

УДК 629.783.028.24

С. А. Агалаков, А. А. Макаренко, А. Ю. Силкин, Е. И. Шевцов

СОЗДАНИЕ УНИВЕРСАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ КОСМИЧЕСКИХ ГОЛОВНЫХ ЧАСТЕЙ РАКЕТ-НОСИТЕЛЕЙ ДЛЯ ОДНОВРЕМЕННОГО ВЫВЕДЕНИЯ ГРУПП КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

Рассмотрен результат решения одной из важных и актуальных проблем ракетно-космической техники – создания космических головных частей ракет-носителей, обеспечивающих выведение космических аппаратов разного класса на целевые орбиты с обеспечением высокой надежности отделения и точности их орбитального движения.

Розглянуто результат вирішення однієї з важливих і актуальних проблем ракетно-космічної техніки – створення космічних головних частин ракет-носіїв, що забезпечують виведення космічних апаратів різного класу на цільові орбіти з забезпеченням високої надійності відокремлення і точності їх орбітального руху.

The paper deals with the result of solution of one of most important and topical problems of space rocket engineering – creation of launch vehicle space head modules ensuring injection of various class spacecrafts into target orbits providing high separation reliability and orbital motion accuracy.

Космические головные части (КГЧ) используются как для выведения одного КА, так и для одновременного выведения больших групп космических аппаратов.

В состав КГЧ входят:

– головной аэродинамический обтекатель;

– платформа, которая состоит из двух частей А и Б, причем часть А отделяется от КГЧ во время отделения космических аппаратов;

– непосредственно космические аппараты с приспособлениями их интеграции на КГЧ;

– системы, обеспечивающие контроль характеристик систем и конструкции КГЧ, их состояние во время предстартовой подготовки, пусковых операций и в полете.

Сложность создания головных частей ракет-носителей обусловливается необходимостью выполнения комплекса жестких, часто противоречивых технических требований:

– учет конструктивных и технологических требований конкретного космического аппарата, особенностей орбиты и процедуры выведения;

– короткие сроки разработки космической головной части, чтобы успешно конкурировать с другими компаниями, которые предоставляют космические услуги;

– адаптация головной части к ракетеносителю;

– разработка траектории и процедуры выведения головной части с обеспечением выведения группы космических аппаратов на разные орбиты с учетом энергетических возможностей ракеты;

– высокая точность выведения аппаратов на целевые орбиты;

– высокая надежность срабатывания устройств отделения аппаратов;

– высокая надежность обеспечения отсутствия контактов аппаратов во время длительного движения на близких орбитах;

– обеспечение околоспутникового пространства во время полета РН и после отделения КА высоким уровнем чистоты класса 100 000 (в объеме воздуха 1 дм³ должно быть не более 29 частиц размером 5 мкм);

– малый вес и габариты системы адаптации космического аппарата к головной части;

– стойкость систем головной части к внешним воздействующим факторам, таким как большие вибродинамические и статические нагрузки в процессе полета РН, условия космического полета, которые включают влияние перепадов высокой и низкой температур, вакуума, рентгеновского излучения;

– безопасность и удобство работ во время интеграции КА с РН, возможность провести контроль правильности сборочных операций;

– универсальность и возможность применения для разных по габаритам, массам и функциональным назначениям КА.

В процессе создания универсальной головной части были выполнены следующие работы:

– разработаны универсальные схемы адаптации космических аппаратов к головной части, для реализации которых был создан целый ряд узлов и способов, позволивших обеспечить размещение космических аппаратов с максимальным использованием разрешенной зоны под головным обтекателем;

– разработано семейство пиромеханических устройств, которые обеспечили высоконадежное крепление космических аппаратов во время выведения на целевые орбиты и отделение в требуемой точке траектории;

– разработаны универсальное технологическое оборудование и технологические процессы, обеспечивающие сборку космической головной части как на заводе-изготовителе, так и на космодроме, установку на адаптеры РН космических аппаратов, их заправку и выполнение окончательных предпусковых проверок;

– разработана комплексная методология наземных испытаний и квалификации космических головных частей, включающая испытания на статическую прочность, вибропрочность, на функционирование систем отделения космических аппаратов, сброса платформы, разворота диспенсеров;

– введена в эксплуатацию контрольно-проверочная и наземная аппаратура на пусковых базах Байконур и Ясный.



