных отсчетов [5]. Более приемлемым видится использование скрытых Марковских моделей (СММ), описывающих прохождение фазовой траектории ДС через определенные области фазового портрета. Для определения таких областей можно использовать алгоритмы кластеризации, например, алгоритм ЕМ-кластеризации, результатом работы которого является совокупность кластеров и их характеристик (значений координат центров и дисперсий точек), получаемых в каждой проекции фазового портрета (рис.1, а, б). При этом рас-

пределение точек в фазовом пространстве аппроксимируется набором из $N_{\text{гр}}$ двумерных гауссовских распределений вида

$$\omega_z \eta(\mathbf{X}_t | \boldsymbol{\mu}_z, \boldsymbol{\Sigma}_z) : P(\mathbf{X}) = \sum_{z=1}^{N_{\text{гр}}} \omega_z \eta(\mathbf{X}_t | \boldsymbol{\mu}_z, \boldsymbol{\Sigma}_z),$$

где $\boldsymbol{\mu}_z$ – вектор средних значений для z -го распределения;

$\boldsymbol{\Sigma}_z$ – ковариационная матрица размера $n_{\text{кл}} \times n_{\text{кл}}$ для z -го распределения, $n_{\text{кл}}=2$; ω_z – вес z -го распределения, $\sum_z \omega_z = 1$ (рис. 1). Число кластеров $N_{\text{гр}}$ в каждой проекции различно.

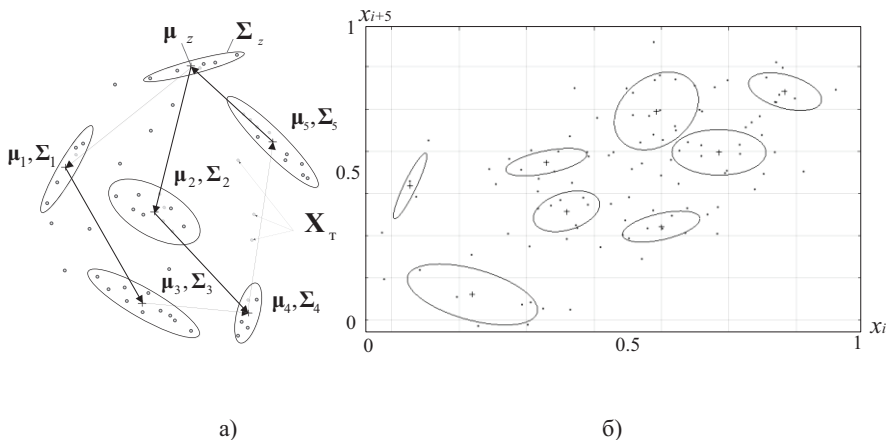


Рис. 1. Модель: а) ТМП, обобщенная, с переходами между состояниями в одной из проекций фазового пространства; б) распределения кластеров в одной из проекций фазового портрета ДС, полученная на основе значений ТМП ориентации малого КА на Землю

Для создания рассмотренных моделей необходимо использовать представительную выборку значений ТМП в условиях незначительных возмущающих воздействий и шумов. Количество устойчивых кластеров определяется путем многократной реализации процедуры кластеризации и оптимизации значений эмпирической целевой функций (например, на основе минимума внутриклассовой дисперсии точек). Для описания ДС достаточное количество двумерных проекций фазового портрета равно $N-1$, где N – размерность вложения аттрактора, определяемая на основе метода ложных ближайших соседей [5]. Чтобы связать предложенную модель с выражением вида (1) для получения оценок $\mathbf{Q}_k$ необходимо определить следующее: центры кластеров

$\boldsymbol{\mu}_z$ задают начальное приближение искомого двумерного вектора состояния $\mathbf{Q}_k$ в

каждой из $N-1$ проекций фазового портрета, а размеры полученных кластеров, определяемые ковариационной матрицей Σ_z , суммарное воздействие на ДС векторов V_k и S_k . Переходы между состояниями в фазовом пространстве носят вероятностный характер. Процесс формирования моделей в каждой проекции фазового портрета включает следующие этапы: накопление временных рядов ТМП ДС в ситуациях штатного функционирования и в нештатных ситуациях; расчет требуемой размерности фазового пространства N ; кластеризацию ТМП в каждой проекции фазового портрета ДС; формирование $N-1$ СММ. Полученные модели можно использовать для определения текущего состояния ДС с некоторой вероятностью по значениям ТМП, а также для повышения достоверности значений ТМП на этапе первичной обработки ТМИ. Процесс обработки ТМП бортовых ДС КА с использованием описанных моделей включает следующие этапы: рассмотрение новых реализаций ТМП в фазовом пространстве размерности $N-1$; фильтрацию ТМП в каждой проекции фазового портрета ДС с использованием $N-1$ фильтров; преобразование $N-1$ результата фильтрации в одномерную реализацию сглаженного временного ряда ТМП. Рассмотрим обработку ТМП с использованием алгоритма МЧФ на основе метода последовательной выборки по значимости:

Шаг 1. Задаем количество частиц фильтров – N_q . Для всех j -х проекций фазового портрета выполняем шаги 2-8, $j=1 \dots N$, где N – количество проекций.

Шаг 2. Задаем параметр $k=0$; загружаем очередной двумерный вектор значений ТМП – $Z_{j,k}$; определяем начальный двумерный вектор состояния $Q_{j,k}$ по наблюдаемым измерениям $Z_{j,k}$, как ближайший (по выбранной метрике) центр кластера из множества $\{\mu_{z,j}\}$.

Шаг 3. Создаем N_q частиц $X_{j,k}=\{X_{j,k,i}\}$ путем добавления к $Q_{j,k}$ вектора $D_{j,k}$, где $X_{j,k,i}$ – вектора состояния отдельных частиц, $i=1 \dots N_q$ – номер частицы, $D_{j,k,i}$ – вектор шума с параметрами из ковариационной матрицы Σ_z выбранного кластера: $X_{j,k,i} = Q_{j,k} + D_{j,k,i}$.

Шаг 4. Создаем вектор весовых коэффициентов $W_{j,k}$ с элементами $W_{j,k,i}$: $W_{j,k,i}=1/N_q$.

Шаг 5. Увеличиваем $k=k+1$.

Шаг 6. Определяем двумерный вектор состояния $Q_{j,k}$, как ближайший (по выбранной метрике) к вектору $Z_{j,k}$ центр кластера из разрешенного множества кластеров $\{\mu_{z,j}\}$, и вектора возмущений $D_{j,k,i}$ с параметрами из ковариационной матрицы Σ_z выбранного кластера; разрешенное множество кластеров определяется наличием переходов из предыдущего состояния; вычисляем вектор перемещения на фазовой плоскости согласно модели: $dX_{j,k,i} = Q_{j,k} - Q_{j,k-1}$; обновляем выборку частиц: $X_{j,k,i} = X_{j,k-1,i} + dX_{j,k,i} + D_{j,k,i}$.

Шаг 7. Пересчитываем веса частиц с учетом обновления их значений и вероятности $P(Z_{j,k}/X_{j,k,i})$ отнесения каждой частицы к вектору $Z_{j,k}$: $W_{j,k,i} = W_{j,k-1,i} P(Z_{j,k}/X_{j,k,i})$,

$W_{j,k,i} = W_{j,k,i} / \sum W_{j,k,i}$. Значения вероятностей $P(\mathbf{Z}_{j,k} / \mathbf{X}_{j,k,i})$ определяются с учетом расстояний (по выбранной метрике) между $\mathbf{X}_{j,k,i}$ и $\mathbf{Z}_{j,k}$ в j -й проекции фазового портрета.

Шаг 8. Вычисляем эффективный размер аппроксимирующей выборки частиц: $N_{j,e} = 1 / \sum W_{j,k,i}^2$. Если $N_{j,e} \leq N_{j,e,lim}$ выполняем шаг 11, иначе шаг 9. Допускается адаптивное изменение порога $N_{j,e,lim}$ в процессе фильтрации.

Шаг 9. Оцениваем вектор состояния $\mathbf{Q}_k$:
$$\mathbf{Q}_{j,k} = \sum_{i=1}^{N_q} W_{j,k,i} \mathbf{X}_{j,k,i},$$

$\mathbf{Q}_k = \Psi(\mathbf{Q}_{1,k}, \mathbf{Q}_{2,k}, \dots, \mathbf{Q}_{N-1,k})$, где Ψ – функционал преобразования обработанных компонентов $\mathbf{Q}_{j,k}$ в одномерный временной ряд.

Шаг 10. Переходим на шаг 5.

Шаг 11. Осуществляем регенерацию выборки частиц. Из аппроксимирующей выборки удаляются частицы с малыми весами, а частицы с большим весом заменяются группами частиц с меньшим весом таким образом, чтобы сохранились объем выборки и выборочная функция распределения. Переходим на шаг 9.

Достоинством алгоритмов МЧФ является возможность работы с различными моделями, в том числе и СММ (рис. 1). На рис. 2, а представлены результаты обработки ТМП напряжения солнечной батареи малого КА. Модельные значения (кривая 3, пунктиром) ТМП получены на основе преобразования значений центров кластеров μ_z в одномерную временную реализацию.

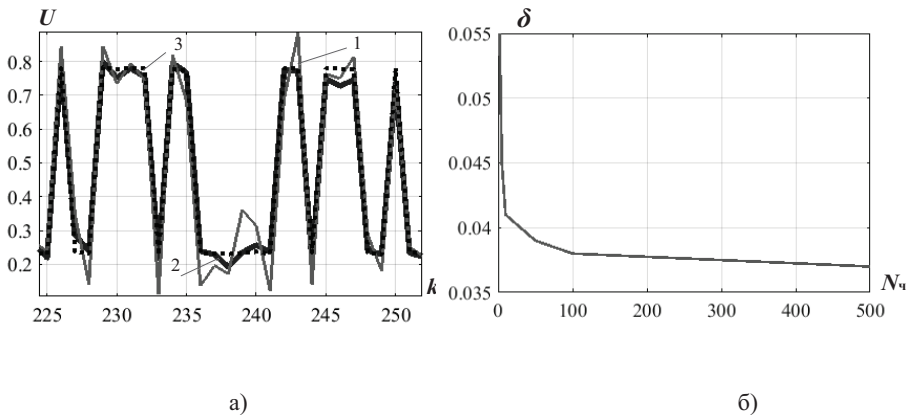


Рис. 2. Зависимости: а) измеренных (кривая 1), сглаженных (кривая 2), модельных (кривая 3, пунктиром) значений ТМП напряжения солнечной батареи малого КА от номера дискретного отсчета времени; б) среднеквадратической погрешности фильтрации от количества частиц в алгоритме МЧФ

Точность алгоритма и количество требуемых вычислительных ресурсов возрастают с увеличением числа частиц N_c (рис. 2, б). Данный недостаток не является существенным в современных наземных комплексах обработки ТМИ.

Литература

1. Управление космическими аппаратами и средствами наземного комплекса управления: учебник // Ю.С. Мануйлов, В.Н. Калинин, В.С. Гончаревский, И.И. Деллий, Е.А. Новиков; под общ. ред. Ю.С. Мануйлова. – СПб.: ВКА имени А.Ф. Можайского, 2010. 609 с.
2. Кольчугин Ю. И., Скоробогатов Е. Г. Применение многочастичных фильтров в задачах оценивания нелинейных негауссовских процессов // Радиотехника, № 7, 2012, С.91–95.
3. Кудрявцева И.А. Анализ эффективности расширенного фильтра Калмана, сигма-точечного фильтра Калмана и сигма-точечного фильтра частиц // Научный вестник МГТУ ГА, №224, 2016, С. 43–52.
4. Verma V. Tractable particle filters for robot fault diagnosis // Robotics Institute, Carnegie Mellon University, Pittsburgh, 2004, 107 p.
5. Малинецкий Г. Г., Потапов А. Б. Современные проблемы нелинейной динамики. – М.: Едиториал УРСС, 2002. 360 с.

Использование воксельных моделей для выявления и формализации способов и возможностей диагностирования объектов наземного технологического оборудования стартовых комплексов

Е.П. Боровской,
Космодром «Плесецк»
evgeniy_borovskoy@rambler.ru

Повышение безопасности и эффективности эксплуатации ракетно-космической техники тесно связано с автоматизацией процессов подготовки и пуска ракет космического назначения, включая автоматизацию процессов обнаружения неисправностей, предупреждения их появления и оперативного принятия решений при возникновении и угрозе возникновения нештатных ситуаций (НшС). Рост производства и испытание в реальных условиях боевых и обеспечивающих робототехнических комплексов (РТК), совершенствование элементной базы и технических решений подтверждает, что одним из перспективных направлений развития военной техники для автоматизации процессов выполнения опасных и ответственных задач считается военная робототехника [1].

В применении к задачам, связанным с устранением последствий аварий на стартовых комплексах (СК), оперативным контролем состояния технологических процессов (ТП) и наземного технологического оборудования (НТО) СК, возможно осуществлять их решение с применением робототехнических комплексов и систем [2]. Применение мобильных средств для сбора сведений о состоянии НТО в составе нижнего уровня автоматизированных систем управления (АСУ) повысит объем получаемой информации без необходимости увеличения количества этих средств. Для осуществления дополнительного контроля объектов НТО СК предлагается использовать объединенные в единую сеть под управлением АСУ робототехнические системы (РТС) [3] в соответствии с принципом построения многоагентных систем.

Важной задачей при формировании структуры и состава РТС НТО СК является выявление объектов НТО СК, требующих дополнительного контроля средствами РТС, оценка окружающей обстановки и определение оптимального состава и структуры РТС, необходимой для выполнения поставленных задач в заданных условиях и с заданными ограничениями. Под объектом НТО СК в рамках данной статьи будем понимать элементы НТО СК, состояние которых необходимо контролировать по одному или нескольким параметрам, либо на которые необходимо удаленно воздействовать для предупреждения, пресечения, своевременного и оперативного обнаружения НшС.

Необходимость оценки обстановки при определении структурных и функциональных параметров РТС НТО СК, то есть выявление всех объективных условий, в которых предстоит выполнять задачу, связана с большим количеством ограничений, неизбежно возникающих при решении задачи размещения дополнительных объектов

в такой сложной системе агрегатов, объектов и коммуникаций, как НТО СК. Основными задачами оценки обстановки являются:

- выявление ограничений, накладываемых на размеры, структуру, функции РТС,
- определение возможности одновременного контроля нескольких объектов одной РТС,
- обнаружение возможности и способа взаимодействия РТС друг с другом,
- выявление возможности и способа перемещения РТС среди составных частей НТО СК.

