

УДК 629.7.06

СИСТЕМА РАЗДЕЛЕНИЯ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

Кромка К.В.¹

¹Московский авиационный институт, Москва, e-mail: ksenya4595@mail.ru

В настоящий период развития космической техники одним из важнейших компонентов служебных систем космического аппарата (КА) является система разделения и отдельные пиротехнические устройства, позволяющие в очень короткий промежуток времени произвести ряд необходимых операций, таких как: отделение КА от ракеты-носителя (РН); расчеховка и разворот антенн и вынос штанг с приборами; сброс отработавших узлов и агрегатов и т.д. Многочисленность и разнообразие систем разделения (безимпульсное разделение; разделение объектов, находящихся на большом расстоянии друг от друга), а также необходимость выполнения стоящих перед ними задач с высокой эффективностью и надежностью привели к созданию широкого круга исполнительных устройств разделения. Для проектного расчета систем разделения существует ряд требований и необходимо знать исходные величины масс разделяемых элементов. В системах разделения используют различные взрывчатые вещества, в зависимости от поставленной задачи. Так же используют исполнительные устройства, работающие на различных видах энергии: механической, тепловой, гидравлической и т.д. Срабатывание системы разделения осуществляется подачей импульса электрического тока. Система разделения имеют ряд преимуществ и недостатков.

Ключевые слова: система разделения, космический аппарат, детонация, взрывчатое вещество, космос, космическая техника.

A SPACECRAFT SEPARATION SYSTEM

Kromka K.V.¹

¹Moscow Aviation Institute, Moscow, e-mail: ksenya4595@mail.ru

In the present period of development of space technology, one of the most important components of spacecraft service systems (SC) is a separation system and separate pyrotechnic devices, which allow a number of necessary operations to be performed in a very short period of time, such as: separation of a spacecraft from a launch vehicle (РН); combining and turning antennas and the removal of rods with instruments; discharge of used components and assemblies, etc. The multiplicity and diversity of separation systems (pulseless separation; separation of objects located at a great distance from each other), as well as the need to perform the tasks before them with high efficiency and reliability led to the creation of a wide range of executive separation devices. For the design calculation of separation systems, there are a number of requirements and it is necessary to know the initial values of the masses of the separated elements. Separation systems use different explosives, depending on the task. Also use actuators operating on various types of energy: mechanical, thermal, hydraulic, etc. The operation of the separation system is carried out by applying a pulse of electric current. The separation system has several advantages and disadvantages.

Keywords: separation system, spacecraft, detonation, explosive, space, space technology.

В современной ракетно-космической технике одним из наиболее динамически развивающихся направлений является создание автоматических космических аппаратов (КА). Особое место среди них занимают аппараты для фундаментальных научных исследований, которые, в зависимости от поставленных задач, являются уникальными. Для обеспечения эффективной работы в их состав входят системы и устройства разделения, осуществляющие в процессе полета приведение в рабочее положение выносных приборов, развертывание в

космосе трансформируемых конструкций, отделение выполнивших свою функцию бортовых аппаратов и устройств.

Разделение конструкции осуществляется удлиненными кумулятивными зарядами взрывчатого вещества, пиромеханическими замками толкателями, детонационными разрывными замками, болтами и др. Эти устройства в совокупности составляют бортовые системы разделения.

Выполнение программы полета автоматических космических аппаратов в немалой степени обеспечивается надежной работой систем разделения их конструкции. Несрабатывание этих систем приводит к значительным материальным и временным потерям, отрицательно сказывается на выполнении программы полета. Поэтому выбор наиболее рациональных вариантов систем и устройств разделения, их корректный расчет весьма важны при проектировании космических аппаратов.

Системы разделения — это совокупность устройств и отдельных деталей, которые обеспечивают жесткое крепление частей конструкции космического аппарата друг к другу, осуществляют их разделение в определенный момент времени с заданными характеристиками и защиту чувствительных органов космического аппарата от побочного воздействия входящих в состав системы пиромеханических элементов при срабатывании.

Описываемые устройства для срабатывания используют энергию экзотермических химических реакций особой группы веществ, способных под влиянием внешних воздействий (удар, трение, тепловой импульс) к быстрым самопроизвольным превращениям, сопровождающимся выделением тепла и образованием больших объемов сильно нагретых газов.[1]

Помимо указанных систем, на борту широко применяются различные пиромеханические и детонационные устройства (пироклапаны, пироножи, разрывные болты и замки).

Широкое использование пиромеханических и детонационных систем разделения в ракетно-космической технике обусловлено рядом преимуществ, это: простота конструкции, высокая надежность срабатывания, малые масса и габариты, большое количество генерируемой энергии, приходящейся на единицу массы устройства, быстрое действие.[3]

Вещества, используемые в описываемых системах разделения и пиротехнических устройствах, разделяются на три больших класса: взрывчатые вещества; ракетные топлива и пороха; пиротехнические смеси.

Взрывчатые вещества делятся на две группы: инициирующие, возбуждающие детонацию или горение, и бризантные, предназначенные для совершения механической работы[5]. Бризантные ВВ обладают повышенной по сравнению с инициирующими ВВ мощностью и пониженной чувствительностью к внешним воздействиям.

