

УДК 629.78.018

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ТЕОРИИ И ПРАКТИКИ КОНТРОЛЯ МОНТАЖЕЙ И ИСПЫТАНИЙ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ СБОРОЧНО-ЗАЩИТНЫХ БЛОКОВ РАКЕТ-НОСИТЕЛЕЙ СРЕДНЕГО КЛАССА

© 2013 А. Н. Коптев¹, А. А. Гуляев²

¹Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет)

²ФГУП ГНПРКЦ «ЦСКБ-Прогресс», г. Самара

В статье представлена существующая технология контроля монтажей и испытаний сборочно-защитных блоков ракет-носителей среднего класса. Сформулированы требования к проектируемым автоматизированным системам контроля монтажей и испытаний сборочно-защитных блоков ракет-носителей среднего класса. Представлены общие сведения о микропроцессорной автоматизированной системе контроля «МАСКА» и возможности её применения для испытаний электротехнического оборудования сборочно-защитных блоков ракет-носителей.

Тензорный анализ, головной обтекатель, сборочно-защитный блок, аппаратура контроля цели, техническая диагностика, обобщённый объект.

Требования к безопасности полётов ракет-носителей, увеличение числа запусков в космос, внедрение нового поколения бортовых систем на основе ЭВМ существенно увеличивают сложность электротехнического оборудования (ЭТО) ракет-носителей (РН).

Многообразие и сложность процессов изготовления ЭТО РН обусловили широкое применение контрольно-испытательных операций.

Задачи испытаний РН решаются предприятием-изготовителем на участке контрольных испытаний (контрольно-испытательной станции) (КИС). Совместно с испытаниями РН проводятся испытания и сборочно-защитных блоков (СЗБ).

СЗБ есть совокупность технических устройств, предназначенных для конструктивной и функциональной связи космического аппарата (КА) или составных частей космической головной части с РН, их защиты от тепловых нагрузок при прохождении РН плотных слоёв атмосферы, а также стыковки составных частей космической головной части между собой.

Рассматривая в качестве примера СЗБ РН семейства «Союз», следует отметить, что типов СЗБ имеется множество. Это связано с тем, что под каждый тип КА разрабатывается отдельный СЗБ, отвечающий требованиям объекта по безопасности, защищённости, температурному режиму и т.д. Одним из самых сложных в производстве и эксплуатации является СЗБ КА «Союз-ТМА» (11С517А3) (для пилотируемых космических полётов).

Сложность данного объекта (рис. 1) обусловлена наличием системы аварийного спасения (САС), которая обеспечивает спасение экипажа в случае нештатной ситуации. Комплект приборов САС и двигательная установка (ДУ) САС монтируются на технической позиции, а на предприятии-изготовителе монтируется только бортовая кабельная сеть (БКС), контактные датчики, пиротехнические средства (ПС), телеметрические датчики.



Рис. 1. Сборочно-защитный блок 11С517А3

В процессе испытаний СЗБ 11С517А3, согласно ОСТ 134-1040-2005, ГОСТ РВ15307-2002 необходимо проконтролировать правильность электрических соединений, убедиться в отсутствии коротких замыканий (ложных перемычек) и ложных адресов в комбинации из ранее рассмотренных случаев; определить электрическое сопротивление изоляции; проверить: правильность срабатывания контактных датчиков, омическое сопротивление ПС и их цепей, отсутствие сообщения цепей ПС с корпусом изделия и между собой. Испытания СЗБ 11С517А3 на заводе-изготовителе, согласно инструкции 11С517А3 0000-0 ПМ-53 проводятся в ручном варианте контроля. Так, для проверки правильности электрических соединений и отсутствия ложных перемычек применяются ответные электрические соединители, к хвостовикам которых прикладываются щупы контрольных приборов (мультиметр, мегаомметр). Проверка сопротивления изоляции производится автоматизированным пультом контроля, в основе работы которого лежит шаговый двигатель. Проверка ПС и их цепей осуществляется током малой величины с пульта проверки ПС, цепи выбираются вручную с помощью переключателей пульта.

В процессе испытаний задействовано около 50 проверочных точек (соединителей БКС). Процесс испытаний фактически разделён на операции по сборке испы-

тательной схемы и измерительные операции, выполняемые вручную, что увеличивает риск ошибок. Данная методика проверок и испытательное оборудование требуют большого числа исполнителей (оптимальный состав испытательного расчёта 4-5 человек), вследствие чего увеличивается время испытаний (до трёх рабочих смен), стоимость испытаний и СЗБ в целом.