Предлагается для формализации и структурирования сведений о НТО СК, в целях дальнейшего выбора оптимального состава и структуры РТС, использовать модель объемного представления пространства (Рис. 1). В дискретном виде 3D – изображение представляется трехмерным массивом $X=[x_{lmk}]$ размерностью $[L \times M \times K]$.

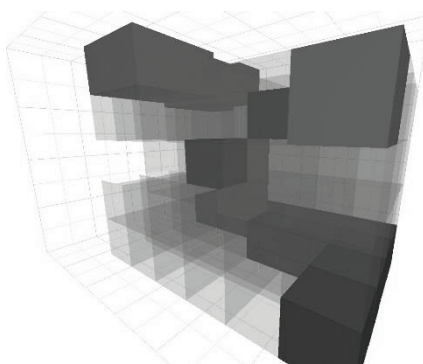


Рисунок 1 - Графическое изображение воксельной модели помещения

Дискретный элемент 3D – изображения принято называть воксель [4]. Для создания воксельной модели исследуемое пространство разбивается на элементарные объемы. Для простоты расчетов используем кубический воксель с размерами ребра равным VOX_{min} . Затем, для каждого вокселя определяем свойства, необходимые для проведения рекогносцировки, такие как процент наполненности, степень прозрачности (возможность прохождения через пространство вокселя выбранного типа информации), вероятность появления помех и пр. На рисунке (Рис. 1) показано тоновое представление свойства «Прозрачность» вокселей.

Пусть с использованием методов экспертного оценивания выявлена необходимость контроля $N_{об}$ объектов в одном из сооружений СК в заданный период времени ΔT . Принято решение об осуществлении удаленного контроля объектов с применением РТС, оснащенных средствами видеонаблюдения и датчиками температуры.

Дано: множество РТС $A = (a_1, a_2, \dots, a_n)$, способных осуществлять указанный тип контроля; известны свойства РТС, параметры помещения, ограничения и допустимое несоответствие требуемых и реальных свойств РТС.

Требуется: найти возможные подмножества $A^* = (a^*1, a^*2, \dots, a^*n)$ множества A состава РТС, их количественные и качественные параметры для выполнения задачи контроля Ноб в заданный период времени ΔT .

Особенность применения воксельных моделей заключается в том, что помещение, в котором находится объект контроля, представляется как совокупность вокселей. Размер вокселя подбираем так, чтобы в простейшем случае размер РТС a_i , совпадал с $VOXmin$. Будет называть такую РТС, представленную в виде вокселя, воксель-агентом. При необходимости уточнения структуры помещения и формы воксель-агента следует уменьшить значение $VOXmin$.

Определение свойств каждого вокселя ($VATr$) рассматриваемого пространства позволит создать «воксельную карту» сооружения или объекта НТО, т.е. список объектов, для которых однозначно определены координаты расположения и свойства.

Основываясь на свойствах РТС выбранного подмножества A^* , задаем требуемые свойства воксель-агента $VATr$, свойства вокселей пространства Vsv и общее количество рассматриваемых вокселей. Следующим этапом необходимо просмотреть свойства всего множества вокселей исследуемого пространства, при этом требуется обнаружить такие воксели, чтобы их параметры (например допустимая масса, размер, допустимая рабочая температура) соответствовали свойствам воксель-агента. Такие воксели будем называть «допустимые воксели», алгоритм их поиска представлен на рисунке (Рис.2). Каждому вокселю исследуемого пространства должно быть задано свойство «допустимости» $V_{доп}$, истинность которого свидетельствует о том, что в данном вокселе может располагаться воксель-агент. Такие «допустимые» воксели для дальнейшей обработки и выявления возможности выполнения заданным РТС задачи по диагностированию указанного объекта при нахождении в них следует «запоминать» в отдельный список SpV .

Помечаем такие воксели изменением свойства «возможность размещения» в один из трех значений: «да», «нет», «вероятно». В результате элементы воксельной карты будут дополнены свойствами, указывающими на возможность размещения агента в том или ином элементарном объеме. Свойство «возможность размещения», установленное в значение «вероятно» указывает на то, что несоответствие параметра агента параметрам вокселя находится в допустимом отклонении и существует способ разместить РТС в указанной части пространства при выполнении определенных действий, например перемещение.

Создание базы данных вокселей, тем не менее, не решает задачи определения возможности получения информации РТС из конкретной области пространства. На практике применяется метод экспертных оценок для выявления возможности получения сведений об объекте и месте размещения конкретного прибора. Предлагается с использованием воксельной модели через свойства вокселей рассматривать возможность получения информации об объекте контроля средствами РТС.

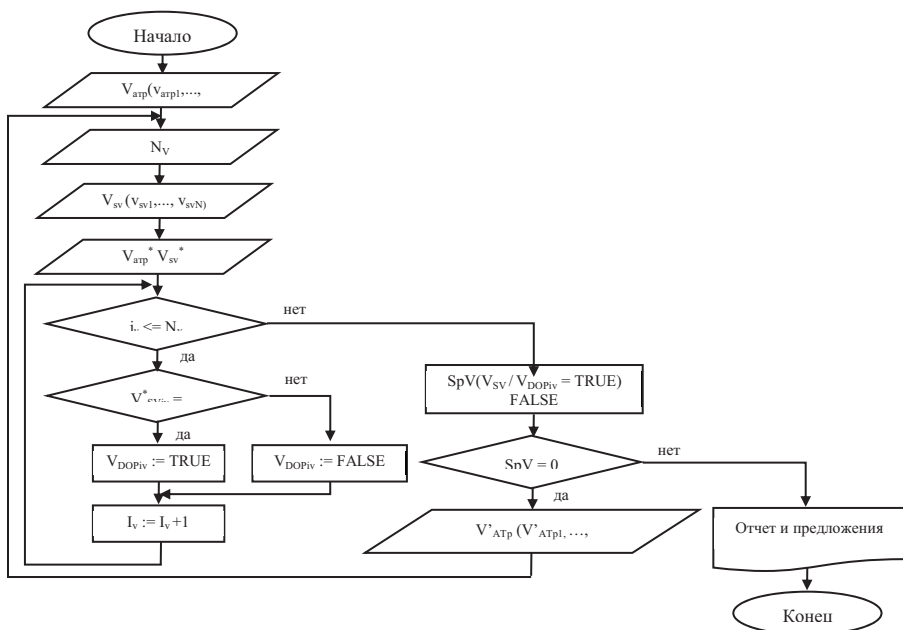


Рисунок 2 - Алгоритм поиска «допустимых» вокселей

Строим вектор от каждого вокселя-допустимого до объекта контроля, при этом в первую очередь проверяем возможность получения информации средствами РТС. Для каждого полученного вектора контроля (Рис.3) определяем «степень прозрачности» вокселей вектора как сумму или как максимальное значение параметра проходимости каждого вокселя пути от каждого допустимого вокселя до объекта контроля. Тем самым формируем перечень «исходных» вокселей, т.е. элементарных объемов, подходящих для размещения агентов и контроля объектов.

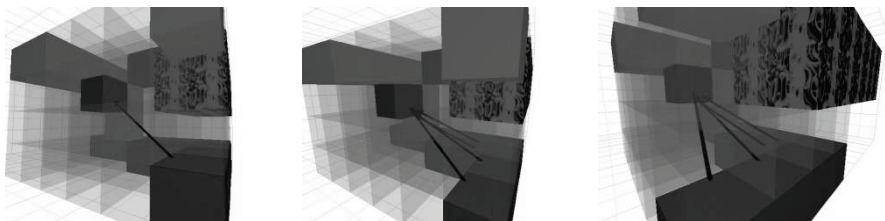


Рисунок 3 - Графическое изображение векторов контроля

Повтор рассмотренного алгоритма исследования пространства помещения, с использованием различных воксель-агентов позволяет создать базу данных обо всех возможных вариантах, которые в дальнейшем анализе будут оцениваться с точки зрения возможности выполнения задачи, полноты осуществляемого контроля и потребных затрат при использовании различных наборов А* и структур РТС.

Создание такой базы данных, состоящей из объектов – вокселей со своими свойствами, повторяет в своей основе принцип, используемый в объектно-ориентированном программировании и позволяет в дальнейшем проводить обработку данных, их изменение, дополнение новыми свойствами при относительно малых затратах в отличие от повторных сборов данных, оценки состояния систем и агрегатов, принятия решения о возможности внесения изменений в существующую структуру НТО СК.

Заключение.

Применение воксельных моделей для определения структурных и функциональных параметров робототехнических систем наземного технологического оборудования стартовых комплексов позволяет формализовать структуру и свойства помещения, а также облегчает процесс подбора и выявления особенностей структуры и свойств РТС НТО СК. Главным недостатком является необходимость осуществления трудоемкого процесса первоначального создания воксельной карты помещений сложной структуры. Проведенная работа позволит перерабатывать структуру РТС в процессе эксплуатации в результате изменения исходных параметров (структуры помещения или разработки нового типа РТС).

Литература

1. Крайлюк А.Д., Комченков В.И., Ивлев А.А., Юрин А.Д. Основы концепции развития робототехники военного назначения до 2030 г. М.: Издательство «Новые технологии»:
Мехатроника, автоматизация, управление. №3, 2009. с.10.
2. Минаков Е.П., Тарасов А.Г., Боровской Е.П. Развитие структуры автоматизированной системы управления подготовкой и пуском ракет космического назначения с целью автоматизации процессов устранения нештатных ситуаций // Научные технологии в космических исследованиях земли. 2015. Т. 7, N 6. С. 16-21.
3. Тарасов А.Г., Самсонов Ф.А., Цветков А.Ю. Структура автоматизированной системы подготовки и пуска ракет космического назначения с применением робототехнических средств // Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. 2015. Вып. 646. С.180-185.
4. Чопи П.А., Трехмерные и двумерные изображения: модели, алгоритмы и аспекты анализа // International Journal of Open Information Technologies. 2014. Т. 2, N 11. С. 1-9

Анализ и выбор методов преобразования концентрации компонентов ракетного топлива в воздухе рабочих мест и окружающей среды

А.В. Мотин, И.Р. Вергазов, Н.С. Чапанов, В.В. Федоренко,

Акционерное общество «НИИ ФИ»

info@niifi.ru

Наличие токсичных и взрывоопасных веществ в воздухе рабочих мест и окружающей среды является потенциальной угрозой здоровью и жизни человека. Такими газами, в частности, являются компоненты ракетного топлива (КРТ), относящиеся к веществам 1-3 классов опасности и которые зачастую невозможно увидеть и почувствовать человеку даже при содержании в воздухе предельно допустимых концентраций. Для обеспечения безопасности жизни и здоровья людей существует достаточно большое количество методов преобразования концентрации КРТ для их обнаружения в воздухе рабочих мест и окружающей среды [1-3].

Чаще всего для обнаружения концентрации КРТ применяют сенсоры, основанные на термохимических, электрохимических и полупроводниковых методах преобразования концентрации. Вместе с тем, термохимическим и электрохимическим методам преобразования концентрации присущ ряд недостатков. Термохимические сенсоры имеют малый срок службы (в основном 1-3 года), низкую стабильность при обнаружении малых концентраций горючих газов и обладают низкой селективностью. В свою очередь сенсоры, основанные на электрохимическом методе, требуют постоянного обслуживания при эксплуатации и имеют сложную конструкцию. Наиболее перспективным методом преобразования концентрации КРТ является полупроводниковый.

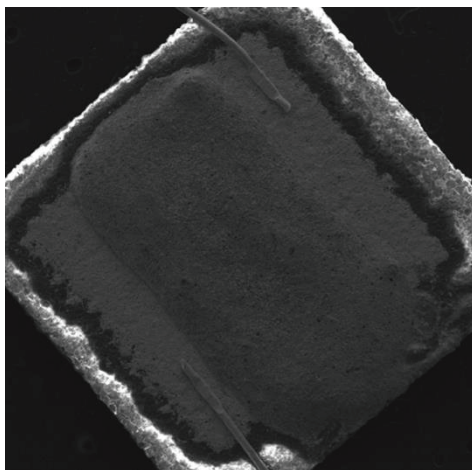
Твердотельные полупроводниковые металлооксидные сенсоры реагируют на присутствие в атмосфере широкого спектра веществ. Они обладают малым временем отклика на изменение концентрации КРТ в воздухе при нагреве сенсора до температуры от 100 оС до 500 оС и высокой чувствительностью, позволяющей определять присутствие КРТ при концентрациях в воздухе менее 10-5 мг/л. Вместе с тем полупроводниковый метод преобразования концентрации КРТ позволяет создавать миниатюрные сенсоры с продолжительным сроком службы.

В настоящее время АО «НИИФИ» разрабатывает сенсоры на основе полупроводникового метода преобразования концентрации КРТ ввиду его явных преимуществ перед аналогами. В качестве газочувствительного слоя применены оксиды металлов V и VI групп периодической таблицы элементов, обладающих полупроводниковыми свойствами. Для повышения селективности сенсора к КРТ в кристаллическую решетку полупроводника введены каталитически активные металлы-катализаторы.

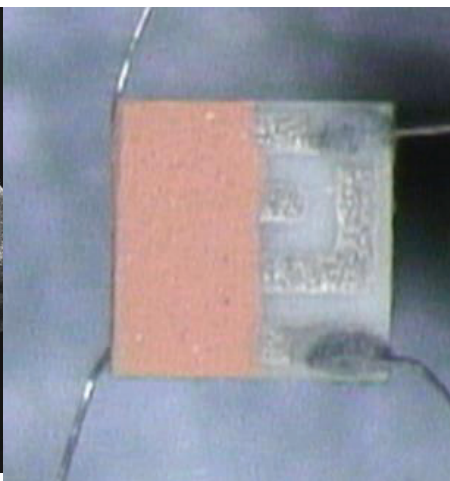
Исследованы и отработаны конструкции миниатюрных полупроводниковых сенсоров, состоящих из диэлектрической теплопроводящей подложки, на одной стороне

которой сформирован толсто пленочный газочувствительный слой, а на обратной стороне – слой нагревателя.

Газочувствительный слой разрабатываемых конструкций сенсора представляет собой плёнку из нанодисперсных оксидов олова SnO_2 или оксидов индия In_2O_3 (рисунок 1). В качестве легирующих добавок могут быть использованы Pt, Pb, Fe и другие металлы, обладающие каталитическими свойствами и обеспечивающие селективность к КРТ.



