

физические входы для определения каналов управления, измерения и мониторинга; повторно вызывать калибровочные параметры из БД; осуществлять мониторинг всех параметров в любой момент испытания, а по окончании теста — определить и распечатать результаты с помощью функции пакетного вывода; анимировать геометрию для проверки результатов. Имеются решения для испытаний космических аппаратов, для ММО широкополосного управления, а также лимитированное по числу каналов решение для виброиспытаний LMS Test.Lab Vibration Control.

Пользователи решения: ESA, Alcatel Alenia Space Italia, KARI, ЦАГИ, ГКНПЦ им. М.В. Хруничева, НПО им. С.А. Лавочкина, РКЦ "ЦСКБ-Прогресс", ЦНИИМАШ, ЦНИИ "Комета" и др.

LMS Test.Lab Qualification Testing: квалификационные испытания

Приложение для испытаний объекта в условиях нормальной и максимальной нагрузки, а также измерений его эксплуатационных характеристик в течение ожидаемого срока службы с помощью системы управления вибрационными испытаниями с обратной связью. Квалификационные виброиспытания обычно проводятся в соответствии с комплексом стандартов для испытаний, и пакет включает все функции, предусматриваемые стандартами MIL STD 810 (США) или GAM EG-13 (Франция). Примеры типичных испытаний: в режимах ударного (классического и с заданием ударного спектра), синусоидаль-

ного, случайного и комбинированного возбуждения, а также испытания при реальном эксплуатационном возбуждении. Приложение обеспечивает высокую степень гибкости при задании настроек для работы с нестандартными техническими характеристиками, что позволяет проводить испытания с более сложными режимами возбуждения, получаемыми из данных полевых испытаний путем подгонки.

LMS Test.Lab Validation Testing для приемочных испытаний

Средства управления вибрационными испытаниями с обратной связью, включенные в данное приложение, реализуют безопасный, быстрый, точный и надежный алгоритм для испытаний космических аппаратов. Если для испытаний необходимо большее число каналов, система управления виброиспытаниями может быть дополнена системой предварительной обработки данных в РВ. Для повышения сохранности данных предусмотрена дополнительная функция "записи на магнитофон", позволяющая записывать необработанные временные реализации сигналов на протяжении всего процесса испытаний с частотой дискретизации, задаваемой пользователем, не снижая при этом производительность системы предварительной обработки данных в РВ. Собранные данные сразу могут подвергнуться анализу, начиная с трехмерной анимации, модального анализа в рабочих условиях и заканчивая корреляцией с конечно-элементной моделью.

Панов Сергей Николаевич — канд. техн. наук, специалист ООО "Компания ОКТАВА+".

Контактный телефон (495) 799-90-92. [Http:// www.octava-lms.ru](http://www.octava-lms.ru)

НОВОЕ ПОКОЛЕНИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ СТЕНДОВЫХ ИСПЫТАНИЙ В РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

С.Н. Зайченко (Холдинг "Информтест")

Проанализирована ситуация, сложившаяся в России в области ракетно-космической техники (РКТ) и ее наземных испытаний. Сформулированы основные направления развития современной испытательной базы РКТ в мире. Показано, что основой современной наземной испытательной базы РКТ может стать новое поколение измерителей из класса Synthetic Instruments, в том числе производства холдинга "Информтест" (Москва).

Ключевые слова: ракетно-космическая техника, испытательная база, импортозамещение, открытые стандарты, модульность, измерительные системы.

Создание нового поколения ракет-носителей, разгонных блоков и космических аппаратов различного назначения является одной из приоритетных задач в конкурентной борьбе на рынке космических услуг. Данный рынок имеет свою специфику, при которой важнейшими игроками являются государственные предприятия, а потребителями значительной части продукции этого рынка — частные предприятия, например, операторы связи и пр. Другой важнейшей особенностью рассматриваемого сектора рынка является то, что ракетно-космическая отрасль развивается в основном за счет государства. Получается, что государство развивает принадлежащую ему космическую отрасль (более чем на 90%) в основном старыми затратами советскими методами. Советский подход

