

УДК 629.783.028.24

А. А. Макаренко, А. Н. Машенко, Е. И. Шевцов

СОЗДАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ СРЕДСТВ ИНТЕГРАЦИИ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ С РАКЕТОЙ-НОСИТЕЛЕМ

О разработке на ГП "КБ "Южное" современных средств интеграции, а именно устройств крепления и отделения космических аппаратов от ракеты-носителя, которые удовлетворяют высоким требованиям современного рынка космических услуг и обеспечивают высоконадежное отделение КА с минимальными возмущениями.

Про розроблення ДП "КБ "Південне" сучасних засобів інтеграції, а саме пристроїв закріплення та відокремлення космічних апаратів від ракети-носія, які відповідають високим вимогам сучасного ринку пускових послуг і забезпечують високонадійне відокремлення КА з мінімальними збуреннями.

The paper is about the development by Yuzhnoye SDO of modern integration means, namely devices for spacecraft attachment and separation to/from the launch vehicles that meet the high requirements of present-day launch services market and ensure highly reliable spacecraft separation with minimal disturbances.

Комплекс пусковых услуг, предлагаемый предприятием на космическом рынке, не может быть полным без предложения средств интеграции космических аппаратов (КА) с ракетой-носителем (РН).

Устройства интеграции должны обеспечивать надежное крепление КА к элементам конструкции РН: адаптеру, диспенсеру, раме – и его отделение в завершающей стадии выведения КА на целевую орбиту с минимальными возмущениями.

Возможность компании разрабатывать и применять собственные устройства крепления и отделения КА является показателем ее высокого научно-технического уровня. Это объясняется высочайшими требованиями к качеству и надежности, предъявляемыми к системам отделения КА. Весь самый сложный дорогостоящий комплекс работ по выведению КА в требуемую точку орбиты может закончиться неудачей из-за несрабатывания устройства отделения. Неотделение КА может привести к огромным финансовым потерям, потере имиджа и контрактов компанией-поставщиком пусковых услуг.

Сложность создания таких устройств обуславливается необходимостью выполнения комплекса жестких, зачастую противоречивых технических требований, в которые входят:

– высочайшая надежность срабатывания устройств $P=0,9995$;

– обеспечение околоспутникового пространства в течение полета РН и после отделения КА высокой степенью чистоты класса 1 000 000 (в объеме воздуха 1 дм³ должно быть не более 29 частиц размером 5 мкм);

– малый вес и габариты;

– стабильные механические свойства материалов при высокой удельной прочности;

– стойкость к таким внешним воздействияющим факторам, как большие вибродинамические, статические нагрузки в процессе полета РН, условия космического полета, включающие воздействие перепадов высокой и низкой температур, вакуума, рентгеновского излучения;

– минимальный механический импульс, сообщаемый КА при отделении и позволяющий обеспечить минимальные возмущения;

– минимальное виброударное воздействие на КА и установленные на нем приборы;

– безопасность и удобство работ при интеграции КА с РН, возможность осуществить контроль правильности сборочных операций;

– универсальность и возможность применения для разных по габаритам, массам и функциональному назначению КА.

ГП "КБ "Южное" (КБЮ) занималось созданием средств крепления и отделения КА с момента разработки первых спутников. В качестве основного элемента устройств

использовались пироболты, при срабатывании которых образовывалось большое количество механических частиц и копоти и КА получал существенное возмущение. Тем не менее по своим характеристикам они удовлетворяли требованиям условий применения, имели высокую надежность срабатывания и являлись образцами передовых технологий того времени.

Выход на международный рынок космических услуг показал, что в один ряд с работоспособностью устройств отделения встало требование обеспечения таких комфортных условий для космического аппарата, как малые возмущения при отделении, высокая степень чистоты околоспутникового пространства, низкие виброударные воздействия [1-4].

В соответствии с такими требованиями в конструкторском бюро "Южное" было разработано семейство современных устройств крепления КА массой от 10 кг до 5 т.