SnO_2



In_2O_3

Рисунок 1. Газочувствительный полупроводниковый слой на основе SnO_2 и In_2O_3

Указанные газочувствительные плёнки характеризуются хорошими адсорбционными свойствами и реакционной способностью благодаря наличию поверхностных и объемных вакансий кислорода и активного хемосорбированного кислорода. Принцип работы сенсора заключается в механизме изменения электропроводности газочувствительной пленки при её взаимодействии с веществом-донором электронов. При температурах от $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ на поверхности датчика происходит активная адсорбция кислорода. Когда адсорбированный кислород реагирует с КРТ, происходит высвобождение электронов в зону проводимости, увеличивающее электропроводность материала, которая может быть измерена. Когда молекулы вещества достигают поверхности газочувствительной плёнки, они окисляются и удаляют ионы адсорбированного кислорода, которые замещаются O_2 из окружающей атмосферы, что дает возможность протекать дальнейшим процессам окисления КРТ. Следовательно, скорость реакции окисления измеряемой концентрации КРТ и замещения ионов подразумевает существование равновесной плотности адсорбированных O_2 ионов, которая определяет проводимость газочувствительной пленки и сама зависит от парциального давления газа в атмосфере. Это объясняет различную чувствительность сенсора к различ-

ным веществам (которые различаются скоростями окисления) при различных рабочих температурах (скорость окисления является функцией температуры). Когда атмосферный кислород диссоциирует и адсорбируется на поверхности полупроводника, электроны извлекаются из зоны проводимости, вызывая повышение сопротивления газочувствительной плёнки. При нормальных климатических условиях требуется значительный временной промежуток для десорбции адсорбированных ионов O_2 [4].

Для того, чтобы физико-химические процессы десорбции протекали на поверхности газочувствительного слоя быстрее, сенсор периодически разогревается до температуры порядка 800-1000 °C, что позволяет очистить поверхность от ранее адсорбированных молекул и удалить загрязняющие его поверхность примеси. Исходя из вышеуказанного, слой нагревателя представляет собой резистор, который выполнен из высокостабильных и инертных к КТР материалов, способных сохранять свои свойства при высоких температурах. Высокие требования предъявляются к температурному коэффициенту сопротивления резистора нагревателя. Важно, чтобы он был линеен в широком диапазоне рабочих температур и позволял задавать необходимую температуру нагрева с высокой точностью.

С целью подтверждения основных принципов работы полупроводникового метода преобразования концентрации КРТ проведены экспериментальные исследования зависимости сопротивления газочувствительной пленки от концентрации КРТ газа в воздухе. В частности, определены зависимости сопротивления газочувствительной плёнки в среде чистого воздуха, а также с примесью окислителя ракетного топлива различной концентрации (рисунок 2) при температуре нагревателя 300 °C.

На рисунке 3 приведен график зависимости сопротивления газочувствительной пленки от концентраций окислителя ракетного топлива при температуре нагревателя 450 °C.

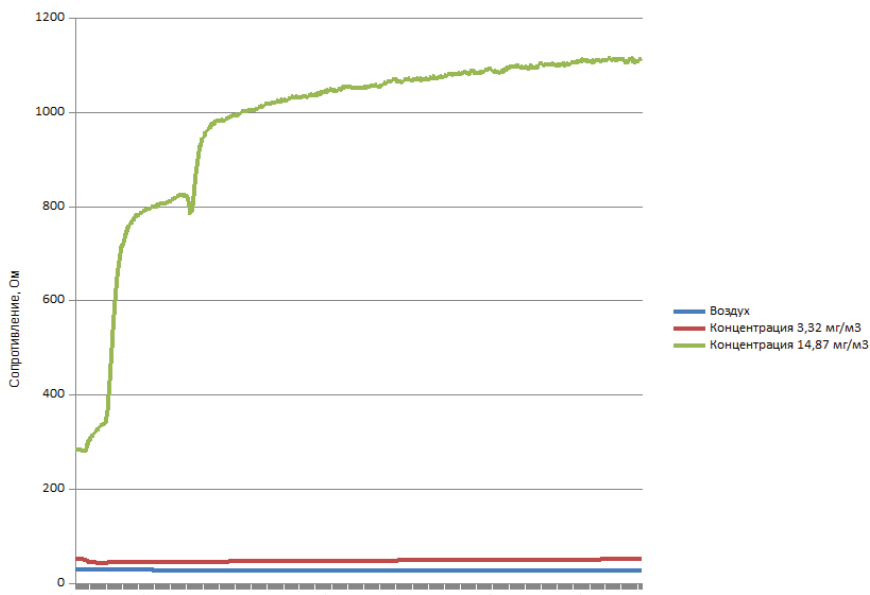


Рисунок 2. Изменение сопротивления газочувствительного слоя сенсора при различных концентрациях КРТ при температуре 300 °C

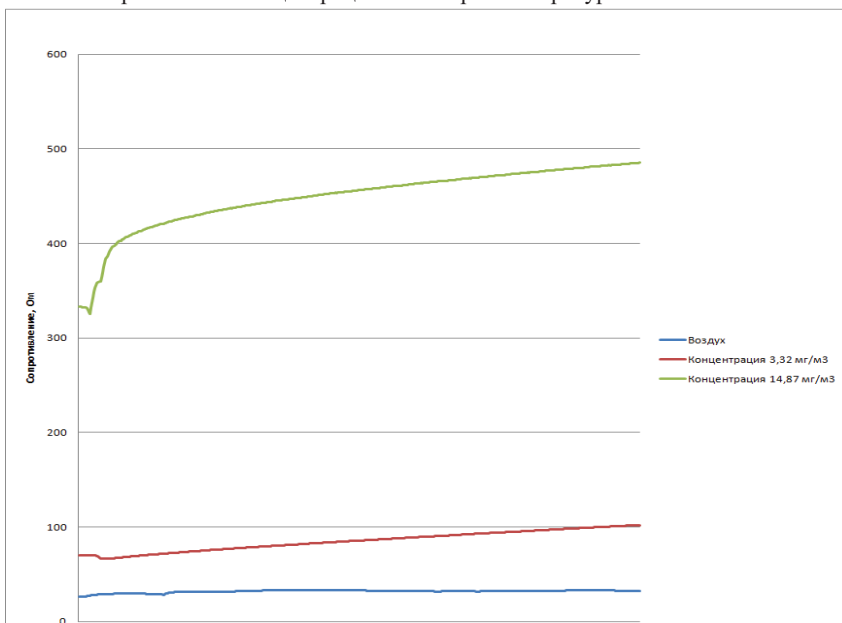


Рисунок 3. Изменение сопротивления газочувствительного слоя сенсора при различных концентрациях КРТ при температуре 450 °C

Как видно из графиков, полупроводниковые газочувствительные пленки реагируют на наличие окислителя ракетного топлива в воздухе, резко повышая свое сопротивление как при 300 °С, так и при 450 °С. Исследования показали, что рабочая температура сенсорной пленки при 300 °С наилучшим образом подходит для обнаружения высоких концентраций КРТ в воздухе, особенно если предполагается длительная работа датчика сенсора. В свою очередь, рабочая температура 450 °С является предпочтительней в случае необходимости более точного обнаружения малых концентраций КРТ в воздухе.

Выводы. Проведен анализ методов преобразования концентрации КРТ в воздухе рабочих мест и окружающей среды. Выбран наиболее перспективный метод преобразования на основе полупроводниковой газочувствительной пленки. Приведены результаты исследований газочувствительных плёнок и экспериментов по определению чувствительности к концентрациям окислителя ракетного топлива в воздухе.

Литература

1. Тхоржевский, В.П. Автоматический анализ химического состава газов / В.П. Тхоржевский. – М.: Химия, 1969.– 324 с.
2. Иовенко, Э.Н. Автоматические анализаторы и сигнализаторы токсичных и взрывоопасных веществ в воздухе / Э.Н. Иовенко. – М.: Химия, 1972.– 188 с.
3. Полупроводниковые сенсоры в физико-химических исследованиях / И.Я. Мясников [и др.]. – М.: Наука, 1991.– 327 с.
4. Киселев, В.Ф. Электронные явления в адсорбции и катализе на полупроводниках и диэлектриках / В.Ф. Киселев, О.В. Крылов. – М. Наука, 1979.

Особенности разработки систем формирования стоячей волны высокودобротных волновых твердотельных гироскопов при малых временах вхождения в режим

А.В. Николаев, А.А. Папко, д.т.н., А.В. Поспелов,

АО «НИИ ФИ»

inercial@niifi.ru

Волновой твердотельный гироскоп (ВТГ) является одним из наиболее перспективных гироскопов для космической техники. Его конкурентными преимуществами является высокая надежность вследствие простоты конструкции резонатора с двумя степенями свободы, работающего на собственной частоте [3, 4]. Для поддержки режима возбуждения в чувствительном элементе ВТГ должна быть обеспечена добротность колебаний не менее 5×10^6 . Подобная добротность колебаний в любой механической или электрической колебательной системах позволяет сохранить длительный переходный процесс после отключения системы возбуждения [1]. Указанное конкурентное преимущество позволяет сохранять работоспособность гироскопа в течение этого времени и обеспечивает возможность принятия решения о резервировании гироскопа с отказом системы возбуждения на дополнительный гироскоп, вводимый в блок гироскопов с целью повышения надежности [2]. Из этого следует также, что без принятия специальных мер процесс возбуждения резонатора займет столько же времени, сколько и переходный процесс при отключении системы возбуждения, что неприемлемо, так как одной из основных характеристик ВТГ является требование по вхождению в режим в течение времени не превышающего 10 с.

В докладе представлены результаты математического моделирования процессов отключения и вхождения в режим резонатора и гироскопа в целом. В результате установлено, что требования к времени вхождения в режим обеспечиваются:

- 1) введением в процесс возбуждения нормируемых потерь, уменьшающих добротность не менее чем на два порядка;
- 2) построением канала автоматического возбуждения резонатора с включением в него узла с регулируемой гистерезисной характеристикой и увеличением амплитуды возбуждающего напряжения, подключаемого к системе электродов позиционного возбуждения, до уровня не менее 400 В в течение времени, обеспечивающего требуемую накачку кинетической энергии (не более 3-5 с). По истечении указанного промежутка времени возбуждающее напряжение уменьшенной амплитуды, коммутируемое с удвоенной собственной частотой, подключается к электроду параметрического возбуждения, компенсирующего потери в каждый период колебаний резонатора.

По результатам математического моделирования созданы Simulink-модели процесса автоматического возбуждения, исследованы характеристики модели, разработаны структурные и электрические схемы канала возбуждения и выведен закон управления цепью стабилизации амплитуды параметрического возбуждения и структурная и электрическая схемы цепи стабилизации амплитуды колебаний.

Представлены результаты экспериментального подтверждения достоверности проведенного моделирования переходных процессов, подтверждающие эффективность проведенного исследования.

Литература

1. Lynch D., Matthews A., Varty G.T. Innovative Mechanizations to Optimize Inertial Sensors for High or Low Rate Operations. In Proceedings of the Symposium Gyro Technology, Stuttgart, Germany, 1 January 1997.
2. Meyer D., Rozelle D. Milli-HRG Inertial Navigation System. Gyrosc. Navig. 2012, 3, 227-234.
3. Lynch D. Coriolis Vibratory Gyros. In Proceedings of the Symposium Gyro Technology, Stuttgart, Germany, 15-16 September 1998.
4. Lynch D. Vibratory gyro analysis by the method of averaging. In Proceedings of the 2nd International Conference on Gyroscopic Technology and Navigation, Saint Petersburg, Russia, 24-25 May 1995; pp. 26-34.

Анализ и синтез информационно-измерительных систем контроля токсичных компонентов ракетных топлив на космодромах

А.В. Николаев, М.Ю. Михеев, д.т.н., М.В. Тюрин, к.т.н., Д.А. Ярославцева,
АО «НИИ ФИ»
info@niifi.ru

При создании и эксплуатации стационарных наземных технологических объектов в целях обеспечения безопасности обслуживающего персонала, выявления неисправностей технологического оборудования и предупреждения пожаровзрывоопасности (в большей степени на стартовых комплексах и заправочных станциях) возникла необходимость введения в состав их оборудования систем контроля загазованности воздуха рабочих зон парами токсичных компонентов ракетного топлива (КРТ) в помещениях строительных сооружений и в местах, где возможны утечки газов из технологических систем.

Компоненты ракетного топлива являются опасными токсичными веществами при воздействии на организм человека, пожаровзрывоопасны, поэтому содержание их паров и газов в воздухе строго нормируется.

Системы газового контроля, представляющие собой информационно-измерительные системы (ИИС) контроля токсичных КРТ, созданы для автоматического дистанционного контроля загазованности воздуха рабочих зон контролируемых помещений с отображением результатов на видеоконтрольном устройстве, а также для автоматической сигнализации при превышении пороговых значений загазованности – предельно допустимых концентраций и предельно допустимых до взрывоопасных концентраций [1].

Проблема обнаружения и определения паров токсичных КРТ обусловлена их высокой реакционной способностью, принципиально различными химическими свойствами и высоким статусом химической опасности. Так, например, тетраоксид азота – амил – является сильным окислителем, в то же время несимметричный диметилгидразин – гептил – активным восстановителем, класс опасности для гептила – I, для паров тетраоксида азота – II (III).

Сегодня основным методом контроля паров КРТ является индикационное обнаружение с полуколичественным расчетом концентрации примеси. В этом методе через ленту, пропитанную хромофорным реагентом, пропускают поток воздуха, содержащий ту или иную примесь паров токсичных КРТ. При взаимодействии с реагентом образуется окрашенное пятно, интенсивность окраски которого зависит от концентрации определяемой примеси. Интенсивность окраски пятна определяется методом спектроскопии диффузного рассеяния при угле отбора излучения, соответствующем максимуму индикатрисы рассеяния. Для каждого типа примеси применяется уникальная лента с выбранным хромофорным реагентом. Метод предполагает использование

расходных материалов (их хранение, замену), является индикаторным (погрешность определения концентраций выше 40 – 50 %) [2].

Анализ ИИС газового контроля, эксплуатируемых в настоящее время в сооружениях и помещениях стартового комплекса «Протон» космодрома «Байконур», позволил определить типовые требования к составу и техническим характеристикам информационно-измерительных систем.