Пороха — пластифицированные системы, способные к воспламенению и последующему горению параллельными слоями. Они используются для метания или перемещения элементов пиромеханических устройств под действием газообразных продуктов горения.

Ракетные топлива предназначены для создания реактивной силы на активных участках траекторий ракет и космических аппаратов.

Пиротехнические смеси применяются для получения того или иного пироэффекта: воспламенительного, значительного, дымового, светового и т.п. Чаще всего это механическая смесь неорганического окислителя, металлического горючего с добавкой какого-либо органического вещества-цементатора.

В ракетно-космической технике, помимо упомянутых выше детонационных систем для разделения крупногабаритных частей космического аппарата, применяются пиромеханические устройства, использующие энергию горения пиросоставов. В них разделение осуществляется с помощью пиромеханических замков-толкателей, к которым рабочий высокоэнергетический газ подается по трубопроводам от пиротехнического газогенератора или пиропатронов.

Системы разделения отличаются большим разнообразием, обусловленным возможностями решать поставленные задачи по разделению принципиально различными устройствами. Независимо от заложенных в конструкцию системы разделения принципов, она должна осуществлять надежное крепление частей конструкции космического аппарата между собой в процессе эксплуатации и разделение их в определенный момент, обеспечивая заданные характеристики, определяемые следующими основными требованиями, предъявляемыми к системе разделения: относительная линейная скорость; угловая скорость, получаемая космическим аппаратом при отделении; динамические перегрузки, возникающие в конструкции космического аппарата при отделении.[1]

Выполнение первого требования обеспечивает надежное разделение без соударения отделившихся частей конструкции, выполнение второго — стабилизацию космического аппарата в пространстве после отделения, третьего — целостность конструкции космического аппарата, в том числе чувствительной оптической и электронной аппаратуры.

Эти требования и величины разделяемых масс являются основными исходными данными для проектного расчета системы разделения.

Современные методы проектирования предполагают на начальных стадиях создания космических аппаратов выбор из множества возможных наиболее рациональных вариантов систем разделения. Формирование такого базового множества происходит в результате поиска аналогов и прототипов, для этого также привлекаются эксперты. Проведенный анализ показал,

что этому способствует классификация систем разделения, которая должна охватывать подавляющее большинство типов таких систем.

Известны различные виды классификаций систем разделения и их элементов. Проектно-конструкторский анализ показал, что они либо излишне детализированы и не охватывают всего множества существующих исполнительных элементов, либо слишком общие и не отражают особенностей конструктивного исполнения, а также не включают в себя все множество существующих систем.

В наибольшей степени поставленной цели соответствует классификация систем разделения по виду используемой энергии, которая определяет конструкцию устройства и обеспечивает ее работоспособность в различных условиях. В известных системах разделения космических аппаратов используются следующие виды энергии:

- энергия экзотермических химических реакций;
- энергия механических устройств;
- другие виды энергии (потенциальная энергия гидравлических и пневматических устройств, тепловая, магнитная, электромагнитная энергии).

В свою очередь, системы разделения(СР), использующие энергию взрыва, включают в себя следующие группы:

- на неразрушаемых линейных средствах разделения;
- на детонационных замках на удлинённых кумулятивных зарядах(УКЗ);
- с трансляторами детонационного импульса;

СР, использующие энергию взрыва и горения, включают в себя следующие группы:

- на разрывных болтах, гайках; на основе УКЗ и пороха;
- взрывного типа с пиротехническим замедлителем команды. В этих системах необходимую скорость отделения обеспечивают чаще всего пружинные толкатели.

В состав СР, использующих энергию горения, входят группы:

- ствольного типа на пиропатронах;
- коллекторные на пиропатронах и пирозарядах;
- с пиротехническим газогенератором (аккумулятором давления);
- на основе безимпульсных пироустройств.

СР, использующие механическую энергию и энергию химических реакций, включают в себя группы:

- на основе УКЗ и пружинных толкателей;
- на разрывных болтах и пружинных толкателях;
- на линейных узлах разделения.

СР, использующие механическую энергию, включают в себя группы:

- на пружинных толкателях;
- на рычажно-поворотных замках.

К СР, использующим энергию бортовых агрегатов, относятся группы:

- на основе пневматических устройств;
- на основе гидравлических устройств;
- использующие газовые сопла;
- на основе электромагнитных устройств;
- использующие магнитные устройства;
- на основе электроустройств с плавной ленточной или ленточной связью.

СР, использующие энергию внешнего воздействия, включают в себя группы:

- с использованием аэродинамических сил;
- с использованием тепловой энергии аэродинамического торможения.

Усложнение и комплексность конструкции современных космических аппаратов привели к появлению разветвленных систем, осуществляющих одновременное разделение нескольких элементов, часто далеко отстоящих друг от друга. Решение такой задачи стало возможным благодаря появлению неразрушаемых трансляторов детонации, срабатывающих от единого инициатора.

В ряде случаев ставится задача безимпульсного разделения частей конструкции космического аппарата. Этот эффект достигается соединением подлежащих разделению частей с помощью элементов, содержащих термитный пиросостав и вставки из легкоплавкого металла.

