

# ПРИМЕНЕНИЕ ВАКУУМНОЙ ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИИ В КОСМИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ

В.Романько<sup>1</sup>, С.Кравченко<sup>1</sup>, С.Нестеров<sup>1</sup>,  
В.Христоч<sup>2</sup>, П.Мальцев<sup>3</sup>  
kravchenko\_s@bk.ru

Традиционные направления исследований в космической отрасли – пилотируемая космонавтика, исследования Луны, Солнца, планет Солнечной системы и дальнего космоса с помощью космических аппаратов (КА) – составляют менее 15% от общего числа пусков КА, а расходы по ним не превышают 10% от бюджетов НАСА, Европейского космического агентства и Роскосмоса, причем доля указанных направлений в программах развития государственных космических ведомств неуклонно снижается.

Либерализация мировой экономики обусловила пересмотр приоритетов в освоении космоса и программ развития соответствующих отраслей.

Все большая роль в космической отрасли отводится коммерциализации – открытию космоса для частного бизнеса и получению доходов от освоения космического пространства.

Главная цель космических держав – к 2020–2025 годам сделать космическую отрасль бездотационной, конкурентоспособной по отношению к традиционным наземным направлениям бизнеса [1–3].

Для достижения указанной цели приоритетным является решение двух задач:

- снижение стоимости вывода килограмма полезной нагрузки на заданную орбиту (в настоящее время это, в основном, низкая и средняя круговые, геостационарная орбиты; за последние 10–15 лет аппараты, работающие на суборбитальной, эллиптической и высоко-

кой круговой орбитах, практически не запускались);

- при сохранении функциональных характеристик кардинальное снижение стоимости КА, что обеспечивает конкурентную стоимость услуги по сравнению с аналогичной, осуществляющейся традиционными способами в области связи, картографии, навигации, метеорологии.

В рамках решения первой задачи основные вопросы – повышение надежности и безотказности носителей и КА, увеличение удельного импульса двигателей, повышение ресурса их работы, снижение необходимой массы топлива, особенно это касается двигателей, входящих в состав КА, т. е. являющихся частью полезной нагрузки такого аппарата.

Решение второй задачи потребовало качественного технологического скачка, что привело к появлению нового направления космического аппаратостроения – созданию микро- и наноспутников [4] с массой от десятков килограмм до сотен грамм, обладающих такими же функциональными возможностями, что и традиционные КА. Возможность создания подобных изделий напрямую связана с решением ряда материаловедческих проблем, прорывом в области СВЧ-монокристаллических интегральных схем, высокотемпературной сверхпроводимости, ионно-плазменных двигателей и других направлений, непосредственно связанных с успехами в вакуумной технике и технологии.

<sup>1</sup> НИИВТ им. С.А.Векшинского (Москва).

<sup>2</sup> ИСС им. акад. М.Ф.Решетнева (Железногорск).

<sup>3</sup> ИСВЧПЭ РАН (Москва).



Представляется целесообразным более подробно рассмотреть поднятые вопросы применительно к вакуумной и криогенно-вакуумной тематике.

### Повышение надежности КА

Каждый отказ КА или ракеты-носителя – это многомиллионные убытки и снижение конкурентоспособности национальной космической отрасли в целом.

Для обеспечения надежности и безотказности ракет-носителей и КА первостепенное значение имеют комплексные наземные испытания с имитацией воздействия на объект реальных факторов космического пространства, к числу которых относятся прежде всего низкое давление и температура, изменяющаяся от  $-270^{\circ}\text{C}$  на теневой стороне, до  $180\text{--}450^{\circ}\text{C}$  на солнечной стороне орбиты КА. В результате такие факторы качественно изменяют характер «поведения» традиционных материалов в космосе [5].

Часто причиной отказа космической системы являются «копеечные» факторы, легко устранимые при комплексных наземных испытаниях: «перемерзание» трубочки датчика или появление конденсата в пиропатроне, утечка электрического потенциала в вакууме и др.

Для подобных испытаний используются установки, представляющие собой вертикальные или горизонтальные вакуумные камеры (объемом до нескольких тысяч кубических метров) из нержавеющей стали, оснащенные различными высоковакуумными безмасляными откачными системами, оборудованием для имитации радиационных воздействий, позиционирования изучаемых объектов, контроля и автоматизации испытаний.

Следует отметить, что подобные установки представляют собой комплексные инженерные сооружения, по сложности и требованиям к конструкции не уступающие атомным электростанциям. Примерные требования и состав оборудования

стендовой испытательной базы приведены в [6].

Вакуумная система таких установок должна в течение длительного времени обеспечивать поддержание в объеме давления  $10^{-3}\text{--}10^{-5}$  Па и включает высокопроизводительную форвакуумную безмасляную откачную систему на основе спиральных насосов и высоковакуумную откачную систему турбомолекулярных и криогенных насосов большой производительности. Следует отметить, что особенности измерения и контроля вакуумной среды при испытаниях космических объектов проанализированы в [7].

