

Статья поступила в редакцию 06.03.2012. Ред. рег. № 020/12. УДК621.165  
Заключение совета рецензентов: 11.03.2012. Заключение совета экспертов: 16.03.2012. Принято к публикации 21.03.2012

## Разработка турбонасосных агрегатов для современных кислородно-керосиновых двигателей с дожиганием окислительного генераторного газа

**А.И. Дмитренко, А.В. Иванов, А.Г. Кравченко,  
В.И. Момотов, А.А. Савин, В.А. Глебов**

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

В статье рассмотрены разработанные в КБХА турбонасосные агрегаты (ТНА) двигателей с дожиганием окислительного генераторного газа (ДОГГ). В КБХА созданы ТНА двигателей РД0124 и РД0155 и ТНА двигателя 11Д58МФ, который находится в стадии изготовления. Важной особенностью ТНА ЖРД с ДОГГ является повышенная, по сравнению с другими схемами ЖРД, склонность к возгоранию узла турбины в среде окислительного генераторного газа. В процессе разработки, изготовления и доводки ТНА ЖРД РД0124 и РД0155 был получен опыт, выработана концепция проектирования, разработаны современные расчетные методики и создана современная испытательная база. При разработке ТНА ЖРД 11Д58МФ был учтен опыт, полученный при разработке ТНА ЖРД РД0124 и РД0155, и опыт эксплуатации ТНА ЖРД 11Д58М. В статье приводятся основные параметры и конструктивные схемы ТНА разработки КБХА, производится сравнение их основных параметров с параметрами ТНА, разработанных в России.

Ключевые слова: турбонасосный агрегат, дожигание, окислительный генераторный газ.

The article has entered in publishing office 06.03.2012. Ed. reg. № 020/12. УДК 621.165  
Referred: 11.03.2012. Expertise: 16.03.2012. Accepted: 21.03.2012

## Modern oxygen-kerosene oxidiser staged-combustion cycle engines turbopumps development

**A.I. Dmitrenko, A.V. Ivanov, A.G. Kravchenko,  
V.I. Momotov, A.A. Savin, V.A. Glebov**

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

Turbopump assemblies (TPAs) of the oxidiser staged combustion engines cycle developed in KBKhA are described in this paper. KBKhA has developed TPAs of РД0124 and РД0155 engines and TPAs of 11Д58МФ engine that is currently at manufacturing phase. The main feature of oxidiser staged combustion cycle LRPE TPAs is an increased tendency to turbine unit ignition when interacting with oxidation hot gas compared to other LRPE cycles. During designing, manufacturing and development of РД0124 and РД0155 TPAs there was obtained the experience, was worked out the development concept, were developed up-to-date analysis approaches and there was developed up-to-date test base. The experience obtained during development of РД0124 and РД0155 TPAs as well as 11Д58МФ TPA operation experience were considered at 11Д58М TPA development. The main parameters and design schematics of KBKhA's TPAs are listed in this paper. Also, it includes the comparison of their main parameters with ones of TPAs developed in Russia.

Keywords: turbopump assemblies, combustion, oxidiser staged.

### Введение

Создание современных жидкостных ракетных двигателей (ЖРД), работающих с дожиганием окислительного генераторного газа (ДОГГ), требует особого подхода к проектированию отдельных агрегатов двигателя.

Максимального эффекта при использовании данной схемы можно достичь при существенном повышении давления в камере сгорания и, следовательно, в других трактах: на выходе из насосов, в турбине. Неотъемлемой технической задачей при разработке «горячих» узлов и агрегатов двигателя является обеспечение стойкости конструкции к возгоранию в среде окислительного генераторного газа.

В КБХА двигатели с дожиганием генераторного газа разрабатывались, начиная с 1961 года. Это ЖРД для различных ракет-носителей (РН), работающие на компонентах топлива азотном тетроксиде и несимметричном диметилгидразине.

Двигатель РД0124 является первым кислородно-керосиновым ЖРД с ДОГГ, разработанным в КБХА.

В настоящей статье рассмотрены разработанные в КБХА турбонасосные агрегаты (ТНА) для ЖРД РД0124, РД0155 и 11Д58МФ.

