

## ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ



УДК 629.7.03

### Авиационные газотурбинные двигатели: конструкции и системы проверок

Итхави Хуссейн Раад Махмуд, А.С. Решенкин

Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

#### Аннотация

Развитие авиационной отрасли в России является одним из приоритетных направлений государственной политики. Ключевым вопросом в рамках этого развития становится поддержание летной годности воздушных судов и их компонентов. Среди всех элементов воздушного судна наиболее сложным и критически важным является двигатель. В настоящее время применяются разнообразные системы строго регламентированных проверок технического состояния этих двигателей. Цель данной работы заключается в анализе конструкций, используемых сегодня в авиационных газотурбинных двигателях, а также в выработке рекомендаций по оперативному внесению изменений в системы проверок, с учетом последних достижений в науке и технике.

**Ключевые слова:** авиационные двигатели, конструктивные особенности, поддержание летной годности

**Для цитирования.** Итхави Хуссейн Раад Махмуд, Решенкин А.С. Авиационные газотурбинные двигатели: конструкции и системы проверок. *Молодой исследователь Дона*. 2025;10(3):26–31.

### Aircraft Gas Turbine Engines: Designs and Inspection Systems

Itkhavi Hussain Raad Mahmoud, Andrey S. Reshenkin

Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation

#### Abstract

In Russia, development of the aviation industry is one of the state policy priorities. With this regard, maintaining the airworthiness of aircrafts and their parts is becoming a key issue. An engine is the most complex and critically important part of an aircraft. At present, various systems of strictly regulated inspections of engine technical condition are being applied. The aim of the present research is to analyse the existing designs of the aircraft gas turbine engines and develop recommendations for prompt implementation of changes into the inspection systems, taking into account the latest achievements in science and technology.

**Keywords:** aircraft engine, design features, maintaining the airworthiness

**For Citation.** Mahmoud IHR, Reshenkin AS. Aircraft Gas Turbine Engines: Designs and Inspection Systems. *Young Researcher of Don*. 2025;10(3):26–31.

**Введение.** Поддержание летной годности воздушных судов представляет собой важнейшую задачу, от которой зависит безопасность полетов всех воздушных судов. Своевременное выявление отклонений в работе компонентов и систем воздушных судов позволяет предотвратить катастрофические последствия, которые могут возникнуть в процессе эксплуатации. Наиболее сложным и ответственной частью воздушного судна считается его двигатель. Исследование основных конструкций двигателей, применяемых в настоящее время, а также организация их проверок, позволяет выработать рекомендации по совершенствованию методов технического обслуживания в соответствии с последними достижениями в науке и технике.

**Основная часть.** Важной особенностью газотурбинного двигателя является то, что для каждой функции предусмотрены отдельные секции, и все функции выполняются одновременно, без перерывов. Типичный газотурбинный двигатель включает в себя несколько ключевых секций: воздухозаборник, компрессорную секцию, секцию сгорания, секцию турбины, выхлопную секцию, секцию принадлежностей, а также системы, необходимые для запуска, смазки, подачи топлива и вспомогательных целей, таких как противообледенение, охлаждение и нагнетание давления.

Основные компоненты всех газотурбинных двигателей в целом остаются одинаковыми, однако наименование составных частей различных двигателей может немного различаться из-за различий в терминологии, принятой у каждого производителя. Эти различия подробно описаны в соответствующих руководствах по техническому обслуживанию. Одним из важнейших факторов, влияющих на конструктивные особенности газотурбинного двигателя, является тип компрессора или компрессоров, для которых он предназначен.

Газотурбинные авиационные двигатели классифицируются в зависимости от типа используемых в них компрессоров. В настоящее время используются три основных типа компрессоров: центробежные, осевые и центробежно-осевые. В центробежном компрессоре входящий воздух сжимается за счет его ускорения в направлении, перпендикулярном продольной оси двигателя. В осевом компрессоре сжатие воздуха осуществляется за счет взаимодействия вращающихся и неподвижных лопаток сложной конфигурации, подталкивающих воздух в продольном направлении. Центробежно-осевой компрессор представляет собой комбинацию двух предыдущих типов.

Способ выработки энергии и направление потока воздуха определяют конкретный тип двигателя. В настоящее время выделяют четыре основных типа газотурбинных двигателей: турбореактивные, турбовентиляторные, турбовинтовые и турбовальные. Термин «турбореактивный двигатель» изначально использовался для описания любого газотурбинного двигателя, применяемого в воздушных судах. Однако с развитием новых технологий были разработаны другие типы двигателей, ставшие альтернативой классическому турбореактивному двигателю. Впервые турбореактивный двигатель (рис. 1) был сконструирован в Германии и Англии перед Второй мировой войной, и по своей сути он является самым простым из всех реактивных двигателей.

