

УДК 629.7

© Нестеров В.Е., Рудаков В.Б., Макаров М.И.  
Nesterov V., Rudakov V., Makarov M.

## ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ОТРАБОТКИ ВОЗВРАЩАЕМОГО РАКЕТНОГО БЛОКА МНОГОРАЗОВОЙ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

### SPECIAL FEATURES OF DEVELOPMENT TEST OF RECOVERY ROCKET PACKAGE OF REUSABLE SPACE ROCKET SYSTEM

**Аннотация.** Проводится анализ основных особенностей отработки возвращаемого ракетного блока (ВРБ) многоразовой ракетно-космической системы (МРКС), создание которого включает в себя и ракетные и авиационные технологии. Эти особенности необходимо учитывать при совершенствовании методического обеспечения этапа экспериментальной отработки ВРБ МРКС.

**Annotation.** Paper examines basic special features of development test of recovery rocket package of reusable space rocket system, which development includes in itself both rocket and aviation technologies. These special features should be taken into account during the enhancement of methodological support of recovery rocket package of reusable space rocket system development test phase.

**Ключевые слова.** ВРБ, вероятностные ошибки, иерархия, квалификация, контроль, МРКС, параметры, планирование, потери, принятие решений, средства выведения (СрВ), требования, экономические затраты.

**Key words.** Recovery rocket package, probabilistic errors, hierarchy, qualification, checking, reusable space rocket system, parameters, planning, losses, decision making, launch vehicles (LV-s) requirements, economic expenditures.

К числу наиболее важных проблем [1, 2], стоящих перед современной космонавтикой, следует отнести обеспечение эффективного доступа в космическое пространство в широком диапазоне масс полезных нагрузок и параметров рабочих орбит космических аппаратов (КА). Постановка и решение такой проблемы объектив-

но обусловлены, с одной стороны, возрастанием и расширением спектра задач, решаемых в космическом пространстве, в том числе связанных с устойчивым ростом грузопотока в космос (рис. 1), с другой стороны, ограниченными возможностями существующих СрВ для решения этих задач.

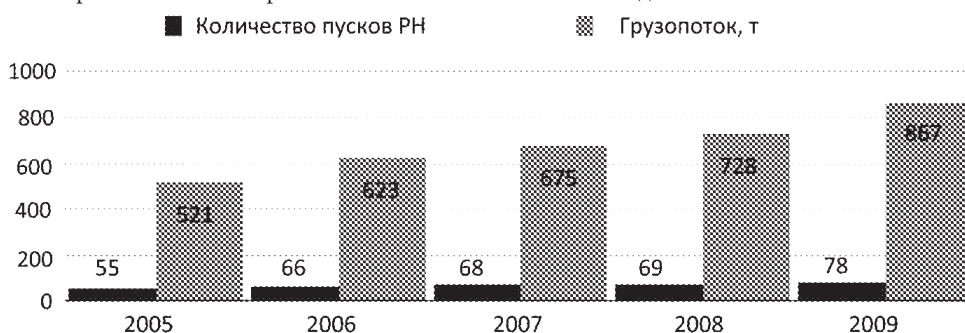


Рис. 1. Масса полезных грузов, выведенных на околоземные орбиты в период 2005–2009 гг.

Нестеров Владимир Евгеньевич – кандидат технических наук, первый заместитель генерального директора ФГУП «ГКНПЦ им. М.В. Хруничева»;

Рудаков Валерий Борисович – доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник НИИ КС им. А.А. Максимова – филиала ФГУП «ГКНПЦ им. М.В. Хруничева», тел. (495) 780-07-81;

Макаров Михаил Иванович – доктор технических наук, профессор, заместитель Генерального директора ФГУП «ГКНПЦ им. М.В. Хруничева»-директор «НИИ КС им. А.А. Максимова» – филиала ФГУП «ГКНПЦ им. М.В. Хруничева».