Основные параметры данных ЖРД представлены в таблице 1 [1], [2].

В процессе создания ЖРД разработка ТНА требует самого длительного цикла работ на всех этапах создания двигателя: при проектировании, изготовлении и отработке.

Сложная конфигурация составных частей, большой перепад давления на входе и выходе из насосов, большой температурный перепад между турбинной и насосной частями ТНА, высокая частота вращения

ротора, тесная взаимосвязь условий работы агрегата с другими агрегатами двигателя являются причиной того, что доля дефектов по ТНА при отработке двигателя может составлять 50–70% от общего числа дефектов.

Сложность выявления и последующего устранения дефектов, возникающих в процессе отработки, заключается в том, что процессы, протекающие в ТНА, быстротечны. Процесс развития дефекта длится сотые доли секунды, за это время система аварийной защиты не всегда успевает сработать. В связи с этим создание ТНА современных ЖРД является сложной технической задачей.

Таблица 1. Основные параметры ЖРД с ДОГГ  
Table 1. SCOHG LPREs main parameters

Параметр	Индекс двигателя		
	РД0124	РД0155	11Д58МФ
Год разработки	с 1993	1999 - 2003	с 2010
Схема двигателя	ДОГГ		
Компоненты топлива	Кислород, керосин		
Тяга в пустоте, кН	294,3	882	49
Давление в камере сгорания, МПа	15,53	17,65	7,8
Удельный импульс тяги в пустоте, с	359	333	372
Время работы, с	300	220	1800
Число включений	1	1	7
Количество камер	4	2	1
Разработчик	КБХА	КБХА	РКК «Энергия»



### Анатолий Георгиевич Кравченко Anatoliy Georgievich Kravchenko

**Сведения об авторе:** ведущий конструктор – зам. начальника отдела турбонасосных агрегатов ОАО КБХА, заслуженный конструктор РФ.

**Область научных интересов:** турбонасосные агрегаты - проектирование, испытания, доводка.

**Публикации:** около 30 научных работ.

**Author's personal data:** Leading Designer – Deputy head of turbopump department of OSC «Konstruktorskoe Buro Khimavtomatiki». RF Honoured designer.

**Professional experience and field of researches:** turbopump - designing, testing, development. RF Honoured Designer.

**Publications:** about 30 scientific publications.

### Основные особенности конструкции ТНА ЖРД с дожиганием окислительного генераторного газа

Можно выделить важную особенность, присущую схеме двигателя с ДОГГ и влияющую на конструкцию ТНА. Наличие высокотемпературного генераторного газа с избытком окислителя значительно повышает склонность конструкции к возгоранию. Для обеспечения стойкости узла турбины к возгоранию необходимо вводить специальные конструктивные мероприятия [3].

При решении задачи обеспечения стойкости к возгоранию узла турбины необходимо учитывать ряд факторов, присущих современным ЖРД с дожиганием генераторного газа.

В турбонасосном агрегате турбина и кислородный насос представляют собой единый блок. Наличие высокотемпературного генераторного газа приводит к возникновению большого температурного перепада (до 800 К) между турбинной и насосной полостями и, как следствие, к большим термическим напряжениям и деформациям, оказывающим значительное влияние на ресурс турбины.

Следует также учитывать забросы температуры, возникающие на неустановившихся режимах работы двигателя. Разброс значений может достигать 100 К по отношению к среднemasсовой температуре потока. После останова двигателя из-за наличия теплотока от турбины к кислородному насосу создаются неблагоприятные условия для опор ротора кислородного насоса. Это требует тщательного захлаживания перед повторным запуском двигателя.