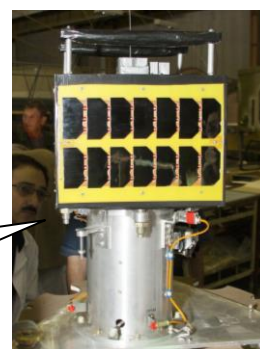
При помощи этих устройств было выведено свыше 100 спутников различных иностранных заказчиков.

Работа по созданию устройств отделения проводилась с 1995 по 2014 гг. в три этапа.

I этап

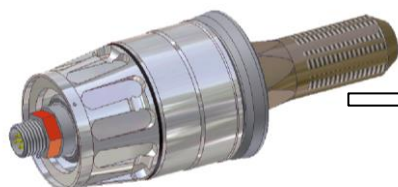
Разработка семейства малогабаритных, малоимпульсных, герметичных пирозамков и пиромеханизмов с несущей способностью от 3 до 16 тс. Основной объем работ выполнен в период с 1995 по 2009 гг. Совершенствование конструкции пирозамков продолжается по настоящее время.

Устройство крепления КА УС2001 – 00.2601.2001.0000.05.0 с допустимым осевым усилием до 1200 кгс, рассчитанное на воздействие как осевых, так и перерезывающих нагрузок. Вес выводимого КА от 100 до 700 кгс, механический импульс 0,35 кгс·с. Успешно использовалось для отделения КА "Глобалстар", "Бауманец", UniSat, EduSat, BugSat, SaudiSat



Крепление макета КА EduSat

Пирозамок П0005 – 00.2617.0006.0000. 02.0, допустимое осевое усилие до 16000 кгс, вес выводимого КА от 1000 до 5000 кгс. Механический импульс 0,9 кгс·с. Успешно использовался для крепления и отделения КА TRX, THEOS, платформ космической головной части "Днепр", головного обтекателя РН "Зенит-2"



Крепление макета КА THEOS

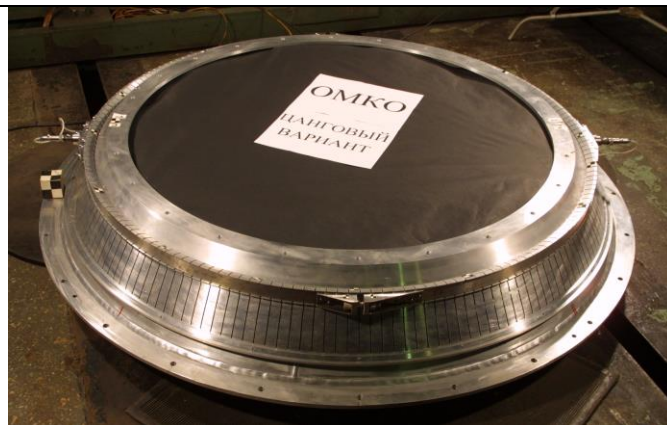
<p>Пирозамок П11 – 94.7955.0005.0000.53.0, вес выводимого КА от 1000 до 5000 кгс. Механический импульс 0,9 кгс·с. Применен для крепления специального макета КА в первом демонстрационном пуске РН "Циклон-4", обтекателя РН "Циклон-4". Успешно применялся для выведения КА CryoSat-2, разделения платформ космической головной части РН "Днепр"</p> 	 <p>Крепление макета КА CryoSat-2</p>
<p>Пирозамок П15 – 00.5436.0008.0000.19.0, вес выводимого КА от 500 до 2000 кгс. Механический импульс 0,35 кгс·с. Успешно применялся для выведения КА Picard, Prisma, NigeriaSat-2, STSAT, DubaiSat-2, Deimos, предусмотрен для крепления КА IRIDIUM-NEXT</p> 	 <p>Крепление макета КА STSAT</p>
<p>Пирозамок П13 – 00.5436.0005.0000.06.0, вес выводимого КА от 100 до 500 кгс. Механический импульс 0,22 кгс·с. Успешно применялся для выведения КА RapidEye, RASAT, "Січ-2", SkySat-1, MRES, Hodooyoshi, крепления газодинамического экрана космической головной части РН "Днепр"</p> 	 <p>Крепление макета КА "Січ-2"</p>
<p>Пирозамок-толкатель – 94.7300.0007.0000.00.0, предназначен для отделения КА с созданием необходимой осевой скорости, стягивания и разбрасывания бандажных устройств стыковки, допустимое осевое усилие до 4000 кгс. Успешно применялся для выведения на РН "Днепр" КА ASNARO, KompSat-3A</p> 	 <p>Крепление макета КА ASNARO</p>