Создание РН «Союз-2» путём глубокой модернизации РН «Союз-У»; переход от аналого-релейной системы управления к цифровой привёл к изменению методологии испытаний. Наземное проверочное оборудование РН «Союз-2» позволяет проводить испытания в автоматическом режиме, где оценку правильности работы систем производит ЭВМ, в отличие от автоматизированных испытаний РН «Союз-У», где аналогичное решение принимает оператор. В комплект наземного оборудования для испытаний РН «Союз-2» (разработчик – НПО автоматики имени академика Н.А. Семихатова) входит и аппаратура контроля цепей (АКЦ), которая позволяет проводить проверку: целостности цепей БКС, сопротивления изоляции цепей БКС, разобщения цепей БКС в автоматическом режиме, а также проверку ПС. Конструктивно комплект представляет собой ЭВМ, периферийные устройства, прибор контроля цепей, комплект кабелей и заглушек для подключения к БКС испытуемого изделия. АКЦ смонтирована на подвижной тележке, которая позволяет перемещать её в пределах участка испытаний.

Для РН «Союз-2» были разработаны и начали производиться новые СЗБ, которые не применяются на РН «Союз-У». Данные СЗБ испытываются комплектом АКЦ, что существенно упростило процесс испытаний и уменьшило время испытаний. Однако жёсткая структура программы проверки, не позволяющая вносить изменения в программу проверки на уровне испытателя, необходимость отдельного комплекта кабелей, заглушек, приспособлений для каждого типа объек-

тов испытаний существенно снижают, а в некоторых случаях и сводят на нет все преимущества автоматической проверки. Например, после выявления замечаний в процессе испытаний, их анализа и устранения необходимо повторять проверку в полном объёме, а не только той цепи, в которой было выявлено замечание. В случае, например, проверок ПС это ведёт к излишним стыковкам и расстыковкам соединителей БКС, что требует дополнительных временных затрат и увеличивает вероятность повреждения соединителей БКС. Необходимость в комплекте испытательных кабелей и приспособлений для каждого объекта испытаний существенно увеличивает стоимость изделия в целом и затрудняет разработку новых СЗБ по экономическим соображениям. Также следует учесть и недостаточную скорость проведения измерений параметров БКС. АКЦ производит трёхкратное измерение электрических параметров (сопротивление цепи, сопротивление изоляции цепи относительно корпуса и между собой) в течение 2,4 секунды, что сопоставимо по скорости с измерением вручную опытным исполнителем. Данный недостаток связан как с устаревшим программным обеспечением, так и с аналоговой структурой прибора контроля цепей.

Для снижения трудозатрат на контроль и испытания ЭТО РН и СЗБ необходимо создание новых автоматических универсальных средств контроля и испытаний, выполняющих широкий круг задач контроля со многими типами объектов, с гибкой структурой программ контроля на уровне исполнителя (с возможностью изменять объём, последовательность, эталонные параметры проверки в процессе испытаний объектов контроля). Автоматизация работ должна быть основана на формализации и разработке строгих методов решения задач технической диагностики. Одним из главных моментов в решении этих задач является разработка достаточно гибкой, чтобы её можно было применять к различным устройствам и системам, математической модели реаль-

ных устройств и систем бортового оборудования, охватывающих широкий спектр изделий, находящихся в производстве, или опытных образцов.

Длительное время технология контроля и испытаний ЭТО РН не имела достаточной теоретической базы и развивалась на основе экспериментальных исследований. Отставание теории от практики объясняется исключительной сложностью получения формализованного описания технологических процессов. Поскольку оптимизационные задачи в технологии включают большое количество искомым взаимосвязанных параметров, то количество переменных, рассматриваемых при анализе технологических процессов, настолько велико, что уравнения, связывающие их, трудно разрешимы.

Данные затруднения решены в [1] путём геометрического представления физических проблем технологии и современной вычислительной техники. Использование в качестве общей базы для решения задач теории контроля и испытаний ЭТО РН тензорного анализа и тензорной методологии [2] позволяет развить достаточно эффективную теорию для двух основных задач технологии производства ЭТО РН – задачи проектирования технологического процесса монтажа и задачи контроля и испытаний.