Колесо турбины располагается консольно по отношению к опорам ротора. Это приводит к возникновению на запуске, останове и переходных режимах несбалансированной осевой силы, действующей на ротор и, как следствие, на подшипники ТНА. Это требует либо специальных мероприятий по снижению скорости запуска, либо большого диапазона разгружающей способности автомата осевой разгрузки (АОР) ротора от действия осевых сил. В процессе создания ТНА в КБХА была сформирована концепция проектирования ТНА для двигателей с ДОГГ, включающая следующие основные особенности [4]:

- простота конструкции при минимальном количестве деталей;
- минимальное количество фланцевых разъемов;
- широкое использование литых заготовок;
- высокотемпературная газостатическая обработка литых заготовок;

- использование для изготовления высоконагруженных деталей заготовок, получаемых методами порошковой металлургии;

- использование в насосах уплотнений с полуподвижными кольцами;

- применение автоматов осевой разгрузки ротора с разгрузочным диском, совмещенным с основным диском крыльчатки;

- предварительное поджатие шарикоподшипников ротора тарельчатыми пружинами, обеспечивающими благоприятное распределение действующих осевых нагрузок, для уменьшения износа шарикоподшипников и обеспечения требуемого осевого положения роторов насосов на стоянке и в процессе запуска ТНА;

- высокочастотные испытания роторов в рабочем диапазоне вращения.

Все рассмотренные ТНА применяются совместно с бустерными агрегатами кислорода и, за исключением ТНА двигателя 11Д58МФ, бустерными агрегатами подачи керосина.

### Турбонасосный агрегат ЖРД РД0124

ЖРД РД0124 предназначен для использования в качестве двигателя третьей ступени РН «Союз–2» и второй ступени РН «Ангара». Двигатель разработан для замены ЖРД РД0110, двигателя третьей ступени РН семейства «Союз», имеет лучшие энергетические характеристики. Повышение энергетических характеристик двигателя РД0124 стало возможным благодаря его выполнению по схеме с ДОГГ. Ее использование позволило повысить удельный импульс тяги двигателя РД0124 по сравнению с ЖРД РД0110 на 33 с, что эквивалентно увеличению массы полезной нагрузки РН примерно на 950 кг. Двигатель прошел завершающие доводочные испытания, межведомственные испытания, и принят к серийному изготовлению. С 2006 г по настоящее время двигатель прошел 8 летних испытаний, из них 7 успешных (в том числе один пуск в составе РН «Союз–СТ» с космодрома «Куру» во Французской Гвиане).

ТНА (рис. 1) представляет собой единый блок, объединяющий одноступенчатый насос окислителя с осевой газовой турбиной и двухступенчатый насос горючего. Внешний вид ТНА представлен на рис. 2.

В качестве основных особенностей конструкции ТНА можно выделить следующее.

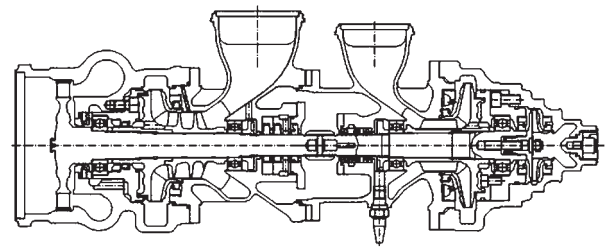
1. Насос окислителя выполнен единым блоком с турбиной. Турбина – осевая, одноступенчатая. В корпусе турбины выполнен безлопаточный направляющий

**Таблица 2. Основные параметры ТНА ЖРД РД0124**  
**Table 2. RD0124 LPREs turbopump main parameters**

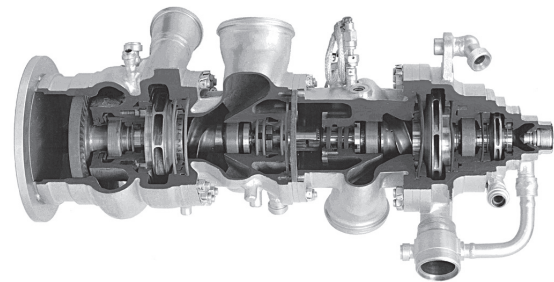
Наименование параметра	Значение параметра
Кислородный насос	
Давление на выходе, МПа	33,28
Расход через насос, кг/с	65,46
Керосиновый насос	
Давление на выходе из I ступени, МПа	36,56
Давление на выходе из II ступени, МПа	42,66
Расход через насос, кг/с	29,91
Турбина	
Температура газа на входе в турбину, К	727
Давление на входе в турбину, МПа	29,98
Давление на выходе из турбины, МПа	17,55
Расход через турбину, кг/с	59,85
Мощность турбины, кВт	6500
Частота вращения ротора, об/мин	39000

аппарат со спиральным подводом газа к рабочему колесу и осевой отвод рабочего тела. Для исключения возгорания элементов конструкции турбины корпус турбины и колесо турбины с валом изготавливаются из сплавов с высоким содержанием никеля.

