

**ДВИГАТЕЛИ ДЛЯ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ БЕСПИЛОТНИКОВ:
ПРОШЛОЕ, НАСТОЯЩЕЕ И БУДУЩЕЕ**

© 2018

- А. Н. Черкасов** кандидат технических наук, доцент, начальник кафедры авиационных двигателей;
Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», г. Воронеж;
gliden@inbox.ru
- Д. С. Легконогих** кандидат технических наук, доцент кафедры авиационных двигателей;
Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», г. Воронеж;
stav-leg@mail.ru
- Ю. В. Зиненков** кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры авиационных двигателей;
Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», г. Воронеж;
yura2105@mail.ru
- С. Ю. Панов** доктор технических наук, профессор кафедры математики;
Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», г. Воронеж;
su-panov@yandex.ru

Приводится аналитический обзор ранее созданных, стоящих на вооружении и разрабатываемых двигателей для беспилотных летательных аппаратов военного назначения. Описано сегодняшнее состояние двигательного парка, современные проблемные вопросы разработки и производства отечественных двигателей. Показано, что на современных беспилотных летательных аппаратах военного назначения применяются самые разнообразные типы силовых установок, для которых приводятся основные их технические характеристики, конструктивно-компоновочные схемы. Раскрыты некоторые проекты по программе импортозамещения. Приводятся результаты работ, проводимых на кафедре авиационных двигателей «Военно-воздушной академии имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина». Обозначены критические технологии создания полноразмерных газотурбинных двигателей для сложного и дорогостоящего класса тяжёлых ударных беспилотных комплексов с взлётной массой более 10 000 кг, предназначенных для решения широкого спектра задач. На основе проведённого анализа существующих беспилотных комплексов сделаны выводы по выбору типа двигателя в зависимости от взлётной массы. Прогнозируются основные направления дальнейшего развития силовых установок для беспилотной авиации.

Беспилотный летательный аппарат; силовая установка; авиационный двигатель; технические характеристики; конструктивно-компоновочные схемы.

Цитирование: Черкасов А.Н., Легконогих Д.С., Зиненков Ю.В., Панов С.Ю. Двигатели для отечественных беспилотников: прошлое, настоящее и будущее // Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение. 2018. Т. 17, № 3. С. 127-137. DOI: 10.18287/2541-7533-2018-17-3-127-137

Введение

Каким бы ни был беспилотный летательный аппарат (БЛА) по целевому назначению, размерам, аэродинамической компоновке, его лётно-тактические характеристики (дальность и продолжительность, диапазон высот и скоростей полёта) во многом определяются эффективностью силовой установки. Именно поэтому при проектировании БЛА особое внимание уделяется выбору двигателя, и порой отсутствие такового ставит под угрозу создание всего беспилотного комплекса. Так, например, комплекс воздушной разведки «Типчак» не прошёл войсковые испытания и не был принят на вооруже-

ние только потому, что его двухтактный поршневой двигатель немецкого производства (мощностью 9,6 кВт) не соответствовал требованиям по уровню шума.

В известных источниках [1; 2], значительное внимание уделено вопросам классификации, разработки, компоновкам планеров (фюзеляжей) БЛА. Однако проблематика создания их силовых установок, особенно для БЛА военного назначения, рассмотрена достаточно узко. Поэтому целью настоящей статьи является проведение аналитического обзора ранее созданных, стоящих на вооружении и разрабатываемых двигателей для БЛА, позволяющего сделать прогноз на 10-15 лет о перспективах отечественного двигателестроения для беспилотной авиации.

История создания отечественных БЛА и их двигателей

В середине 1950-х годов в СССР под руководством С.А. Лавочкина был разработан прямоточный воздушно-реактивный двигатель РД-012У (рис. 1), предназначенный для сверхзвуковой двухступенчатой межконтинентальной крылатой ракеты наземного базирования «Буря». По программе полёта ракета на двигателях первой ступени стартует с пусковой установки вертикально, постепенно переходит в горизонтальный полёт и на высоте 17 500 м разгоняется до скорости, соответствующей числу Маха $M = 3$, при которой включается двигатель РД-012У маршевой ступени тягой 7 650 кгс и происходит разделение ступеней.



Рис. 1. Прямоточный воздушно-реактивный двигатель РД-012У

В 70-е годы ОКБ Туполева разработало для вооружённых сил СССР два, на тот момент уникальных по характеристикам, БЛА: Ту-141 «Стриж» (рис. 2, а) и Ту-143 «Рейс» (рис. 2, б).