Рис. 1. Выведение группы КА на орбиту при помощи универсальной КГЧ РН «Днепр»

ГП «КБ «Южное», как главный разработчик КГЧ, в рамках многих контрактов выполнило проектирование, разработку рабочей конструкторской и эксплуатационной

документации, провело полномасштабную наземную экспериментальную отработку КГЧ и ее систем, включающую квалификацию устройств отделения, контрольно-

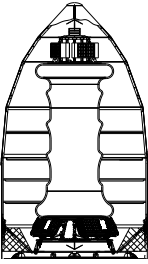
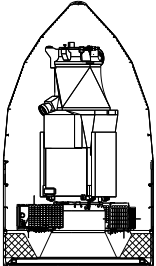
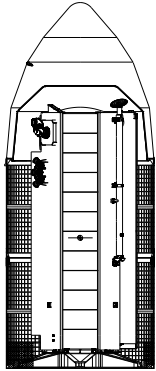
первичной аппаратуры и наземно-технического оборудования.

ГП ПО ПМЗ, как главный исполнитель работ, обеспечило изготовление, сборку и поставку разработанных КГЧ и наземного технологического оборудования на пусковую базу.

В период с 1995 по 2016 гг. были разработаны два типа КГЧ – одноярусные и двухъярусные (есть возможность их исполнения как в короткой, так и в удлиненной конфигурациях).

Таблица 1

Одноярусные КГЧ

| | |
|---|--|
| <p>КГЧ для выведения одного аппарата. Были выведены: КА Genesis в 2005 г., КА THEOS в 2008 г.</p> |  <p>«Днепр-Genesis»</p> |
| <p>КГЧ короткой конфигурации для выведения группы космических аппаратов. Были выведены: КГЧ «Днепр-2000» в 2000 г. – 5 КА, КГЧ «Днепр-2002» в 2002 г. – 6 КА, КГЧ «Днепр-2004» в 2004 г. – 8 КА, КГЧ «Днепр-Восток» в 2005 г. – 2 КА, КГЧ «Днепр-RapidEye» в 2008 г. – 5 КА, КГЧ «Днепр-Asnaro» в 2014 г. – 4 КА.</p> |  <p>«Днепр-ASNARO»</p> |
| <p>КГЧ удлиненной конфигурации для выведения одного аппарата. Были выведены: КА TRX в 2007 г., КА CryoSat-2 в 2010 г., КА Tandem-X в 2010 г., КА KompSat-5 в 2013 г.</p> |  <p>«Днепр-TRX»</p> |

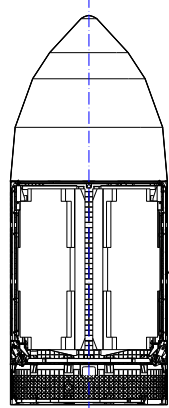
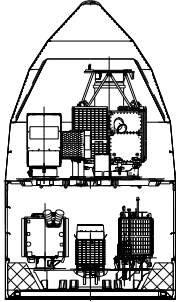
| | |
|---|--|
| <p>КГЧ удлиненной конфигурации для выведения группы КА. КГЧ «Днепр-IRIDIUM» получила полную наземную квалификацию в 2015 г., запуск на РН «Днепр» был запланирован на 2017 г.</p> |  <p>«Днепр-IRIDIUM»</p> |
|---|--|

Таблица 2

Двухъярусная КГЧ

| | |
|---|--|
| <p>КГЧ короткой конфигурации для выведения группы космических аппаратов. Были выведены: КГЧ «Днепр-2004» в 2007 г. – 10 КА, КГЧ «Днепр-DubaiSat» в 2009 г. – 2 КА, КГЧ «Днепр-2009» в 2010 г. – 2 КА, КГЧ «Днепр-2010» в 2011 г. – 7 КА, КГЧ «Днепр-2012» в 2013 г. – 24 КА, КГЧ «Днепр-2013» в 2014 г. выведены 32 КА QuadPack-1, QuadPack-2, QuadPack-3, QuadPack-4, QuadPack-5, Deimos-2, BugSat-2, TabletSat-Aurora, Kazakhstan MRES, Hodoyoshi-3, Hodoyoshi-4, UniSat-6, SaudiSat-4, AprizeSat-9, AprizeSat-10, XPOD Brite-Toronto, XPOD Brite-Monreal</p> |  <p>«Днепр-2013»</p> |
|---|--|

Одноярусные КГЧ обеспечивают размещение КА на одном уровне. Двухъярусные КГЧ обеспечивают размещение КА на двух уровнях, что позволяет максимально использовать допустимый внутренний объем КГЧ. Причем на каждом из уровней как одноярусной, так и двухъярусной КГЧ можно разместить и один КА, и несколько.