II этап

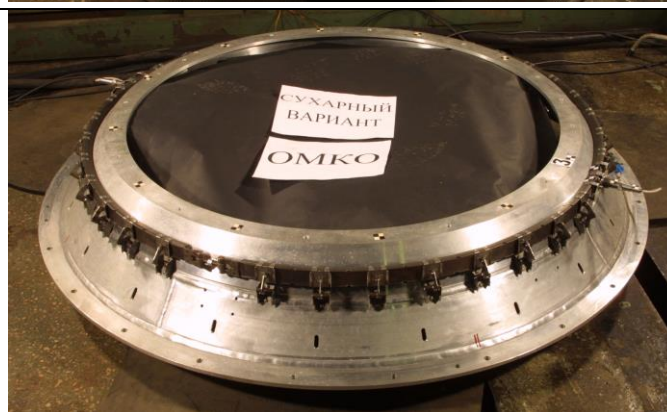
Включал разработку базового варианта устройства крепления и отделения КА типа Clamp Band, которое де-факто является стандартом крепления средне- и крупногабаритных КА. В период с 2002 по 2006 гг. разработаны три оригинальных варианта устройств: с цанговым запирающим узлом, крепление при помощи сегментов и при помощи бандажных полуколец.

Проведенный комплекс работ, включающий наземную отработку устройств, анализ возможностей изготовления на имеющейся производственной базе ГП ПО ЮМЗ и технологичности работ при сборке и установке КА, весовой анализ, сравнение надежности функционирования и живучести устройств, позволил выбрать один базовый вариант устройства – устройство крепления бандажного типа.

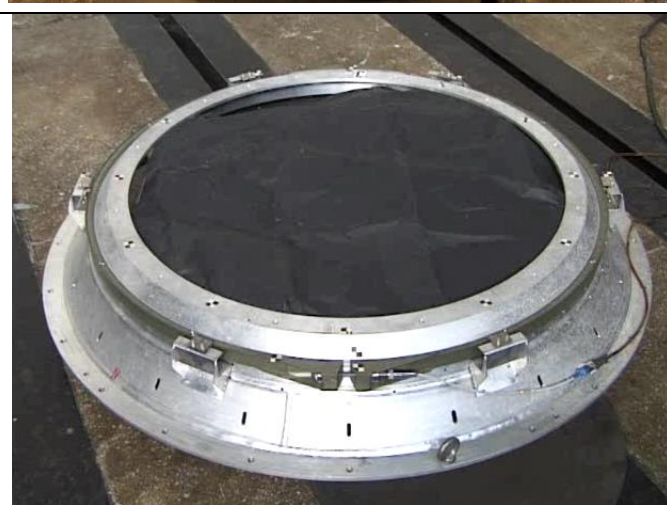
Первый вариант. Устройство крепления с использованием цангового запирающего узла и стальной стягивающей ленты. Имеет наибольший из всех рассмотренных вариантов вес, малую жесткость, чувствителен к температурным воздействиям



Второй вариант. Устройство крепления при помощи сегментов ("сухарей"), которые обжаты стальной лентой. Имеет вес в 1,5 раза больший, чем в базовом варианте, меньшую жесткость, чувствителен к температурным воздействиям



Третий вариант. Устройство крепления при помощи бандажных полуколец, стянутых пирозамками-толкателями. Имеет минимальный вес, максимальную жесткость, не чувствителен к температурным воздействиям. По результатам наземно-экспериментальной отработки (НЭО) вариант принят за базовый для дальнейшей разработки



III этап

Заключался в разработке устройств крепления стандартизованных типоразмеров 937 и 1194 мм на основе выбранного на II этапе работ базового варианта для решения задач выведения конкретных КА – выведения макета полезного груза РН "Циклон-4" и для выполнения контрактов по теме "Днепр". Разработаны и успешно применены при пусках бандажные устройства крепления и отделения КА KompSat-3A и ASNARO по заказам южнокорейского института KARI и японской корпорации NEC.