Рис. 2. Разведывательные БЛА: а – «Стриж» (Ту-141); б – «Рейс» (Ту-143)

В состав силовой установки (СУ) Ту-141 входил короткоресурсный турбореактивный двигатель (ТРД) КР-17А. СУ Ту-143 имела ТРД ТРЗ-117, который создали в КБ Климова на базе вертолётного турбовального двигателя ТВЗ-117 путём исключения свободной турбины и замены выхлопного патрубка на нерегулируемое дозвуковое сопло (рис. 3).

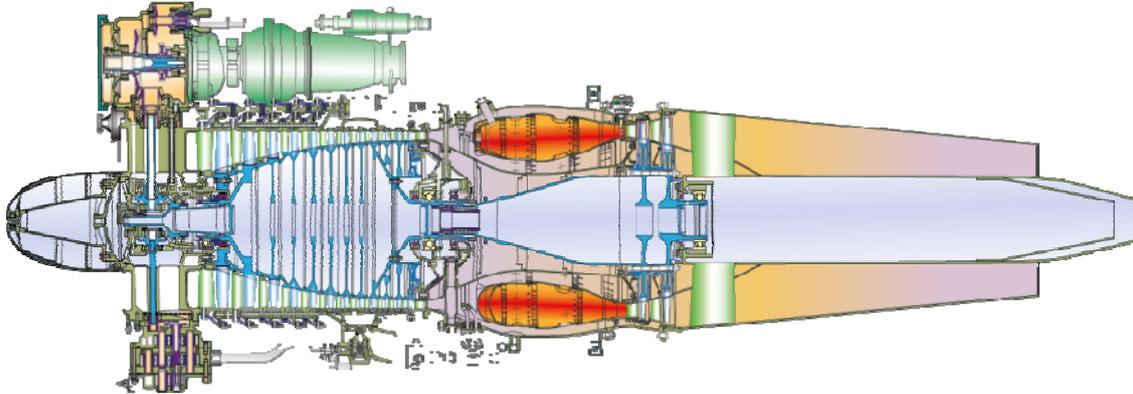


Рис. 3. Конструктивная схема ТРД ТРЗ-117

В начале 90-х ОКБ «Сокол» разработало БЛА-мишень многоразового использования «Дань» (рис. 4, а). Для СУ был взят двигатель МД-120 (рис. 4, б) многоразового использования, который стал последующей модификацией МД-45 с повышенной мощностью.



а



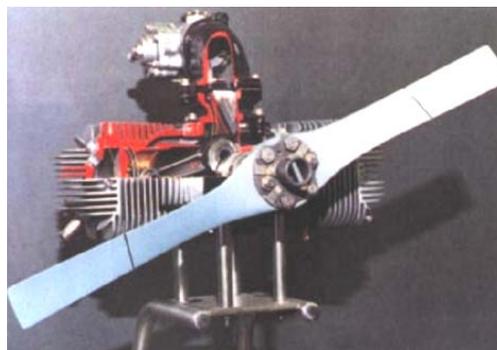
б

Рис. 4. Беспилотный летательный аппарат-мишень «Дань» с двигателем

В конце 90-х годов ОКБ им. А.С. Яковлева разработало оперативно-тактический разведывательный БЛА «Пчела-1Т» (рис. 5, а) с СУ на базе двухцилиндрового оппозитного двухтактного бензинового двигателя производства НПО «Труд» (г. Самара) П-032 (рис. 5, б). Данный двигатель для своего времени обладал конкурентными характеристиками и обеспечивал полёт БЛА на высоте до 3 000 м.



а



б

Рис. 5. Беспилотный летательный аппарат «Пчела-1Т» с двигателем:
а – внешний вид БЛА «Пчела-1Т»; б – двигатель П-032 с винтом

Закупка в Израиле двух типов БЛА «BirdEye 400» и «Searcher MkII» привела к созданию на их базе отечественных разведывательных комплексов «Застава» (рис. 6, а) и «Форпост» (рис. 6, б), которые в настоящее время стоят на вооружении. БЛА «Застава» имеет взлётную массу 5,5 кг, при этом его СУ оснащена импортными электрическим двигателем и аккумуляторной батареей. Взлётная масса БЛА «Форпост» составляет 130 кг и его СУ в составе имеет зарубежный поршневой двигатель мощностью 33 кВт.



Рис. 6. Разведывательные беспилотные летательные аппараты: а – «Форпост»; б – «Застава»

Современное состояние и перспективы беспилотных комплексов

По инициативе Министерства обороны, начиная с 2011 года в Вооруженных силах РФ проводится ряд научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по созданию комплексов с БЛА различного назначения: «Корсар» (рис. 7, а) с взлётной массой около 200 кг; «Иноходец» (рис. 7, б) с взлётной массой около 1000 кг и «Альтаир» (рис. 7, в) с взлётной массой около 5 000 кг.

