

УДК 621.452.2.043 + 621.822

В.Н. ШНЯКИН, В.И. КОНОХ, И.И. КАЛИНИЧЕНКО, И.Ю. КУКСА

Государственное конструкторское бюро «Южное» им. М.К. Янгеля, Украина

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ПНЕВМОНАСОСНОГО АГРЕГАТА В СИСТЕМЕ ЗАПУСКА ЖРД

Исследованы существующие способы запуска космических жидкостных ракетных двигателей с турбонасосной системой подачи компонентов топлива в камеру сгорания, работающей по схеме без дожигания генераторного газа на самовоспламеняющихся компонентах топлива. Предложен новый способ запуска ЖРД, обеспечивающий большое число включений.

**жидкостный ракетный двигатель, система запуска ЖРД, способ запуска ЖРД, пневмонасосный агрегат**

### Введение

**Формулирование проблемы и её связь с научно-практическими задачами.** Новые космические задачи требуют более совершенных жидкостных ракетных двигателей (ЖРД). Одним из направлений совершенствования космических ЖРД является увеличение числа включений. Обычно число включений ЖРД тягой 3000 - 8000 кгс не превышает двух, реже трёх. Большинство таких двигателей работают на самовоспламеняющихся компонентах топлива и выполнены по схеме без дожигания генераторного газа, рис. 1.

**Обзор публикаций и выделение нерешённых задач.** Известны следующие основные схемы запуска ЖРД, обеспечивающие многократное включение:

1. Раскрутка турбонасосного агрегата (ТНА) с помощью пускового порохового аккумулятора давления (ПАДа), рис. 2. При этом для запуска ТНА электрической искрой поджигаются пиропатроны, воспламеняющие порох в ПАДе. Продукты сгорания пороха из ПАДа поступают на лопатки турбины, благодаря чему и происходит раскрутка ТНА. Преимущество способа в сравнительной простоте пускового устройства и в его надёжности [1].

Пироагрегаты многоразового срабатывания применяются редко по причинам большого усложнения и утяжеления конструкции в связи с тем, что каждое

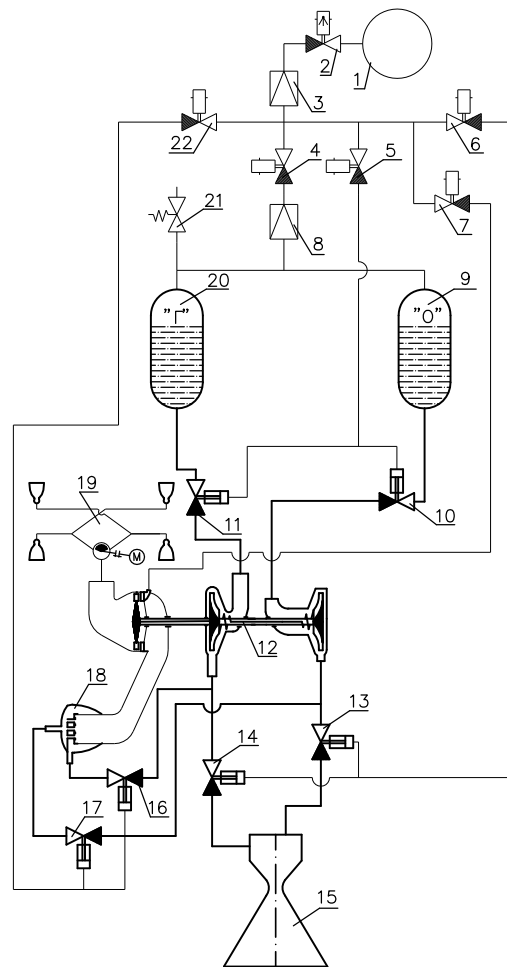


Рис. 1. Двигательная установка, работающая по схеме без дожигания генераторного газа: 1 – баллон с гелием; 2 – пироклапан; 3, 8 – газовый редуктор; 4, 5, 6, 7, 22 – электропневмоклапан; 9 – бак окислителя; 10, 11, 13, 14, 16, 17 – пневмогидроклапан; 12 – турбонасосный агрегат; 15 – камера сгорания; 18 – газогенератор; 19 – система рулевых сопел; 20 – бак горячего; 21 – предохранительный клапан

срабатывание пироагрегата требует установки отдельного источника энергии, при этом источники энергии которые будут задействованы при последующих срабатываниях, необходимо защищать от воздействия горячих пороховых газов пироэлементов, срабатывающих ранее. Известны системы, в которых пусковой ПАД обеспечивает двукратный запуск.