Nesterov Vladimir – Ph.D, First Deputy Director General of FSUE Khrunichev State Research and Production Space Center;

Rudakov Valeriy – Prof, Full Dr, Principal Research Scientist, A.A. Maksimov Space Systems Research Institute - Branch of FSUE Khrunichev State Research and Production Space Center, Phone: +7 (495) 780 0781;

Makarov Mikhail – Prof, Full Dr, Deputy Director General of FSUE Khrunichev State Research and Production Space Center, Director of A.A. Maksimov Space Systems Research Institute - Branch of FSUE Khrunichev State Research and Production Space Center.

В настоящее время практически весь грузопоток в космическое пространство обеспечивается одноразовыми ракетами-носителями (РН) различной грузоподъемности. Исключение составляет лишь американская многоразовая космическая система Space Shuttle, практически закончившая свое активное существование.

Многолетний опыт эксплуатации одноразовых средств выведения космических аппаратов выявил всю совокупность их положительных и отрицательных качеств. В частности, используемые в современных условиях одноразовые средства выведения космических аппаратов, наряду с такими достоинствами, как применение освоенных технологий изготовления, наличие значительного опыта эксплуатации, наличие отработанной производственной и эксплуатационной базы, обладают целым рядом недостатков. Основными из них являются:

- высокие повторяющиеся затраты на изготовление и использование по целевому назначению ракетных блоков и носителей в целом;
- наличие значительных по размерам «зон отчуждения», выделяемых для падения отделяющихся элементов ракет-носителей;
- отсутствие возможности выполнения целевой задачи в случае отказа элементов двигательной установки;
- невозможность повторного использования не только средства выведения в целом, но и его отдельных базовых элементов.

На протяжении достаточно длительного периода в России и за рубежом проводятся исследования, направленные на парирование (полное или частичное) перечисленных выше недостатков одноразовых СрВ. Основные трудности на пути создания многоразовых СрВ, наряду с решением сложных конструкторских, инженерных, материаловедческих и других проблем, сопряжены с необходимостью обеспечения надежного охлаждения конструкции возвращаемых ракетных блоков (ступеней РН) на этапе их возвратного полета к точке старта. Особую роль эта проблема играет при спасении и обеспечении повторного использования возвращаемых блоков верхних и орбитальных ступеней СрВ. Вход в плотные слои атмосферы таких элементов происходит на скоростях, составляющих 20–25 М, что делает проблему теплозащиты ключевой. По имеющимся данным, исходя из опыта эксплуатации многоразовой транспортной космической системы Space Shuttle, до 20–30 % общих затрат на эксплуатацию системы связано именно с решением обозначенной выше проблемы. Естественно возникает вопрос: как избежать огромных затрат, обеспечив при этом высокий уровень технико-экономической эффективности СрВ?

Одним из возможных путей решения данной задачи на современном этапе развития ракетно-космической техники является разработка и внедрение в практику СрВ частично многоразовых средств выведения, в которых многоразовым элементом является блок (блоки) нижних ступеней, условия возвратного полета для которых не являются столь жесткими. Как показывают проведенные исследования [1], в этом случае могут быть сформированы такие траектории полета СрВ, которые обеспечивают скорости входа спасаемых элементов первых ступеней на уровне 6–7 М. Это значительно облегчает задачу обеспечения надежной теплозащиты конструкции даже на современном уровне развития специального материаловедения.

Таким образом, задача создания подобного рода средств выведения представляется чрезвычайно актуальной. Вместе с тем, несмотря на предполагаемый положительный технико-экономический эффект, при создании частично многоразовых средств выведения остается целый ряд проблем, решение которых требует значительных усилий. В этой связи большую роль призвана сыграть методологически правильно построенная система разработки и создания подобных средств выведения, учитывающая всю совокупность обозначенных выше проблем и позволяющая уже на этапе проектирования не только избежать неэффективных решений, но и осуществить обоснованный выбор наиболее оптимального варианта СрВ.

Таким вариантом, как показывают проведенные исследования [1, 2], является МРКС, которая разрабатывается в «ГКНПЦ им. М.В. Хруничева».