2. В качестве уплотнений проточной части кислородного насоса применены щелевые уплотнения с полуподвижными кольцами. Уплотнение подобного типа отличается увеличенной силой прижатия кольца к торцу, обеспечиваемой осевым гидродинамическим усилием и усилием осевой пружины. Радиальный зазор в уплотнении данного типа такой же, как и в уплотнении с плавающим кольцом.



**Рис. 1. Конструктивная схема двигателя ТНА РД0124**  
**Fig. 1. RD0124 engine turbopump design schematic**



**Рис. 2. Внешний вид ТНА двигателя РД0124**  
**Fig. 2. RD0124 engine turbopump general view**

Недостатком уплотнения с плавающим кольцом является то, что на стоянке кольцо не зафиксировано от осевых перемещений, а при работе кольцо вследствие действия гидродинамического усилия вовлекается во вращение. Данные недостатки уплотнения устранены повышенным усилием прижатия кольца по торцу. Повышенная сила трения на торцевой поверхности и предварительное поджатие при сборке препятствует вращению кольца. В уплотнении используется вставка из серебряного сплава, соединяемая с несущей частью кольца при помощи газостатической пайки. Такое уплотнение было впервые применено и хорошо зарекомендовало себя в насосе кислорода ТНА ЖРД РД0120.

### **Владлен Иванович Момотов** **Vladlen Ivanovich Momotov**

**Сведения об авторе:** ведущий конструктор отдела турбонасосных агрегатов ОАО КБХА, профессиональный инженер России в номинации «Авиация и космонавтика» по результатам конкурса «Инженер года - 2004».



**Область научных интересов:** турбонасосные агрегаты - проектирование, испытания, доводка.

**Публикации:** 5 научных работ.

**Author's personal data:** Leading Designer of turbopump department of OSC «Konstruktorskoe Buro Khimavtomatikiy». Professional Russian Engineer in nomination «Aeronautics and astronautics» upon the contest results «Engineer of 2004».

**Professional experience and field of researches:** turbopump - designing, testing, development.

**Publications:** 5 scientific publications.

Для повышения стойкости конструкции кислородного насоса к возгоранию в среде жидкого кислорода на контактирующие поверхности роторных деталей (для исключения наклепа) наносится серебряное гальваническое покрытие.

3. Колесо турбины выполнено заодно с валом и изготавливается из никелевого сплава методом порошковой металлургии с последующим формированием проточной части методом электроэрозионной обработки. В результате получаются детали с высокой степенью сплошности, однородности и изотропности механических свойств материала. Получившиеся механические свойства такого материала превосходят свойства деформированного материала. Такая конструкция турбины повышает жесткость вала, уменьшает количество стыков, что благоприятно сказывается на динамических характеристиках ротора.

4. Корпуса и крыльчатки насосов горючего и окислителя изготавливаются высокоточным литьем с последующей высокотемпературной газостатической обработкой.

В дальнейшем данные технические решения применялись во всех ТНА, разработанных КБХА. Основные параметры ТНА ЖРД РД0124 приведены в таблице 2.

Насос окислителя – одноступенчатый, шнекоцентробежный. Для повышения антикавитационных качеств насоса на входе в крыльчатку установлен шнек.

Подшипники охлаждаются протоком компонента топлива: турбинный подшипник – кислородом, поступающим из полости высокого давления на выходе из крыльчатки, насосный подшипник – кислородом, поступающим из полости на входе в шнек.