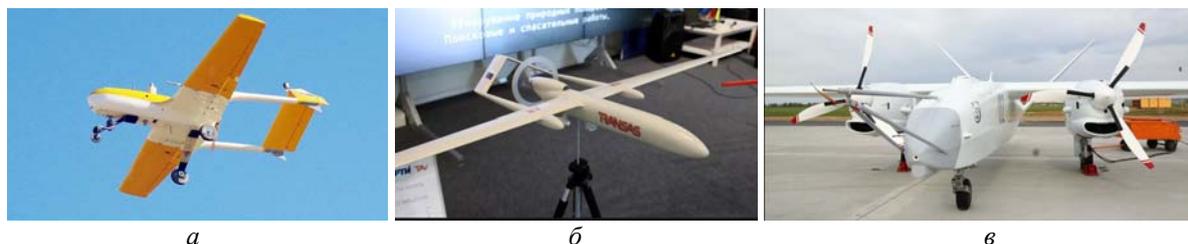


Рис. 7. Отечественные беспилотные летательные аппараты: а – «Корсар»; б – «Иноходец»; в – «Альтаир»

Каждый из представленных беспилотников в составе своей СУ имеет поршневой двигатель иностранного производства: «Корсар» – бензиновый Zanzoterra 498 мощностью около 36,8 кВт производства Италии; «Иноходец» – бензиновый Rotax 912 IS мощностью около 66 кВт производства Австрии; «Альтаир» – два немецких турбодвигателя RED A03 мощностью около 368 кВт.

В последние годы в Центральном институте авиационного моторостроения им. П.И. Баранова (ЦИАМ) ведётся комплекс работ по разработке, созданию и модернизации авиадвигателей. Разработан БЛА ЦИАМ-Рекорд (рис. 8, а), совершивший первый полёт в 2014 г. Он имеет в своём составе гибридную СУ на твёрдополимерном топливном элементе (рис. 8, б), впервые созданном в нашей стране, при этом воздушный винт приводится электродвигателем (рис. 8, в) иностранного производства.

В ЦИАМ создан демонстрационный унифицированный газогенератор, на базе которого разрабатывается линейка двигателей: ТРД, турбореактивные двухконтурные двигатели (ТРДД), турбовинтовые двигатели (ТВД) и турбовальные двигатели (ТВад). Среди этой линейки рассматривается вариант ТРДД-300 (рис. 9, б) с тягой 295 кгс для перспективного лёгкого ударного БЛА (рис. 9, а). Проводимые испытания обещают обнадеживающие перспективы этого проекта [3].

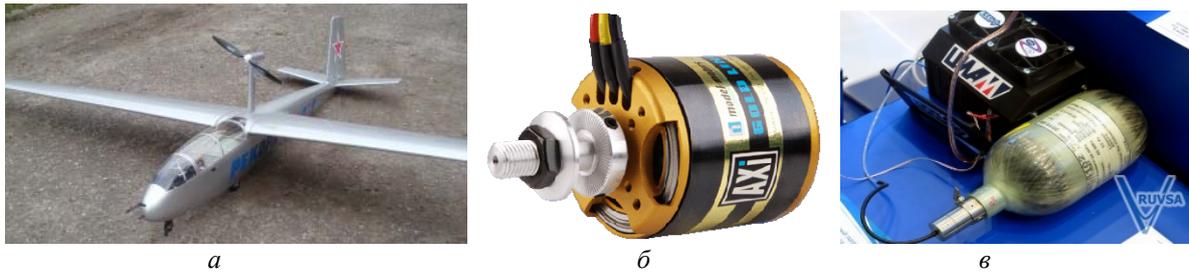


Рис. 8. Беспилотный летательный аппарат ЦИАМ-Рекорд:
 а – внешний вид; б – электродвигатель; в – твёрдополимерная топливная батарея

ОАО «Научно-производственное предприятие «Аэросила» уже многие годы создаёт для самолётов вспомогательные силовые установки. В настоящее время в рамках программы импортозамещения разрабатывается семейство перспективных малоразмерных турбовальных газотурбинных двигателей (ГТД) в классе мощностей от 200 до 1 200 кВт.