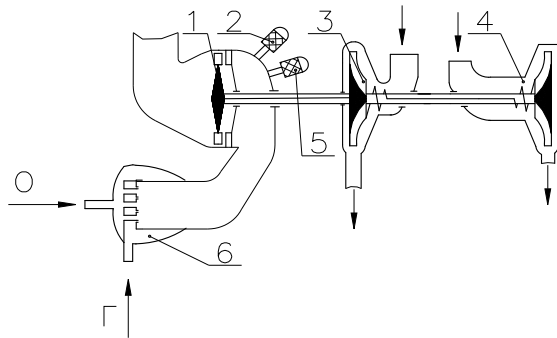


Рис. 2. Фрагмент схемы запуска ЖРД с помощью ПАДа:

- 1 – турбина; 2, 5, – пусковой ПАД;
- 3 – насос горючего; 4 – насос окислителя;
- 6 – газогенератор

2. Использование специальных пусковых газогенераторов (ГГ), имеющих вытеснительную систему подачи компонентов топлива [2]. Реализация этого способа запуска требует использования топливных баков с высоким давлением надува, что ведёт к неоправданному росту массы двигательной установки.

3. Применение системы со специальными пусковыми бачками [1]. При этом в качестве пускового используется основной ГГ, рис. 3. По команде “Запуск” в пусковые бачки 15 и 23 подаётся сжатый газ, который давит на поршни, снабжённые пружинами. Поршни в свою очередь давят на гибкую диафрагму внутри пусковых бачков, вытесняя компоненты топлива. Клапаны 16, 20 открываются, компоненты поступают в ГГ 22 и оттуда продукты сгорания поступают на турбину ТНА 11. Турбина вращает основные насосы, которые подают компоненты в камеру сгорания 14 и в ГГ. При этом часть компонентов направляется в пусковые бачки для их заправки, пока гибкие диафрагмы и поршни не зай-

мут первоначальное положение. После этого пусковые бачки готовы к очередному запуску двигателя. Все перечисленные операции после команды на запуск совершаются автоматически. Недостатком данной схемы является сложность обеспечения надёжной работы системы, т.к. в паузах между включениями пусковые бачки должны быть заполнены компонентами топлива и находится под давлением. В случае возникновения негерметичности существует большая вероятность отказа системы.

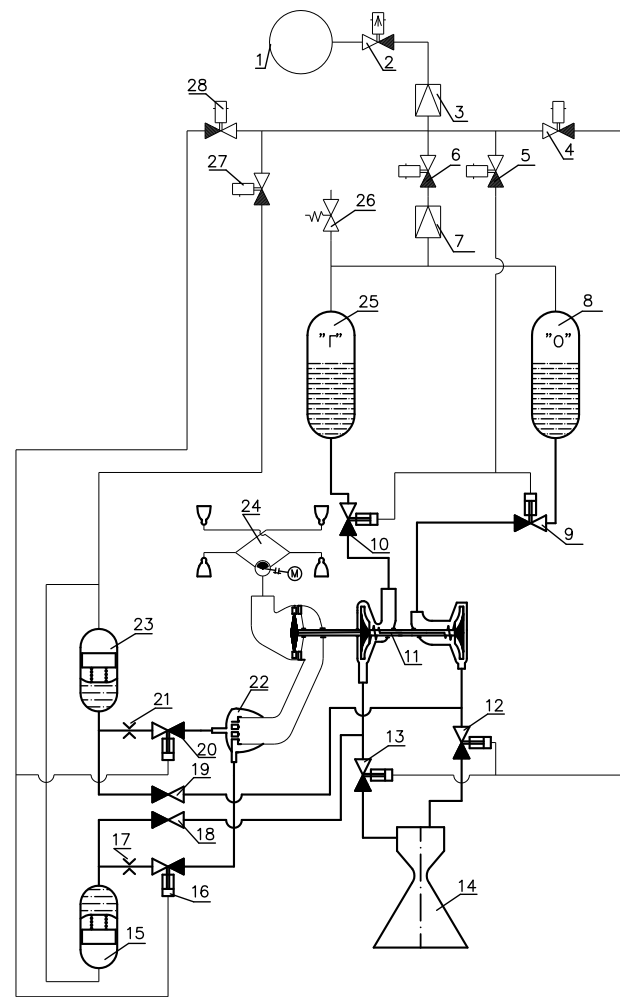


Рис. 3. Двигательная установка с системой запуска с помощью пусковых бачков:

