

*Бруев В.Н.,  
оператор станков с программным управлением 5 разряда  
токарного участка (115-1) механического цеха (115)  
АО «НПО Энергомаш имени академика В.П. Глушко»  
Россия, г. Химки  
Козловский Л.Н.,  
мастер 2 группы токарного участка (115-1) механического цеха (115)  
АО «НПО Энергомаш имени академика В.П. Глушко»  
Россия, г. Химки*

## **ПРИНЦИП ДРОССЕЛИРОВАНИЯ В ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ЖИДКОСТНЫХ РАКЕТНЫХ ДВИГАТЕЛЯХ**

***Аннотация:** в статье кратко излагается современное состояние и тенденции в области технологии дросселирования жидкостных ракетных двигателей большой тяги в нашей стране. В частности, рассматриваются принципы дросселирования получивших всемирную известность отечественных двигателей большой тяги РД-0120, РД-170, РД-180, РД-191, и обобщаются их основные характеристики. В заключении сделан вывод, что процесс контроля дросселирования двигателя позволяет улучшить адаптивность ракеты-носителя к полётам, снизить риск неблагоприятного исхода космической миссии, а также является ключевой технологией для текущего и будущего освоения космоса.*

***Ключевые слова:** жидкостный ракетный двигатель, двигатель большой тяги, дросселирование, ступенчатый цикл сгорания, ракетостроение.*

***Annotation:** this paper briefly outlines the current state and trends in the throttling of large thrust liquid-propellant rocket engines in our country. In*

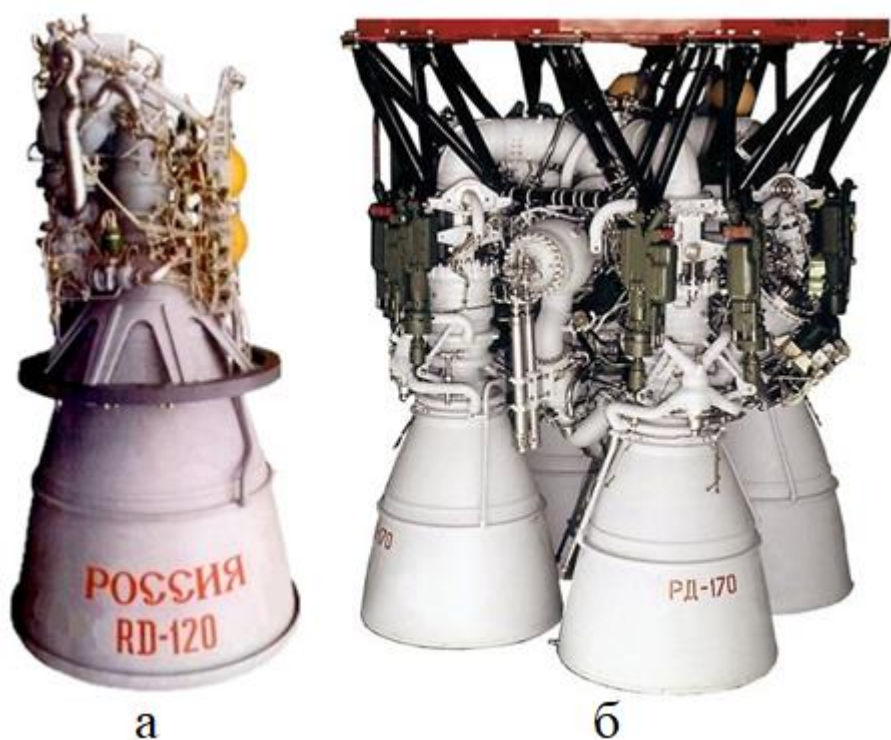
*particular, the principles of throttling of the world famous Russian heavy-lift rocket engines RD-0120, RD-170, RD-180, RD-191, are considered and their main characteristics are summarized. It is concluded that the engine throttling control improves the flight capability of the launch vehicle, reduces the risk of an unfavorable outcome of a space mission, and is a key technology for current and future space exploration.*

