

УДК 621.454.3

Э.К. МАГДИН, В.В. ОГЛИХ, А.Б. РОЗЛИВАН

Государственное предприятие «Конструкторское бюро «Южное» им. М.К. Янгеля, Днепр, Украина

ТВЕРДОТОПЛИВНАЯ ДВИГАТЕЛЬНАЯ УСТАНОВКА ОРИЕНТАЦИИ И СТАБИЛИЗАЦИИ ДИСКРЕТНОГО ДЕЙСТВИЯ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ КОСМИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ

Рассмотрена принципиальная схема и описан принцип работы твердотопливной двигательной установки системы управления ориентации и стабилизации дискретного действия. Периодическая подача рабочего тела осуществляется путем срабатывания по очереди достаточного количества газогенераторов в баллон-ресивер, из которого газ истекает через сопла клапанов-газораспределителей, создавая тягу. На конкретном примере показано, что такая твердотопливная двигательная установка в определенных случаях может иметь преимущество перед широко распространенной в настоящее время газореактивной двигательной установкой на сжатом холодном газе.

Ключевые слова: двигательная установка, клапан-газораспределитель.

Введение

Для управления космическими аппаратами широкое распространение получили преимущественно двигательные установки, использующие в качестве рабочего тела сжатый газ или жидкое топливо [1], которые позволяют сравнительно легко осуществлять дискретный характер их работы.

Однако, достигнутый уровень разработки твердотопливных ракетных двигателей, создание твердых топлив с требуемыми свойствами (низкие температура и скорость горения, чистота продуктов сгорания) делает также возможным и их использование для создания двигательных установок реактивных систем управления космическими объектами, а ряд технико-экономических и эксплуатационных преимуществ, свойственных твердотопливным системам, делает их применение в некоторых случаях предпочтительным.

Целью данной статьи является показать на основе проектно-расчетных проработок возможное в определенных случаях преимущество твердотопливной двигательной установки с набором дискретно срабатывающих газогенераторов для управления космическими аппаратами по сравнению с системой на холодном сжатом газе.

1. Конструктивно-компоновочные схемы двигателей управления, принцип их работы

К двигателям управления космического объекта обычно предъявляются следующие основные требования:

- уровень тяги и суммарный импульс тяги;
- время работы;
- коэффициент загрузки сопел (отношение времени работы сопел к полному времени работы двигателя).

Кроме того, в технических заданиях могут задаваться весовые и габаритные ограничения.

Для выполнения заданных требований возможно использование различных схем двигателя управления, отличающихся различными источниками рабочего тела:

- с непрерывной работой газогенератора и регулированием по давлению (рис.1);

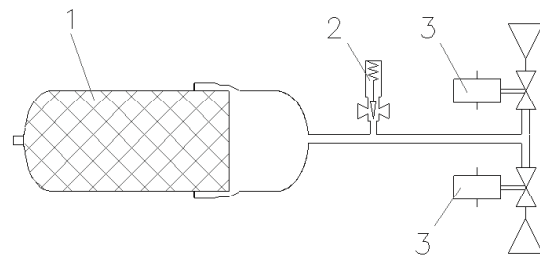


Рис. 1. Принципиальная схема двигателя управления с непрерывной работой газогенератора и регулированием по давлению

1 – газогенератор; 2 – регулятор давления;
3 – клапан-газораспределитель

- с одним или двумя баллонами холодного газа под давлением (рис.2);
- с набором дискретно срабатывающих газогенераторов и ресивером (рис. 3).

Схема двигателя с непрерывной работой твердотопливного газогенератора (рис.1), рассмотренная в статье [3], является классической, основным недостатком которой является слож-

ность обеспечивать паузы в работе двигателя путем гашения заряда и повторного воспламенения, что делает ее менее привлекательной по отношению к другим типам двигателей управления.