хотя и позволил СССР на время вырваться вперед в космической отрасли, но оказался чрезвычайно затратным и экономически неэффективным. В настоящее время мы осознаем, что пока живем в основном за счет советского наследия, а новые разработки оборачиваются для нас огромными затратами. Если проанализировать проводимые современные опытно-конструкторские работы и работы по подготовке производства, становится ясно, что без изменения старого советского подхода к созданию новых образцов в стране на эти разработки никаких средств не хватит. Кроме того, в период 2009...2020 г. основная масса наземной космической инфраструктуры, средств испытаний и другого технологического оборудования, созданные в советский период, из-за ста-

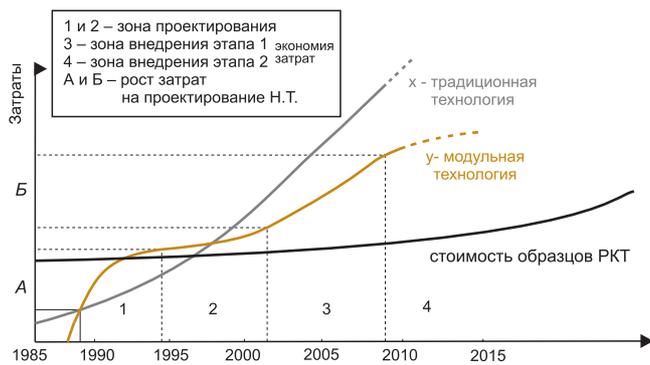


Рис. 1. Тенденции изменения затрат на наземную технику для испытаний РКТ

рости и ветхости потребуют массовой замены на новое оборудование. А это в свою очередь поставит российскую космическую промышленность перед фактом новых огромных затрат. Поэтому современные методы модернизации и правильная стратегия развития в этой области позволят сэкономить массу денег и получить приемлемый результат.

Нужно отметить, что Россия – не первая страна, попавшая в подобную ситуацию. Аналогичное состояние в ракетно-космической и авиационной промышленности сложилось в США в 1989-1995 гг., и там были найдены инструменты для существенного удешевления стоимости новых проектов за счет революционного изменения подхода к технологии изготовления образцов ракетно-космической техники (РКТ) и к их наземным испытаниям.

Рассмотрим важнейшую часть процесса создания новых образцов РКТ – наземные стендовые испытания. Новые разгонные блоки, ракеты-носители, пилотируемые корабли и особенно спутники функционально в сотни раз сложнее тех, что были 20 лет назад. Более того, спутники теперь имеют срок активного существования (САС) до 15 лет, а это в 5 раз больше чем 20 лет назад. Понятно, что и наземная испытательная база должна соответствовать проверяемым образцам.

Проанализируем аналогичную ситуацию в области РКТ, сложившуюся в США к 1990 г. На рис. 1 показан рост стоимости затрат на новые образцы РКТ в США и рост стоимости затрат на наземную испытательную базу. Видно, что затраты на наземную испытательную базу растут быстрее чем затраты на образец РКТ. Это вполне объяснимо, потому что объемы проверок растут, а это требует автоматизации испытательных операций. Автоматизация, в свою очередь, позволяет ускорить процесс испытаний, а значит и изготовления новых образцов и снизить влияние человеческого фактора на производственный и испытательный процессы, что повышает надежность оборудования. Большинство новых приборов, применяемых для испытаний, также растут в цене. Анализ показывает, что в США добились существенной минимизации стоимости наземной отработки новых образцов РКТ за счет: широкого применения открытых стандартов из-

мерительной аппаратуры; унификации приборов в открытых стандартах, технологии Plug&play, минимизирующей затраты на ПО и др. При этом обратим внимание на то, что кривая роста затрат на оборудование, выполненное по модульной технологии, имеет свои всплески, связанные с этапами модернизации и периодами обновления модульных приборов.