**Key words:** *liquid rocket engines, large-thrust engine, throttling, staged combustion cycle, rocket engine design.*

С развитием отечественной космической промышленности, начавшейся в 1960-х годах, усиленно ведутся разработки жидкостных ракетных двигателей большой тяги. Так, под руководством академика В. П. Глушко впервые была создана серия ракетных двигателей «ОРМ» (опытные ракетные моторы) [1, с. 1], а позднее под руководством учёного-конструктора В. П. Радовского был выпущен однокамерный жидкостный двигатель РД-0120 со ступенчатым циклом сгорания жидкого кислорода (окислителя) и жидкого водорода (топлива) для второй ступени ракеты-носителя «Зенит» (рисунок 1, а). Двигатель работает по принципу одновального механизма – турбина соосно соединяется с турбонасосом [1, с. 3]. В конструкции двигателя использован газогенератор с 37 форсунками [2, с. 3].

В двигателях РД-0120 и РД-180 (о втором подробнее изложено далее), регуляторы расхода установлены на линии подачи топлива в газогенератор с наименьшим расходом, а именно на линии подачи топлива в газогенератор с высоким уровнем окислителя, или на линии подачи окислителя в газогенератор с высоким уровнем топлива [3, с. 4]. Таким образом, процесс дросселирования двигателя РД-0120 заключается в следующем: тяга контролируется регулятором расхода топлива, благодаря чему она может снижаться до 50% от номинального уровня [4, с. 18].

В жидкостных кислородно-водородных двигателях топливо обычно впрыскивается в камеру сгорания в виде сверхкритических жидкостей, на которые не распространяются ограничения по жёсткости. Это свойство позволяет двигателям такого типа достигать более глубокого дросселирования при помощи форсунок с фиксированной геометрией. Так, при наземных испытаниях дросселирование двигателя РД-0120 составило около 6:1 [4, с. 18].