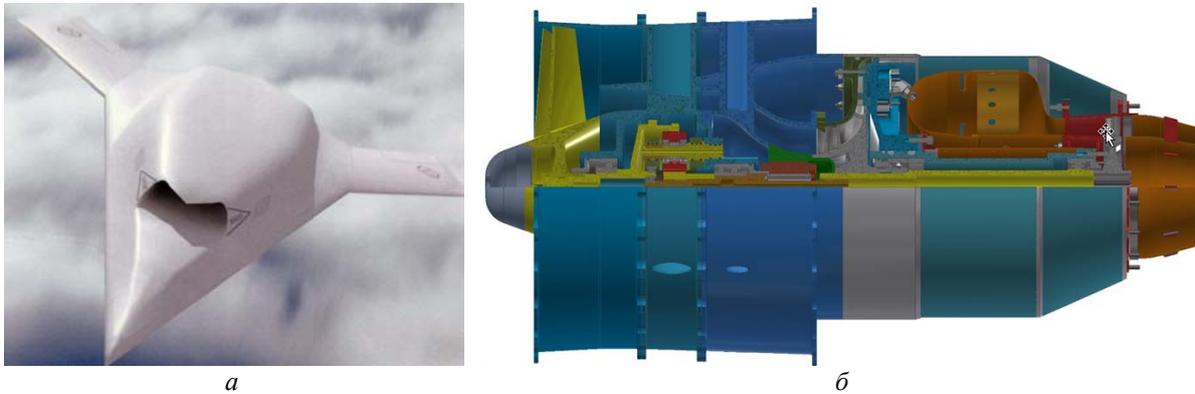


Рис. 9. Перспективный ударный беспилотный летательный аппарат:
 а – внешний вид; б – ТРДД-300

На рис. 10 представлена конструктивно-компоновочная схема турбовального ГТД-250 «Роллер», который предназначен для установки на перспективные БЛА вертолётного типа в качестве маршевого двигателя [4].

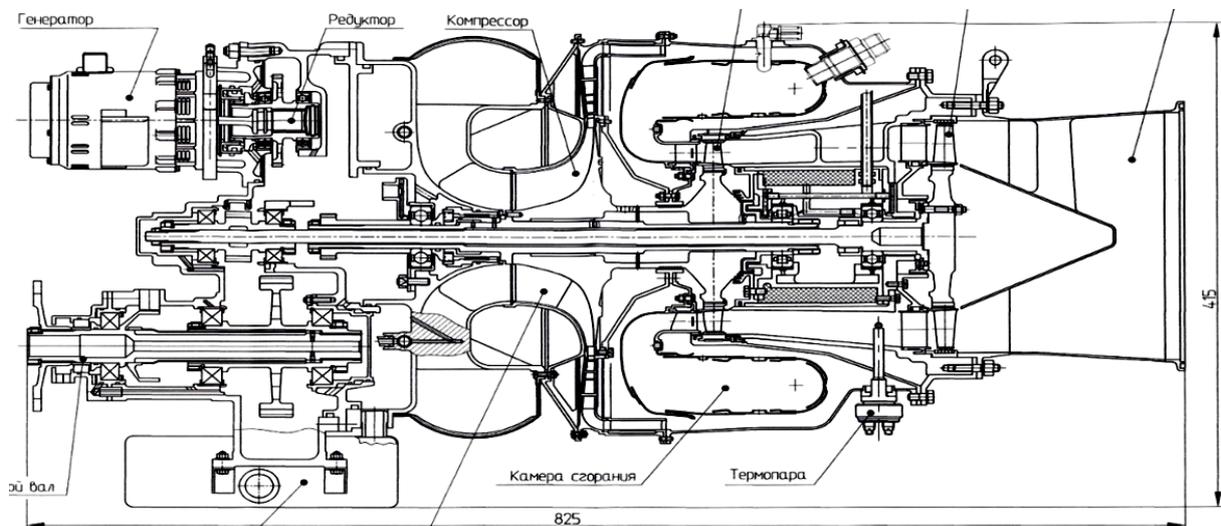
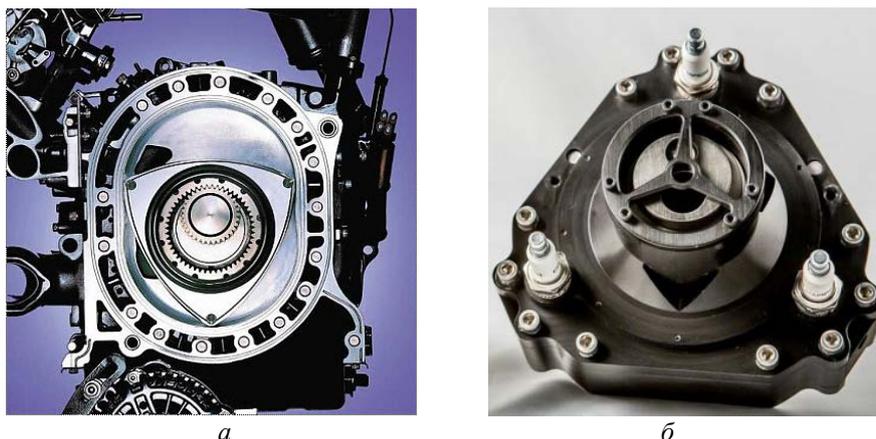