Если попытаться проводить модернизацию наземной техники для новых РКТ в России по американскому сценарию, то придется столкнуться с рядом дополнительных сложностей, которых не было в США:

1. Малое число фирм-изготовителей модульной измерительной аппаратуры, и соответственно небольшой набор модульных приборов, в 8...10 раз меньший, чем в США;

2. Надо понимать, что без широкого использования импортных модульных приборов на первом этапе не обойтись. Но, если в основе систем будут заложены российские приборы, и будет разработана реальная программа импортозамещения для некоторых важнейших импортных приборов, то через некоторое время мы будем иметь собственный набор модульных приборов, позволяющий решать ключевые задачи автоматизации. Например, именно так и произошло с VXI стандартом в РФ.

3. Создание собственного набора модульных приборов позволит сделать более независимой военную составляющую испытаний РКТ от импорта.

4. При создании собственных приборов должны быть сняты ограничения на элементную базу (аналогично COTS-технологии в США). Одно это позволит сделать огромный скачок вперед, потому что пора всем осознать, что никакие современные приборы не могут быть разработаны и изготовлены на элементной базе 25-летней давности. Иначе альтернативой российским приборам будут только иностранные приборы.

5. Существуют целые группы приборов, в том числе модульных, которые запрещено поставлять в РФ по вопросам отработки военных, ракетных и ядерных технологий. Их надо как-то заменять.

Это только ключевые проблемы модернизации наземной инфраструктуры и технологического оборудования в российской ракетно-космической промышленности. Все эти проблемы только увеличивают размер затрат на модернизацию отрасли по сравнению с США. Однако есть и положительные моменты. Они в основном связаны с тем, что стоимость затрат на новое проектирование и импортозамещение в РФ существенно ниже, чем в США. Другим плюсом является то, что этап модернизации на основе открытых стандартов в РФ, как и в Китае, и Индии может проводиться без оглядки на имеющиеся реализации в открытых стандартах, потому что их число в РФ по сравнению с США ничтожно.

Причем затраты на наземную технику (НТ) растут не только на спутники, но и на ракеты-носители, и разгонные блоки. У них тоже есть свой рейтинг по надежности, по экологичности и др. Стоимость пус-

ков растет также за счет роста стоимости выводимых в космос космических аппаратов (КА) в части страховки. В целом – везде проблемы.

Все это говорит об одном: мы очень отстали в наземной испытательной базе РКТ от всех конкурентов, включая Индию и Китай, и неизбежно провалимся на рынке КА и пусковых услуг в самое ближайшее время, если в этой сфере не произойдет коренных изменений.

США и страны Европы на рубеже 1991-2001 гг. провели серьезную модернизацию испытательной базы РКТ на основе первого поколения модульных измерительных систем открытых стандартов IEEE-488.2 и VXI 1.4 [1-4]. Начиная с 2007 г., пошел второй этап модернизации испытательной базы РКТ на основе нового стандарта LXI, технологии Synthetic Instruments, VXI 3.0, VXI+LXI и др. Широкое распространение вслед за LXI получили системные сетевые технологии (<http://lxistandard.org/>).

Китай и Индия 20 лет назад вообще не имели испытательной базы, на них не давит славное наследие и поэтому они в настоящее время создают самую современную испытательную базу, умело заимствуя новейшие достижения в США, Европе и Японии.

Мировой тренд в создании современной испытательной базы РКТ можно выразить в следующих принципах.

1. В основе нового поколения испытательных систем стоят модульные автоматизированные измерительные и телеметрические системы, обеспечивающие минимизацию участия человека и наивысшую степень автоматизации испытаний.

2. Измерительные модули представляют собой многоканальные специализированные измерители (класс Synthetic Instruments + Plug&play), использующие новейшую элементную базу и способные работать без всяких изменений в VXI и LXI стандартах (это достигается за счет специальных модулей-носителей инструментов). Новые измерительные инструменты строятся с минимальным числом нормализаторов благодаря наличию большого набора диапазонов измерений и широкому динамическому диапазону измерителей. Уменьшение числа нормализаторов дает огромную экономию и позволяет существенно повысить качество измерений [1-3].

3. ПО испытательных систем является открытым и может работать с различными инструментами, например, CODA, Информтест-Регистратор-Эксперт, Астест VXI [1-3].