ИИС газового контроля предназначены для контроля воздушной среды в помещениях, где расположено технологическое оборудование и возможны утечки паров компонентов топлива амил, гептила, кислорода и др., а также для выдачи электрических, световых и звуковых сигналов о состоянии воздушной среды в указанных помещениях для предупреждения обслуживающего персонала об опасности.

В типовой состав ИИС газового контроля входят [1]:

- датчиковая аппаратура (амил, гептил, кислород и др.);
- блоки вторичной аппаратуры (управления, сигнализации, питания), объединенные в стойки;
- дистанционный пульт информации (пульт контроля);
- световые и звуковые сигнальные устройства;
- коммутирующая аппаратура и кабели.

Основные технические характеристики систем приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Основные технические характеристики ИИС газового контроля

Тип системы	стационарная
Контролируемые пороговые значения объемной доли кислорода, %:	
менее	19
более	23
Контролируемые пороговые значения содержания паров компонентов топлива:	
окислителя (амил), мг/л	0,002-0,04
горючего (гептил), мг/л	0,0001-0,01
Управление работой системы	автоматическое

Типовая структура ИИС газового контроля, эксплуатируемых на космодроме, представлена на рисунке 1.

Повышение требований к вопросам безопасности при эксплуатации технологического оборудования, заправочных станций, хранилищ ракетного топлива, моральное устаревание и выработка ресурса ИИС газового контроля обуславливает создание и внедрение ИИС газового контроля нового поколения с повышенными метрологическими и эксплуатационно-техническими характеристиками [3-8].

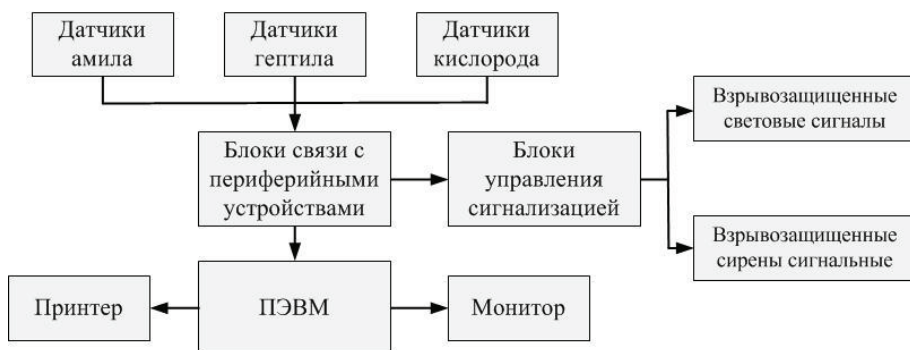


Рисунок 1 – Типовая структура ИИС газового контроля

Создание ИИС газового контроля нового поколения ведется с использованием современной датчиково-преобразующей аппаратуры и новейших научно-технических достижений. С широким внедрением вычислительной техники, созданием методологии объектно-ориентированного программирования и мультигенных технологий открываются возможности разработки практических методик структурно-параметрического синтеза ИИС газового контроля.

Модели, используемые в параметрическом и структурно-параметрическом синтезе, являются принципиально различными (таблица 2).

Таблица 2 – Сравнение моделей для структурного и структурно-параметрического синтеза.

СИНТЕЗ	
параметрический	структурно-параметрический
Структура модели фиксирована и не изменяется в процессе синтеза	Структура модели заранее не известна и модель формируется автоматически
Изменяются только параметры (номиналы элементов). Поиск осуществляется в пространстве параметров	Изменяются как структура, так и параметры. Поиск осуществляется в пространстве структур и параметров
Размерность вектора параметров фиксирована	Размерность вектора параметров заранее не известна и может быть определена только после того как будет определена структура

При структурно-параметрическом синтезе разработчик получает большую свободу при создании целевой функции, являющейся формализованным заданием на синтез. Так, при параметрическом синтезе применение ограничений на критерии ограничено тем, что при данной структуре проектируемой ИИС газового контроля совокупное выполнение ограничений может оказаться недостижимым. При структурно-параметрическом синтезе такая проблема отсутствует, если алгоритм разработан правильно и техническое задание является корректным. Таким образом, с большой долей вероятности решение, удовлетворяющее условиям технического задания, будет найдено [9, 10].

Модель процесса проектирования разделяется на два типа: последовательное и параллельное. С целью сокращения времени разработки, оптимизации структуры и параметров ИИС газового контроля, унификации ее составных частей, упрощения разработки программного обеспечения для создания единой информационной среды функционирования выбираем модель параллельного проектирования (рисунок 2) [11].

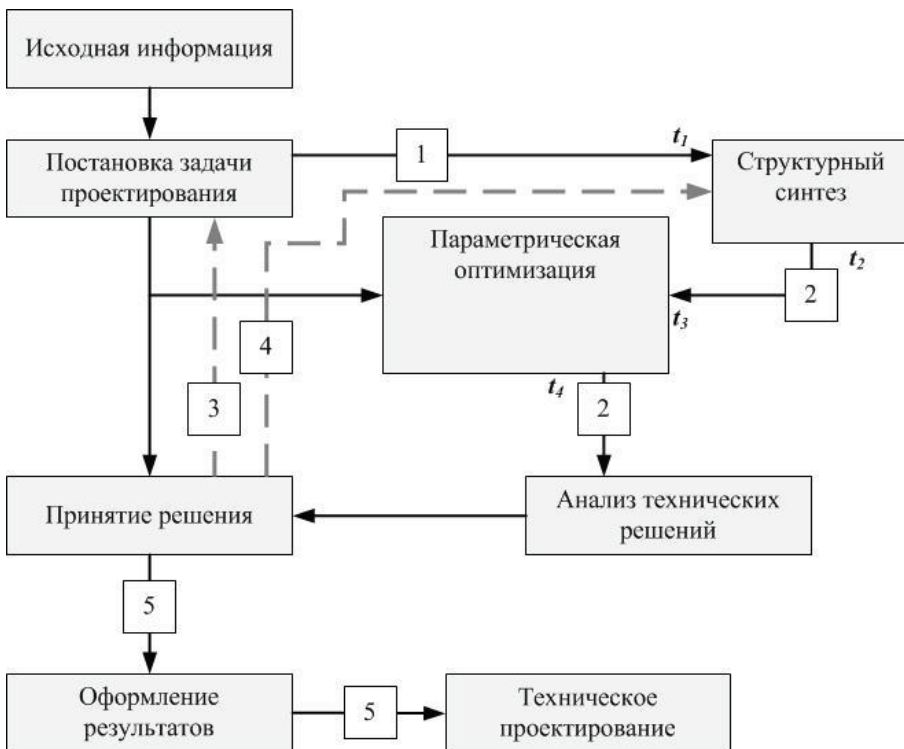


Рисунок 2 – Модель параллельного проектирования

- t_1 , t_2 , – начало и окончание этапа структурного синтеза,
 t_3 , t_4 – начало и окончание этапа параметрической оптимизации,
 1 – требования к техническому решению,
 2 – проектные данные,
 3 – указание об изменении постановки задачи,
 4 – указание о поиске новых технических решений,
 5 – результаты.

В работе показаны анализ существующих ИИС газового контроля, эксплуатируемых в настоящее время в сооружениях и помещениях стартового комплекса «Протон» космодрома «Байконур», определены типовой состав и типовая структура ИИС газового контроля. Поведен сравнительный анализ параметрического и структурно-параметрического синтезов, выбрана модель процесса проектирования. Предложенная

модель параллельного проектирования позволит эффективно решать такие задачи, как оптимизация и унификация структуры, параметров и составных частей (датчиково-преобразующей аппаратуры, систем сбора данных, аппаратно-программного обеспечения), разработки и формирования программного обеспечения создания единой информационной среды и разработать ИИС газового контроля нового поколения.

Литература

1. Технологические объекты наземной инфраструктуры ракетно-космической техники. Книга 3. Под ред. И.В. Бармина. – М.: ДС «Полиграфикс РПК», 2012. – 245 с.
2. Николаев А.В. Экспериментальный макет мультисенсорной газочувствительной системы / А.В. Николаев, С.З. Эль-Салим // Надежность и качество сложных систем. – 2017. – № 3 (19). – С. 17-25.
3. Федеральный закон «Об охране окружающей природной среды» от 19 декабря 1991 г.
4. Федеральный закон «О космической деятельности» от 20 августа 1993 г.
5. Экологический мониторинг ракетно-космической деятельности. Принципы и методы / под ред. Н.С. Касимова, О.А. Шпигуна. – М.: Рестарт, 2011. – 472 с.
6. Кузнецов, Н.И. Организация и проведение работ с компонентами ракетного топлива: справочное пособие / Н.И. Кузнецов. – 4-е изд., испр. и доп. – Байконур, 2006. – С. 5-10.
7. Боголицын, К.Г. Разработка и применение современных методов анализа для оценки экологического состояния объектов окружающей среды в зоне действия ракетно-космической техники / К.Г. Боголицын, Д.С. Косяков, А.Ю. Кожевников и др. // Материалы науч.-практ. конф. «Экологические и медико-социальные аспекты использования районов падения отделяющихся частей ракет». – Архангельск, 2008. – С. 24-28.
8. Шарапов, В.С. Основное оборудование систем заправки и газоснабжения ракет космического назначения. Учебное пособие для вузов. / В.С. Шарапов, Г.П. Бирюков, А.С. Фадеев. – М.: РЕСТАРТ, 2011. – 148 с.
9. Волков, В.А. Системный анализ структурно-параметрического синтеза / В.А. Волков, С.М. Чудинов // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Экономика. Информатика. – 2012. – №19 (138). Выпуск 24/1. – С. 20-23.
10. Системы интеллектуального анализа данных: методология, реализация, приложения: монография / под науч. ред. А.Г. Дмитриенко. – авторы М.Ю. Михеев и др. – Пенза: Приволжский Дом знаний, 2013. – 164 с.
11. Раков, Д.Л. Параллельное проектирование на этапах структурного синтеза и параметрической оптимизации при формировании облика новых технических систем / Д.Л. Раков, А.В. Синёв // Проблемы машиностроения и автоматизации. – 2011. – №4. – С. 100-103.

Низкочастотные электрические поля на поверхности космического аппарата при генерации в ионосферной плазме СВЧ-излучений

Н.М. Пушкин, д.т.н.

АО "НПО ИТ"

npoit@npoit.ru

На КА различного назначения широко применяется радиоаппаратура СВЧ-диапазона. В последнее время проводят активные эксперименты в космосе с воздействием на ионосферу КВ и СВЧ-излучения. О характере возникающих при этом на поверхности КА и в окружающей плазме возмущений дают представление результаты эксперимента, выполненного на модуле «Квант» орбитальной станции «МИР». В ходе этого эксперимента в окружающую ионосферу инжестировались кратковременные «пучки» СВЧ-излучения. Излучение проводилось на частоте $f = 400$ МГц. Генератором излучения служил магнетрон. Для контроля состояния окружающей плазмы применялись датчики электрического поля, установленные на поверхности модуля «Квант». Интенсивность СВЧ-излучений контролировалось по величине тока магнитрона $I(I \text{ маг})$.

Воздействие СВЧ-излучения на ионосферную плазму приводит к возбуждению в ней целый гаммы колебательных и волновых процессов. Это во-многом обусловлено тем, что ионосферная плазма является нестационарной средой, в которой имеет место различные флуктуационные процессы. Взаимодействие СВЧ-излучения с нестационарной плазменной средой приводит к возникновению в ней различных колебаний и, в частности ионно-звуковых низкочастотных, порядка килогерца, колебаний и легмюровских ионных колебаний, сравнительно высокочастотных, порядка десятка килогерц. Хотя, в общем случае, видов возникающих при СВЧ-воздействии плазменных колебаний может быть значительно больше, они определяются и высотой полета КА т.е. плотностью ионосферной плазмы и напряженностью магнитного поля Земли на высоте полета и освещенностью орбиты и рядом других факторов. В отдельных случаях могут иметь место и резонансных явлений.

На основании выполненных экспериментов можно заключить следующее:

1. При инжестии СВЧ-излучения имеют место низкочастотные колебания в плазме в диапазоне 3-2000 Гц в районе боковых и тыльных, по отношению к вектору скорости, поверхностей модуля «Квант». При этом интенсивность регистрируемых низкочастотных сигналов коррелирует с интенсивностью излучения СВЧ-источника – током магнетрона ($I \text{ маг}$), (рис.1). Амплитуда напряженности низкочастотного переменного электрического поля на поверхности КА, обусловленная возбужденными СВЧ-излучениями низкочастотными плазменными колебаниями, может достигать 2 кВ/м.

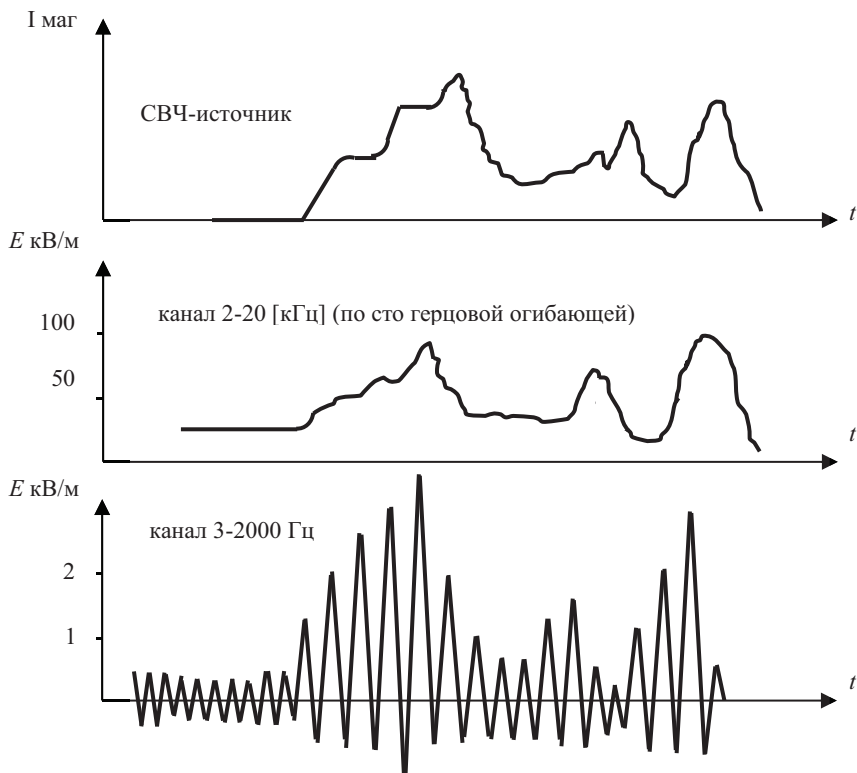


Рис. 1 Результаты измерений переменных электрических полей при инжекции СВЧ-излучений на тыльной и боковой поверхности.