В процессе создания устройств крепления и отделения был проведен большой комплекс расчетных, проектно-конструк-

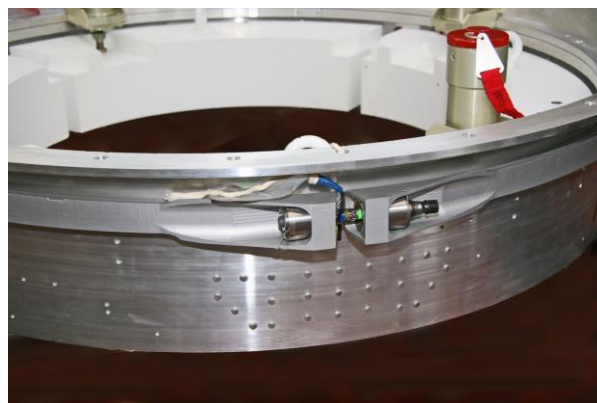
торских работ, НЭО, комплекс работ по адаптации устройств к требованиям конкретного заказчика и отработки технологии сборки и стыковки КА.

Комплекс расчетных работ

Разработана инженерная методология проектирования пиромеханических, бандажных устройств крепления, включающая аналитические и численные методы.

Созданы методики и программы расчета динамики отделения упругих полуколец, внутренней баллистики и динамики срабатывания пиромеханизмов, оценки энергетических запасов и определения уровня надежности устройств.

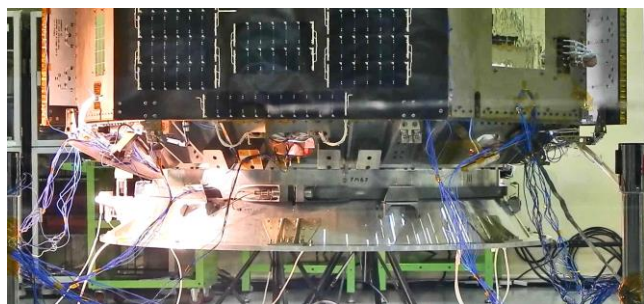
Бандажное устройство крепления типоразмера 1194 мм для составного макета КА РН "Циклон-4" (вес системы 6,5 кгс, максимальный вес КА – 2500 кгс, максимальный габарит КА – 3 м) получило полную наземную квалификацию в 2014 г.



Бандажное устройство крепления типоразмера 937 мм для КА ASNARO разработано по заказу японской компании NEC (вес системы 5 кгс, максимальный вес КА – 1500 кгс, максимальный габарит КА – 2,5 м), получило полную наземную квалификацию в 2013 г., успешный пуск осуществлен в декабре 2014 г. на РН "Днепр"



Бандажное устройство крепления типоразмера 1194 мм для КА KompSat-3A разработано по заказу южнокорейской компании KARI (вес системы 6,5 кгс, максимальный вес КА – 2500 кгс, максимальный габарит КА – 3 м), получило полную наземную квалификацию в 2014 г., успешный пуск осуществлен в марте 2015 г. на РН "Днепр"



Комплекс проектно-конструкторских работ

На основе требований заказчиков пусковых услуг, требований к конструкции и результатов расчетов разработаны трехмерные модели устройств, проведена их увязка с адаптерами и другими конструктивными элементами интерфейса. На базе созданных 3D-моделей выпущена конструкторская документация для производства в виде чертежей на бумаге, что позволило ускорить процесс создания непосредственно чертежей узлов и деталей, исключить ошибки несогласованности деталей и узлов сборочных единиц.

Комплекс НЭО

При разработке устройств отделения КА была разработана специальная методология наземных испытаний и проведена квалификация устройств и систем отделения космических аппаратов, позволяющая в наземных условиях с высокой гарантией подтвердить их работоспособность в условиях полета.