В рассматриваемом варианте МРКС состоит из многоразовой ракеты космического назначения (МРКН) и наземного комплекса. При этом МРКН рассматривается как многоцелевое средство выведения для решения задач доставки на околоземные орбиты автоматических космических аппаратов различного назначения, грузовых пилотируемых кораблей по программам освоения околоземного космического пространства, исследования Луны, Марса и других планет Солнечной системы. МРКН выполнена по пакетной двухступенчатой схеме. Двигательные установки обеих ступеней работают с момента старта. Суть проведенных исследований заключалась в поиске оптимальных соотношений между энергетическими характеристиками возвращаемого ракетного блока (ВРБ) первой ступени и блока выведения (БВ) второй ступени. При этом были учтены те проблемы, с которыми в свое время столкнулись разработчики системы Space Shuttle и ОК «Буран», а именно: траектория выведения МРКН была оптимизирована таким образом, чтобы

избежать чрезмерного теплового нагружения конструкции на возвратном участке полета ВРБ.

В результате была выбрана и предложена концепция построения ракеты-носителя в целом и ракетных блоков первой и второй ступеней – ВРБ и БВ соответственно (рис. 2). На этом рисунке ВРД – воздушно-реактивный двигатель ВРБ.

Энергетические возможности МРКН должны обеспечить выведение на опорную орбиту полезных грузов массой от 20 до 60 тонн, то есть предусматривается возможность создания модификаций МРКН, обеспечивающих выведение на опорную орбиту полезных грузов в широком диапазоне масс.

МРКН не требуются зоны отчуждения для падения отделяющихся первых ступеней. Данное обстоятельство является важным для России, имеющей континентальное расположение космодромов.

В зависимости от модификации МРКН в ее составе используются один или два ВРБ, оснащённых маршевой двигательной установкой, состоящей из четырёх жидкостных ракетных двигателей (ЖРД). ЖРД работают на компонентах топлива «метан + кислород» и имеют земную тягу 200 тс с возможностью ее форсирования до 266 тс (увеличение до 133 %). Двигатели оснащаются эффективной системой аварийной защиты, что позволит в случае отказа одного из двигателей:

- обеспечить увод МРКН от стартовых сооружений;
- выполнить программу полёта с тремя форсированными по тяге двигателями;
- обеспечить доставку полезного груза на орбиту;

- осуществить возвращение ВРБ на аэродром посадки.

Вторая ступень МРКН – одноразовая. В зависимости от комплектации она может состоять из одного, двух или трех унифицированных ракетных блоков с кислородно-водородными ЖРД, созданными для использования в программе «Энергия-Буран». Ракетные блоки поставляются на космодром в максимальной заводской готовности. Предусмотрена возможность установки на второй ступени тех же метановых двигателей, что и в составе ВРБ. В этом случае используются многоразовые двигатели, ранее выработавшие свой ресурс до последнего применения в составе ВРБ.

Возвратный полет ВРБ обеспечивается в результате пространственного аэродинамического манёвра, имеющего два характерных участка:

- 1) интенсивное торможение с одновременным разворотом вектора скорости по направлению к месту старта за счет боковой аэродинамической силы, создаваемой при больших значениях скоростного угла крена;
- 2) полет по направлению к месту старта с использованием тяги воздушно-реактивных двигателей (крейсерский участок), что позволяет исключить дополнительные аэродромы посадки.

Наземный комплекс МРКС, в отличие от наземных комплексов одноразовых РН, дополнительно включает в себя:

- посадочный комплекс и наземную инфраструктуру в обеспечение межполетного обслуживания ВРБ;
- средства управления и измерений, дооборудованные для работы с многоразовым ускорителем на эта-