- 1 – баллон с гелием; 2 – пироклапан; 3, 7 – газовый редуктор; 4, 5, 6, 27, 28 – электропневмоклапан;
- 8 – бак окислителя; 9, 10, 12, 13, 16, 20 – пневмогидроклапан; 11 – турбонасосный агрегат;
- 14 – камера сгорания; 15 – пусковой бачок горючего; 17, 21 – дроссельная шайба; 18, 19 – обратный клапан; 22 – газогенератор; 23 – пусковой бачок окислителя; 24 – система рулевых сопел; 25 – бак горючего; 26 – предохранительный клапан

4. Использование для раскрутки ТНА газа из пневмоблока ракеты [2]. При этом может использоваться как основная, так и вспомогательная пусковая турбина. В случае использования основной турбины газ поступает через специальные пусковые сопла, рис. 1.

Недостатком этого способа запуска является большой расход газа на запуск, т. к. турбина работает в неоптимальном режиме.

Существуют также другие способы запуска ЖРД, представляющие собой разновидность перечисленных выше.

**Постановка задачи данного исследования.** Задачей выполненного исследования является выявление преимуществ предлагаемой системы запуска ЖРД по сравнению с существующими и их сравнительный анализ.

### Изложение основного материала с обоснованием полученных научных результатов

В настоящее время на некоторых ЖРД верхних ступеней ракет-носителей применяется пневмонасосная система подачи компонентов топлива в камеру сгорания [3].

Пневмонасосный агрегат (ПНА) представляет собой сдвоенные поршневые насосы окислителя и горючего, установленные на общем штоке с поршневым пневмоприводом. Применение жёстко связанных между собой герметичных насосов окислителя и горючего обеспечивает высокую точность поддержания соотношения объемных расходов компонентов топлива. Схема пневмонасосного агрегата приведена на рис. 4.

ПНА можно использовать для питания ГГ компонентами топлива в процессе запуска ЖРД. При этом ПНА будет работать в оптимальном режиме, потребляя минимальное количество гелия из пневмоблока двигательной установки. Схема ЖРД с пневмонасосной системой запуска приведена на рис. 5. По команде “Запуск” открывают клапаны 9 и

10. Компоненты поступают в магистрали питания ГГ 20, заполняют ПНА и топливные магистрали до клапанов 16, 19. Затем открывают клапаны 16, 19, 25 и подают гелий на вход ПНА 17. ПНА начинает питать ГГ компонентами топлива. Продукты сгорания поступают на турбину ТНА 11. При определённых напорах за насосами ТНА в выходных магистралях ПНА повышается давление, подводимое через обратные клапаны 15, 18 и пневмонасос прекращает свою работу. Одновременно отключают подачу гелия на вход Пневмонасосного агрегата, закрывая клапан 25.

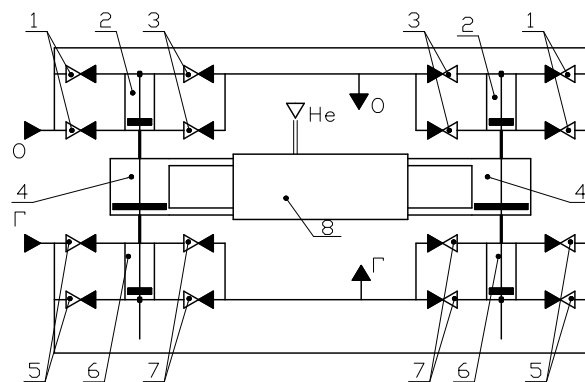


Рис. 4. Пневмогидравлическая схема ПНА:  
1 – входные обратные клапаны насоса окислителя; 2 – блок насоса окислителя; 3 – выходные обратные клапаны насоса окислителя; 4 – блок пневмопривода; 5 – входные обратные клапаны насоса горючего; 6 – блок насоса горючего; 7 – выходные обратные клапаны насоса горючего; 8 – пневматический автомат

Система запуска с пневмонасосным агрегатом может обеспечить большое число включений. По принципу действия она наиболее близка к системе запуска с пусковыми бачками, описанной в п. 3, но имеет преимущество по массовым характеристикам. Предложенная система запуска обеспечивает высокую точность поддержания соотношения расходов компонентов топлива в ГГ – выше 1%, не требует предварительной заправки компонентами топлива во время работы двигателя, имеет простое управление, не находится под давлением в промежутках между пусками, что положительно сказывается на надёжности двигательной установки.