Самыми распространенными устройствами для сообщения разделяемым элементам конструкции космического аппарата относительной скорости являются агрегаты, использующие механическую энергию. Это прежде всего пружинные толкатели. Они имеют три основные модификации в зависимости от типа используемых пружин (сжатия, растяжения и кручения), которые срабатывают при определенной перегрузке, разрушающей жесткую связь, или после срабатывания других пиромеханических элементов системы.[4]

Известны также системы разделения, использующие замки с запирающими поворотными элементами, которые соединены между собой рычагами, приводимыми в движение, например, пиромеханическим или пневматическим приводом в момент разделения. Они могут применяться для разделения по протяженным стыкам конструкции, в частности в системах разделения головных обтекателей по продольному стыку.

Весьма распространены детонационные системы разделения[1]. В практике проектирования используются и другие типы систем разделения. Наличие на борту аппарата

гидравлической или пневматической системы позволяет использовать ее потенциальную энергию (жидкость или газ высокого давления) для запитывания замков и толкателей.

В отдельных случаях для разделения можно использовать тепловую энергию, получаемую при прохождении электрического тока через соединительную проволоку либо при аэродинамическом торможении спускаемого аппарата.

Исполнительные устройства систем разделения в ряде случаев используются индивидуально, но чаще из них формируются системы разделения. Например, пиротехническая система разделения состоит из нескольких пирозамков-толкателей, пиротехнических газогенераторов, трубчатого коллектора и трубопроводов.

Пирозамки-толкатели обеспечивают жесткое крепление конструкции космического аппарата в процессе наземной и летной эксплуатации, а также их разделение в заданный момент времени.

Срабатывание систем разделения осуществляется, как правило, подачей электрического импульса на пиропатроны или электродетонаторы, обеспечивающие воспламенение или детонацию основных зарядов. Широкое применение описываемых систем разделения определяется их быстродействием, комплектностью, малой массой, высокой надежностью, малым электропотреблением и др.

Пиропатроны с проволочными мостиками накаливания являются основными элементами, инициирующими воспламенение основных газогенерирующих зарядов в газогенераторе. Они имеют, как правило, два мостика накаливания (для надежности). Рабочий ток срабатывания составляет 1...3 А при напряжении 27 В.[2]

Основными недостатками существующих систем разделения являются: одноразовость срабатывания; большие динамические перегрузки в конструкции космического аппарата при срабатывании; возможный выброс в окружающее пространство продуктов горения пиросоставов.

Системы разделения относятся к служебным системам космического аппарата и служат для крепления космического аппарата к переходному отсеку ракеты-носителя или разгонному блоку ракеты-носителя в процессе транспортирования космического аппарата до места старта.

После вывода на рабочую орбиту космический аппарат(КА) необходимо отделить от ракеты-носителя(РН) или разгонного блока (РБ) с минимальными угловыми скоростями и необходимой относительной скоростью.

После окончания работы двигательной установки РН связка КА–РН или КА—РБ имеет остаточную угловую скорость порядка нескольких градусов в секунду. После срабатывания СР из-за воздействия таких факторов, как трение в замках стыка, неравномерность усилий толкателей из-за разброса величины давления рабочих газов, подаваемых в пирозамок-

толкатель, дополнительные поперечные угловые скорости суммируются с остаточными угловыми скоростями связки.

При больших угловых скоростях тратится значительное количество топлива для стабилизации КА, т.е. срок активного существования КА снижается.

Системы разделения коллекторного типа имеют минимальный разброс по давлению в пиротолкателях по сравнению с системами с индивидуальными пирозамками-толкателями, поэтому сообщают КА минимальные угловые скорости при разделении.

Список литературы

1. Ефанов В. В. Проектирование устройств и систем разделения космических аппаратов // Проектирование автоматических космических аппаратов для фундаментальных научных исследований; Под ред. В.В. Ефанова, К.М. Пичхадзе: В 3-х т. Т.1. — М.: Изд-во МАИ-ПРИНТ, 2013. С. 336- 398.
2. Расчет и проектирование систем разделения ступеней ракет: Учебное пособие / К.С. Колесников, В.В. Кокушкин, С.В. Борзых, Н.В. Панкова. — М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. — 376 с.
3. Ефанов В.В., Моишеев А.А. Основы проектирования детонационных устройств и систем разделения космических аппаратов: Учебное пособие. — М.: Изд-во МАИ-ПРИНТ, 2010. - 68 с.
4. Климов Ю.М., Самойлов Е.А., Ефанов В. В. и др. Детали механизмов авиационной и космической техники: Учебное пособие. — М.: Изд-во МАИ, 1996. - 342 с.
5. Ефанов В.В., Кузин Е.Н., Котомин А.А., Душенков С.А. Проектирование детонационных устройств и систем космических аппаратов // Проектирование автоматических космических аппаратов для фундаментальных научных исследований; Под ред. В.В. Хартова, К.М. Пичхадзе: В 3-х т. Т. 3. — М.: Изд-во МАИ-ПРИНТ, 2014. С. 1201-1320.