

Статья поступила в редакцию 06.03.2012. Ред. рег. № 015/12. УДК 621.453/457  
Заключение совета рецензентов: 11.03.2012. Заключение совета экспертов: 16.03.2012. Принято к публикации 21.03.2012

## Создание кислородно-водородных жидкостных ракетных двигателей семейства РД0146 для верхних ступеней и разгонных блоков перспективных ракет-носителей

Г.И. Гончаров, А.А. Гуртовой, И.В. Липлявый, С.Д. Лобов, А.В. Шостак

ОАО КБХА,  
д.20, ул.Ворошилова, г.Воронеж, Россия, 394006,  
тел. (473) 234-65-65, 263-36-80; факс (473) 234-65-71, 276-84-40.  
E-mail: cadb@comch.ru

Приведены результаты работ КБХА по созданию перспективных кислородно-водородных двигателей, выполненных по безгазогенераторной схеме, предназначенных для верхних ступеней и разгонных блоков ракет-носителей. Важной задачей при создании современной ракетной техники является разработка надежных и экономичных жидкостных ракетных двигателей (ЖРД) для верхних ступеней и разгонных блоков ракет-носителей. Более чем сорокалетний опыт эксплуатации всех модификаций двигателя RL-10 (Пратт-Уитни, США) доказывает, что кислородно-водородные двигатели, выполненные по безгазогенераторной схеме, наиболее полно отвечают требованиям, предъявляемым к перспективным двигателям верхних ступеней и разгонных блоков РН.

В настоящее время КБХА продолжает и развивает работы по созданию безгазогенераторных кислородно-водородных двигателей семейства РД0146. Выполнение работ высококвалифицированными специалистами, собственное производство для изготовления узлов, агрегатов и двигателя в целом, производство водорода, наличие стенда для проведения огневых испытаний на штатных компонентах, большой опыт КБХА, полученный при создании кислородно-водородного ЖРД РД0120, высокая степень разработки и готовности двигателя к использованию позволят в короткий срок ввести в эксплуатацию надежный современный ЖРД для конкретной РН.

Создание двигателей РД0146 и РД0146Д, их применение на существующих и перспективных РН позволят существенно повысить массу выводимых на околоземные орбиты полезных грузов и упрочить положение отечественных РН на рынке космических услуг.

Ключевые слова: кислородно-водородный двигатель, ракета-носитель, жидкостный ракетный двигатель, безгазогенераторная схема, двигатель РД0146, двигатель РД0146Д.



**Геральд Иванович Гончаров**  
**Gerald Ivanovich Goncharov**

**Сведения об авторе:** начальник сектора ОАО КБХА, награжден медалью «Ордена за заслуги перед Отечеством II степени».

**Область научных интересов:** анализ рабочих процессов и испытания ЖРД.

**Публикации:** более 10 научных работ, 6 авторских свидетельств, 1 патент.

**Author's personal data:** chief of the sector OSC CADB, has a medal «Order before Fatherland II degree».

**Professional experience and field of researches:**  
analysis work processes and firetesting LRE.

**Publications:** about 10 scientific publications, 1 author's certificate, 1 patent.

## Oxygen-hydrogen liquid missile engines RD0146 family creation for upper unit and dispersal block of the perspective rockets-carriers

G.I. Goncharov, A.A. Gurtovoy, I.V. Ipljavy, S.D. Lobov, A.V. Shostak

OSC KBKhA, +7(473) 234-61-25, факс +7(473) 276-84-40, e-mail:cadb@comch.ru

Results of the work KBHA on creation perspective oxygen-hydrogen engines, executed without gas-generator scheme, intended for upper unit and dispersal block of the rockets-carriers are brought. The Important problem when making the modern missile technology is a development reliable and economical liquid missile engines (LRE) for upper unit and dispersal block of the rockets-carriers.

More then forty-year experience to usages of all modifier of the engine RL-10 (Pratt-Whitney, USA) proves that oxygen-hydrogen engines, executed without gas-generator scheme, most packed answer requirement, presented to perspective engine of the upper steps and runaway block rocket.

At present CADB continues and develops work on creation without gas-generator oxygen-hydrogen engines family RD0146. Work execution high-skilled specialist, own production for fabrication of the nodes, unit and engine as a whole, production of the hydrogen, presence of the stand for undertaking fire testing on staff component, big experience CADB, received when making oxygen-hydrogen LRE RD0120, high degree of the development and readiness of the engine to use will allow at short period to put into effect reliable modern LRE for rocket.