4. В новых системах широко применяются автоматизированные процедуры самоконтроля, поверки, калибровки и др., которые становятся частью систем

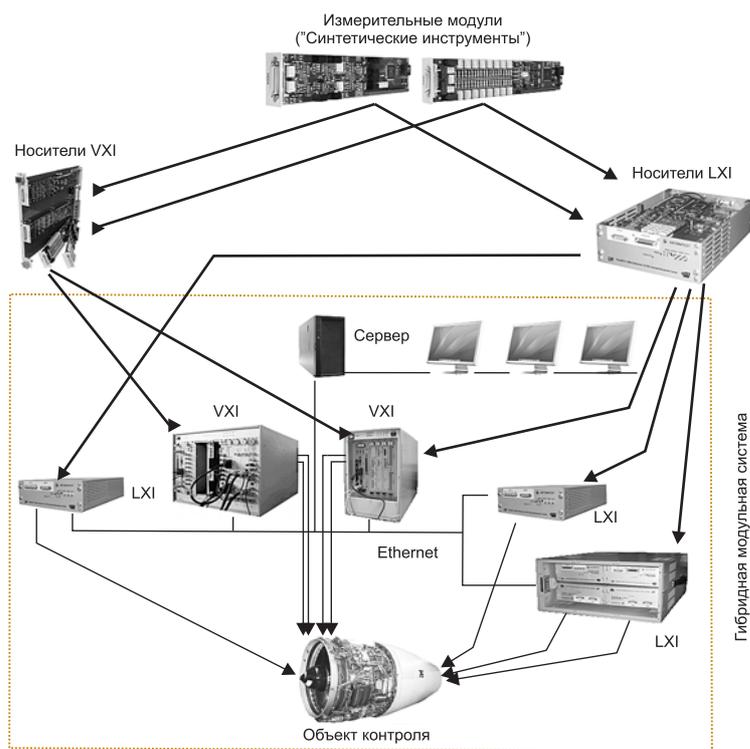


Рис. 2. "Синтетические инструменты" – новое поколение мезонинных измерителей на носителях VXI и LXI в открытых стандартах

и существенно сокращают затраты метрологических служб предприятий.

5. Новые системы часто строятся по гибриднему принципу, объединяя в одной системе подсистемы в стандартах LXI, VXI, PXI. Это позволяет использовать в рамках одной системы составные части от разных, в том числе иностранных производителей и не зависеть ни от кого из них.

6. Со сцены постепенно уходит стандарт IEEE-488.2 (GPIB), в современных системах снижается доля нестандартных приборов, систем, выполненных в собственных закрытых стандартах и с ПО, жестко привязанным к определенной аппаратуре.

Все эти принципы только подтверждают растущую унификацию элементов современных систем и возможность объединения узлов системы в единый комплекс при помощи стандартных интерфейсов и ПО.

Одним из крайне редких в России примеров аппаратуры, удовлетворяющей всем названным принципам, является новое поколение измерителей из класса Synthetic Instruments производства холдинга "Информтест" (Москва) (рис. 2).

Измерители спроектированы по мезонинной технологии и могут устанавливаться на носители в стандарте VXI (3 типа) и LXI (1 тип). Всего в составе семейства в настоящее время находится 28 типов различных инструментов. Это многоканальные измерители, имеющие наивысшие по современным меркам возможности. Например, модуль МН32С имеет 32 измерительных канала по напряжению, два АЦП 24 бит, частоту 30 кГц, 8 диапазонов измерения, позволяющих исключить нормализаторы из измеритель-



Рис. 3. Портативная динамическая тензостанция ТС-6К

ного канала, класс точности 0,01%. Имеются также 32-канальные измерители тока МТД 32, измерители сопротивления МТ16-4Л (16 каналов), частотные измерители оборотов МЧ8 (8 каналов), частотные расходомеры МНЧ 4 (4 канала), формирователи команд МФТК1 (30 каналов), формирователи сухих контактов МФСК-24 (24 канала), анализаторы дискретных каналов МОВ-48 и МДС 32 и др. В семействе присутствуют модули запитки датчиков МОН12 (12 параллельных гальванически развязанных каналов на 6 и 12 В), МОН-4 (4 канала), МОТ-8 (8 каналов источников тока). Все измерители имеют групповую гальваническую развязку.