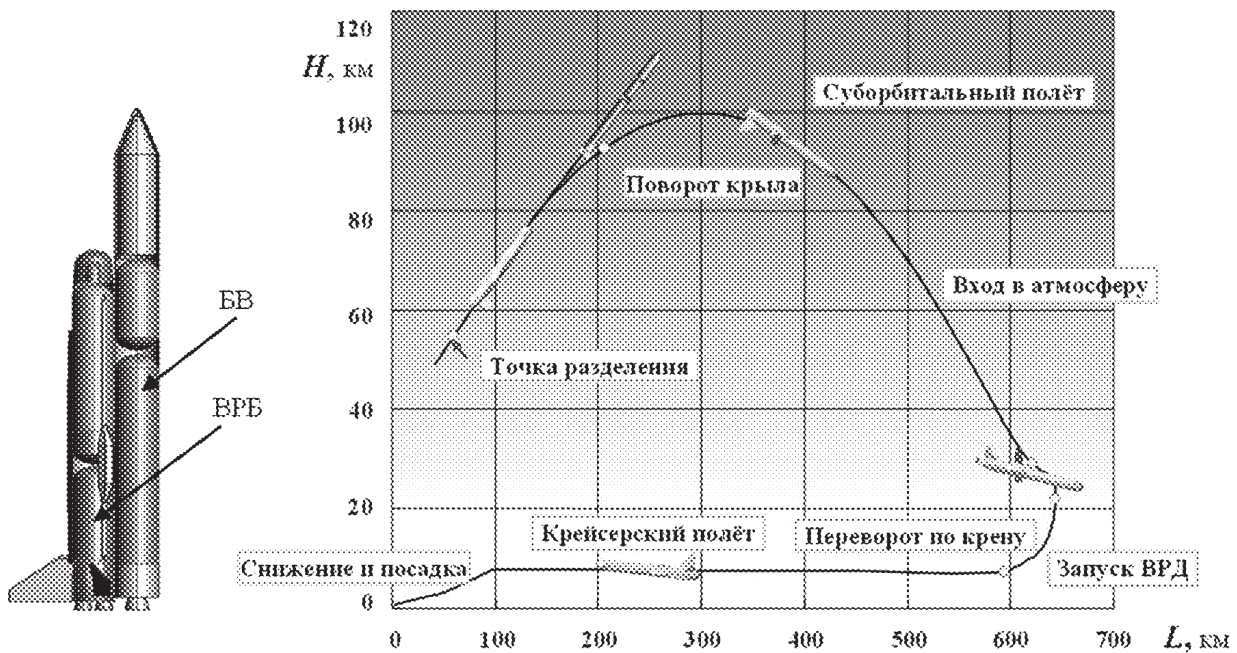


Рис. 2. Принципиальный состав многоразовой ракеты-носителя и схема полета

пе подготовки к пуску, на участке возвратного полета и в период межполетного обслуживания.

Наличие в составе посадочного комплекса автоматизированной системы сбора, обработки, анализа в процессе полета и выдачи информации по результатам полета ВРБ существенно сокращает сроки подготовки изделия к следующему пуску.

Опыт эксплуатации многоразовых кораблей типа Space Shuttle показал, что основными составляющими стоимости пуска являются затраты на межполетное обслуживание теплозащиты корабля и маршевых ЖРД. Поэтому для МРКС были найдены такие технические решения, которые позволяют ВРБ входить в плотные слои атмосферы без применения теплозащитного покрытия.

Таким образом, при создании многоразовой первой ступени МРКН внедряется целый ряд инноваций:

- отсутствие внешней теплозащиты за счет незначительного локального «теплого» усиления конструкции и выбора траекторных ограничений на активном участке и при разделении ступеней;
- «горячее» резервирование маршевых ЖРД ВРБ;
- возможность форсирования по тяге маршевых ЖРД ВРБ;
- обеспечение минимизации сроков проведения и объема межполетного обслуживания маршевых ЖРД за счет конструктивной схемы ЖРД и использования метана в качестве горючего;
- проведение межполетного обслуживания исходя из фактического состояния ВРБ.

Аэродинамическая компоновка ВРБ представляет собой конструктивное объединение элементов ракетной техники (баки, сухие отсеки, маршевый ЖРД) и самолетной техники (крыло, киль, оперение, ВРД, шасси). Поэтому МРКС, МРКН и ее основной элемент ВРБ представляют собой сложные системы, создание и отработка которых объединяет не только ракетные, но и авиационные технологии. Это представляет собой главную особенность создания и отработки ВРБ.