Making the engines RD0146 and RD0146D, their using on existing and perspective rocket will allow greatly to raise the mass taken out on around-terrestrial orbits useful cargo and intensify position domestic rocket on the market long disheveled locks of space services.

Keywords: oxygen-hydrogen engines, the rockets-carriers, liquid missile engines (LRE), without gas-generator scheme, engines RD0146, engines RD0146D.

Важной задачей при создании современной ракетной техники является разработка надежных и экономичных жидкостных ракетных двигателей (ЖРД) для верхних ступеней и разгонных блоков ракет-носителей. В рамках актуальных работ, проводимых в России и за рубежом, разрабатываются кислородно-водородные двигатели с замкнутой безгазогенераторной схемой (МВ60, США-Япония; Vinci, ЕС).

В конструкции подобных двигателей реализован подогрев водорода в охлаждающем тракте камеры с целью получения высокоэффективного рабочего газа для привода турбин турбонасосных агрегатов (ТНА).

Более чем сорокалетний опыт эксплуатации всех модификаций двигателя RL-10 (Пратт-Уитни, США) доказывает, что кислородно-водородные двигатели, выполненные по безгазогенераторной схеме, наиболее полно отвечают требованиям, предъявляемым к перспективным двигателям верхних ступеней и разгонных блоков РН.

Высокие экономичность и надежность рассматриваемых двигателей достигаются прежде всего:

- невысокой температурой рабочего газа, воздействующего на сопловые аппараты и лопатки турбин ТНА;

- максимально эффективным использованием кислородно-водородного топлива.

В СССР было создано три кислородно-водородных ЖРД. Двигатель РД-56 тягой 7,5 тс был разработан Конструкторским бюро химического машиностроения (КБхиммаш им. А.М. Исаева, г. Королев Московской области) в начале 1960-х годов прошлого века, двигатель РД-57 тягой 40 тс – в конструкторском бюро «Сатурн» (КБ «Сатурн», г. Москва) в те же годы. Оба двигателя создавались для лунной программы СССР. Двигатель РД0120 тягой 200 тс был разработан в КБХА в конце 1970-х – начале 1980-х годов для программы «Энергия-Буран» как двигатель II ступени РН «Энергия».



Все три двигателя были спроектированы по схеме с дожиганием генераторного газа. Двигатель РД-56 в 1990-х годах был модифицирован в двигатель КВД1 для верхних ступеней РН.

Работы по двигателю РД-57 были прекращены в 1970-х годах, а по двигателю РД0120 – в начале 1990-х годов в связи с закрытием программы «Энергия-Буран».

Первой в СССР ракетостроительной фирмой, приступившей к проработке возможности применения для разгонных блоков кислородно-водородного ЖРД, использующий безгазогенераторный цикл, была ракетно-космическая корпорация «Энергия» (РКК «Энергия», г. Королев Московской области).

В 1988 году РКК «Энергия» выдала техническое задание (ТЗ) КБХА на создание безгазогенераторного кислородно-водородного двигателя РО-95 для разгонных блоков РН «Буран-Т» и «Вулкан». В те годы единственным в мире безгазогенераторным кислородно-водородным двигателем верхних ступеней РН был двигатель RL-10. Кислородно-водородный двигатель РО-95 имел тягу 10 тс и удельный импульс тяги 475 с. Стендовые огневые испытания РО-95 планировалось начать в 1991-1992 гг.

Принципиальная возможность создания двигателя базировалась на опыте КБХА в разработке кислородно-водородного двигателя РД0120 для РН «Энергия» при наличии опытного производства и действующей стендовой испытательной базы. Проведенный РКК «Энергия» и КБХА всесторонний анализ безгазогенераторной схемы показал ее очевидные конструктивные преимущества и высокую надежность.

Положительную роль при выборе схемы двигателя РО-95 сыграл достаточно редкий случай в разработке космической техники. В СССР до этого времени подобная схема двигателя не применялась, не финансировались ее исследования и отработка.

Однако на примере летной эксплуатации двигателя RL-10 отечественные разработчики получили экспериментальное подтверждение высокой надежности двигателя безгазогенераторной схемы.

Несмотря на то, что работы по двигателю РО-95 ограничились и завершились только эскизным проектированием, этот двигатель можно считать предшественником современного первого российского безгазогенераторного кислородно-водородного двигателя РД0146.