В общем случае, любой объект или система ЭТО РН представляется сетью для передачи и преобразования электрических сигналов, т.е. технической структурой, состоящей из электрических устройств (электрожгуты, распределительные коробки и т.д.), соединяющих определённые точки элементов этой структуры. Объект или система ЭТО РН представляется в виде n -мерной матрицы, тензора преобразования и формулы преобразования (уравнения). Затем происходит анализ объекта, целью которого является определение тензора преобразования тока, проходящего через сеть.

Постановка и решение задач контроля и диагностики сложных систем достаточно полно освещены в [3], а общий

метод синтеза тестовой информации даёт тензорная методология [2]. Результатом синтеза тестовой информации является функция для каждой цепи объекта, из которых и строится программа контроля, т.е. тестовая последовательность, которая позволяет обнаружить все виды неисправностей.

После получения тестовой последовательности необходимо минимизировать объём тестовой информации, т.к. набор тестов может быть обширен и, как следствие, программа контроля будет длинной, что приведёт к значительным временным затратам на контроль состояния объектов и систем. Вопросы минимизации тестовой информации достаточно полно рассмотрены в [1, 3].

В настоящее время на основе вышеизложенной теории в НИЛ-36 СГАУ раз-

работана микропроцессорная автоматизированная система контроля авионики – «МАСКА». Система «МАСКА» является диагностическим комплексом контрольно-измерительной аппаратуры. Это автоматический комплекс средств контроля, диагностики и прогнозирования состояния сложных систем бортового оборудования воздушных судов (ВС) и ракетно-космической техники (РКТ) на основе новых CAN-технологий с использованием уникальных программно-аппаратных симуляторов, анализаторов и контрольно-измерительных приборов на базе PXI в программной среде LabVIEW. Применение системы МАСКА занимает небольшие сроки и поэтому определяет её как перспективную и быстро внедряемую.

Один из вариантов её функциональной схемы приведён на рис.2.

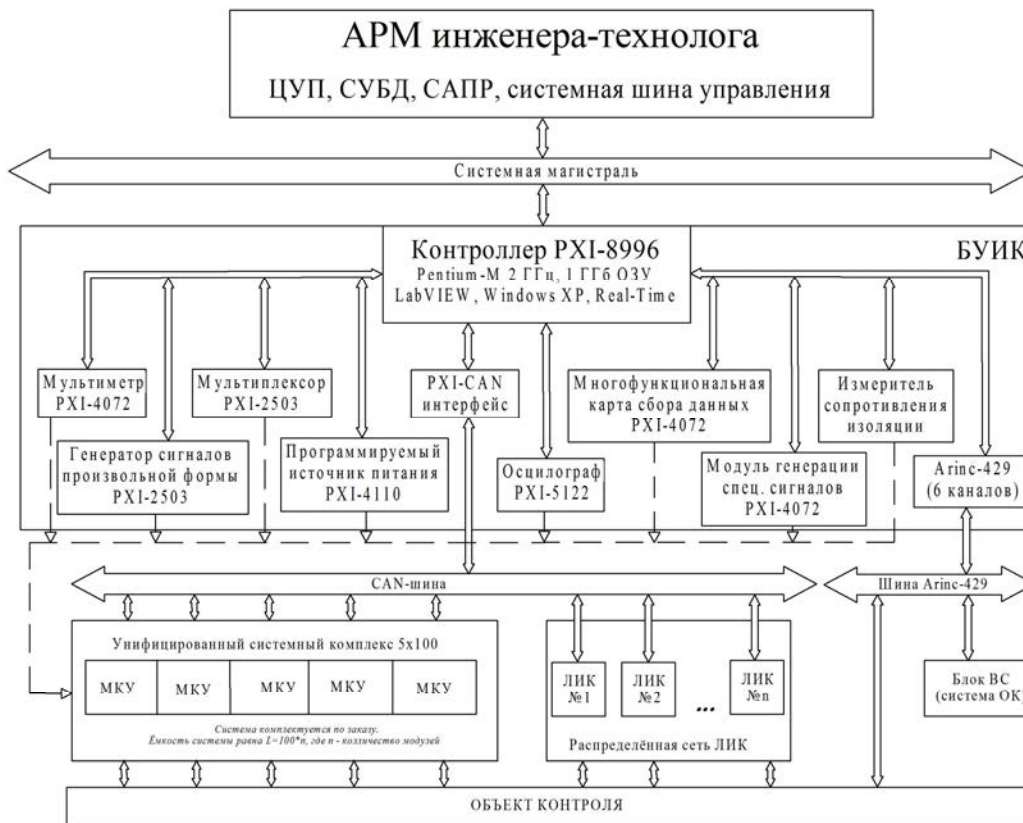


Рис. 2. Схема функциональная системы «МАСКА»