Рис. 10. Конструктивно-компоновочная схема турбовального ГТД-250 «Роллер»

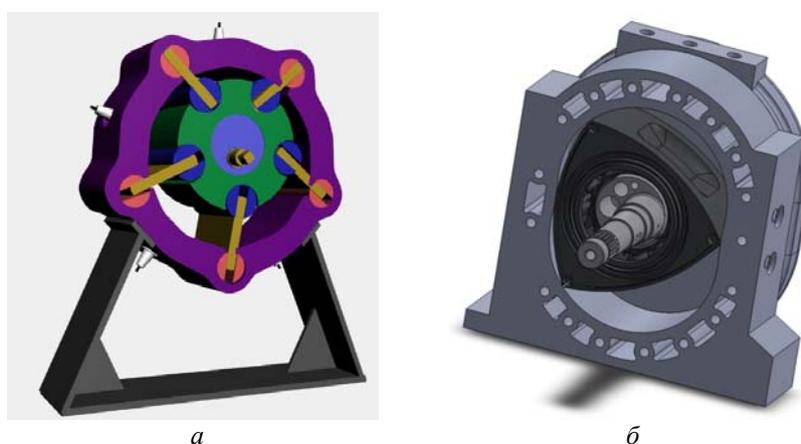
Роторные и роторно-поршневые двигатели (РПД) можно считать перспективными для применения в беспилотной авиации в классе мощности от 100 до 300 кВт, так как они обладают рядом преимуществ по сравнению с традиционными поршневыми двигателями: значительно меньшими габаритами, массой, количеством деталей, уровнем вибрации и шума, низким удельным расходом топлива. При этом наибольшее практическое применение нашли роторные двигатели Ванкеля (рис. 11).

Известен малоразмерный РПД X-Mini, работающий практически без вибрации и тише, чем аналогичные установки (рис. 11, б). Его объём составляет всего 70 см³, а мощность достигает 2,6 кВт при 10 000 об/мин. После множества циклов оптимизации и доработок конструкции инженерам удалось устранить и повышенный расход масла.



*Рис. 11. Роторные двигатели Ванкеля:
а – разрез роторного двигателя; б – двигатель X-Mini*

Разработка и создание РПД является перспективным направлением, поэтому в ряде зарубежных и отечественных организаций этому вопросу уделяется повышенное внимание и есть некоторые успешные решения. На рис. 12, а приведена трёхмерная модель роторного двигателя орбитального типа, работа над которым ведётся на кафедре авиационных двигателей ВУНЦ ВВС «ВВА», а на рис. 12, б – трёхмерная модель РПД, разрабатываемого в ЦИАМ. В настоящее время есть опытный образец мощностью 73,5 кВт, который проходит испытания [5].



*Рис. 12. Трёхмерные модели роторных двигателей:
а – разработка ВУНЦ ВВС; б – разработка ЦИАМ*

На малоразмерных скоростных БЛА находят применение микроТРД, с конструктивной точки зрения имеющие простейшее устройство: одноступенчатый центробежный компрессор, испарительную камеру сгорания, одноступенчатую осевую газовую турбину (рис. 13, а). Ввиду малых размеров такие двигатели не имеют сложной и эффективной системы автоматического управления с элементами регулирования и поэтому обладают достаточно скромными удельными параметрами, низким запасом газодинамической устойчивости компрессора и срывными характеристиками камеры сгорания (рис. 13, б).



Рис. 13. МикроТРД:
а – модель двигателя; б – неустановившийся режим работы (запуск)

На беспилотных самолётах-мишенях E95, E2 и E08 фирмы «Эникс» применяется пульсирующий воздушно-реактивный двигатель M135 (рис. 14) тягой 20 кгс, использующий в качестве топлива бензин [6].



Рис. 14. Самолёт-мишень
с пульсирующим воздушно-реактивным двигателем M135

Самый сложный и дорогостоящий класс БЛА – это тяжёлые аппараты с взлётной массой более 10 000 кг, предназначенные для решения широкого спектра задач, в том числе стратегических.