Повторно к безгазогенераторной схеме кислородно-водородного двигателя для разгонных блоков ракетостроительные фирмы России обратились спустя 10 лет. В 1998 году в КБХА в соответствии с требованиями технического задания ГКНПЦ им. М.В. Хруничева (г. Москва) были проведены работы по проектированию безгазогенераторного кислородно-водородного двигателя РД0146У (рис. 1) тягой 10 тс для верхних ступеней РН «Протон» и «Ангара»; в 2002 году по ТЗ РКК «Энергия» выполнено эскизное проектирование двигателя РД0146Э тягой 10 тс для РН «Онега».

Разработка в России безгазогенераторного двигателя нового поколения вызвала интерес фирмы Пратт-Уитни, и это впоследствии привело к заключению между КБХА и Пратт-Уитни контракта по двигателю РД0146У.



### Андрей Александрович Гуртовой Andrey Alecksandrovich Gurtovoy

**Сведения об авторе:** ведущий конструктор темы ОАО КБХА, канд. техн. наук. Профессиональный инженер России в номинации «Авиация и космонавтика» по результатам конкурса «Инженер года- 2007».

**Область научных интересов:** анализ рабочих процессов и моделирование функционирования ЖРД.

**Публикации:** более 20 научных работ, 2 монографии.

**Author's personal data:** leading designer of the subject OSC CADB, candidate technical sciences, associate professor of Rocket engines department of Voronezh State Technical University, Professional Russian Engineer.

**Professional experience and field of researches:**

analysis work processes and modeling of the operation LRE.

**Publications:** about 10 scientific publications, 2 monographs.

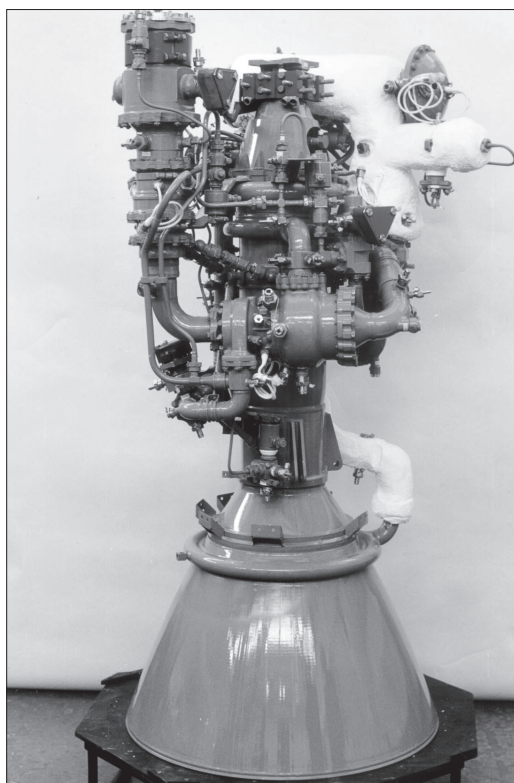


Рис. 1. ЖРД РД0146У  
Fig. 1. LRE RD0146U

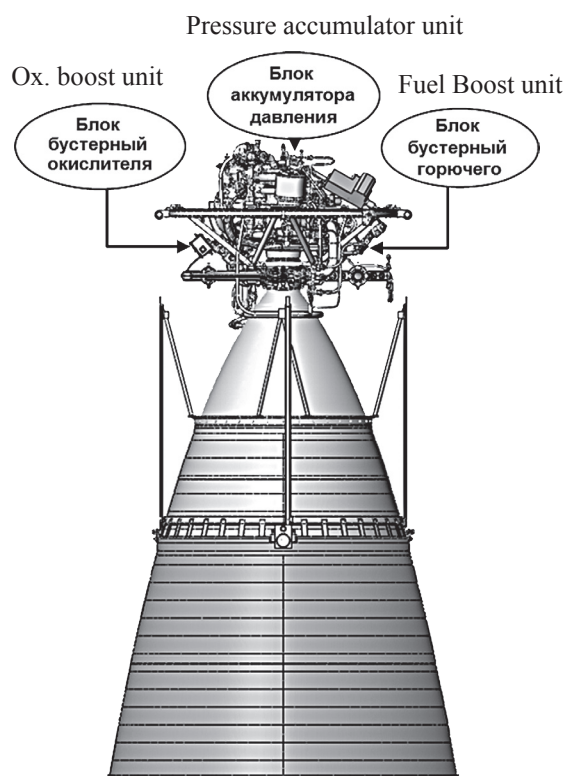


Рис. 2. ЖРД РД0146Д  
Fig. 2. LRE RD0146D

Проектирование двигателя РД0146У проведено с учетом следующих основных положений:

- максимальное использование схем и элементов конструкций агрегатов, отработанных для двигателей КБХА;
- применение при проектировании двигателя разработанной КБХА методики выбора основных параметров, учитывающей заданную долговечность его элементов;
- использование конструкций, ориентированных на производственную и экспериментальную базы КБХА;

– решение широкого круга задач отработки агрегатов при автономных испытаниях, включая проверки работоспособности агрегатов на натуральных компонентах топлива;

– предварительная проверка работоспособности агрегатов двигателя на натуральных компонентах при рабочих давлениях в процессе испытаний экспериментальных установок.

Огневые испытания двигателя РД0146У были начаты в 2001 году. Этому предшествовали:

- автономные доводочные испытания агрегатов;

### Игорь Васильевич Липлявый Igor Vasilievich Liplavyu



**Сведения об авторе:** заместитель главного конструктора ОАО КБХА. Специалист в области создания жидкостных ракетных двигателей космических ракет-носителей. **Область научных интересов:** анализ рабочих процессов и моделирование функционирования ЖРД.

**Публикации:** более 20 научных работ, 10 авт. свидетельств, 3 патента.

**Author's personal data:** Deputy chief designer OSC CADB, the specialist in the field of making the liquid missile engines of the cosmic rockets-carriers. **Professional experience and field of researches:** analysis work processes and modeling of the operation LRE.

**Publications:** about 20 scientific publications, 10 author's certificate, 3 patent.

– испытания экспериментальных установок на натурных компонентах:

а) РД0146.УЭ1 (агрегаты подачи кислорода и агрегаты автоматики, 5 испытаний, наработка 167,62 с);

б) РД0146.УЭ2 (камера сгорания, запальник и агрегаты автоматики, 17 испытаний, наработка 341,64 с);

в) РД0146.УЭ3 (агрегаты подачи горючего и агрегаты автоматики, 7 испытаний, наработка 700,92 с).

По состоянию на 1.03.2012 г. проведено 53 огневых испытания двигателя, в том числе шесть испытаний с использованием в качестве горючего жидкого метана. Суммарная наработка двигателя составляет 2629,7 с (в том числе 198,2 с на метане). Проведено 41 огневое испытание одного экземпляра двигателя с суммарной наработкой 1925,4 с.

Огневая отработка двигателя проводилась на стенде № 62 испытательного комплекса КБХА.

В процессе огневых испытаний решены основные вопросы отработки двигателя. Проверена и подтверждена работоспособность двигателя в процессе захлаживания, запуска, работы в основном и конечном режимах и в процессе останова. Получены экспериментальные значения параметров, позволяющие оценить процессы в двигателе, работоспособность агрегатов и двигателя в целом. Проведенные испытания позволили уточнить математические модели расчета двигателя.

В 2008 году ГКНПЦ им. М.В. Хруничева, исходя из уточненных требований к ракете-носителю, выдал КБХА ТЗ на разработку дросселированного варианта двигателя РД0146У – двигателя РД0146Д (рис. 2) тягой 7,5 тс для разгонного блока кислородно-водородного тяжелого класса РН «Ангара-А5» (ОКР «Двина-КВТК»).

В 2009 году КБХА завершило этап эскизного проектирования двигателя РД0146Д и приступило к разработке конструкторской документации.

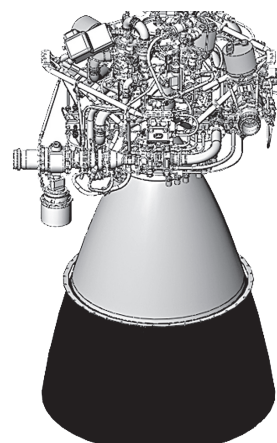


Рис. 3. ЖРД РД0146. Fig. 3. LRE RD0146

Отличительными особенностями двигателя РД0146Д являются применение выдвигного соплового насадка из углерод-углеродного композиционного материала, установка в баки компонентов топлива бустерных турбонасосных агрегатов и перенос узла качания с головки камеры в район минимального сечения камеры.