Основой взаимодействия информационных потоков и технических средств системы МАСКА является информационная база данных по всему комплексу элек-

троборудования ВС РКТ, включающая инструментарий для формирования рабочих файлов для различных задач, возникающих при изготовлении и эксплуатации

бортового радиоэлектронного оборудования, пилотажно-навигационного комплекса, токораспределительных систем и электросборок. Исходными документами для заполнения и ведения базы данных являются конструкторская, технологическая и эксплуатационная документация, а также документы, вносящие изменения, коррекцию и доработку документации. Формирование файлов базы данных ведётся непосредственно с первичных исходных документов.

Технические средства системы «МАСКА» благодаря использованию высокопроизводительного электронного оборудования и интерфейсу информационного обмена ARINC-429 обеспечивают высокую скорость измерений. Например, время измерения параметров одной электрической цепи составляет 15 микросекунд.

Применение системы «МАСКА» для испытаний СЗБ КА «Союз-ТМА» позволит опробовать новейшее испытательное

оборудование в ракетно-космической технике, а также существенно снизит время, стоимость и трудоёмкость испытаний.

Библиографический список

1. Монтаж, контроль и испытания электротехнического оборудования ЛА [Текст] / А.Н. Коптев, А.А. Миненков, Б.Н. Марьин [и др.]. – М.: Машиностроение 1998.
2. Крон, Г. Тензорный анализ сетей [Текст] / Г. Крон; пер. с англ.; под ред. Л.Т. Кузина, П.Г. Кузнецова. – М.: Советское радио, 1978. – 720 с.
3. Чжен, Г. Диагностика отказов цифровых вычислительных систем [Текст] / Г. Чжен, Е. Мэннинг, Г. Метц; пер. с англ.; под ред. И.Б. Михайлова. – М.: Мир, 1972. – 232 с.
4. Эйкопф, П. Основы идентификации систем управления [Текст] / П. Эйкопф; пер. с англ.; под ред. Н.С. Райбмана. – М.: Мир, 1975. – 680 с.

CURRENT STATE OF THE THEORY AND PRACTICE OF CIRCUIT WIRING CONTROL AND TESTING OF THE AVIONICS OF ROCKET FAIRINGS OF MIDDLE-CLASS LAUNCH VEHICLES

© 2013 A. N. Koptev, A. A. Gulyaev

¹Samara State Aerospace University named after academician S. P. Korolyov
(National Research University)

²Space Rocket Center «TsSKB-Progress»

The paper presents an existing technology of controlling circuit wiring and tests of rocket fairings of middle-class launch vehicles. The essential features required of modern control systems of circuit wiring and tests of middle-class launch vehicles are formulated. An overview of the automated microprocessor control system MASKA is presented and the possibility of using it for the testing of the avionics of rocket fairings of middle-class launch vehicles is shown.

Tensor analysis, rocket fairing, launch vehicle, circuitry control equipment, generalized object, technical diagnostics.

Информация об авторах

Коптев Анатолий Никитович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой эксплуатации авиационной техники, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С. П. Королёва (национальный исследова-

тельский университет). E-mail: eat@ssau.ru. Область научных интересов: контроль и испытания летательных аппаратов и их систем.

Гуляев Алексей Алексеевич, инженер, ФГУП ГНПРКЦ «ЦСКБ-Прогресс». E-mail: ratibor85@yandex.ru. Область научных интересов: контроль и испытания летательных аппаратов и их систем.

Koptev Anatoly Nikitovich, doctor of technical science, professor, head of the aircraft maintenance department, Samara State Aerospace University named after academician S.P. Korolyov (National Research University). E-mail: eat@ssau.ru. Area of research: control and testing of aircraft and their systems.

Gulyaev Alexey Alexeevich, engineer of Space Rocket Center «TsSKB-Progress». E-mail: ratibor85@yandex.ru. Area of research: control and testing of aircraft and their systems.