Практика показывает, что в авиационной и в ракетной технике за многие годы эксплуатации разработаны собственные методы экспериментальной наземной и летной отработки. И в той, и в другой отрасли имеются применяемые на практике нормативно-технические документы, регламентирующие проведение автономных и комплексных испытаний. При этом если номенклатура проведения наземной отработки МРКН полностью соответствует нормативно-технической документации ракетно-космической отрасли, то летные испытания ВРБ должны проводиться также и с учетом норма-

тивов для беспилотных изделий. Такой подход [2] позволит в процессе создания многоразовых крылатых ракетных блоков отработать основные технологии и технические решения в условиях, максимально приближенных к реальным, что существенно повысит надежность многоразовых средств выведения.

Все изложенное свидетельствует о том, что этап отработки ВРБ МРКС представляет сложный процесс, включает в себя большое количество экспериментальных исследований, различных видов испытаний аппаратуры и приборов, составных частей и ВРБ в целом. Нормативной базой для организации и проведения этого этапа являются требования руководящих и нормативно-технических документов (НТД) как ракетной, так и авиационной техники.

В соответствии с этими НТД главными задачами экспериментальной отработки ВРБ МРКС являются:

- всесторонняя проверка реализуемости разработанных принципов построения и функционирования изделия;
- оценка эффективности принятых при проектировании конструкторских и технологических решений;
- контроль работоспособности и технических параметров элементов, систем и ВРБ в целом;
- разработка и реализация мероприятий по доведению значений технических характеристик до уровней, соответствующих требованиям технического задания (ТЗ).

Одним из главных признаков ВРБ МРКС, как сложной технической системы, отражающих его целостность, является наличие у него определенной иерархической структуры [3]. Этот признак полностью определяет характер организации его экспериментальной отработки и контроля технических параметров при испытаниях.

Отработка изделий ВРБ должна проводиться строго поэтапно и последовательно, испытывая изделия по мере возрастания иерархических уровней. После успешных автономных испытаний и контроля элементов низших иерархических уровней следует переходить к автономным испытаниям и контролю подсистем, а после них проводить комплексные испытания и контроль ВРБ, как изделия самого высшего иерархического уровня. При этом на каждом уровне контролируется работоспособность, проводится оценка и контроль технических характеристик и параметров элементов, систем и ВРБ в целом и принимаются меры по доведению их значений до уровня требований ТЗ. Цели автономных и комплексных испытаний практически одинаковы, хотя и относятся к разным объектам: к элементам ВРБ, его системам и

ко всему ВРБ в целом. Испытания направлены на выполнение главной задачи экспериментальной отработки – проведению полного и достоверного контроля изделий ВРБ различных иерархических уровней.

Автономные испытания должны подтвердить, что элементы и системы функционируют правильно и имеют значения технических параметров в пределах заданных допусков. Без этого нельзя быть уверенным в успешном исходе комплексных испытаний. Кроме того, контроль элементов и систем ВРБ, выполненный при автономных испытаниях, позволяет при комплексных испытаниях более сложных систем и ВРБ в целом сократить объем регистрируемой информации, что упрощает испытательное оборудование и снижает его стоимость. При комплексных испытаниях решается также задача контроля и выявления взаимовлияния работы элементов и подсистем на работу ВРБ в целом при нормальных условиях функционирования и в различных переходных режимах. Эту задачу нельзя решить в процессе проведения автономных испытаний, поскольку элементы и системы функционируют отдельно от ВРБ. Поэтому в ходе комплексных испытаний должны контролироваться не только общесистемные параметры, но и основные параметры элементов и подсистем ВРБ, если это возможно, несмотря на то, что они уже контролировались при автономных испытаниях.

Успешное решение задач отработки ВРБ неразрывно связано с правильным выбором объектов испытаний на каждом иерархическом уровне, а также условий и режимов их проведения, которые зависят от противоположно действующих факторов:

- требований заказчика, которые определены в ТЗ;
- наличия персонала и оборудования для проведения испытаний;
- стоимости испытаний и контроля, включая затраты на контрольно-испытательное оборудование;
- времени проведения каждого испытания;
- стоимости испытываемых элементов, подсистем и ВРБ в целом.