Эти решения вызваны требованиями обеспечения установки двигателя в ограниченные габариты разгонного блока. По кооперации конструкцию сдвижного насадка разрабатывает НПО «Искра» (г. Пермь), конструкцию бустерных блоков – КБХиммаш им. А.М. Исаева (г. Королев).

В 2009 году КБХА приступило к разработке эскизного проекта по двигателю РД0146 (рис. 3) тягой 10 тс (заказчик – ФГУП ГНПРКЦ «ЦСКБ-Прогресс»).

Технические требования к двигателю были предъявлены с учетом его использования в составе связки из четырех двигателей на блоке второй ступени вновь разрабатываемой РН среднего класса повышенной грузоподъемности для запуска с космодрома «Восточный» (ОКР «Русь-М»).



### Сергей Дмитриевич Лобов Sergey Dmitrievich Lobov

**Сведения об авторе:** главный конструктор ОАО КБХА.

**Область научных интересов:** анализ рабочих процессов ЖРД, надежность и отказоустойчивость ЖРД.

**Публикации:** более 10 научных работ, 6 авторских свидетельств, 3 патента.

**Author's personal data:** Chief designer OSC CADB.

**Professional experience and field of researches:** analysis work processes LRE, reliability and intolerance LRE.

**Publications:** about 10 scientific publications, 6 author's certificate, 3 patents.

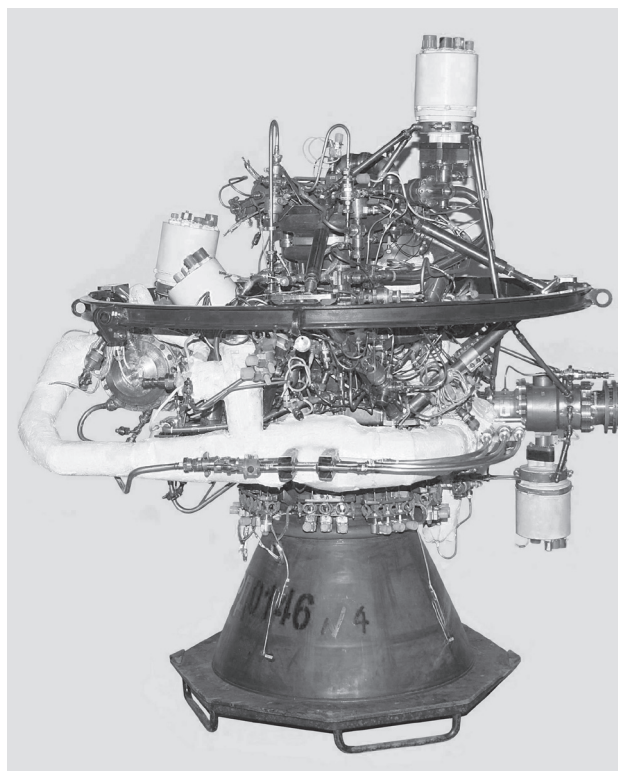


Рис. 4. ЖРД РД0146  
Fig. 4. LRE RD0146

Эскизное проектирование и последующее за ним в 2011 году техническое проектирование КБХА были выполнены в полном объеме. Анализ требований головных предприятий по созданию двигателей РД0146Д и РД0146 позволил КБХА принять ряд решений, направленных на унификацию конструкций агрегатов и схемных решений по двум двигателям.

Это значительно ускорило работы по выпуску конструкторской документации, изготовлению матчасти и позволило уже в конце 2011 года провести огневые доводочные испытания двигателя РД0146 и маршевого блока двигателя РД0146Д (рис. 4, рис. 5, рис. 6). Основные технические характеристики двигателей семейства РД0146 приведены в таблице 1.

Таблица 1. Table 1

Двигатель	РД0146У	РД0146Д	РД0146
Тяга, тс	10	7,5	10
Удельный импульс тяги, кгс·с/кг	463	470	463
Давление в камере, кгс/см <sup>2</sup>	80	60	80
Диаметр среза сопла, мм	1250	1950	1250

Обобщенная пневмогидравлическая схема двигателя представлена на рис. 7. Двигатели выполнены с отдельными турбонасосными агрегатами подачи компонентов топлива в камеру. Привод турбин осуществляется газифицированным водородом, поступающим из тракта охлаждения камеры последовательно на турбину турбонасосного агрегата окислителя, турбонасосного агрегата горючего и далее в смесительную головку камеры сгорания. Часть водорода после охлаждающего тракта камеры, минуя турбины турбонасосных агрегатов по обводной магистрали с установленным в нем регулятором, поступает непосредственно в смесительную головку камеры сгорания.