Подобным примером может служить перспективный отечественный ударный беспилотный комплекс «Охотник», разрабатываемый ПАО «Компания Сухой». При его создании использован задел, накопленный в РСК «МиГ» при разработке БЛА «Скат», СУ которого предполагалось оснащать двигателем РД-5000Б тягой 5040 кгс (бесфорсажный вариант двухконтурного форсажного ТРД РД-33).

Для реализации требований к таким БЛА необходимо создавать эффективные ТРД нового поколения, аналогичные применяемым на боевых пилотируемых самолётах. На рис. 15 представлены основные критические технологии, требующие разработки и внедрения на перспективных двигателях.

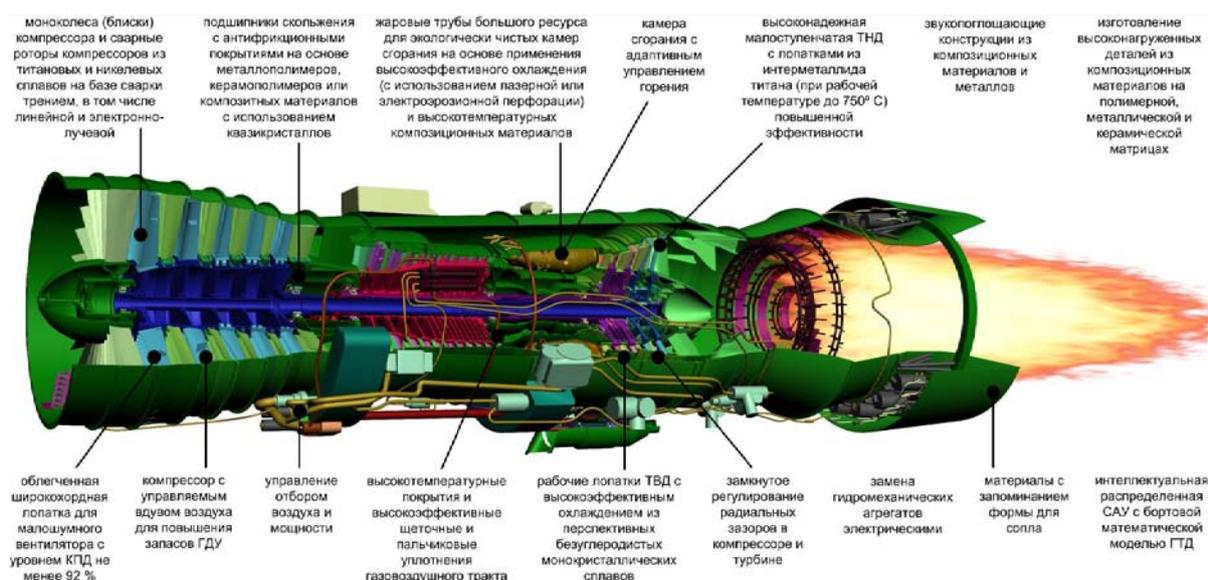


Рис. 15. Критические технологии создания перспективных двигателей для ударных БЛА

Воздушно-космическим силам России для решения разведывательных задач на стратегическом уровне необходим также высотный БЛА большой дальности полёта. На кафедре авиационных двигателей ВУНЦ ВВС «ВВА» решена задача по формированию предварительного технического облика СУ перспективного высотного БЛА военного назначения. Получен обширный банк характеристик, определены тип, схема и размерность двигателя, способного удовлетворить противоречивым требованиям к СУ по экономичности, заметности, уровню шума и т.д.

На рис. 16 представлена конструктивно-компоновочная схема двигателя, который в результате решения многокритериальной задачи оптимизации определён как двухконтурный турбореактивный двигатель со смешением потоков контуров за турбиной, с большой степенью двухконтурности и с тягой 34 кН [7].