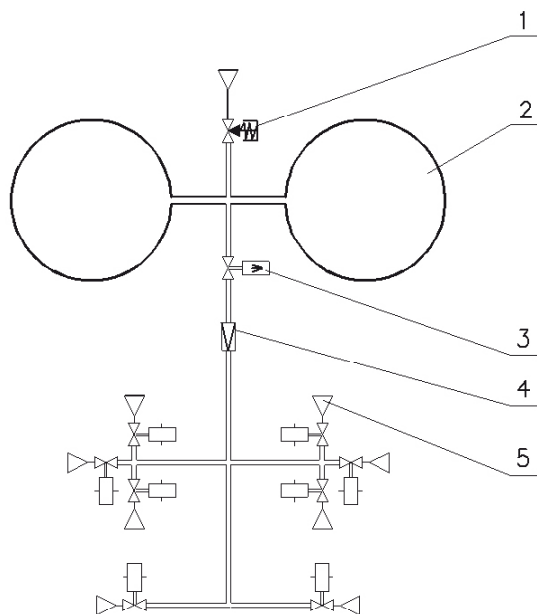


Рис. 2. Принципиальная схема двигательной установки с двумя баллонами холодного газа под давлением
1 – клапан заправки; 2 – баллон с холодным газом;
3 – пироклапан для герметизации баллонов;
4 – редукционный клапан для снижения давления;
5 – клапан-газораспределитель

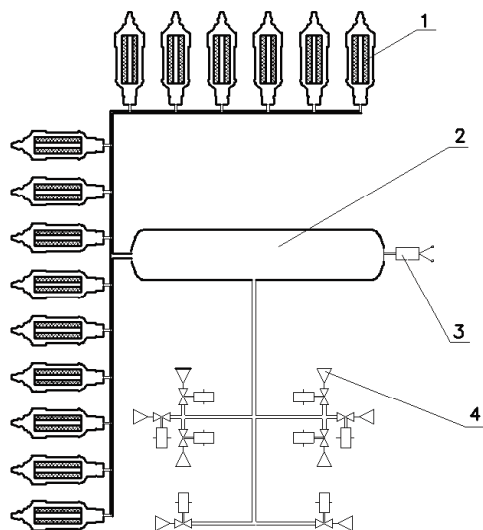


Рис. 3. Принципиальная схема двигательной установки с набором дискретно срабатывающих газогенераторов
1 – газогенераторы; 2 – балон (ресивер); 3 – датчик-сигнализатор; 4 – клапан-газораспределитель

Двигательная установка на холодном газе (рис. 2) состоит из одного или двух баллонов для хранения газа 2, восьми сопел с клапанами-

газораспределителями 5 для управления по каналам тангажа, рыскания и крена, клапана зарядного для заправки 1, пироклапана 3 для герметизации заправленных газом баллонов во время хранения и обеспечения подачи газа к клапанам-газораспределителям и редукционного клапана для снижения давления 4.

Данная схема имеет преимущество по сравнению с двигателем управления с непрерывной работой газогенератора и регулированием по давлению в том, что она позволяет обеспечивать паузы в работе и общее время ее работы может достигать тысячи секунд.

Существенными же недостатками такой схемы являются использование холодного газа в баллонах – что приводит к существенным потерям удельного импульса по сравнению с горячим газом, а также значительный вес баллонов, особенно в случае хранения большого запаса газа.

На рис. 3 представлена схема двигателя управления с дискретным срабатыванием газогенераторов в ресивер. Благодаря тому, что для создания тяги используется горячий газ с температурой $T = 1200-1400$ °К (это позволяет в 1,5-2 раза повысить удельный импульс), а также благодаря существенному уменьшению габаритов и веса баллона-ресивера, такой двигатель может иметь весовое и энергетическое преимущество по сравнению с двигателями на холодном сжатом газе.

Двигатель управления с дискретным срабатыванием газогенераторов работает по принципу, близкому к работе газореактивных систем управления на «холодном» газе, в которых весь запас рабочего тела (например воздух или азот), необходимый для создания тяги, изначально сосредоточен в баллоне под давлением и расходуется по мере необходимости в управляющих усилиях.