### Александр Викторович Шостак Aleksandr Victorovich Shostak

**Сведения об авторе:** зам.генер.конструктора ОАО КБХА, канд. техн. наук, лауреат премии Правительства РФ в области науки и техники.

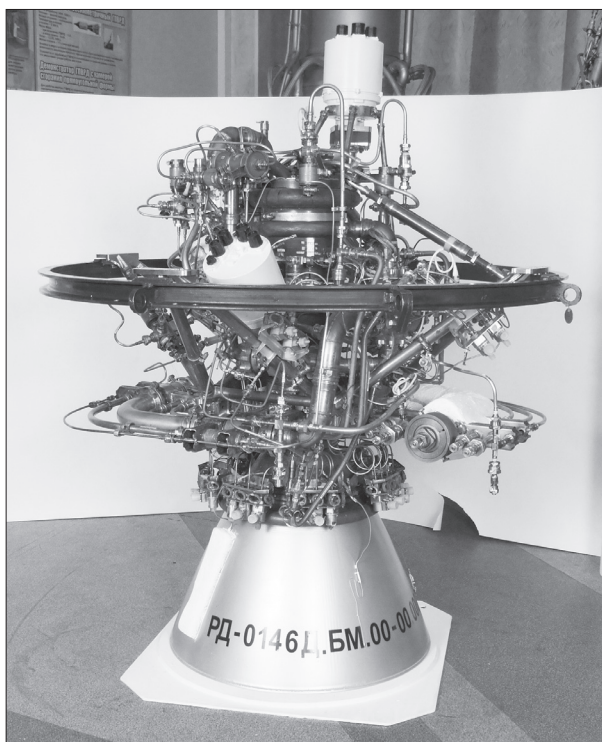
**Область научных интересов:** диагностика тех.состояния и испытания ЖРД.

**Публикации:** более 30 научных работ, 1 авт.свидетельство, 9 патентов.

**Author's personal data:** Deputy of the general designer OSC CADB, candidate technical sciences, associate professor of Rocket engines department of Voronezh State Technical University, laureate Government bonus for achievement in the field of making the theories and practical persons scientifically based technology, functional diagnostics rocket-cosmic object.

**Professional experience and field of researches:** diagnostics of the technical condition and test LRE.

**Publications:** about 30 scientific publications, 1 author's certificate, 9 patents.



*Рис. 5. Маршевый блок ЖРД РД0146Д  
Рис. 5. Engine block LRE RD0146D*

За счет изменения расхода водорода в обводной магистрали проводится изменение расхода на турбинах турбонасосных агрегатов и, следовательно, мощности турбонасосных агрегатов. Таким образом обеспечивается регулирование тяги двигателя.

Для регулирования соотношения компонентов топлива в магистрали окислителя за насосом установлен дроссель. Воспламенение компонентов осуществляется электроплазменным запальным устройством, которое расширяет возможности двигателя по многообразию включений и применению.

В отличие от двигателя РД0146Д, на двигателе РД0146 используются бустерные блоки разработки КБХА, которые включают в себя разделительные шаровые клапаны пуска, имеющие минимальные гидравлические сопротивления.

Камера двигателя РД0146 выполнена с соплом, имеющим стационарный насадок из углерод-углеродного композиционного материала.

Необходимо отметить создание системы аварийной защиты и управления, позволяющей решать задачу контроля работоспособности и управления двигателем при стендовых огневых испытаниях.