Одновременно с выбором объектов испытаний, их конкретных характеристик, технических параметров и свойств должны быть определены входные условия и внешние факторы, так как выделение подлежащих проверке параметров лишено смысла, если не будут установлены условия испытаний и контроля. Понятно, что, за исключением наиболее простых элементов, невозможно проконтролировать все технические характеристики, параметры и свойства элемента в каждом испытательном режиме и вообще ни в каком режиме полностью, а так-

же обеспечить весь спектр нагрузок и режимов во всем их диапазоне. Этот факт определяет важную особенность контроля оборудования ВРБ при отработке. То есть объемы испытаний и глубина контроля испытываемых элементов, систем, ВРБ в целом и их параметров ограничены. Это означает, что оценки вероятностных или технических характеристик различных изделий ВРБ, которые базируются на ограниченном объеме информации, являются случайными. В свою очередь, это вызывает необходимость разработки и привлечения специальных статистических методов, которые бы обеспечивали получение достаточно достоверных оценок при малых объемах информации, поскольку использование традиционных методов статистического оценивания и планирования контроля, ориентированных на большие объемы информации, практически невозможно.

ВРБ МРКС относится к классу технических объектов, которые обладают высокой конструктивной и технологической сложностью, высокой стоимостью проведения испытаний и контроля параметров при отработке и включают в себя большое количество разнородных комплектующих элементов и деталей, изготавливаемых, как правило, малыми партиями или в единичных экземплярах. К техническим параметрам изделий ВРБ предъявляются очень жесткие требования. При этом стоимость отработки изделий каждого уровня по сравнению со стоимостью отработки ВРБ в целом существенно ниже, что дает возможность назначать большие объемы отработки этих уровней. Сочетание необходимости подтверждения высоких требований, с одной стороны, и ограниченных объемов испытаний при отработке, а также мелкосерийность производства низших уровней, с другой стороны, накладывает жесткие ограничения на возможности статистического оценивания и контроля заданных показателей и технических параметров ВРБ, как иерархической системы. Это составляет следующую особенность их контроля при отработке.

Далее, особенностью контроля ВРБ является то, что контроль параметров изделий на каждом уровне носит динамический характер. Это объясняется тем, что при отработке ВРБ, как любой сложной системы, будут проводиться доработки, вносимые в конструкцию и технологию производства входящих в него изделий.

В процессе отработки на каждом уровне иерархии при контроле технических параметров изделий возникают ошибки, которые связаны с ограниченной точностью измерений и погрешностями средств измерений и которые принято делить на три основные группы: систематические, грубые и случайные.

Систематические – это ошибки, входящие с постоянной величиной и постоянным знаком во все результаты измерения. Эти ошибки компенсируются введением поправок на измерения.

Грубые – это ошибки, явно искажающие ожидаемый результат. Обычно величины, полученные с грубыми ошибками, исключаются из рассмотрения.

Случайными называют ошибки, не постоянные по величине и знаку. Появление таких ошибок носит вероятностный характер и учитывается с помощью математического аппарата теории вероятностей.

При контроле совокупности технических параметров изделия ВРБ каждого уровня возникает необходимость учета вероятностных ошибок измерения каждого параметра, которые для этапа отработки трансформируются в ошибки, относящиеся к изделию данного уровня.

Таким образом, особенность контроля технических параметров ВРБ на этапе отработки связана с необходимостью учета возникающих вероятностных ошибок и глубиной контроля каждого изделия.

При отработке ВРБ взаимодействие и взаимовлияние отдельных элементов и подсистем на работоспособность ВРБ в целом можно оценить и проконтролировать только на высоких иерархических уровнях. Это обуславливает следующую особенность контроля при отработке.

В процессе отработки контроль технических параметров различных уровней может носить как неразрушающий характер, так и разрушающий характер. Следовательно, затраты на контроль колеблются в широких пределах: от десятков тысяч рублей при неразрушающем контроле изделий низших уровней до миллионов и сотен миллионов рублей при разрушающем контроле готовых систем (например, неразрушающий контроль приборов системы управления и разрушающий контроль ракетных двигателей). Важной особенностью контроля на рассматриваемом этапе является то, что на различных уровнях ВРБ контроль технических характеристик будет осуществляться выборочным методом. Понятие выборочного метода здесь имеет широкий смысл. То есть это понятие распространяется как на традиционную схему статистического контроля, когда оценка вероятностного параметра, свойственного генеральной совокупности объектов, проводится на ограниченной по объему выборке, так и на контроль единичного объекта, оцениваемого по ограниченному (по отношению к полной системе параметров, установленной в НТД) перечню технических параметров.