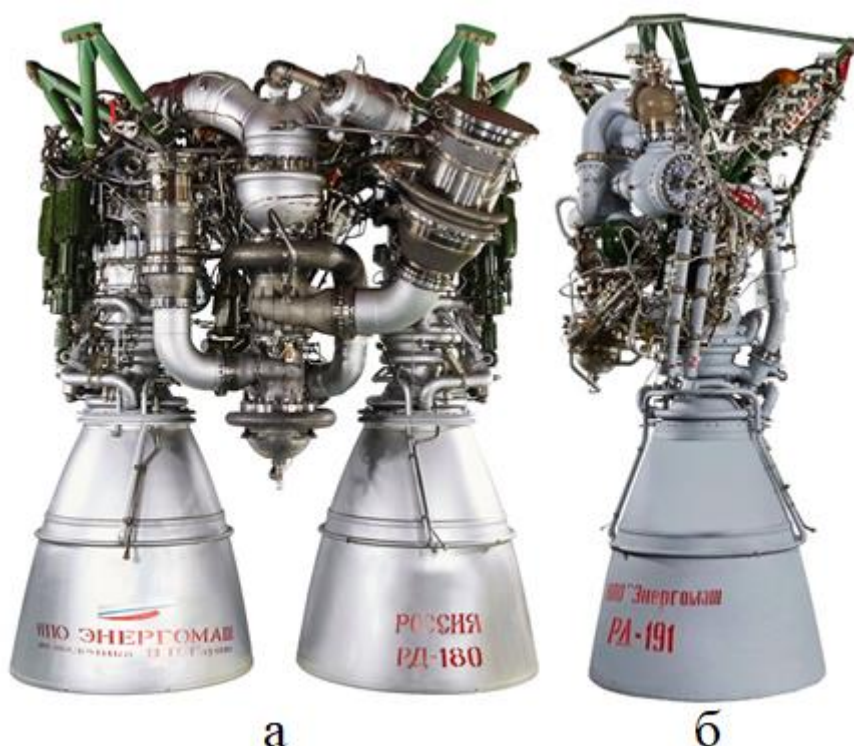


*Рисунок 1. Двигатели РД-120 (а); РД-170 (б)*

Особого внимания заслуживает обладающий рекордными параметрами и не имеющий аналогов за рубежом четырёхкамерный жидкостный двигатель РД-170 [1, с. 3] со ступенчатым циклом сгорания жидкого кислорода и керосина (рисунок 1, б). Газогенератор двигателя РД-170 имеет 127 форсунок [2, с. 3]. Процесс дросселирования двигателя РД-170 обеспечивается следующим образом: тяга управляется регулятором расхода, установленным на линии подачи топлива в газогенератор с высоким уровнем окислителя, что является эффективным способом получения широкого диапазона

регулирования при малом воздействии регулятора расхода [3, с. 4]. При этом тяга может снижаться до 40% от номинального уровня [4, с. 19].

Модификациями двигателя РД-170 являются двигатели РД-180 и РД-191 (рисунок 2), функционирующие по одинаковому принципу дросселирования. В двигателе РД-180, аналогично двигателям РД-170 и РД-0120, в линии подачи топлива газогенератора с высоким уровнем окислителя установлен регулятор расхода, а также дроссельная заслонка на линии подачи топлива в камеру сгорания, что обеспечивает снижение тяги до 47% от номинального уровня [4, с. 19].



**Рисунок 2. Двигатели РД-180 (а) и РД-191 (б)**

В двигателе РД-191, помимо аналогично функционирующего регулятора расхода, в качестве основных клапанов окислителя и топлива используются двухпозиционные клапаны, а также имеется дроссельная заслонка перед топливным клапаном газогенератора, которая при низких уровнях тяги регулируется в положении с высоким сопротивлением, чтобы предотвратить колебания системы подачи и газогенератора, возникающие в

результате низкого перепада давления на форсунках. При дальнейшем снижении тяги двухпозиционный клапан окислителя переключается в положение с высоким сопротивлением для предотвращения экстремально низкой температуры газогенератора. Указанные меры позволяют двигателю РД-191 снизить тягу до 32% от номинального уровня [4, с. 19].

Согласно вышеизложенному, современные отечественные жидкостные двигатели большой тяги с принципом дросселирования могут регулировать тягу до 30-60% от номинального уровня. Для удовлетворения требований к соответствующим характеристикам, в двигателях используются технологии ступенчатого цикла сгорания топлива и регулирования тяги путём изменения мощности турбонасосов. В отечественных двигателях для управления тягой применяются регуляторы расхода, в большинстве двигателей используются форсунки с фиксированной геометрией для обеспечения требуемой производительности.

Таким образом, процесс контроля дросселирования жидкостных ракетных двигателей позволяет улучшить адаптивность ракеты-носителя к полётам, снизить риск неблагоприятного исхода космической миссии и облегчить восстановление ракеты, а также является ключевой технологией для текущего и будущего освоения космоса.

#### **Использованные источники:**

1. Ефимов М.В., Бруев В.Н. Отечественные ракетные двигатели на водородном топливе: ретроспективный анализ // Аллея науки. – 2023. – № 1 (76). – С. 1-3.

2. Каторгин Б.И., Чванов В.К., Челькис Ф.Ю. ЖРД окислительной схемы с дожиганием – основа достижений отечественного двигателестроения / Исследования по истории и теории развития авиационной и ракетно-космической науки и техники. – 2005. – № 8-10. – С. 3.

3. Барышев С.А. Анализ способов регулирования тяги в жидкостных ракетных двигателях // Аллея науки. – 2023. – № 1 (76). – С. 4.

4. Bin L.I. et al. A review of throttling technology development for large-thrust liquid rocket engines // 中国航天 (英文版). – 2021. – Т. 22. – №. 2. – С. 18-19.