Насос горючего – двухступенчатый, шнекоцентробежный. Подвод осуществляется с помощью кольцевого полуспирального подвода, отвод – улиточный с коническим диффузором. Перепуск части горючего на вторую (генераторную) ступень производится путем отбора на выходе из первой ступени, отвод горючего после второй ступени насоса улиточный. В качестве уплотнений проточной части насоса используются уплотнения с полуподвижными кольцами, изготовленными из бронзы.

Баланс осевых сил роторов насосов окислителя и горючего достигается выбором диаметров уплотнений крыльчаток ТНА. На переходных режимах неуравновешенная осевая сила компенсируется с помощью АОР. Разгрузка роторов насосов происходит независимо друг от друга. Автоматы располагаются

на основном диске крыльчатки насоса окислителя и на основном диске крыльчатки первой ступени насоса горючего. Такая конструкция АОР является традиционной для КБХА.

### Турбонасосный агрегат ЖРД РД0155

Двигатель РД0155 предназначался в качестве альтернативы ЖРД РД0120 при использовании его в качестве двигателя второй ступени РН «Зенит». Разработка ЖРД РД0155 была начата в конце 1999 г. и была осуществлена в короткие сроки. Двигатель изготавливался в ОАО «Красноярский машиностроительный завод», огневые испытания проводились на испытательных стендах КБХА. Было изготовлено 2 двигателя и проведено 3 испытания: в мае 2001 г., марте и апреле 2003 г.

Основные параметры ТНА представлены в таблице 3, упрощенная конструктивная схема ТНА ЖРД РД0155 представлена на рис. 3.

Компоновочное построение турбонасосного агрегата подобно ТНА РД0124 и диктуется свойствами компонентов топлива и схемой двигателя.

Турбонасосные агрегаты имеют одинаковое конструктивное исполнение части элементов конструкции. Это касается уплотнений проточной части насосов, разделительного уплотнения ТНА, схемы охлаждения подшипников насоса горючего и турбинного подшипника насоса окислителя, материалов и способов изготовления основных деталей ТНА.

Таблица 3. Основные параметры ТНА ЖРД РД0155

Table 3. RD0155 LPREs turbopump main parameters

Наименование параметра	Значение параметра
Кислородный насос	
Давление на выходе, МПа	40,74
Расход через насос, кг/с	230,13
Керосиновый насос	
Давление на выходе из I ступени, МПа	39,82
Давление на выходе из II ступени, МПа	52,13
Расход через насос, кг/с	92,4
Турбина	
Температура газа на входе в турбину, К	697
Давление на входе в турбину, МПа	36,93
Давление на выходе из турбины, МПа	19,89
Расход через турбину, кг/с	212,62
Мощность турбины, кВт	17947
Частота вращения ротора, об/мин	23421

При разработке конструкции насосной опоры кислородного насоса впервые в практике КБХА был применен лабиринтно-винтовой насос.

Это необходимо для увеличения давления в подшипнике, обеспечения его бескавитационной работы и улучшения режима охлаждения и смазки [5]. Кавитация и недостаточное охлаждение подшипников кислородного насоса могут привести к возгоранию и, как следствие, к аварии двигателя.

Лабиринтно-винтовой насос состоит из винта и втулки, на которых выполнены многозаходные нарезки, имеющие противоположную закрутку. Нарезки располагаются на втулке шнека и на ответной корпусной детали. Турбина – осевая, одноступенчатая. В корпусе турбины расположен безлопаточный направляющий аппарат. Для исключения возгорания элементов конструкции турбины корпус турбины и колесо турбины с валом были изготовлены из сплавов с высоким содержанием никеля. Корпус турбины выполнен частично охлаждаемым. Конструкция с охлаждением элементов турбины была впервые в практике КБХА выполнена в «металле», и дальнейшие испытания подтвердили ее работоспособность.

Работы по двигателю завершились в 2003 году.

### Турбонасосный агрегат ЖРД 11Д58МФ

Разработчиком ЖРД 11Д58МФ является ОАО «Ракетно-космическая корпорация «Энергия» им. С.П. Королева». Двигатель предназначен для использования в составе двигательной установки разгонного блока типа «ДМ» и является последовательной модернизацией ЖРД 11Д58 и 11Д58М.