Комплекс НЭО включает в себя разработку программ и методик испытаний, в том числе с определением режимов и объема испытаний, необходимого количества измеряемых параметров; создание специальных стендов и рабочих мест; непосредственное проведение испытаний с измерением требуемого комплекса параметров; анализ полученных экспериментальных данных; корректировку конструкторской документации с учетом результатов НЭО.

Комплекс работ по адаптации разработанных устройств отделения к требованиям конкретного заказчика пусковых услуг

На этом этапе проходила разработка конкретных элементов конструкции, позволяющих осуществить непосредственно крепление КА к РН при помощи устройств, адаптеров, диспенсеров, рам, специальных кронштейнов. Сложность и трудоемкость этого этапа определяется степенью взаимодействия между разработчиками системы

отделения и КА. Процесс адаптации устройств отделения был ускорен за счет применения совместимых международных систем разработки CATIA, INVENTOR.

Комплекс работ по отработке технологии сборки устройства стыковки с КА

Разработана специальная технология монтажа бандажного устройства стыковки, обеспечивающая равномерное распределение запирающих стык усилий и удобство работы в условиях как цеховой сборки, так и сборки в условиях монтажно-испытательного комплекса на космодроме. Для точной и эффективной сборки спроектировано и изготовлено специальное устройство обжатия, особенностью которого является обеспечение при помощи простых винтовых механизмов максимально равномерного распределения усилия обжатия интерфейсных узлов КА и РН. Технология обжатия была отработана при помощи специально разработанных методик.

Результаты работ

Весь этот комплекс работ позволил создать и предложить на рынке пусковых услуг семейство устройств крепления и отделения КА, состоящее из пяти видов пиромеханизмов и двух видов бандажных устройств крепления, что позволяет охватить более 90 % рынка малых КА, выводимых групповыми пусками на низкие околоземные орбиты, и успешно бороться за заказы выведения КА весом до 5000 кгс.

Научно-технический уровень устройств соответствует, а по многим параметрам (простота, технологичность и надежность) превышает лучшие иностранные аналоги. Их новизна защищена тремя авторскими свидетельствами и четырьмя патентами Украины.

Устройства внедрены на РН "Зенит-2", "Протон", "Циклон-3", "Циклон-4", "Днепр". С их использованием РН "Днепр" выведено на околоземную орбиту более 100 КА широкого класса – весом от 10 до 2000 кгс различных иностранных заказчиков: английских (UniSat, RapidEye), итальянских (NanoSat, PicPot, EduSat), французских

(THEOS, Picard), испанских (Deimos), американских (Genesis, ApriseSat, P-Pod), немецких (TerraSAR-X, CryoSat), российских ("Коронос-Фотон", TabletSat-Aurora), Казахстана (KazEOSat), турецких (RASAT), Арабских Эмиратов (DubaiSat), Саудовской Аравии (SaudiSat), нигерийских (NigeriaSat), Швеции (Prisma), корейских (KompSat), японских (Hodooyoshi), голландских (CubeSat, BugSat), канадских (XPOD WNISat, Brite-PL, GOMX). При этом за один пуск выводилось от одного КА (TerraSAR-X, CryoSat, Genesis) до группы из нескольких КА. Пуск 2014 г. был рекордным, одной ракетой были выведены 33 космических аппарата 17 иностранных заказчиков.

Использование созданных устройств крепления и отделения запланировано в новых разработках на РН "Днепр", "Циклон-4", "Зенит", "Маяк".

Список использованной литературы

1. Кобелев В. Н. Средства выведения космических аппаратов / В. Н. Кобелев, А. Г. Милованов. – М.: Рестарт, 2009. – 528 с.
2. Daniel Mugnier. ARIANE 4. Users's Manual // ARIANSPACE. – France, 1999.
3. Daniel Mugnier. ARIANE 5. Users's Manual // ARIANSPACE. – France, 2000.
4. DELTA IV. Payload Planners Guide // The Boeing Company. – United Launch Alliance. – 1999. – 270 p.

Статья поступила 15.05.2017