На лобовой, по отношению к вектору скорости, поверхности модуля низкочастотные флуктуации плотности плазмы в диапазоне 3-2000 Гц не регистрируются (рис.2). Это можно объяснить тем, что плазма на лобовых поверхностях более плотная на 2-3 порядка, чем в районе боковых и тыловых поверхностей КА. Поэтому низкочастотные, а значит и крупномасштабные флуктуации на лобовых поверхностях вызывать, направленным от КА СВЧ-излучением, значительно труднее.

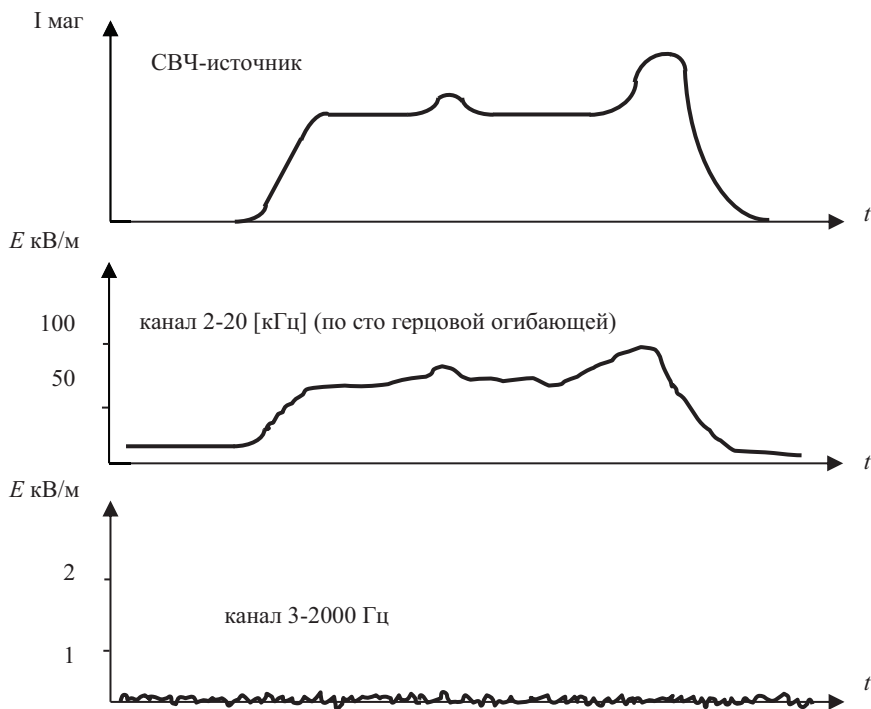


Рис. 2 Результаты измерений переменных электрических полей при инжекции СВЧ-излучений на лобовой поверхности

2. Быстрые флуктуации плазмы в диапазоне 2-20 кГц при инжекции СВЧ-пучков имеют место и регистрируются как на боковых и тыльных, так и на лобовых, по отношению к вектору скорости, поверхностях модуля «Квант» (рис.1, 2).

Автоматизированное рабочее место для проверки телеметрических приборов

Е.Ю. Веселова, И.А., Такшин, А.А. Михалев,

АО «НПО ИТ»

npoit@npoit.ru

В настоящее время при создании сложных телеметрических систем, имеющих в своем составе большое количество измерительных каналов разного типа отличающихся исполнением и настройками возникает потребность контролировать соответствие их технических характеристики требованиям нормативной документации, как в процессе производства так и при стендовых испытаниях в составе изделия. Для проверки измерительных каналов телеметрической системы требуется имитировать сигналы на входе в аппаратуру аналогичные по своим свойствам сигналам с датчиков.

Одной из проблем при создании таких приборов является необходимость корректировки конфигурации при изменении характеристик каналов и технических требований.

АО «НПО ИТ» был разработан уникальный прибор для имитации сигналов датчиков быстро- и медленноменяющихся параметров - автоматизированное рабочее место "Пульт контрольный измерительный БИТП-БТЦ" (ПКИ).

Особенности прибора:

- 1) Имитация следующих аналоговых сигналов (характеристик):
 - изменение сопротивления с точностью 0,5 Ом по 39 каналам (терморезисторы);
 - изменение уровня постоянного напряжения с точностью 0,5 мВ по 9 каналам (термопары);
 - изменение баланса мостового сопротивления (тензодатчики).
- 2) Имитация телеметрической системы в части приема информации с проверяемых блоков.
- 3) Отображение измеренных параметров и управление настройками тестов на TFT-мониторе с сенсорным дисплеем.
- 4) Автоматическое тестирование всех измерительных каналов с анализом погрешности измерения для каждого канала и выдачей заключения об исправности модуля.
- 5) Имитация аварийных режимов для измерительных каналов - короткое замыкание, Обрыв с проверкой корректного детектирования испытываемого измерительного блока.
- 6) Имитация аварийных режимов для каналов связи с телеметрической системой.
- 7) Возможность сохранения и изменения сценариев тестирования измерительных каналов.

ПКИ выполнен в стандартном 19" конструктивном исполнении "Евромеханика" в виде моноблока, на лицевой панели которого расположен планшетный компьютер на архитектуре x86 с программным обеспечением собственной разработки. Внешний вид ПКИ представлен на рисунке 1.



Рисунок 1. Внешний вид ПК И

Такое решение позволило в минимальные сроки реализовать имитацию аналоговых параметров применив существующие аппаратные решения. Наличие сенсорного дисплея позволило решить проблему оперативного изменения интерфейса управления и отображения информации путем обновления программного обеспечения.

Эффективность данного решения подтверждается значительным сокращением времени на проверку измерительных блоков с 65 мин до 8 мин, а так же исключением ошибок испытателя при ручном управлении и регистрации результатов за счет автоматического управления, индикации и оценки прибором.

ПК И применяется в АО "НПО ИТ" в сборочном цехе и отделе 432 для настройки и аттестации телеметрических блоков системы ОНИКС-М1, а так же у потребителя АО «Воткинский завод» при входном контроле.

Измеритель напряженности электростатического поля повышенной точности

А.Н. Филиппов, К.В. Лакшин, Н.М. Пушкин, д.т.н.,

АО «НПО ИТ»

npoit@npoit.ru

Как известно, измеритель напряженности электростатического поля вибрационного типа широко применяется для контроля и исследования электростатических полей на изделиях ракетно-космической техники.

Одним из основных элементов измерителя напряженности электростатического поля является электромагнитный вибратор. Стабильность его характеристик во многом определяет точность измерителя напряженности электростатического поля.

Измерители напряженности электрического поля вибрационного типа, работающие на механическом резонансе электромагнитного вибратора, имеют малые габариты и вес и большой ресурс работы и поэтому получили широкое распространение в приборах измерения электростатических полей при электрофизических исследованиях атмосферы и электризации космического пространства и самих летательных аппаратов, где упомянутые характеристики являются решающими. Реализация измерителя электростатического поля в виде двух блоков - датчика и преобразователя, соединенных кабелем, - позволяет значительно расширить диапазон его применения и, в частности, позволяет устанавливать датчик, являющийся собственно измерительной частью измерителя, на внешней поверхности летательных аппаратов. Поэтому в настоящее время измерители электрического поля в виде двухблочной конструкции практически вытеснили измерители электрического поля, реализованные в одноблочной конструкции.

В связи с тем, что электромагнитный вибратор измерителя электростатического поля вибрирует на резонансной механической частоте F_m , требования к точности и стабильности частоты переменного напряжения $F_э$, вырабатываемого автогенератором, очень высоки. Это объясняется тем, что вибрирующий электрод является резонансной механической системой, имеющей высокую добротность Q , равную 100- 200. А как известно, добротность Q связана с полосой пропускания колебательной системы соотношением:

$$Q = F_m / \Delta F_m \quad (1)$$

где F_m - резонансная частота системы,

ΔF_m - полоса пропускания системы на уровне 0,7.

С учетом того, что электромагнитные вибраторы работают на частотах от 100 до 500 Гц, из соотношения (1) вытекает, что полоса пропускания ΔF_m не превышает (1-2) Гц. Поэтому отклонение частоты переменного напряжения $F_э$ от резонансной механической частоты возбудителя F_m не должно быть более 0,1%, так как в противном случае происходит сначала уменьшение амплитуды механических колебаний, а затем и прекращение резонансных колебаний. А так как уменьшение амплитуды механиче-

ских колебаний вибрирующего электрода приводит к уменьшению амплитуды изменения приращения электрического поля ΔE_0 , то чувствительность измерителя уменьшается, и при прекращении вибрации возбудителя измеритель становится неработоспособным.

Электромеханические возбудители отдельных экземпляров датчиков имеют значительный разброс механических резонансных частот, достигающий до 30%, и настройка электрической частоты автогенератора $F_э$, находящегося в блоке преобразования, на определенное значение в процессе изготовления неэффективна, так как заранее неизвестно, с каким именно датчиком будет использоваться данный преобразователь. Это приводит к тому, что далеко не каждый электромагнитный вибратор изготовленных датчиков сможет возбудиться, а, следовательно, и быть работоспособным с конкретным преобразователем.

Для решения этой задачи в измеритель напряженности электрического поля вибрационного типа введены: датчик скорости колебательного движения, дополнительный усилитель, фильтр нижних частот, источник тока, источник опорного напряжения и компаратор, выход датчика скорости колебательного движения подключен к неинвертирующему входу усилителя, соединенного с входом фильтра нижних частот, частота среза которого установлена равной $(1,1-1,8) F_m$, где F_m - частота механического резонанса вибрирующего электрода. Выход фильтра нижних частот через источник тока подключен к катушке возбуждения, кроме того, выход датчика скорости колебательного движения через компаратор подключен к управляющему входу фазового детектора, а через выпрямитель - к одному из входов дополнительного усилителя, другой вход которого подключен к источнику опорного напряжения, выход дополнительного усилителя соединен с управляющим входом регулируемого сопротивления. Датчик скорости колебательного движения вибрирующего электрода выполнен в виде дополнительной катушки индуктивности, установленной соосно с катушкой возбуждения на общем каркасе в разных секциях, разделенных короткозамкнутым металлическим немагнитным экраном, и постоянного магнита, установленного в зоне колебаний вибрирующего электрода у дополнительной катушки индуктивности. Схема измерителя электростатического поля приведена на рис. 1.

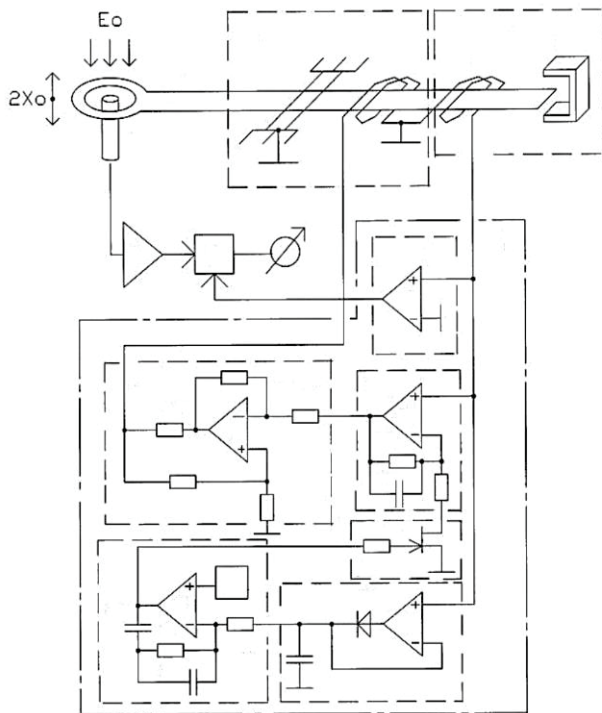


Рис. 1 Измеритель напряженности электростатического поля

Экспериментально было установлено, что заявленный измеритель напряженности электрического поля вибрационного типа надежно работает и обеспечивает сохранение точности измерений при разбросе механических резонансных частот вибрирующих электродов разных датчиков, достигающем 35%, и в диапазоне температур от минус 40°C до плюс 90°C. В то время как прототип надежно работает и сохраняет точность измерения при разбросе механических частот вибрирующих электродов разных датчиков равном 4% и в диапазоне температур от минус 10°C до +45°C. Кроме того, так как было установлено, что в процессе серийного производства измерителя разброс резонансной механической частоты вибрирующего электрода доходит до 30%, то введение и соответствующее соединение новых элементов обеспечивает надежность работы и сохранение чувствительности измерителя при разбросе резонансной механической частоты вибрирующего электрода достигающего 35%, и тем самым обеспечивается серийная пригодность заявленного измерителя.

Результаты экспериментальной отработки вихревого зондового преобразователя скорости потока с детектором вихрей типа «колеблющееся крыло» на основе дифференциального пьезоэлектрического датчика изгибающего момента 108М

А. В. Гладков, Н. А. Степанов, В. А. Чернышев,

АО «НПО ИТ»

npoit@npoit.ru

Вихревые зондовые преобразователи скорости потока (ВЗПС), выпускаемые отечественными и зарубежными производителями, нашли широкое применение в промышленности и коммунальном хозяйстве. Достоинства ВЗПС: широкая номенклатура диаметров контролируемых трубопроводов, возможность быстрой замены без останова процесса, высокий уровень унификации, возможность калибровки и поверки на расходомерной установке малой производительности, малые габариты и вес и т. д. [1].

Основными элементами ВЗПС являются:

- несущий корпус (штанга) с элементами уплотнения;
- прикрепленный к несущему корпусу циркуляционный (байпасный) канал для пропуска части контролируемого потока;
- установленный поперек циркуляционного канала генератор вихрей в виде цилиндрического тела обтекания (ТО);
- расположенный в канале за ТО детектор вихрей (ДВ).

При измерении расхода газа и пара на корпусе ВЗПС располагают также датчики давления и температуры, которые образуют вместе с ДВ многопараметрический чувствительный элемент.