К разработке ТНА было привлечено КБХА [6]. Выбор был обусловлен опытом КБХА в разработке ТНА для двигателей различного назначения. В процессе проектирования агрегатов подачи в КБХА

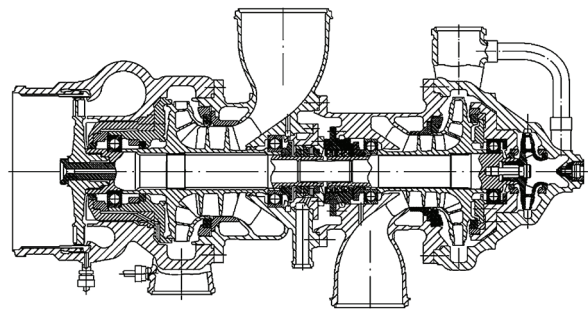


Рис. 3. Конструктивная схема ТНА двигателя РД0155  
Fig. 3. RD0155 engine turbopump design schematic

были разработаны современные методики расчетного анализа и проектирования ТНА. Также КБХА обладает современной испытательной базой для экспериментальной отработки отдельных составных частей ТНА. Конструктивная схема ТНА представлена на рис. 4, внешний вид на рис. 5. При разработке ТНА был использован опыт, полученный при проектировании и доводке ТНА двигателей РД0124 и РД0155, и опыт многолетней эксплуатации ТНА ЖРД 11Д58М. Основные параметры ТНА приведены в таблице 4.

Турбина – осевая, одноступенчатая. Отличительной особенностью турбины является ее высокая экономичность. Использование в конструкции турбины безлопаточного направляющего аппарата, традиционного для турбин разработки КБХА, не обеспечивало требуемую экономичность турбины.

Габаритные размеры узла турбины также не позволяли использовать лопаточный направляющий аппарат. Вследствие всего этого в корпусе турбины выполнен сопловой аппарат со сверленными цилиндрическими соплами, равномерно расположенными по окружности. Турбина имеет тангенциально-кольцевой подвод и осевой отвод рабочего тела.

Корпус турбины и колесо турбины с валом изготавливаются из сплавов с высоким содержанием никеля.



### Андрей Алексеевич Савин Andrei Alekseevich Savin

**Сведения об авторе:** ведущий конструктор отдела турбонасосных агрегатов ОАО КБХА.

**Область научных интересов:** турбонасосные агрегаты, энергоустановки, уплотнения проточной части.

**Публикации:** 3 научные работы.

**Author's personal data:** Leading Designer of turbopump department of OSC «Konstruktorskoe Buro Khimavtomatiki».

**Professional experience and field of researches:** turbopump, power plants, flow path seals. **Publications:** 3 scientific publications.

Для обеспечения стойкости конструкции турбины к возгоранию в среде окислительного генераторного газа использованы меры, хорошо зарекомендовавшие себя при разработке ТНА РД0124 и РД0155.

В насосе окислителя для обеспечения бескавитационной работы подшипника насосной опоры (аналогично конструкции опоры кислородного насоса ТНА ЖРД РД0155) применен лабиринтно-винтовой насос. В качестве уплотнений проточной части насоса применены уплотнения с полуподвижными кольцами с серебряными вставками. Для сохранения контакта шариков с дорожками качения в подшипниках независимо от положения ТНА на двигателе, а также для повышения долговечности шарикоподшипников использована конструкция опор с предварительной нагрузкой на подшипники с помощью осевых пружин, прижатых к наружным кольцам шарикоподшипников. Сейчас ТНА находится в стадии изготовления.