Следующей важной особенностью экспериментальной отработки ВРБ МРКС является необходимость

учета предшествующего накопленного опыта. Дело в том, что практика реализации проектов по созданию космической и авиационной техники в современных условиях, ограничения по их финансированию, выход отраслей на мировой рынок, для которого характерна жесткая конкуренция, требуют уточнения подходов к отработке техники, закрепленных в действующей НТД. Последовательная и полная реализация всех видов испытаний, предусмотренных в НТД по ракетной и авиационной технике, требует больших экономических затрат на создание ряда отработочных (макетных) образцов, проведения различных видов испытаний изделий и контроля их технических параметров. Следствием этого является высокая стоимость готовых изделий и их систем, что приводит к потере конкурентоспособности как продукции на мировом рынке. Объемы и последовательность проведения отработки, которые сейчас приведены в НТД, были сформированы ранее на основании обобщения опыта проведения работ по созданию различных космических и авиационных систем, что в свое время обеспечило достижение приемлемых технических характеристик, хотя и за счет значительных затрат ресурсов: финансовых, трудовых, материальных, временных. С переходом к рыночным отношениям требования к техническим характеристикам существенно возросли, что только повышает требования к качеству проведения их экспериментальной отработки. Кроме того, ВРБ МРКС, создаваемый на предприятиях отрасли, практически не имеет серийности, что в настоящее время и ближайшем будущем исключает возможность распределения высокой стоимости отработки ВРБ на все серийные образцы. Созданное положение еще в большей степени обостряет необходимость внедрения новых (с точки зрения действующей НТД) методов к проведению отработки ВРБ и составляющих его изделий. При этом основой для разработки и внедрения таких подходов является накопленный опыт в процессе создания и эксплуатации изделий ракетной и авиационной техники, который в настоящее время содержит:

- достаточную информацию о среде эксплуатации ВРБ МРКС, ее свойствах, воздействии на используемые материалы и применяемое оборудование;
- результаты отработки типовых технических решений (включая отдельные изделия ВРБ), обеспечивающих выполнение необходимых функций;
- постоянно развивающиеся методы автоматизированного проектирования и углубленного математического моделирования (включая внедрение специализированных программных средств).

Кроме того, изделия, создаваемые в настоящее

время на предприятиях отраслей, обладают достаточной степенью преемственности используемых конструктивных и технологических решений, во многом напрямую заимствуют отдельные элементы оборудования, системы и т.д. из ранее реализованных проектов, о чем говорилось выше, в том числе и для изделий ВРБ (например, ЖРД и др.). Для вновь создаваемых изделий ВРБ весь накопленный опыт является априорной информацией, в принципе позволяющей: либо не проводить отработочные испытания и контроль технических параметров тех изделий, связей, режимов, которые уже подтвердили свою работоспособность в заданных условиях эксплуатации; либо уменьшать объем испытаний изделий с учетом уже имеющейся информации. При отсутствии априорной информации, например, для новых изделий ВРБ и ВРБ в целом испытания и контроль технических параметров должны проводиться в полном объеме.

Данные положения являются основой методологии квалификации, введенной в отраслевой стандарт по ракетной и космической технике [4] и успешно используемой на передовых предприятиях космической отрасли при проведении работ по ее созданию и отработке. Основное содержание квалификации состоит в том, что если по какому-либо оборудованию в прошлом уже были проведены испытания, в результате которых подтверждены требуемые значения технических параметров (априорная информация), то заказчик совместно с поставщиком могут отказаться от проведения каких-то видов испытаний, оформляя это соответствующими документами. То есть квалификация – это процесс оценки и документированного подтверждения соответствия характеристик оборудования установленным требованиям, выполняемый последовательно на этапах его создания. Квалификация в целом ряде случаев позволяет избежать излишних экономических затрат на проведение различных видов испытаний при отработке дорогостоящих изделий ракетно-космической техники. При этом одновременно выполняются заданные требования к техническим параметрам изделий.