В двигателе с газогенераторами рабочее тело в ресивере до запуска отсутствует и система в процессе хранения не нагружена внутренним давлением. После подачи команды на систему запуска – образуется газ (продукты сгорания твердого топлива) который подается в ресивер при последовательном сжигании определенного числа порций твердого топлива, которое находится в виде зарядов в газогенераторах. По мере расхода газа на создание управляющих усилий давление в ресивере снижается и при достижении им определенного минимального значения, которое фиксирует датчик-сигнализатор, система управления дает команду на запуск следующего газогенератора. Далее, в процессе израсходования газа, процесс повторяется.

Конструктивная схема двигателя (рис. 4) следующая: по периметру отсека расположены

15 (количество может меняться в зависимости от характеристик и требований которые предъявляются к двигателю) последовательно запускаемых газогенераторов 2.

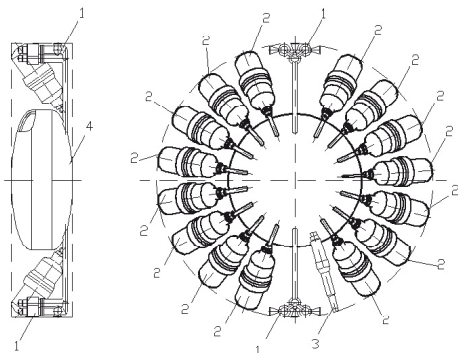


Рис. 4. Компонентная схема двигателя управления с набором дискретно срабатывающих газогенераторов
1 – клапан-газораспределитель с соплом;
2 – газогенератор; 3 – клапан-регулятор давления;
4 – ресивер

Рабочий газ через газоходы попадает в ресивер 4 (который может быть теплоизолированный изнутри), расположенный в центре отсека. Рабочий газ из ресивера 4 поступает в два диаметрально противоположных блока клапанов-газораспределителей 1, истекая через сопла, которые создают требуемые управляющие усилия тяги. На ресивере устанавливается датчик-сигнализатор давления, по сигналу которого система управления выдает команды на запуск очередного газогенератора 2, для поддержания в ресивере постоянного давления.

2. Результаты сравнительных проектно-расчетных проработок двигательных установок для системы управления ориентации и стабилизации на горячем и холодном газе

Для сравнительной оценки характеристик двигателя на горячем газе были использованы следующие исходные данные и характеристики ранее спроектированной двигательной установки ориентации и стабилизации на холодном газе (рис. 2) чтобы можно было объективно сравнивать:

- суммарный импульс тяги не менее 4900 Н·с;
- тяга сопел в каналах тангажа и рыскания не менее 83 Н;
- тяга каждого сопла в канале крена не менее 47 Н;
- максимальное время функционирования 325 секунд;
- коэффициент загрузки сопел: до 0,6.

При проектировании твердотопливной двигательной установки системы управления ориентации и стабилизации указанные характеристики были выполнены.

Для проектирования были использованы следующие данные:

- низкотемпературное твердое топливо с температурой продуктов сгорания $T = 1474 \text{ }^\circ\text{K}$;
 - отклонение величины тяги от минимального значения (при давлении 7,3 МПа) не должно превышать 70%.
- По результатам проектных проработок для двигателя управления с набором дискретно срабатывающих газогенераторов было определено:
- суммарный импульс тяги 4960 Н·с;
 - диапазон давлений в баллоне 6,8–11,7 МПа;
 - объем баллона (ресивера) 33 дм³.

Согласно расчетам проведенным для двигателя (рис. 4), необходимо одновременное срабатывание нескольких газогенераторов в свободный объем ресивера, для достижения начального давления $P=11,7 \text{ МПа}$ и последующей подпитки горячим газом в моменты снижения давления в ресивере до уровня 4,9–6,8 МПа. Это позволяет обеспечить стабильный режим работы двигательной установки в течение от 100 секунд до нескольких тысяч секунд (при условии реализации необходимых пауз в процессе работы двигательной установки).

Двигатель управления сохраняет работоспособность и выполняет свои функции в течение длительного срока эксплуатации.