**Сравнение параметров ТНА, выполненных по схеме с дожиганием окислительного генераторного газа**

Проведем сравнение некоторых параметров ТНА ЖРД с ДОГГ. В качестве сравниваемых параметров примем:

- температуру генераторного газа. Это один из основных параметров, влияющих на надежность конструкции и ограничивающих энергетические возможности турбины;

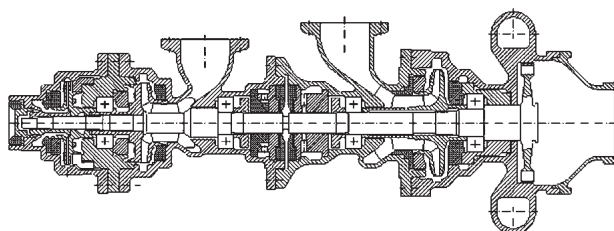


Рис. 4. Конструктивная схема ТНА двигателя 11Д58МФ

Fig. 4. 11D58MF engine turbopump design schematic

Таблица 4. Основные параметры ТНА ЖРД РД0124  
Table 4. 11D58MF LPREs turbopump main parameters

Наименование параметра	Значение параметра
Кислородный насос	
Давление на выходе, МПа	27
Керосиновый насос	
Давление на выходе из I ступени, МПа	10,8
Давление на выходе из II ступени, МПа	21,6
Турбина	
Температура газа на входе в турбину, К	673
Мощность турбины, кВт	591
Частота вращения ротора, об/мин	41100

- значения достигнутой быстроходности подшипников кислородного и керосинового насосов. Этот параметр показывает влияние центробежных сил на подшипник и определяет его долговечность;

- отношение мощности турбины к расходу генераторного газа через турбину. Данный параметр характеризует совершенство турбины;

- величину удельной мощности ТНА. Данный параметр характеризует массовое совершенство ТНА и показывает, какая мощность турбины приходится на единицу массы ТНА.

Значения параметров показаны на рис. 6. Для наглядного сравнения все параметры показаны в процентах от значений параметров ТНА ЖРД РД0124. Так, температура газа перед турбиной ТНА ЖРД

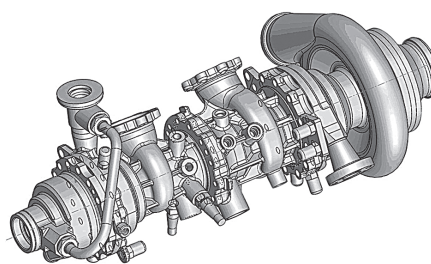


Рис. 5. Внешний вид ТНА двигателя 11Д58МФ

Fig. 5. 11D58MF engine turbopump general view

**Виталий Александрович Глебов  
Vitaliy Aleksandrovich Glebov**

**Сведения об авторе:** инженер-конструктор отдела турбонасосных агрегатов ОАО КБХА. **Область научных интересов:** турбонасосные агрегаты, торцевые уплотнения, уплотнения проточной части, лабиринтно-винтовые насосы

**Публикации:** 6 научных работ.

**Author's personal data:** design engineer of turbopump department of OSC KBKhA.

**Professional experience and field of researches:** turbopump, end seals, flow path seals, labyrinth-screw pumps. **Publications:** 6 scientific publications.



11Д58МФ является одной из самых низких среди двигателей, разработанных в России. Это наряду с конструктивными мероприятиями обеспечивает высокую стойкость турбины к возгоранию в среде окислительного генераторного газа. Уровень быстроходности подшипников насосов окислителя соответствует средним значениям в ряде сравниваемых ТНА. Максимальная быстроходность подшипников насоса окислителя ТНА ЖРД РД0155 составляет 89% от достигнутого предельного уровня быстроходности подшипника в отрасли (от величины быстроходности подшипника насоса окислителя ТНА ЖРД РД191).