Основными документами, которые оформляются в практике проведения квалификации, являются соответствующие «Положения или Требования по квалификации и приемке» [3, 4]. Эти документы являются составной частью контракта на создание космической техники коммерческого назначения. В них, в соответствующих разделах, описываются все виды отработочных испытаний, проводимых для данного проекта, требуемые для этого изделия, а также порядок и требования по проведению испытаний штатных образцов. Далее эти требо-

вания детализуются в комплексной программе экспериментальной отработки (КПЭО), согласуемой заказчиком. Для некоммерческих проектов в силу отсутствия в действующей НТД документа аналогичного «Требованиям по квалификации и приемке» (устанавливающего на этапе заключения контракта порядок и объем проведения испытаний, а также требуемую материальную часть для проведения отработки) данные требования устанавливаются только в КПЭО. А поскольку КПЭО выпускается на этапе разработки конструкторской документации, часто возникают конфликтные ситуации: контракт и его стоимость в целом уже определены, а объем работ и соответственно затрат на экспериментальную отработку, составляющих значительную часть от общей суммы работ, только определяется.

И, наконец, последней особенностью экспериментальной отработки ВРБ МРКС, как любой сложной системы, является то, что по результатам квалификации и отработки, должны приниматься определенные решения, например:

- не проводить отработочные испытания и контроль технических параметров тех изделий, связей, режимов, которые уже подтвердили свою работоспособность в заданных условиях эксплуатации;
- уменьшать объемы испытаний для контроля технических параметров изделий ВРБ с учетом имеющейся априорной информации;
- проводить отработочные испытания и контроль технических параметров изделий ВРБ в полном объеме (для вновь разработанных новых изделий).

Эти и другие решения могут быть как правильными, так и ошибочными. При этом последствия, к которым приводят ошибочные решения, для изделий ВРБ разных уровней различны. Кроме того, даже тогда, когда отработочные испытания и контроль технических параметров проводятся, по результатам их проведения также принимаются определенные решения. А поскольку при отработке реализуется статистическая схема выборочного контроля, то из-за ограниченной глубины контроля изделий (в том числе и времени проведения их испытаний), погрешностей средств измерений и др., наряду с правильными решениями возможны и ошибочные решения. Например, ошибочная приемка дефектных изделий (т.е. тех, технические параметры которых не находятся в пределах заданных допусков) может привести к большому количеству отказов при испытаниях изделий более высокого уровня, к авариям, необходимости проведения доработок, что влечет за собой значительные экономические потери. В то же время ошибочная браковка

годных изделий также вызывает экономические потери, связанные, например, с дополнительными затратами на проведение повторного контроля и испытаний этих изделий, проведения различного рода доработок и т.д.

Таким образом, все изложенные особенности, возникающие при контроле технических параметров изделий ВРБ на этапе их отработки, необходимо учитывать

при планировании и проведении их испытаний на каждом уровне. Вместе с тем существующие в настоящее время методическое обеспечение отработки не позволяют этого сделать, что влечет за собой необходимость разработки новых математических моделей, алгоритмов и методов оптимизации иерархического контроля технических параметров изделий ВРБ МРКС.

#### *Литература*

1. Нестеров В.Е., Кузин А.И. Комплексный метод обоснования проектно-конструкторского облика многоразовых средств доступа в космическое пространство и оценки эффективности их целевого применения. Методический подход и постановка научной проблемы // *Авиакосмическая техника и технология*. – 2010. – № 4. – С. 3–8.
2. Нестеров В.Е., Кузин А.И., Лехов П.А. Системный демонстратор – важный этап летной отработки многоразовых средств выведения // *Авиакосмическая техника и технология*. – 2011. – № 1. – С. 3–8.
3. Меньшиков В.А., Рудаков В.Б., Сычев В.Н. Контроль качества космических аппаратов. – М.: Машиностроение-Полет, 2009. – 400 с.
4. ОСТ 92-5100-2001. Аппаратура космических комплексов. Общие технические условия.

Материал поступил в редакцию 19. 04. 2013 г.