ВЗПС устанавливается в стенке контролируемого трубопровода. В некоторых случаях для монтажа ВЗПС изготавливается технологический патрубок, который, в свою очередь, встраивается в трубопровод объекта. В технологическом патрубке может быть установлено устройство подготовки потока (УПП), которое позволяет уменьшить минимальную длину прямолинейного участка входного трубопровода до 8-10 калибров.

В АО «НПО ИТ» в рамках перспективных работ, выполняемых за счет собственных средств предприятия, проведены исследования ВЗПС для датчика массового расхода воздуха бортового кондиционера воздуха перспективного среднемагистрального самолета МС-21, создаваемого ПАО «ПКО «Теплообменник», г. Нижний Новгород.

Особенности исследовавшейся конструкции ВЗПС:

- циркуляционный канал квадратного сечения 35×35 мм;
- ТО в виде круглого цилиндра с гидравлическим каналом обратной связи в виде продольной щели и вогнутой тыльной поверхностью;
- ДВ типа «колеблющееся крыло» на основе дифференциального пьезоэлектрического датчика изгибающего момента типа 108 М производства ООО «Пьезоэлектрик», г. Ростов-на-Дону;

- технологический патрубок с внутренним диаметром 98 мм с расположенным на его входе УПП, состоящим из впаиваемых расположенных металлической сетки с квадратными ячейками с коэффициентом заполнения 0,4 и трубчатого струевыпрямителя «хонейкомб» из 109 трубок 8×1.

Циркуляционный канал квадратного сечения и ТО в виде цилиндра со щелью [2] обеспечивают повышенную стабильность процесса вихреобразования, которая характеризуется, в частности, низким уровнем паразитной амплитудной модуляции сигнала ДВ. ДВ типа «колеблющееся крыло» был выбран из-за его универсальности: он практически в равной степени пригоден для измерения расхода жидких и газообразных сред. Пьезоэлектрический датчик изгибающего момента типа 108 М разработан специально для вихревых расходомеров и широко используется отечественными производителями вихревых расходомеров [3]. Вышеописанное УПП используется в аэродинамических трубах для детурбулизации и выравнивания эпюры скоростей потока [4].

Отработка ВЗПС проводилась на аттестованном водяном расходомерном стенде УПСЖМ300 в трубопроводе ДУ100 с использованием метода гидродинамического подобия в диапазоне значений числа Рейнольдса Re , соответствующих таковым на воздухе. Данные, полученные на воде, пересчитывались на воздух. При исследованиях определялись следующие характеристики ВЗПС: частота, амплитуда, спектр, коэффициент гармоник, отношение «сигнал/шум» сигнала ДВ, зависимость числа Струхала Sh от Re - $Sh(Re)$. Характеристики сигнала ДВ определялись с помощью спектроанализатора CF-7200A фирмы ONO SOKKI. Макеты ВЗПС были изготовлены из пластмассы методом 3D-печати и нержавеющей стали.

Объем выполненной экспериментальной отработки:

- оценка амплитуды сигнала ДВ на минимальном расходе;
- определение характера зависимости амплитуды сигнала ДВ от частоты вихреобразования;
- определение оптимального диаметра ТО;
- определение оптимального расстояния между ТО и крылом ДВ;
- определение оптимальной длины выступающей в поток части крыла ДВ;
- определение неравномерности зависимости $Sh(Re)$ в рабочем диапазоне Re ;
- оценка эффективности УПП при установке на входе в технологический патрубок местного сопротивления типа «труба Вентури» (короткий конфузور-цилиндр-длинный диффузор), создающего сильные искажения поля скоростей потока.

Результаты экспериментальной отработки.

1 Пересчитанная на эксплуатационные значения абсолютного давления и температуры минимальная амплитуда сигнала ДВ на воздухе составляет 350 мВ, что позволяет обеспечить нормальную работу ДВ во всем диапазоне расходов.

2 Амплитуда сигнала ДВ растет пропорционально третьей степени частоты. Это объясняется тем, что ток в выходной цепи ДВ пропорционален первой производной от заряда, а сам заряд пропорционален скоростному напору, т. е. квадрату скорости потока.

3 Оптимальные параметры ДВ: диаметр ТО - $0,34H$, где H – ширина циркуляционного канала, расстояние между осями ТО датчика $108M - 0,71H$, длина выступающей в поток части крыла ДВ – $0,34H$.

4 Состояние кромок и степень шероховатости поверхности ТО существенно влияют на качество сигнала ДВ: шероховатое ТО со скругленными кромками по сравнению с гладким ТО обеспечивает меньший коэффициент гармоник.

5 Неравномерность функции $Sh(Re)$ составляет $\pm 1,5\%$, что позволяет не учитывать зависимость $Sh(Re)$ при назначенной погрешности ВЗПС (2-3) %.

6 При наличии УПП типа «сетка плюс хонейкомб» смещение характеристики $Sh(Re)$ при установке на входе в технологический патрубок на расстоянии 10 калибров местного сопротивления типа «труба Вентури» не превышает 1 %.

Заключение

Полученные в процессе экспериментальной отработки ВЗПС результаты позволяют приступить к разработке рабочей конструкторской документации.

Литература

1 Абрамов Г. С., Зимин М. И., Баранов С. Л., Вашурин В.П. Вихревые зондовые расходомеры, опыт разработки и внедрения.//АТиС в НП,-2006,-№6,-с.4-5.

2 Popiel C. O., Robinson D. I., Turner J. T. Vortex shedding from a circular cylinder with a slit and concave rear surface.//Applied scientific research 51, 209-215, 1993. F. T. M. Nieuwstadt (ed.), Advances in Turbulence VI.

3 Богуш М. В. Развитие вихревой расходомерии в России.// Датчики и системы,-2009,-№9,-с. 2-9.

4 Михайлова Н. П., Репик Е. У., Соседко Ю. П. Сочетание хонейкомба с сеткой для подавления турбулентности потока.//Ученые записки ЦАГИ,-1998,-том XXIX,-№1-2, с. 86-94.

Высокотемпературный радиационно-стойкий датчик линейных перемещений

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

АО "НПО ИТ"

npoit@npoit.ru

Основная область применения вихретоковых датчиков линейных перемещений: измерение относительных вибраций, осевых сдвигов, тепловых деформаций и прогибов валов роторных машин разных типов, таких как – газо-, нефтеперекачивающие агрегаты, турбогенераторы, мощные электродвигатели.

В ракетно-космической технике вихретоковые датчики нашли применение при отработке ракетных двигателей производства АО «НПО Энергомаш имени академика В. П. Глушко» в составе аппаратуры СВКА 1.

Применение вихретоковых датчиков на вышеперечисленных типах машин характеризуются следующими условиями эксплуатации: рабочая температура от 0 до плюс 150 °С, окружающая среда - масло, воздух, вода, водяной пар. Давление окружающей среды в местах установки датчиков редко превышает единицы атмосфер.

Конструкция чувствительного элемента представляет собой катушку индуктивности на каркасе из диэлектрического изоляционного материала, установленного в металлический корпус датчика. Для защиты чувствительного элемента применяются конструкционные элементы на основе пластмасс и эпоксидных смол, силикона, резины.

Применение данных материалов позволяет обеспечить бесперебойную работу датчиков в течение срока эксплуатации ~ 10 лет и более. На рисунке 1 представлен внешний вид вихретокового датчика линейных перемещений типа ДОП 1 с температурным диапазоном до +150 °С.

В ходе разработки измерительной аппаратуры для системы преобразования энергии энергоблока ядерной энергодвигательной установки мегаваттного уровня мощности была поставлена задача разработать радиационно-стойкий датчик линейных перемещений для контроля положения вала турбины, обеспечивающий измерения осевых и радиальных перемещений в следующих условиях эксплуатации: рабочая температура до +220 °С, избыточное давление до 20 атмосфер.



Рисунок 1. Внешний вид датчика и его чувствительного элемента

Ранее разработанные конструкции датчиков перечисленным требованиям не соответствуют, поэтому основной задачей был выбор конструктивных материалов. В результате было решено использовать для чувствительного элемента вакуум-плотную корундовую керамику ВК94-1, высокотемпературные радиационно-стойкие клеи и органосиликатные композиции, что удовлетворяет требованиям по температурному диапазону эксплуатации минимум до $+300\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Для обеспечения необходимой точности измерений $\pm 0,075\text{ мм}$ в заданном диапазоне температур был применен метод термокомпенсации, основанный на выделении активной составляющей сопротивления катушки датчика с последующей корректировкой выходного сигнала преобразователя в зависимости от изменения сопротивле-

ния с ростом температуры. Данное решение защищено патентом №2642148 (заявка от 03.10.2016 г., дата регистрации патента от 24.01.2018 г.).

На рисунке 2 представлен внешний вид радиационно-стойкого вихретокового датчика линейных перемещений с температурным диапазоном до +300 °С.



Рисунок 2. Внешний вид радиационно-стойкого датчика линейных перемещений и его чувствительного элемента

На основе вышеуказанных решений была разработана аппаратура виброконтроля КА 1-05 включающая радиационно-стойкий датчик положения вала (датчик линейных перемещений) ДПВ-10 и блок согласования БС-2 в котором реализована температурная компенсация. Аппаратура СВКА 1-05 имеет литеру "О". Датчики установлены на энергоблоке.

**Особенности применения полупроводниковой тензометрии при контроле
напряженно-деформационного состояния элементов конструкции ЛА
в наземных испытаниях**

В.М. Новичков, к.т.н.; Ю.Н. Мишин

МАИ; АО «НПО Лавочкина»

tenzo@laspaces.ru

В условиях роста требований к повышению конструкционной прочности, надежности и ресурса летательных аппаратов (ЛА) при использовании новых материалов в элементах конструкции и использовании оригинальных силовых схем актуальной является задача создания новых средств измерения напряженно-деформационного состояния (НДС) с улучшенными характеристиками для экспериментальной отработки при статических и динамических термосиловых нагружениях. В то же время жесткие условия эксплуатации элементов конструкции современных и перспективных ЛА, когда силовые воздействия на элементы ЛА априорно не определены по вектору и модулю с одновременным учетом требований по минимизации массы и миниатюризации, приводят к необходимости детального изучения конструкции ЛА при механических испытаниях. В новых условиях площадки, на которые наклеиваются чувствительные элементы (тензорезисторы) испытательных информационно-измерительных систем (ИИС), становятся слишком малы для применения широко используемых на практике фольговых и других металлических тензорезисторов. Это приводит к необходимости создания ИИС с приклеиваемыми малобазными тензорезисторами, что позволит решать сложные экспериментальные инженерные задачи, связанные с исследованием напряжений в условиях больших градиентов, концентрации напряжений и удельных давлений.

В ИИС контроля и исследования напряженно-деформационных полей (НДП) важнейшая роль принадлежит тензорезисторам — первичным измерительным преобразователям. Процесс взаимодействия тензорезистора с объектом измерения — это глубокий и сложный процесс, во многом определяющий восприятие деформации и ее первичное преобразование в изменение активного сопротивления. Особенностью этих ИИС является то, что тензорезисторы в них могут служить как первичными, так и промежуточными преобразователями. Остальные элементы этих систем, как правило, являются индивидуально градуируемыми и их точность в соответствии с методиками нормируется основной и дополнительной погрешностями.

В докладе представлена ИИС, в которой первичные преобразователи (тензорезисторы) изготовлены из перспективного материала — моносulfида самария, который является тугоплавким, термо- и радиационно-стойким полупроводниковым материалом [1], получен методом взрывного испарения [2]. Свойства этого материала позволяют использовать его в качестве чувствительного элемента для датчиков механических величин. Эти тензорезисторы можно калибровать для повышения точности измерений в ИИС. Для одноразовых малобазных тензорезисторов это расширяет возможности их применения и позволяет измерять малые деформации в конструкциях из материалов повышенной жесткости и оценивать расчетно-экспериментальным путем

напряжения вблизи концентраторов напряжений. Большое удельное сопротивление полупроводниковых тензорезисторов на основе моносulfида самария позволяет получать малобазные тензорезисторы с достаточно большим сопротивлением, что позволяет снизить энергозатраты в ИИС при одновременном измерении большого количества параметров НДП исследуемых элементов конструкций и уменьшить влияние электропроводов на точность измерений. Высокая чувствительность тензорезисторов из моносulfида самария к деформации увеличивает разрешающую способность ИИС. Их температурный коэффициент сопротивления можно изменять в широких пределах различными режимами испарения и осаждения при технологическом процессе изготовления данного преобразователя, что позволяет при необходимости изготавливать специализированные первичные преобразователи не только для испытательных ИИС, но и для ИИС, применяемых на борту ЛА для слежения за качеством несущих элементов конструкции в полете.

Основные сложности при разработке ИИС с традиционно применяемыми на практике металлическими тензорезисторами, помимо их больших размеров, связаны с малыми приращениями измерительного сигнала на выходе измерительных преобразователей (как правило, это единицы милливольт из-за того, что рассеиваемая мощность на тензорезисторах ограничена). При этом помехи, возникающие в тракте передачи сигнала, могут во много раз превышать уровень полезного сигнала. Здесь также имеют место погрешности от влияния неинформативных параметров таких, как, например, температура, давление, влажность и др. Нескомпенсированная и неучитываемая часть влияния неинформативных параметров на показания тензорезистора вносит в некоторых случаях весьма существенный вклад в погрешность измерений деформации.

В ИИС контроля и исследования НДП точность тензометрического метода измерения обеспечивается за счет следующих факторов:

- применения схемной компенсации;
- подбора в пары тензорезисторов, соединяемых в полумост, по номинальным сопротивлениям, температурным характеристикам и дрейфу;
- применения тензорезисторов-свидетелей;
- синхронизации записей деформаций и температур (т.е. использование единой системы отсчета времени);
- дублирования измерительных точек;
- повторения идентичных режимов испытаний.

Точность метода определяется индивидуально для каждого натурного эксперимента с учетом реальных условий его проведения.

Повышенную точность измерения ИИС с полупроводниковыми тензорезисторами на основе моносulfида самария возможно достичь при дополнительной коррекции результатов с учетом влияющих факторов. Присущая полупроводникам чувствительность к температуре увеличивает погрешность измерительного тракта, но подробное изучение этих ошибок и механизмов их возникновения позволило применить специальные методы калибровки и дополнительной коррекции результатов измерения. Таким образом, разработанная ИИС с тензорезисторами из моносulfида самария позволяет уменьшить погрешности измерения деформаций по сравнению с ИИС с

тензорезисторами на основе тензочувствительных металлов. Применение аппаратно-программного метода коррекции реализуемого в тензометрической ИИС для партии разработанных и изготовленных опытных образцов тензорезисторов на основе моносulfида самария методом взрывного испарения позволяет получить высокую точность и быстродействие измерения напряженно-деформационных состояний (НДС) в условиях воздействия дестабилизирующих факторов.