Имитация радиационных воздействий обеспечивается криогенной теплопоглощающей системой, предназначенной для создания условий теневой части орбиты, и излучающей системы для обеспечения условий нахождения КА на солнечной стороне орбиты, а также имитации теплового излучения Земли.

Криогенная система включает холодильные установки, использующие в качестве хладагента жидкий азот или газообразные теплоносители, и тепловые экраны для поддержания низкой температуры посредством поглощения теплового излучения объекта испытаний, аппаратуры установки и самой испытательной камеры.

Излучающая система для имитации условий эксплуатации КА в ионосфере Земли, воздействия солнечного ветра и космической радиации включает имитатор Солнца (мощный источник ИК и красно-желтого излучения), а для отдельных испытаний – источники УФ, электромагнитного радиочастотного излучения, электронные пушки, источники рентгеновского и гамма-излучения.

Система позиционирования предназначена для перемещения объекта внутри испытательной камеры относительно элементов, обеспечивающих имитацию тепловых и радиационных воздействий, а также за-

грузки и выгрузки объекта из камеры.

Системы контроля и автоматизации предназначены для управления испытательными установками (откачки, позиционирования, создания условий воздействия окружающей среды), для имитации штатного или нештатного управления объектами (обмен телеметрической информацией, управление испытуемым КА), а также для метрологического контроля параметров (вакуума, состава атмосферы камеры, локальных температур объектов, уровня излучений).

Комплексные испытания КА позволяют выявлять даже мало прогнозируемые факторы: действие биологически агрессивных организмов, разрушающих полимерные материалы, в том числе изоляцию, загрязняющих оптические поверхности, прогнозировать их и выработать меры противодействия. Подробный анализ проблемы защиты от биоповреждений приведен в [8].

Отдельно необходимо рассмотреть вакуумные камеры для испытания высокоэнергетического оборудования (газогенераторы, турбонасосные агрегаты, двигатели) в условиях имитации космического пространства. Такое оборудование, наряду с вышеперечисленными системами, включает криогенную теплопоглощающую систему большой мощности для «вымораживания» газообразных продуктов горения со скоростью теплопередачи, обеспечивающей поддержание вакуума и заданных температур при испытаниях работающего устройства (двигателя).

Крупнейшим мировым достижением в данной области остается совместный проект Конструкторского бюро химавтоматики, НПО "Энергомаш" и НИИВТ – установка для испытания прототипов двигателей РД-120 и других подобных изделий в режиме номинальной тяги в вакууме до  $10^{-4}$  Па и температуре пуска  $-180^{\circ}\text{C}$ . Эта установка смонтирована на Загорском



**Монтаж испытательных вакуумных камер**

испытательном полигоне и фактически обеспечивает до 720 с поддержания вакуума в условиях работы двигателя.

Представляется также целесообразным осветить подходы к использованию различной аппаратуры для входных испытаний комплектующих КА с имитацией воздействия факторов космического пространства, поскольку при производстве радиоэлектронной аппаратуры и продукции приборостроения часто встречается брак вследствие отсутствия на рынке той или иной детали с необходимыми

ми уровнем приемки и исполнения или ее высокой стоимости. Например, микросхема оперативного запоминающего устройства (ОЗУ) емкостью 256 Мб для шины с тактовой частотой 133 МГц в обычном исполнении имеет стоимость около 1,4 долл., а в исполнении military – 42 долл., полевой транзистор мощностью 1 Вт с тактовой частотой 20 ГГц в обычном исполнении стоит 2,7 долл., а в исполнении space – 108 долл.

Поскольку российская элементная база во многих областях практически отсутствует и изготовители получают разрешение на применение импортных изделий, необходимо осуществление их полного входного контроля с испытаниями в реальных условиях эксплуатации.

Следует отметить, что блок на основе обычных комплектующих и технологий сборки в наземных условиях при нормальной температуре демонстрирует характеристики не хуже, чем блок из комплектующих в исполнении по технологии space, однако в вакууме первый из них вскоре откажет вследствие перегрева и обрыва соединений из-за разгерметизации корпусов, а также, возможно, из-за появления паразитных связей, образовавшихся вследствие растекания электрических зарядов, пробоя в вакууме и по другим причинам. Блок же в исполнении space будет работоспособен в пределах гарантированного времени.

В этой связи до окончательной сборки КА необходимы полные входные испытания и контроль элементов, узлов и блоков в условиях имитации космического пространства, поскольку относительно небольшие затраты на вакуумно-криогенное испытательное оборудование позволят существенно снизить финансовые риски предприятий космической отрасли России и поддержать ее репутацию.

Необходимо обратить внимание также на то, что развитие и удешевление микропроцессорной техники сделало возможной практически полную авто-

матизацию испытаний, позволило убрать субъективный фактор и повысить скорость их проведения, точность измерений, а в итоге – надежность продукции космической отрасли.