Система может служить основой программного обеспечения САЗ двигателей при проведении ОСИ блоков



*Рис. 6. Огневое испытание ЖРД РД0146 . Fig. 6. Fire testing LRE RD0146*

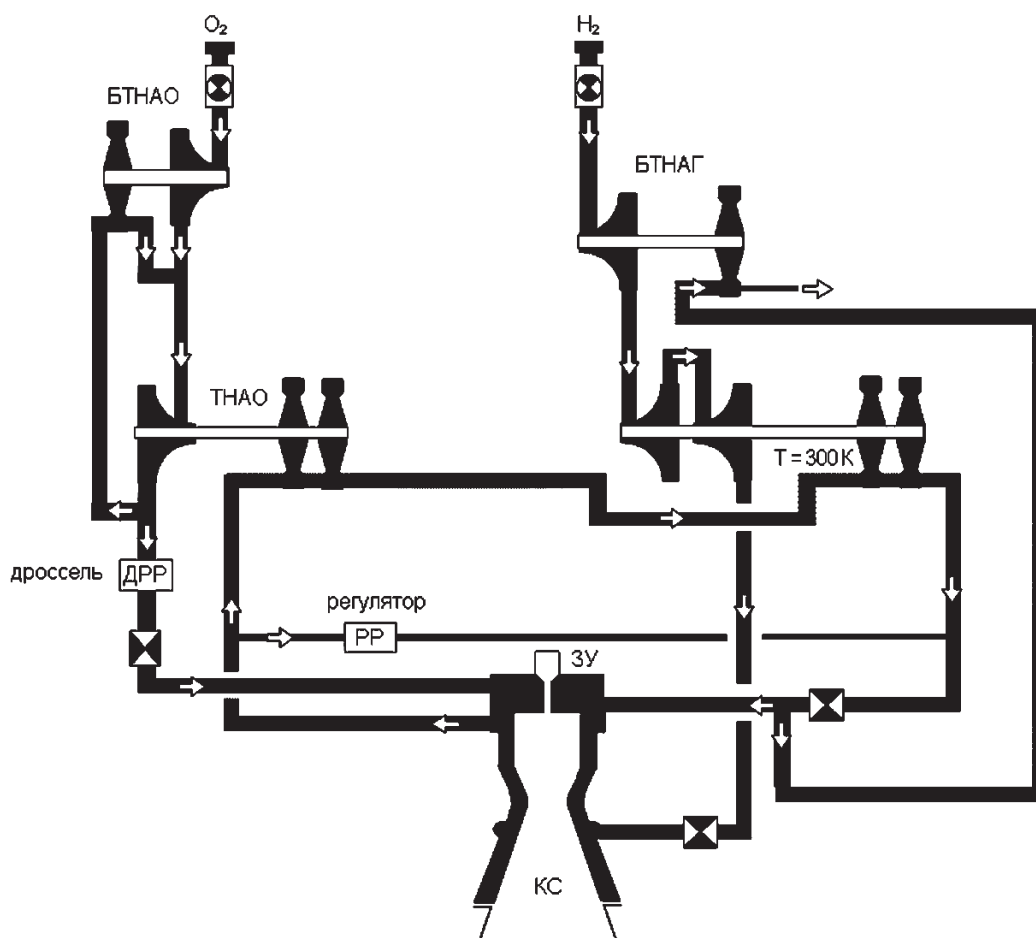


Рис. 7. Пневмогидравлическая схема двигателя РД0146.  
Fig. 7. Pneumatic-hydraulic scheme of LRE RD0146

и базой для разработки и стендовой отработки алгоритмов бортовой САЗ.

Таким образом, КБХА продолжает и развивает работы по созданию безгазогенераторных кислородно-водородных двигателей семейства РД0146. При создании двигателей получено убедительное подтверждение существенного преимущества безгазогенераторной схемы над газогенераторной.

Кислородно-водородные ЖРД из-за того, что применяемые в них компоненты топлива являются криогенными, относят к «суперкриогенным» двигателям. Разработка «суперкриогенной» тематики, а тем более выполнение опытно-конструкторских работ с кислородно-водородным двигателем, проведение огневых стендовых испытаний не только свидетельствуют о высокой научной и инженерной квалификации любой фирмы, но и являются самым надежным способом ее развития.

## Выводы

1. Выполнение работ высококвалифицированными специалистами, собственное производство для изготовления узлов, агрегатов и двигателя в целом, производство водорода, наличие стенда для проведения огневых испытаний на штатных компонентах, большой опыт КБХА, полученный при создании кислородно-водородного ЖРД РД0120, высокая степень разработки и готовности двигателя к использованию позволят в короткий срок ввести в эксплуатацию надежный современный ЖРД для конкретной РН.

2. Создание двигателей РД0146 и РД0146Д, их применение на существующих и перспективных РН позволят существенно повысить массу выводимых на околоземные орбиты полезных грузов и упрочить положение отечественных РН на рынке космических услуг.