Космическая головная часть в короткой конфигурации позволяет размещать космические аппараты средних размеров или комбинировать космические аппараты средних и малых размеров как в один, так и в два яруса в одном пуске.

Космическая головная часть удлиненной конфигурации предназначена для размеще-

ния КА, имеющих значительный продольный размер.

Примеры использования одноярусных и двухъярусных КГЧ приведены в табл. 1 и 2.

На сегодняшний день ракетой-носителем «Днепр» было выведено на околоземную орбиту 125 космических аппаратов разного класса массой от 10 до 2 000 кг как отечественных, так и различных иностранных заказчиков: английских (RapidEye), итальянских (UniSat, NanoSat, PicPot, EduSat), французских (THEOS, Picard), испанских (Deimos), американских (Genesis, ApriseSat, P-Pod), немецких (TRX, CryoSat), российских (TabletSat-Aurora), турецких (RASAT), нигерийских (NigeriaSat), японских

(Hodoyoshi, WNISat), голландских (CubeSat, BugSat, QuadPack, ISIPOD), канадских (XPOD Brite-Toronto, XPOD Brite-Monreal), заказчиков из Дании (XPOD GOMX-1), Казахстана (Kazakhstan MRES), Арабских Эмиратов (DubaiSat), Саудовской Аравии (SaudiSat), Швеции (Prisma), Южной Кореи (KompSat-5, KompSat-3A). Запуск ракеты-носителя «Днепр» в 2014 г. был рекордным – в одном пуске были выведены 32 космических аппарата.

В процессе создания космических головных частей был выполнен большой объем проектно-конструкторских работ, наземной экспериментальной отработки, проведен комплекс работ по адаптации устройств отделения к требованиям заказчика, отработана технология стыковки и установки КА на РН.

Комплекс расчетных работ

Разработаны методологии проектирования пиромеханических, бандажных устройств крепления, газогидравлических приводов, тепловых и газодинамических расчетов влияния струй двигателей на КА.

Комплекс проектно-конструкторских работ

На основании требований заказчиков пусковых услуг и результатов расчетов были построены трехмерные модели элементов КГЧ (рис. 2), проведена их увязка с адаптерами и другими конструктивными элементами интерфейса.