В таблице 1 приведен сравнительный анализ масс двигательных установок (рис. 2 и 3):

Таблица 1
Сравнительный анализ масс ДУ

№ п/п	Наименование узлов ДУ	ДУ с двумя баллонами холодного газа под давлением, кг	ДУ с набором дискретно срабатывающих газогенераторов, кг
1	Баллоны с магистралями	57	–
2	Ресивер	–	14
3	Газогенераторы	–	27
4	Клапаны, регуляторы	10	10
5	Рабочее тело	13	3
6	Итого:	80	54

Выводы

В результате проведенной проектной работы, можно сделать вывод, что возможны случаи, когда для управления космическими объектами рациональнее будет использовать двигатель управления с набором дискретно срабатывающих твердотопливных газогенераторов в отличие от двигательной установки с баллонами холодного газа под давлением поскольку он обладает меньшей массой и габаритами.

Такое существенное преимущество двигатель управления с набором дискретно срабатывающих газогенераторов приобретает за счет:

– более высокого удельного импульса горячего газа, который образуется от сгорания твердотопливных зарядов, в отличие от холодного газа, что позволяет уменьшить запас рабочего тела;

– большой разницы между объемом баллона-ресивера и баллоном холодного газа под давлением обусловленной тем, что объем баллона-ресивера не предусматривает заполнения всем количеством горячего газа, а только небольших порций, которые образуются в результате сгорания твердотопливных зарядов.

Преимущества твердотопливной двигательной установки над двигателем, работающем

на холодном сжатом газе будут возрастать с увеличением суммарного импульса тяги.

Литература

1. Беляев Н.М. Реактивные системы управления космических летательных аппаратов [Reaktivnyye sistemy upravleniya kosmicheskikh letatel'nykh apparatov] / Н.М. Беляев, Н.П. Белик, Е.И. Уваров – М.: Машиностроение, 1979. – 232 с.

2. Соколовский М.И. Управляемые энергетические установки на твердом ракетном топливе [Upravlyaemye energeticheskiye ustanovki na tvordom raketnom toplive] / М.И. Соколовский, Г.А. Зыков и др. – М.: Машиностроение, 2003. – 464 с.

3. Оглих В.В. Основные проблемные вопросы и пути их решения при проектировании и экспериментальной отработке РДТТ управления [Osnovnyye problemnyye voprosy i puti ikh resheniya pri proyektirovanii i eksperimental'noy otrabotke RDTT upravleniya] / В.В. Оглих, В.М. Доценко, В.Г. Мамонтов, М.Г. Косенко, А.Б. Розливан, В.Г. Бейдик // Авиационно-космическая техника и технология: – 2008. – №9(56). – С.172–176.

Поступила в редакцию 13.06.2017 г.

Е.К. Магдін, В.В. Оглих, А.Б. Розливан. Твердопаливна двигунна установка орієнтації та стабілізації дискретної дії для управління космічними об'єктами

Розглянуто принципову схему та описано принцип роботи твердопаливної двигунної установки системи управління орієнтації та стабілізації дискретної дії. Періодична подача робочого тіла здійснюється шляхом спрацьовування по черзі достатньої кількості газогенераторів в балон-ресивер, із якого газ витікає через сопла клапанів-газоросподільників створюючи тягу. На конкретному прикладі показано, що така твердопаливна двигунна установка в певних випадках може мати перевагу перед широко поширеною в теперішній час газореактивною двигунною установкою на стислому холодному газі.

Ключеві слова: двигунна установка, клапан-газоросподільник.

E.K. Mahdin, V.V. Oglikh, A.B. Rozlivan. Solid-propellant propulsion system of orientation and stabilization of discrete action for control of space objects

The principal diagramme is considered and the principle of activity of a solid-propellant propulsion system of a control system of orientation and stabilisation of discrete action is described. Periodic submission of a propulsive mass implements by operation by turns enough of gas generators in a bottle-receiver from which gas expires through nozzles of valve of gas distributor creating thrust. On a particular example it is shown that such solid-propellant propulsion system in certain cases can have advantage before widespread now gasreactiv a propulsion system on the compressed cold gas.

Key words: propulsion system, valve of gas distributor.