Однако при комплексной автоматизации выявились и сложности. В частности, усложнение управления создало предпосылки для накопления ошибок и погрешностей в процессе эксперимента, а, возможно, и ложного срабатывания испытательного комплекса или его отдельных систем, особенно при тестовой – качественной, а не аналитической – количественной оценке результатов. В самом деле, крупная испытательная установка имеет несколько десятков тысяч датчиков, тысячи исполнительных устройств, сотни микропроцессоров и систем локальной передачи данных, центральные процессорные устройства и серверы для хранения программ и результатов испытаний, системы ввода-вывода и отображения информации.

В этой связи необходимо подробно формировать техническое задание на комплекс автоматизированного управления испытаниями, задавать уровень его требуемых реакций и системы управления на максимальное количество событий, штатных и нештатных ситуаций, подробно расписывать алгоритмы испытаний и взаимодействия оператора и системы управления испытательным комплексом. В [9] приводится анализ основных вопросов, возникающих при подготовке технического задания на автоматизированную систему управления технологическим процессом термовакуумных испытаний.

В целом необходимо подчеркнуть, что создание испытательной базы для проведения длительных ресурсных испытаний ракет-носителей и КА, а также комплектующих, узлов и агрегатов в условиях имитации космического пространства на заводах-изготовителях позволит существенно снизить риск неудачных пусков, повысить экономическую эффективность и





конкурентоспособность отечественной космической отрасли.

Более подробно предложения по общим направлениям модернизации стендовой базы имитаторов космического пространства приведены в [10]. Концептуально вопросы использования вакуумной техники и технологий для повышения конкурентоспособности ракет-носителей и КА освещены в [11].

НИИ вакуумной техники им. С.А.Векшинского обладает опытом проектирования и строительства «под ключ» больших испытательных камер, включая все необходимые системы и оборудование. В частности, в настоящее время институт участвует в создании подобных систем для ИСС им. акад. М.Ф.Решетнева.

*Авторы выражают благодарность за помощь в подготовке работы Н.Маланину, В.Акиншину и Н.Пановой.*

#### Литература

1. Тенденции развития космонавтики в мире. – М.: Логос, 2009.
2. Энциклопедия «Космонавтика». – М.: 2009.
3. Малая космическая энциклопедия – М.: ООО «ДОС», 2003.
4. NASA to develop intelligent cake-sized satellites, CNN Interactive, Aug 20, 1999.
5. Асташина М.А., Нестеров С.Б., Незнамова Л.О., Васильев

Ю.К. Задачи и методы исследования среды разреженного газа вблизи космического аппарата. – Вакуумная техника и технология, 2008, т. 18, № 3, с.183–186.

6. Пичхадзе К.М., Тулин Д.В., Шабарчин А.Ф., Чухлов В.Д., Васильев Ю.К., Нестеров С.Б., Романько В.А. Модернизация стендовой базы для наземной обработки с имитацией условий космического пространства – одна из важнейших задач при создании перспективных образцов космической техники. Материалы XVI научно-технической конференции «Вакуумная наука и техника»./Под ред. д.т.н., проф. Д.В. Быкова. – М.: МИЭМ, 2009, с.82–88.

7. Тулин Д.В., Шабарчин А.Ф., Петржацкий Б.Г., Кочетков А.Ю., Чухлов В.Д., Нестеров С.Б., Романько В.А. К вопросу измерения давления на космическом объекте, размещенном в вакуумной камере. Материалы V Международной научно-технической конференции "Вакуумная техника, материалы и технология"./Под ред. д.т.н., проф. С.Б.Нестерова. – М.: НОБЕЛЛА, 2010, с. 20–25.

8. Елинсон В.М., Юровская М.А., Нестеров С.Б., Лямин А.Н., Нежметдинова Р.А., Куркин А.В. О проблеме защиты полимерных материалов от биоповреждений для авиационной и космической техники. Материалы V Международной

научно-технической конференции "Вакуумная техника, материалы и технология". /Под ред. д.т.н., проф. С.Б.Нестерова – М.: НОБЕЛЛА, 2010, с.32–38.

9. Романько В.А., Кравченко С.В., Нестеров С.Б., Маланин Н.В., Акиншин В.Г., Панова Н.М. Разработка технического задания на АСУ ТП ТВИ. Материалы V Международной научно-технической конференции "Вакуумная техника, материалы и технология"./ Под ред. д.т.н., проф. С.Б. Нестерова. – М.: НОБЕЛЛА, 2010, с.46–50.

10. Пичхадзе К.М., Тулин Д.В., Шабарчин А.Ф., Чухлов В.Д., Васильев Ю.К., Нестеров С.Б., Романько В.А. Модернизация стендовой базы наземной отработки с имитацией условий космического пространства. – Вакуумная техника и технология, 2010, т. 20, № 1, с.37–42.

11. Романько В.А., Кравченко С.В., Нестеров С.Б., Маланин Н.В., Акиншин В.Г., Панова Н.М. Применение вакуумной техники и технологий для повышения конкурентоспособности ракет-носителей и космических летательных аппаратов. Материалы V Международной научно-технической конференции "Вакуумная техника, материалы и технология"./Под ред. д.т.н., проф. С.Б.Нестерова. – М.: НОБЕЛЛА, 2010, с.39–42.