Кроме того, при использовании пневмонасосной системы запуска расходуется меньшее количество газа, чем при раскрутке ТНА от пневмоблока ДУ, описанной в п. 2.4. Это позволяет уменьшить размер пневмоблока или увеличить число включений двигателя при том же запасе газа.

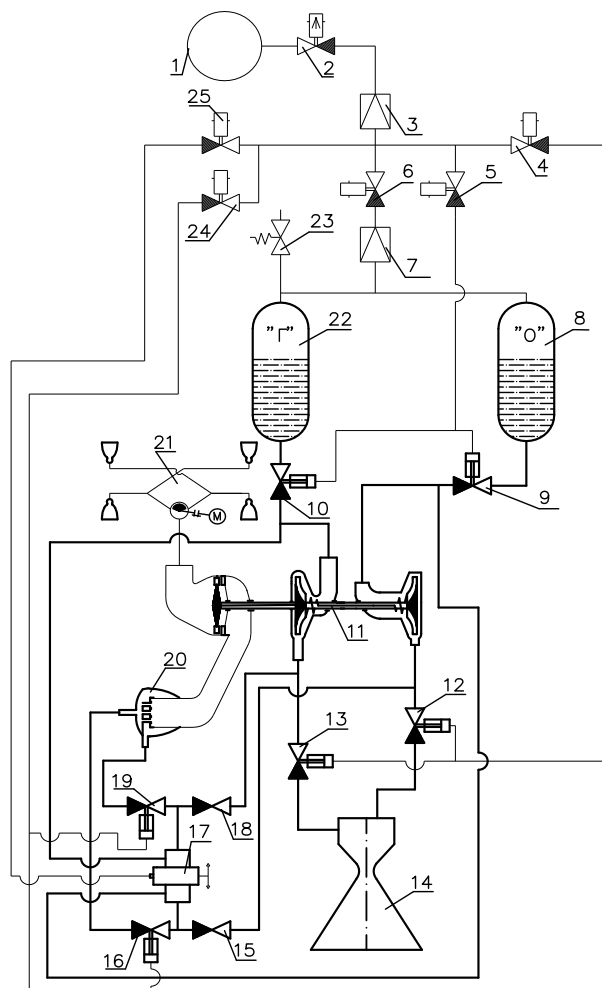


Рис. 5. Схема двигательной установки с пневмонасосной системой запуска:

- 1 – баллон с гелием; 2 – пироклапан; 3, 7 – газовый редуктор; 4, 5, 6, 24, 25 – электропневмоклапан;
- 8 – бак окислителя; 9, 10, 12, 13, 16, 19 – пневмогидроклапан; 11 – турбонасосный агрегат;
- 14 – камера сгорания; 15, 18 – обратный клапан; 17 – ПНА; 20 – газогенератор; 21 – система рулевых сопел; 22 – бак горючего; 23 – предохранительный клапан

Следует отметить, что в ЖРД с пневмонасосной системой запуска возможно использование и не самовоспламеняющихся компонентов топлива, но

необходимо дооснастить камеру сгорания и ГГ системой поджига.

### Перспективы дальнейших исследований в данном направлении

Один из обрабатываемых в настоящее время ЖРД, тягой 8000 кгс на 1 запуск расходует 0,32 – 0,4 кг гелия. Расчёты показывают, что в случае использования пневмонасосной системы запуска для этого двигателя, расход гелия составит не более 0,03 кг.

### Выводы

1. Разработан новый пневмонасосный способ многократного запуска ЖРД. Его применение позволяет улучшить массовые характеристики двигателя.
2. Новая система запуска обладает высокой точностью поддержания соотношения расходов компонентов топлива.

### Литература

1. Гахун Г.Г. Конструкция и проектирование жидкостных ракетных двигателей. – М.: Машиностроение, 1968. – 394 с.
2. Добровольский М.В. Жидкостные ракетные двигатели. – М.: Машиностроение, 1989. – 424 с.
3. Пневмонасосный агрегат для систем подачи жидкостного ракетного двигателя / В.Н. Шнякин, В.Г. Курейчик, В.И. Конох, Г.Г. Хохлов, И.Ю. Кукса // Авиационно-космическая техника и технология: Научн. техн. журн. – 2004. – Вып. 8 (16). – С. 249-250.

Поступила в редакцию 28.05.2007

**Рецензент:** д-р техн. наук А.В. Климов, Государственное конструкторское бюро «Южное» им. М.К. Янгеля, Днепропетровск.