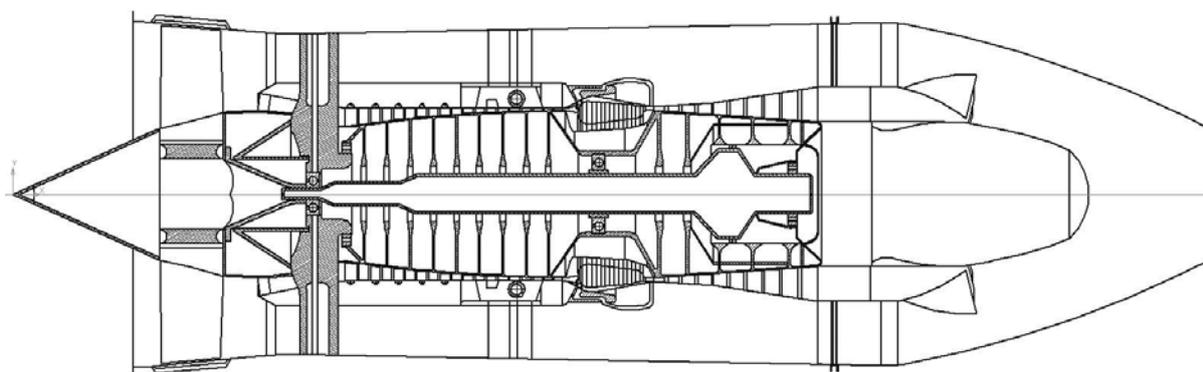


Рис. 16. Конструктивно-компоновочная схема двигателя для высотного БЛА

Заключение

Анализ существующих беспилотных комплексов позволяет сделать вывод, что критерии выбора типа двигателя заключаются в следующем:

- электрические двигатели применяются преимущественно на микро (масса до 1 кг), сверхлёгких (масса до 30 кг) и лёгких БЛА (масса до 200 кг), летающих на относительно небольших высотах и дозвуковых скоростях;

- поршневые двигатели применяются на лёгких, средних (масса 200 – 1000 кг) и реже на тяжёлых (масса более 1000 кг) БЛА с большими (по сравнению с используемой электрической силовой установкой) дозвуковыми скоростями и высотами полёта. При этом до мощности 150 кВт преимущество за бензиновыми двигателями, а при большей мощности эффективнее использовать турбодизели либо турбокомпаундные дизели. При требуемой мощности более 500 кВт поршневые двигатели начинают уступать ГТД по удельной массе;

- ГТД применяются на средних и тяжёлых БЛА, имеющих широкий диапазон высот и скоростей (в том числе сверхзвуковую, а в перспективе и гиперзвуковую).

По прогнозам научно-исследовательских организаций отрасли дальнейшее развитие авиационных двигателей для БЛА определяется:

к 2025 г. – создание типоразмера ГТД малой и сверхмалой размерности;

2030 г. – создание гибридных СУ на базе топливных элементов;

2035 г. – создание нетрадиционных типов СУ, использующих новые виды энергии.

Библиографический список

1. Афанасьев П.П., Веркин Ю.В., Голубев И.С., Голубков Е.П., Гусейнов А.Б., Дьяконов Д.А., Кузин С.К., Куличенко В.Ф., Матвеев А.М., Парафесь С.Г., Ташкеев Л.Л., Туркин И.К., Янкевич Ю.И. Основы устройства, проектирования, конструирования и производства летательных аппаратов (дистанционно-пилотируемые летательные аппараты). М.: МАИ, 2006. 528 с.

2. Иванов М.С., Аганесов А.В., Крылов А.А. и др. Беспилотные летательные аппараты: справочное пособие. Воронеж: Научная книга, 2015. 619 с.

3. Бабкин В.И., Скибин В.А., Солонин В.И. Вклад ЦИАМ в инновационное развитие авиационного двигателестроения // Двигатель. 2012. № 1 (79). С. 4-7.

4. Ломазов В.С., Осипов И.В. Малоразмерный редукторный ТРДД – альтернатива малоразмерным ГТД с винтовым движителем для малой авиации и беспилотных ЛА // Сборник тезисов «Международный форум двигателестроения. Научно-технический конгресс по двигателестроению (НТКД-2018)». Т. 1. М.: Ваш Успех, 2018. С. 45-46.

5. Костюченков А.Н., Зеленцов А.А., Семенов П.В., Минин В.П. Разработка односекционного роторно-поршневого двигателя-демонстратора на основе современной комплексной методики расчёта // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета имени академика С.П. Королёва (национального исследовательского университета). 2014. № 5 (47), ч. 2. С. 173-181. DOI: 10.18287/1998-6629-2014-0-5-2(47)-173-181

6. АО «ЭНИКС». www.enics.ru.

7. Зиненков Ю.В., Луковников А.В., Слинко М.Б. Методика формирования технического облика и оценки эффективности силовой установки высотного беспилотного летательного аппарата // Полёт. Общероссийский научно-технический журнал. 2016. № 2-3. С. 66-80.