Производство опытных образцов тензорезисторных преобразователей (ТРП) для ИИС осуществлялось на модернизированной установке вакуумного напыления УВН 74-П2, испытания проводились на экспериментальной базе АО «НПО Лавочкина». Разработанные базовые конструкции тензорезисторных преобразователей на основе моносulfида самария были исследованы на влияние следующих факторов: одноосной деформации, температуры и вакуума. Исследования тензорезисторов на определение сопротивления и коэффициента тензочувствительности были проведены для всех тензорезисторов партии, учитывая разброс их параметров, обусловленный неодинаковостью удельного сопротивления полупроводникового материала, дислокациями и разницей в геометрических параметрах заготовок. Использование метода планирования эксперимента позволило построить адекватные математические модели измерительного преобразователя от воздействующих внешних факторов. В процессе синтеза ИИС были применены дополнительные к обычно используемым в подобных случаях методы повышения точности показаний тензорезисторов, которые основаны на предварительных оценках их основных параметров с учетом законов распределения совокупности исследуемых величин.

В результате проведенных исследований определена функциональная структура тензометрической ИИС с учетом особенностей характеристик тензорезистора на основе моносulfида самария, включающая в себя блок калибровки и блок термокомпенсации. Разработан алгоритм работы ИИС, основанный на коррекции показаний, получаемых с датчика деформаций. Алгоритмический учет влияния этих факторов в тензометрической ИИС позволяет количественно оценивать величины напряжений, возникающих вблизи концентраторов элементов конструкции ЛА при термосиловых воздействиях в том числе и в условиях вакуума. Применение ИИС с малогабаритными полупроводниковыми тензорезисторами из моносulfида самария позволяет при механических испытаниях изучать свойства элементов конструкции современных и перспективных ЛА.

Литература

1. Володин Н.М., Каминский В.В., Мишин Ю.Н. Тензометрия на основе редкоземельных полупроводников в космических аппаратах (КА) // Вестник ФГУП НПО им. С.А. Лавочкина, 2011. №5. С. 51-56.
2. Новичков В.М., Мишин Ю.Н. Оценка эффективности и проведение технологического эксперимента при проектировании тензорезисторов на основе моносulfида самария // Сборник трудов XX международной научно-технической конференции «Системные проблемы надежности, качества, компьютерного моделирования, информационных и электронных технологий в инновационных проектах (Инноватика-2014)». С. 54-55.

**Разработка преобразователей теплового потока
для перспективных изделий РКТ**

А.А. Соколова, к.ф-м.н., А.В. Соколова, Ф.Е. Проказин, А.Н. Демин,
АО «НПО ИТ»
npoit@npoit.ru

Преобразователи теплового потока – специализированные приборы, предназначенные для непосредственного измерения плотностей тепловых потоков, действующих на объект. Их применение дает более полную и точную информацию о процессах передачи и распространения тепловой энергии, чем использование для этих целей системы из нескольких датчиков температуры и расчета плотности воздействующих тепловых потоков с использованием эмпирических коэффициентов и различных поправок.

Тепловой поток, воздействующий на объект, включает, как правило, лучистую, конвективную и суммарную составляющие, которым соответствуют три типа преобразователей: лучистого, конвективного и суммарного тепловых потоков.

Применительно к отраслевым задачам наиболее актуальными являются:

измерение медленно меняющихся тепловых потоков малой плотности (менее 1 Вт/м²) в диапазоне температур от минус 150 до +150 °С для контроля качества теплоизоляции;

измерение лучистых тепловых потоков в диапазоне от 0,1 до 2 кВт/м² для обеспечения контроля имитаторов излучения Солнца и планет при тепловакуумных испытаниях РКТ;

измерение конвективных быстро меняющихся тепловых потоков в диапазоне от 10 до 10000 кВт/м² при газодинамических испытаниях объектов РКТ;

измерение лучистых, конвективных и суммарных тепловых потоков в диапазоне от 20...5000 кВт/м² и выше, поступающих в элементы конструкции от факелов двигателей и аэродинамическом торможении в атмосфере.

В АО «НПО ИТ» разработаны и нашли применение на объектах отрасли следующие типы преобразователей:

- теплоприемники суммарного теплового потока ФОА 020 и ФОА 036 для диапазона плотностей от 0 до 5 кВт/м², принцип действия которых основан на возникновении термо-эдс дифференциальной термопары, образованной парой кремний-алюминий;

- теплоприемники суммарного теплового потока ФОА 013 (8 модификаций) для диапазонов плотностей: от 0 до 225 кВт/м²; от 0 до 630 кВт/м²; от 0 до 1250 кВт/м²; от 0 до 2500 кВт/м², у которых дифференциальная термопара образована парой медь- константан.

Вместе с тем, в связи с возникшими задачами создания сверхмощных ЖРД и соответствующих конструкций РН все более актуальными становятся задачи увеличения верхнего диапазона плотностей тепловых потоков, повышения точности и

уменьшения быстродействия измерений, воздействующих на объекты РКТ тепловых потоков.

Возможными путями создания преобразователей для этого являются;

- разработка конструкторско-технологического решения исполнения, включающего возможность охлаждения корпуса теплоприемника в процессе измерения теплового потока и тем самым увеличение верхнего диапазона измерений

- использование качественно новых физических принципов для создания преобразователей тепловых потоков. Одним из них является применение гетерогенных градиентных чувствительных элементов, функционирование которых основано на поперечном эффекте Зеебека и использовании нанoeлектронных приемов изготовления многослойных композитов, обладающих анизотропией тепло-и электропроводности. Указанное конструкторско-технологическое решение, как показывают расчеты и предварительные экспериментальные исследования, позволит повысить диапазон рабочих температур преобразователей теплового потока до 1600 °С, верхний диапазон измерения до 50 МВт/м² и быстродействия до 10-8 с, что обеспечит выполнение практически безинерционное измерение тепловых потоков.

В настоящее время оба направления этих работ рассматриваются нами в рамках выполнения работ по теме НИР «Датчик».

Тенденции развития комплекса командных приборов стратегических ракет США морского базирования

М.П. Деряков,
Космодром «Плесецк»
best20110@yandex.ru

Баллистическая ракета подводных лодок (БРПЛ) Трайдент-2 (UGM-133 Trident II или Trident D5) как один из компонентов ядерной триады стоит на вооружении ВМС США с 1990 года и, в настоящее время, является более современным ракетным комплексом, чем предшествующий ему Трайдент-1 (UGM-96A Trident I или Trident C4). Генеральным разработчиком БРПЛ Трайдент является военно-промышленная корпорация Lockheed Martin, отдел ракетных систем Space Systems (филиал в городе Саннивейл штат Калифорния).

Для определения местоположения, текущей скорости, ориентации ракеты и выдачи команд на отделение ступеней и боеголовок на БРПЛ Трайдент-2 используется инерциальная навигационная система Mk-6, разработчиком которой является корпорация Draper Laboratory.

Проектирование систем управления (СУ) баллистических ракет (БР), стартующих с подводных лодок, связано с решением целого ряда крупных научно-технических проблем, в том числе:

- обеспечение постоянной готовности к старту БР из любой заранее неизвестной точки Мирового океана, в любое время года и суток с малым временем предстартовой подготовки и высокой точностью стрельбы;
- предстартовая ориентация комплекса командных приборов (ККП) СУ по азимуту и горизонту и в связи с этим - согласование координатных систем навигационного комплекса подводной лодки (ПЛ) и СУ БР;
- определение начальной скорости БР на момент пуска с движущейся ПЛ.

Следует особо отметить сложность выполнения СУ требований по высокой точности стрельбы, учитывая следующие факторы:

- точность стрельбы БРПЛ должна обеспечиваться с учетом ошибок навигационного комплекса ПЛ в знании координат, направления меридиана и скорости ПЛ в точке старта;
- стрельба по заранее неизвестным трассам имеет, как правило, повышение ошибки геодезического обеспечения в точке старта и по траектории полета;
- жесткие требования к массогабаритным характеристикам командных приборов создают трудности в обеспечении их прецизионной точности;
- предстартовая ориентация, периодические и предстартовые тарировки ККП проводятся в условиях качки ПЛ, что требует компенсации соответствующих динамических ошибок систем приведения и тарировки ККП.

Конструктивно СУ Mk-6 представлена двумя блоками: инерциально-измерительный модуль с измерителями, установленными на гиросtabilизированной

платформе и модуля электроники, включающего бортовой компьютер и электронику систем обеспечения.



Рисунок 1 – Два модуля составляющих СУ Mk-6

В ККП Mk-6 используется астровизирующее устройство для коррекции местоположения и текущей скорости ракеты перед началом разведения боеголовок. Использование астрокоррекции не снимает необходимости в систематическом проведении работ по совершенствованию точностных характеристик СУ в инерциальном режиме ее работы.

Со времен разработки СУ Mk-1 (конец 50-х годов XX века) корпорация Draper Laboratory значительно повышала надежность и точность последующих систем. Приближавшийся плановый вывод из эксплуатации успешной СУ Mk-6 вынудил ВМС США обратиться с просьбой к разработчикам о проведении исследований для продления срока её эксплуатации. Были поставлены следующие задачи:

- увеличение срока эксплуатации СУ Mk-6.
- сохранение продемонстрированных ранее точности и надежности СУ Mk-6.
- сохранение возможности сопряжения обновленной системы с другими внешними элементами (интерфейсами) БПРЛ.
- уменьшение стоимости сервисного обслуживания.
- обеспечение возможности технологических нововведений и адаптации к новым задачам летных испытаний.

Работы по модернизации СУ Mk-6 начались в 2003 году. Для достижения поставленных задач программа работ была разбита на несколько этапов:

- разработка концепции: октябрь 2002 года – сентябрь 2003 года;
- предварительный эскиз: октябрь 2003 года – сентябрь 2005 года;
- детализированный проект: октябрь 2005 года – сентябрь 2007 года;

подготовка к серийному производству (опытная эксплуатация): октябрь 2007 года – сентябрь 2011 года;

производство и обслуживание: октябрь 2009 года – ...

Следует отметить, что разработчик постарался сохранить преемственность конструктивных решений существующей СУ. Прежняя гиросtabilизированная 4-хramочная платформа оснащена новыми чувствительными элементами. Так для измерения углового движения стабилизируемой платформы вместо механических вращающихся гироскопов впервые применены интерферометрические оптико-волоконные гироскопы. Акселерометры установлены прежние, но с улучшенными показателями надежности. Также увеличена разрешающая способность матрицы астровизирующего устройства. В электронике применены процессоры промышленного производства, имеющие защиту от воздействий внешней космической среды, более быстрые микросхемы памяти. Часть испытаний проходило в лабораторных условиях с использованием современных программных средств моделирования, что позволило уменьшить риски фатальных ошибок на высоком уровне развития проекта и ускорило разработку системы.

По сообщениям из открытых источников информации первый успешный пуск БРПЛ Трайдент-2 с модернизированной СУ Mk-6 MOD-1 состоялся в феврале 2012 года.

Применение новых научно-технических решений привело к модернизации СУ Mk-6 с обеспечением прежних возможностей, но с большим сроком эксплуатации, чем оригинальная система.

Одновременно с выполнением требований Договора о дальнейшем сокращении стратегических наступательных вооружений американская сторона продолжает разрабатывать новые технологии в области систем наведения и навигации ракет с целью поддержания управления силами стратегического сдерживания.

Литература

1. Материалы официального сайта компании Lockheed Martin [Электронный ресурс]. URL: <http://www.lockheedmartin.com>.
2. Материалы официального сайта компании Draper Laboratory [Электронный ресурс]. URL: <http://www.draper.com>.
3. Submarine Launched ICBM Trident II D5 and Conventional Trident Modification. Journal of Computations & Modelling, vol.4, no.1, Scienpress Ltd, 2014, 245-265.
4. Journal Explorations. Engineering Solutions to Problems of National Significance, Draper Laboratory, Winter 2004.

Подход к отбраковке аномальных ошибок телеизмерений, составляющих вектор исходных данных

Г.П. Полозов,
Космодром «Плесецк»
griba220@mail.ru

Важнейший показатель радиотелеметрической системы – это достоверность передаваемых данных. Задачей повышения достоверности данных измерений на этапе обработки и анализа телеметрической информации (ТМИ) решается путем отбраковки аномальных ошибок и сглаживания измерений. При сглаживании данных уменьшается ошибка воспроизведения измеренного параметра. Процесс отбраковки аномальных измерений можно назвать фильтрацией телеметрического параметра (ТМП).

Принципиально возможен подход, основанный на детальном изучении каждого вида ошибок и выработке специальных мер по их устранению. Практической реализацией данного подхода может быть визуальный анализ ТМП. Выделив недостоверные измерения, эксперту достаточно удалить данные измерения из ТМП или присвоить данным измерениям полученные путем интерполяции новые значения. Положительной чертой данного подхода следует назвать высокую достоверность получаемого результата, то есть практически полное удаление (исправление) сбойных измерений. Критическим недостатком является крайне большая ресурсоемкость, которая заключается в значительном размере временных затрат на анализ ТМП.

По указанной причине на практике большое распространение получили методы автоматической отбраковки недостоверных измерений. Данные методы обладают меньшей достоверностью, но значительно большей оперативностью. Благодаря последнему свойству возможно применение наиболее адаптированных к данному виду ТМП методов, что позволяет повысить достоверность получаемого результата.

К алгоритмам отбраковки значений параметра предъявляются следующие требования:

- максимальная эффективность, т.е. после фильтрации информация должна быть максимально достоверной;

- линейность операции отбраковки, т.е. неискажение информации в процессе отбраковки;

- минимальный объем памяти и количество операций для реализации алгоритма;

- наличие комплекса алгоритмов для обработки различных параметров;

- создание настраиваемой системы отбраковки недостоверных измерений.