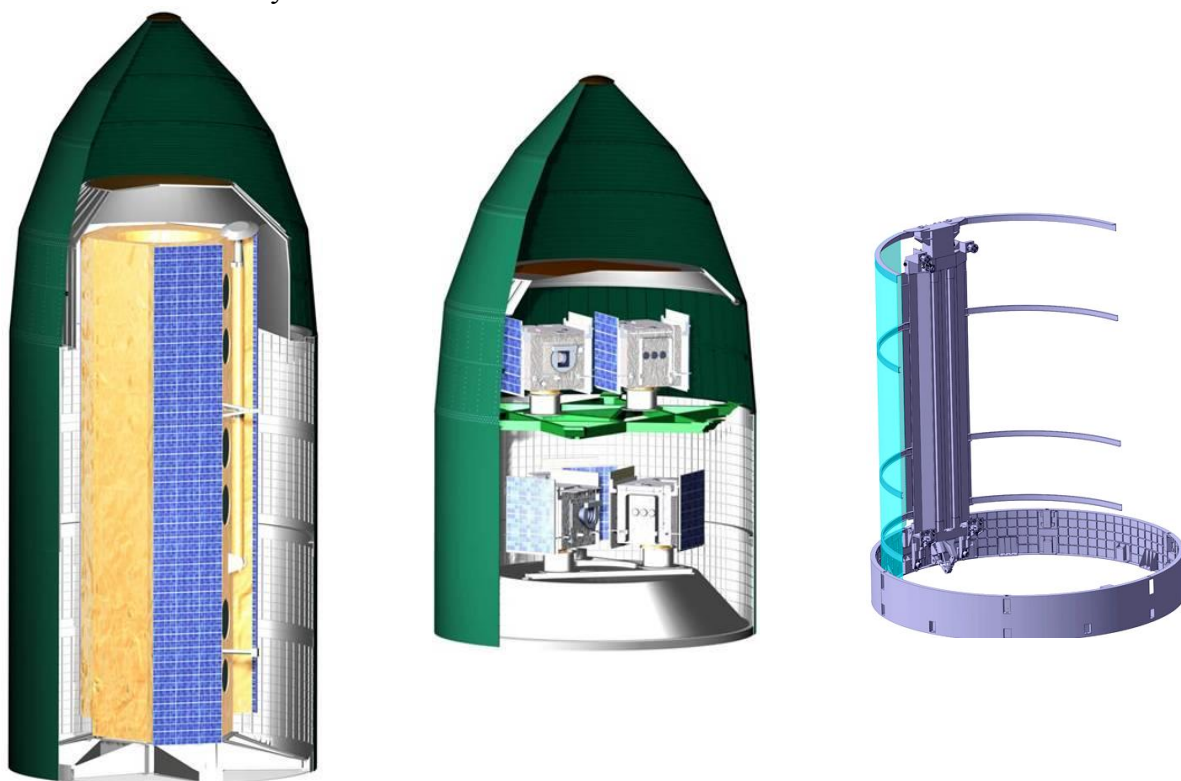


Рис. 2. Трехмерные модели космических головных частей «Днепр-TRX» и «Днепр-RapidEye», модель диспенсера КГЧ «Днепр-IRIDIUM»



Рис. 3. Испытания КГЧ на вибропрочность и функционирование системы отделения космических аппаратов IRIDIUM



Рис. 4. Проведение сборки головных частей на пусковом комплексе

Это позволило ускорить процесс создания непосредственно чертежей узлов и деталей, устранить ошибки несогласованно-

сти деталей и узлов сборочных единиц, оперативно и эффективно реагировать на изменения конструкции, возникающие в

процессе изготовления и наземной отработки. Объем документации для каждого вида космической головной части содержал от 1000 до 10 000 чертежей узлов и деталей.

Комплекс наземной экспериментальной отработки (НЭО)

Впервые в отечественном ракетостроении разработана методология наземных испытаний и проведена квалификация космических головных частей и аппаратов, позволившая в наземных условиях с высокой гарантией подтвердить их надежность и работоспособность в условиях полета.

Комплекс НЭО состоял из этапов:

- разработки программ и методик испытаний, в том числе определение режимов и объема испытаний, необходимого количества измеряемых параметров;
- создания специальных стендов и рабочих мест;
- проведения испытаний (рис. 3) с измерением необходимого комплекса параметров и анализом полученных экспериментальных данных;

Комплекс работ по адаптации космической головной части к требованиям конкретного заказчика пусковых услуг

На данном этапе выполнялась разработка конкретных элементов конструкции крепления КА к РН при помощи адаптеров, диспенсеров, рам, специальных кронштейнов. Сложность и трудоемкость этого этапа определяется степенью взаимодействия разработчиков системы разделения и космического аппарата. Процесс адаптации устройств отделения был ускорен за счет применения совместимых международных систем разработки CATIA, Inventor, ENOVIA.

Комплекс работ по отработке технологии сборки головных частей на пусковом комплексе

Специальная технология монтажа КА и узлов КГЧ обеспечила надежность и удоб-

ство работы в условиях как цеховой и лабораторной сборки, так и в условиях монтажно-испытательного комплекса на космодроме (рис. 4).

Создание универсальных головных частей было выполнено на высоком научно-техническом уровне. Кроме проектно-конструкторских работ проведен большой объем работ по организации изготовления космических головных частей. Организовано высокоточное производство пирозамков, бандажных полуколец, адаптеров и диспенсеров КА, платформ. Разработаны методы сплошного контроля качества системы отделения, которые позволяют гарантировать высокую надежность их срабатывания – контроль деталей пирозамков магнитопорошковым методом на отсутствие внутренних дефектов, контроль сборки и давления срабатывания для каждого изготовленного пирозамка. Разработаны и введены в производство специальные способы обеспечения высокой чистоты конструкции – созданы технологические линии и технологии очистки, способы и средства контроля чистоты, технологические чистые участки и камеры.

Разработанная универсальная система космических головных частей позволила не только ГП «КБ «Южное» и ГП ПО ПМЗ, но и кооперации украинских предприятий ракетно-космической отрасли предлагать на мировом рынке полный комплект пусковых космических услуг, включающих проектную увязку КА, баллистические расчеты, адаптацию системы управления под требования конкретного пуска, изготовление новых элементов интерфейсных связей КА с РН, проведение необходимой НЭО, интеграцию с РН.

Описанная в статье разработка в 2017 г. была отмечена Премией Кабинета Министров Украины за разработку и внедрение инновационных технологий.

Статья поступила 02.06.2017