ENGINES FOR DOMESTIC DRONES: PAST, PRESENT AND FUTURE

© 2018

- A. N. Cherkasov** Candidate of Science (Engineering), Associate Professor, Head of the Department of Aircraft Engines; Military Educational and Scientific Center of the Air Force Academy named after Professor N.E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin, Voronezh, Russian Federation; gliden@inbox.ru
- D. S. Legkonogikh** Candidate of Science (Engineering), Associate Professor of the Department of Aircraft Engines; Military Educational and Scientific Center of the Air Force Academy named after Professor N.E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin, Voronezh, Russian Federation; stav-leg@mail.ru
- Yu. V. Zinenkov** Candidate of Science (Engineering), Senior Lecturer of the Department of Aircraft Engines; Military Educational and Scientific Center of the Air Force Academy named after Professor N.E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin, Voronezh, Russian Federation yura2105@mail.ru
- S. Yu. Panov** Doctor of Science (Engineering), Professor of the Department of Mathematics; Military Educational and Scientific Center of the Air Force Academy named after Professor N.E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin, Voronezh, Russian Federation su-panov@yandex.ru

The article provides an analytical overview of previously created engines, those in operational service and engines being developed for unmanned military-purpose aerial vehicles. The current state of the engine fleet, modern problems of development and production of domestic engines are described. It is shown that modern unmanned military-purpose aerial vehicles use a variety of types of power plants, for which their main technical characteristics, design and layout schemes are given. Some projects carried out under the program of import substitution are disclosed. The results of work conducted at the Department of Aircraft Engines of the Air Force Academy named after Professor N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin are presented. The article outlines critical technologies for creating full-size gas turbine engines for the most complex and expensive class of heavy unmanned combat air vehicles with a take-off weight of more than 10 tons, designed to solve a wide range of tasks, including strategic ones. On the basis of the analysis of the existing unmanned systems conclusions were drawn as to the choice of the type of engine depending on their take-off weight. The basic directions of further development of power plants for one of the most dynamically developing branches of aviation – unmanned air vehicles - were forecast.

Unmanned aerial vehicle; power plant; aircraft engine; technical performance; design-layout schemes.

Citation: Cherkasov A.N., Legkonogikh D.S., Zinenkov Yu.V., Panov S.Yu. Engines for domestic drones: past, present and future. *Vestnik of Samara University. Aerospace and Mechanical Engineering*. 2018. V. 17, no. 3. P. 127-137. DOI: 10.18287/2541-7533-2018-17-3-127-137

References

1. Afanas'ev P.P., Verkin Yu.V., Golubev I.S., Golubkov E.P., Guseynov A.B., D'yakonov D.A., Kuzin S.K., Kulichenko V.F., Matveenkov A.M., Parafes' S.G., Tashkeev L.L., Turkin I.K., Yankevich Yu.I. *Osnovy ustroystva, proektirovaniya, konstruirovaniya i proizvodstva letatel'nykh apparatov (distantcionno-pilotiruemye letatel'nye apparaty)* [Basics of aircraft structure, design and manufacture (remotely piloted aerial vehicles)]. Moscow: Moscow Aviation Institute Publ., 2008. 528 p.
2. Ivanov M.S., Aganesov A.V., Krylov A.A. et al. *Bespilotnye letatel'nye apparaty: spravochnoe posobie* [Unmanned aerial vehicles: Reference book]. Voronezh: Nauchnaya Kniga Publ., 2015. 616 p.

3. Babkin V.I, Skibin V.A, Solonin V.I. Contribution CIAM to innovative development aviation engine-building. *Dvigatel'*. 2012. No. 1 (79). P. 4-7. (In Russ.)
4. Lomazov V.S., Osipov I.V. Malorazmernyy reduktorny TRDD – al'ternativa malorazmernym GTD s vintovym dvizhitelem dlya maloy aviatsii i bespilotnykh LA. *Sbornik tezisev «Mezhdunarodnyy forum Dvigatelestroeniya. Nauchno-tekhnicheskiy congress po dvigatelestroeniyu (NTKD-2018)»*. V. 1. Moscow: Vash Uspekhl Publ., 2018. P. 45-46. (In Russ.)
5. Kostyuchenkov A.N., Zelentsov A.A., Semenov P.V., Minin V.P. Development of a single-section demonstrator rotary engine on the basis of a modern complex design procedure. *Vestnik of the Samara State Aerospace University*. 2014. No. 5 (47), part 2. P. 173-181. DOI: 10.18287/1998-6629-2014-0-5-2(47)-173-181. (In Russ.)
6. Joint-stock company «ENICS». www.enics.ru.
7. Zinenkov Yu.V., Lukovnikov A.V., Slinko M.B. Technical shape formation and of estimation of effectiveness of power plant of high-altitude unmanned aerial vehicle. *Polyot. All-Russian Scientific-Technical Journal*. 2016. No. 2-3. P. 66-80. (In Russ.)