Также имеются специализированные измерители с индивидуальной гальванической развязкой каналов: МН8И (8 каналов, 18 бит инструментальный АЦП, 1 диапазон, 200 кГц на канал); МН6И (6 каналов, 18 бит, 3 диапазона, 200 кГц на канал); МН4И (4 канала, 8 диапазонов, 40 кГц на канал).

Для динамических измерительных каналов используются модули: МН4В (4 канала, 102,4 кГц на канал, 24 бит, 8 диапазонов, групповая гальваническая развязка); МТМ6 для динамических тензоизмерений (6 каналов, 125 кГц на канал, 1/4, 1/2, полный мост, 24 бит). На базе модуля МТМ6 построена динамическая тензостанция ТС-6К (рис. 3), особенностью которой является наличие специализированных диапазонов для малых деформаций (500 мк).

Гибкая мезонинная технология позволила строить дублированные телеметрические системы для стендовых испытаний и обеспечения работы на старте – Тест 4205, Тест 5106 и др.



Рис. 4. Современные измерительные системы, построенные по модульной технологии в открытых стандартах
а) Система контроля и анализа цифровых узлов бортовой и наземной электронной аппаратуры ТЕСТ-6408-01; б) Автоматизированная система контроля БКС (бортовой кабельной сети) – ТЕСТ-9110VXI-28; в) Автоматизированный испытательный комплекс для комплексных испытаний КА (спутников) – ТЕСТ-2402

Зайченко Сергей Николаевич – канд. техн. наук, генеральный директор Холдинга "Информтест".
Контактный телефон/факс (495) 944-57-64. E-mail: infest@infest.ru [Http://infest.ru](http://infest.ru)

На основе данного семейства мезонинных модулей на предприятиях ФКА "Роскосмос" уже эксплуатируется ряд комплексов для испытаний РКТ (рис. 4):

- Тест-4205 (два комплекта), Тест-2402 (пять комплектов) и др. в ОАО "ИСС им. М.Ф. Решетнева";
- Тест-5106 в ФКП "НИЦ РКП";
- Тест-5607 (три комплекта) в ФГУП "ГКНПЦ им. М.В.Хруничева".

Кроме того, в настоящее время идет изготовление целого ряда комплексов для различных предприятий ФКА "Роскосмос".

В заключение отметим, что анализ мировых трендов по развитию наземной испытательной базы для новой РКТ показывает, что весь технологически развитый мир идет по пути широкого использования модульной технологии, и нам также нужно осваивать этот путь.

Это особенно важно в свете того, что 2008-2010 гг. многие предприятия Роскосмоса начали получать солидные дотации на модернизацию и перевооружение испытательной базы. Каждое предприятие решает данную задачу по-своему и старается закрыть наиболее острые вопросы производства. Поэтому модернизация часто превращается в латание дыр без какой-либо стратегии в этом процессе. Если же к модернизации приложить еще и правильную стратегию, то можно получить реальный эффект и обновить испытательную базу в соответствии с современным уровнем развития РКТ.

Список литературы

1. Зайченко С.Н. Хартов В.В., Кочура С.Г., Филимонов С.Н. "Новое поколение модульных рабочих мест автономных и комплексных испытаний РКТ" // Аэрокосмический курьер. 2009. №3-4.
2. Blonnigen F. What is the ideal bus? // EE-Evaluation Engineering WEB Site. Copy – http://www.bustec.com/support/papers/ideal_bus/ideal_bus.html
3. Зайченко С.Н., Ленточников М.В. Новое поколение модульных систем тестирования цифровой бортовой аппаратуры // Там же. 2010. №1.
4. Зайченко С.Н., Перцовский М.И. Новое поколение смешанных и динамических модульных информационно-измерительных и телеметрических систем в стандартах VXI и LXI // Автоматизация в промышленности. 2009. №7.