Как правило, в качестве исходных данных для проведения анализа, получения оценок ЛТХ необходима совокупность параметров $x_i(t)$, составляющих вектор исходных данных X

$$X = \begin{pmatrix} x_1(t) \\ \dots \\ x_i(t) \\ \dots \\ x_n(t) \end{pmatrix}, i=1, n \quad (1)$$

где n – количество составляющих вектора исходных данных

В качестве векторов исходных данных могут выступать проекции на оси чувствительности векторов ускорения, скорости, тяги, радиус-вектора и т.д., параметры, характеризующие угловую ориентацию объекта: матрицы направляющих косинусов перехода между различными системами координат, направляющие косинусы векторов, параметры Родрига-Гамильтона (кватернионы), синусо-косинусовые пары и другие параметры.

Для каждого параметра $x_i(t)$ из состава вектора X необходимо выполнить фильтрацию. Процесс фильтрации, в зависимости от выбранного алгоритма, количества составляющих $x_i(t)$ и их «зашумлённости» может потребовать довольно больших временных затрат. При искажении значения одной из составляющей вектора исходных данных, полученный результат анализа также будет являться недостоверным. Для упрощения процесса фильтрации вектора исходных данных X предлагается проводить фильтрацию не каждой составляющей $x_i(t)$, а некоторой функции $y(t)$ всех элементов вектора X :

$$y(t) = f(x_1(t), x_2(t), \dots, x_i(t), \dots, x_n(t)). \quad (2)$$

Для отбраковки недостоверных значений функции $y(t)$ можно применить любой наиболее подходящий из множества существующих алгоритмов. В каждый момент времени t , при котором значение функции $y(t)$ отбраковывается, значения всех элементов $x_i(t)$ также считаются недостоверными.

В общем случае в качестве функции $y(t)$ можно применить функцию вида:

$$y(t) = \sqrt{\sum_{i=1}^n x_i^2} \quad (3)$$

На рисунке 1 изображены три ТМП $x_1(t)$, $x_2(t)$ и $x_3(t)$, составляющих вектор исходных данных и коричневым цветом (верхний) график функции $y(t) = \sqrt{x_1^2(t) + x_2^2(t) + x_3^2(t)}$.

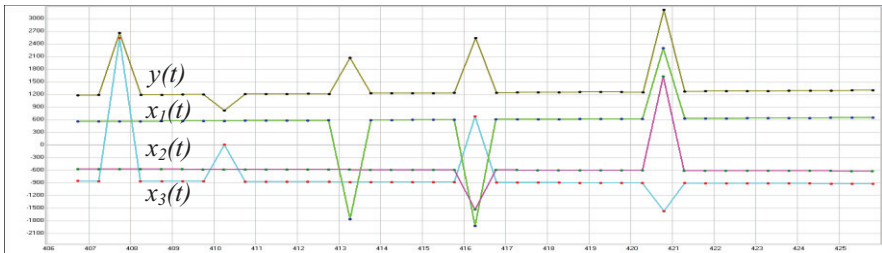


Рисунок 1 – Три ТМП $x_i(t)$, и график функции $y(t)$.

Для изображенного случая применение данного алгоритма позволит выявить 2 сбойных измерения, имеющиеся во всех трёх параметрах $x_i(t)$ и 3 сбойных измерения, имеющиеся только в одном из приведённых параметров.

Отрицательной стороной данного алгоритма является то, что если в момент времени t сбой имеется только в одном из ТМП, а в остальных ТМП достоверные значения, то удаляются значения, соответствующие моменту t во всех ТМП, составляющих один вектор исходных данных, в том числе и достоверные.

Положительной стороной является сокращение времени в n раз, затрачиваемое на фильтрацию n ТМП, составляющих вектор исходных данных.

Для упрощения поиска недостоверных значений функцию $y(t)$ необходимо выбирать таким образом, чтобы сбойные значения выделялись наиболее явно. Для каждой группы векторных параметров необходимо учитывать их физический смысл и применять различные свойства их составляющих. Например, при фильтрации параметров, составляющих элементы матрицы перехода между ортогональными системами координат, необходимо воспользоваться свойством суммы квадратов её элементов [1]:

$$m_{11}^2 + m_{12}^2 + m_{13}^2 + m_{21}^2 + m_{22}^2 + m_{23}^2 + m_{31}^2 + m_{32}^2 + m_{33}^2 = 3$$

На рисунке 2а приведены ТМП элементов матрицы направляющих косинусов перехода между двумя ортогональными системами координат с недостоверными значениями.

На рисунке 2б – график функции $y_m(t) = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 m_{ij}^2$. Если значение функции

$y_m(t)$ удовлетворяет условию $3-\Delta < y_m(t) < 3+\Delta$, то значения всех элементов m_{ij} считается достоверным. Отклонение Δ выбирается оператором исходя из точности передаваемых в ТМИ значений в приведённом примере $\Delta=0,0001$. На рисунке 2в приведены ТМП после удаления сбойных значений.

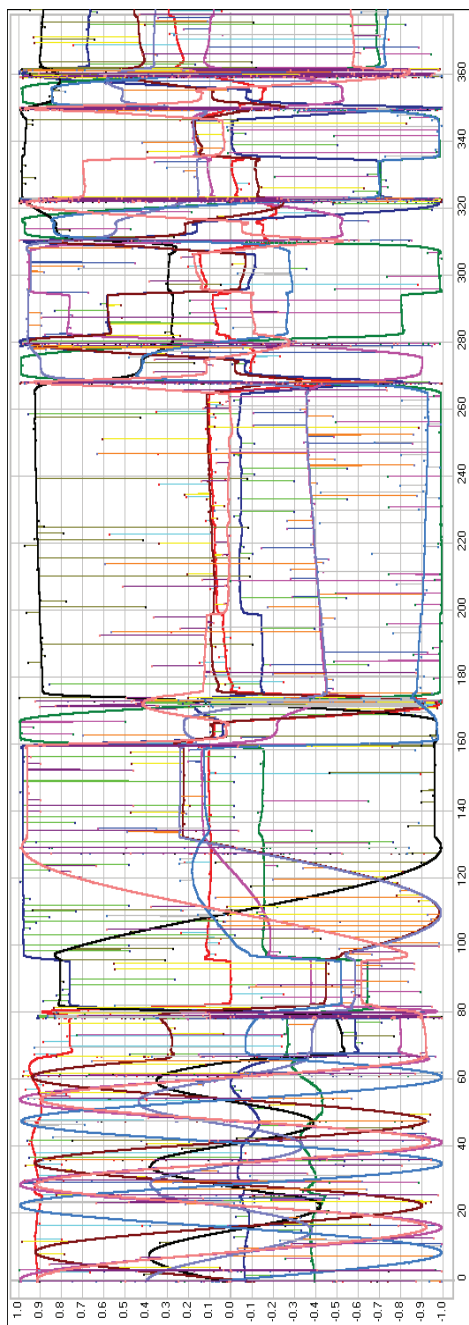


Рисунок 2 – Фильтрация параметров матрицы направляющих косинусов.

а. Текущие значения параметров элементов матрицы направляющих косинусов с недостоверными измерениями.

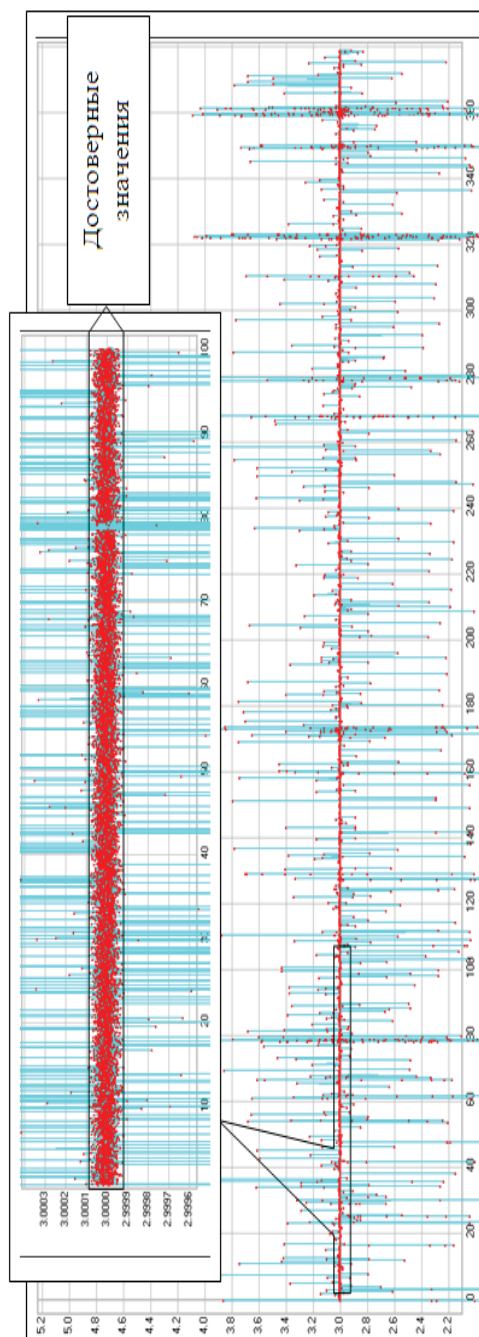


Рисунок 2 – Фильтрация параметров матрицы направляющих косинусов.

б. Значения суммы квадратов элементов матрицы направляющих косинусов.

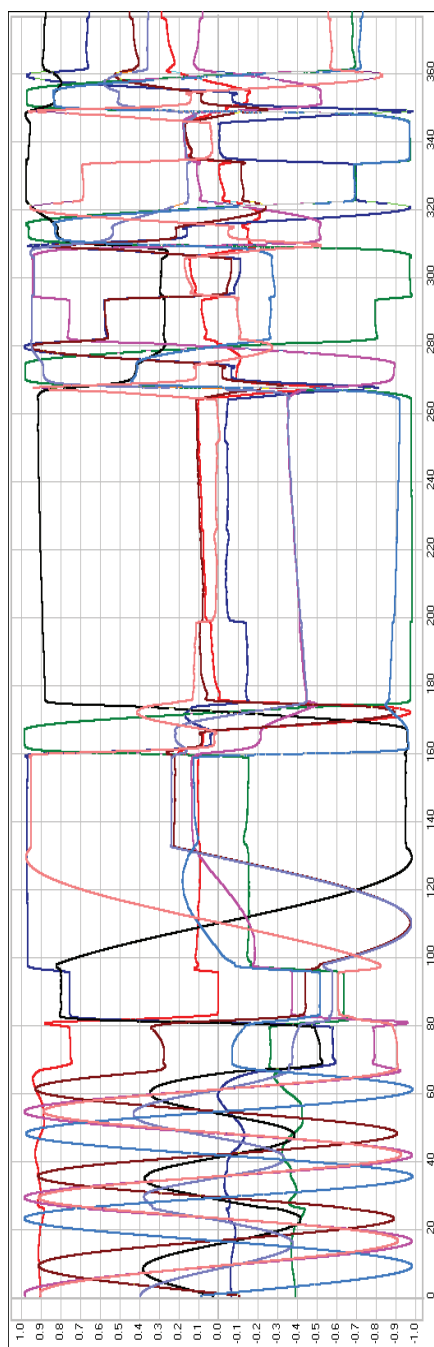


Рисунок 2 – Фильтрация параметров матрицы направляющих косинусов.

в. Текущие значения параметров элементов матрицы направляющих косинусов после удаления недостоверных измерений.

Для повышения эффективности фильтрации параметров, составляющих вектор исходных данных, в случае, если в сбое находится только часть элементов, необходимо учитывать возможность восстановления значения этих элементов вектора исходных данных по значениям других достоверных элементов. Это возможно, если одни элементы могут быть выражены в виде зависимости от других элементов одного вектора исходных данных. В таком случае имеется восстановить значение, находящееся в сбое по остальным значениям вектора исходных данных.

Фильтрация ТМП, составляющих вектор исходных данных, по некоторой функции, позволяет значительно сократить время, затрачиваемое на удаление сбойных значений. Вид функции необходимо подбирать таким образом, чтобы сбойные значения элементов вектора исходных данных, являющихся аргументами данной функции, приводили к явно выраженному скачкообразному изменению значения функции, которое будет отбраковано при фильтрации.

Литература

Фаддеев Д.К., Фаддеева В.Н.. Вычислительные методы линейной алгебры. М.: Наука, 1963. 655 с.



Уважаемые читатели!

**Издательство «Спутник+»
предлагает:**

- 📖 **ИЗДАНИЕ И ПЕЧАТЬ МОНОГРАФИЙ, КНИГ** любыми тиражами (от 50 экз.).
 - ✓ Срок - от 3-х дней в полноцветной и простой обложке или твердом переплете.
 - ✓ Присвоение ISBN, рассылка по библиотекам и регистрация в Книжной палате.
 - ✓ Оказываем помощь в реализации книжной продукции.
- 📖 **ПУБЛИКАЦИЯ НАУЧНЫХ СТАТЕЙ** для защиты диссертаций в журналах по гуманитарным, естественным и техническим наукам.
 - ✓ Журнал «Естественные и технические науки» входит в перечень ВАК.
- 📖 **ПРОВЕДЕНИЕ МЕЖДУНАРОДНЫХ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАОЧНЫХ КОНФЕРЕНЦИЙ** по всем научным направлениям для аспирантов, соискателей, докторантов и научных работников.
- 📖 **ПУБЛИКАЦИЯ СТИХОВ И ПРОЗЫ** в журналах «Российская литература», «Литературный альманах «Спутник» и «Литературная столица».
- + **Набор, верстка, корректура и редакция текстов.**
- + **Печать авторефератов, переплет диссертаций (от 1 часа).**
- **Переплетные работы, тиснение, полноцветная цифровая печать.**

Наш адрес: Москва, 109428, Рязанский проспект, д. 8 А
тел. (495) 730-47-74, 778-45-60, 730-48-71 с 9 до 18 (обед с 14 до 15)
<http://www.sputnikplus.ru> e-mail: print@sputnikplus.ru

Научное издание

ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИЕ И ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ 2018

*Материалы XI отраслевой научно-технической конференции
приборостроительных организаций ГК «РОСКОСМОС»
(29 марта 2018 года)*

Издательство «Спутник +»
109428, Москва, Рязанский проспект, д. 8А.
Тел.: (495) 730-47-74, 778-45-60 (с 9.00 до 18.00)
Подписано в печать 06.02.2019. Формат 60×90/16.
Бумага офсетная. Усл. печ. л. 8,31. Тираж 120 экз. Заказ 25.
Отпечатано в ООО «Издательство «Спутник +»