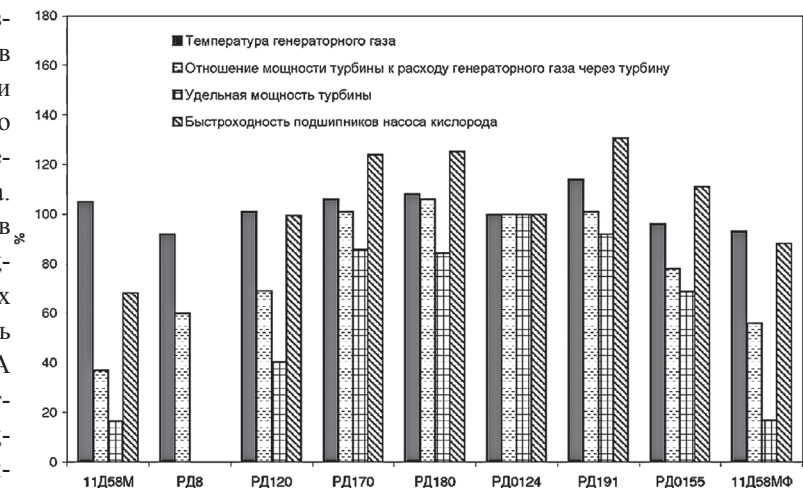


Рис. 6. Параметры ТНА. Fig.6. Turbopump parameters

### Заключение

В КБХА в последние десятилетия были разработаны ТНА для современных кислородно-керосиновых ЖРД с ДОГГ, которые находятся на уровне существующих аналогов. В процессе разработки, изготовления и последующей доводки в КБХА была сформирована концепция проектирования ТНА, разработаны современные расчетные методики, создана современная экспериментальная база. Технические решения, реализованные в турбонасосных агрегатах, подтвердились успешными стендовыми огневыми испытаниями двигателей и летными испытаниями ЖРД РД0124 в составе РН «Союз-2». При решении различных проблем, возникающих при разработке, изготовлении и доводке ТНА, специалисты КБХА получили опыт, позволяющий в дальнейшем создавать высокоэкономичные и надежные агрегаты питания.

### Список литературы

1. Ракетно-космическая корпорация «Энергия» имени С.П. Королева в первом десятилетии XXI века (2001–2010)// III том истории предприятия. Главный редактор Лопота В.А. 2011.
2. Бородин В.М., Гурин В.В., Козелков В.П., Кулеев А.А., Старов Ю.Н., Фукс И.И. Разработка семейства кислородно-керосиновых двигателей для верхних ступеней ракет-носителей и состояние их экспериментальной отработки // Научно-техн. юбилейный сборник. КБ химавтоматики. 2001.С. 88-91.
3. Дмитренко А.И., Петров В.И., Рачук В.С. Анализ склонности к возгораниям различных схем

турбонасосных агрегатов// Труды Российской научно-техн. конференции, посвященной 50-летию образования кафедры «Ракетные двигатели» ВГТУ. Ракетно-космическая техника и технология 2010. С. 18-26.

4. Дмитренко А.И., Иванов А.В., Рачук В.С. Главные турбонасосные агрегаты ЖРД без дожигания и с дожиганием// Труды Российской научно-техн. конференции, посв. 80-летию со дня рождения главного конструктора КБХА, профессора В.П. Козелкова. Ракетно-космическая техника и технология 2009. С. 6-11.
5. Глебов В.А., Демьяненко Ю.В., Иванов А.В. Применение лабиринтно-винтовых насосов для обеспечения бескавитационной работы подшипниковых опор кислородных насосов ТНА ЖРД// Труды Российской научно-техн. конференции, посвященной 85-летию со дня рождения ак. РАН А.Д. Конопатова. Ракетно-космическая техника и технология 2007. С. 55-60.

6. Дмитренко А.И., Иванов А.В., Савин А.А., Глебов В.А., Смоленцев А.А., Соколов Б.А., Тупицын Н.Н., Катков Р.Э. Турбонасосный агрегат многофункционального ракетного двигателя 11Д58МФ тягой 49 кН// Труды Российской научно-техн. конференции, посвященной 70-летию со дня основания КБХА. Ракетно-космическая техника и технология 2011. С. 24-31.

7. Чванов В.Н., Кашкаров А.М., Ромасенко Е.Н., Толстикова Л.А. Турбонасосные агрегаты ЖРД конструкции НПО Энергомаш// Конверсия в машиностроении. 2006. № 1. С. 15-21.
8. Жидкостные ракетные двигатели, двигательные установки, бортовые источники мощности, разработанные КБ двигательных установок ГП «КБ «Южное»// Под науч. редакцией акад. НАН Украины Конюхова С.Н., канд. техн. наук Шнякина В.Н. Днепрпетровск.: ГП «КБ «Южное». 2008.