Конструкция турбореактивного двигателя включает в себя компрессор, камеру сгорания, турбину и выхлопное сопло. Работа такого двигателя осуществляется следующим образом: входящий воздух поступает в осевой компрессор, где он сжимается и подается в камеру сгорания с высокой скоростью. В камере сгорания воздух смешивается с поступающим топливом и воспламеняется. Расширяющийся при сгорании воздух выбрасывается из камеры сгорания, запуская турбину, которая соединена валом с компрессором, тем самым обеспечивая работу двигателя. Тяга создается за счет выбрасывания выхлопных газов через сопло.

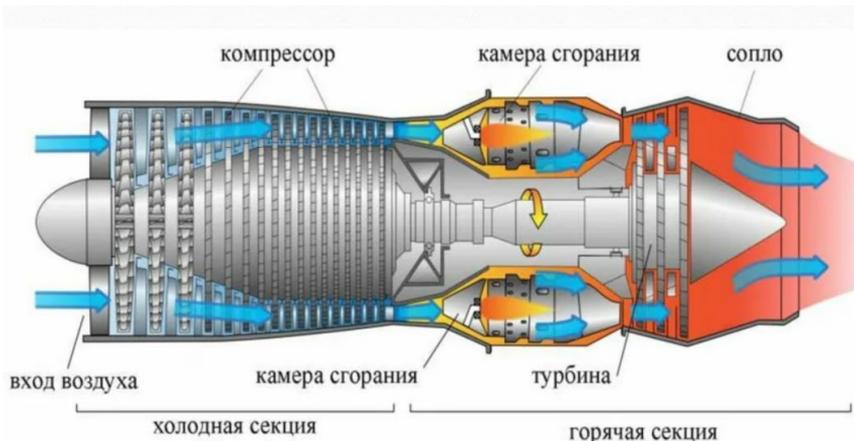


Рис. 1. Турбореактивный двигатель [1]

К преимуществам турбореактивного двигателя можно отнести относительную простоту конструкции, способность развивать очень высокие скорости и компактные размеры. Однако у этого типа двигателя есть и недостатки: высокий расход топлива, шумность в процессе работы, низкая производительность на невысоких скоростях, ограниченный радиус действия и выносливость.

В период с 1939 по 1942 год венгерский конструктор Дьёрдь Джендрашик разработал первый турбовинтовой двигатель. Тем не менее, эта разработка не была внедрена в реальный самолет до тех пор, пока компания Rolls Royce не модернизировала Derwint II в RB50 Trent, который впервые поднялся в воздух 20 сентября 1945 года как обновленный турбовинтовой реактивный двигатель.

Турбовинтовой двигатель представляет собой комбинацию газотурбинного двигателя, редуктора и воздушного винта (рис. 2). Турбовинтовые двигатели действуют по тому же принципу, что и газотурбинные, но дополнительно оснащены несколькими ступенями отбора энергии для привода воздушного винта (пропеллера). При работе такого двигателя выхлопные газы воздействуют на силовую турбину, соединенную с валом, что, в свою очередь, приводит в движение редуктор. Редуктор предназначен для снижения оборотов двигателя, чтобы оптимизировать производительность воздушного винта, так как обороты винта значительно меньше, чем рабочие обороты самого двигателя.

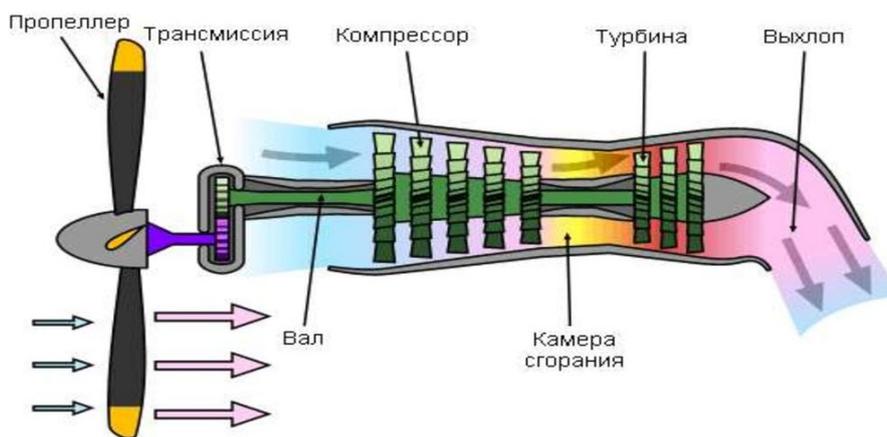


Рис. 2. Турбовинтовой двигатель [2]

Наивысшая эффективность турбовинтовых двигателей достигается на скоростях от 400 до 640 км/ч и на высотах от 5 500 до 9 000 метров. Эти двигатели хорошо справляются с низкими скоростями, необходимыми для взлета и посадки, и отличаются экономичностью. Примерно 85% энергии, вырабатываемой турбовинтовым двигателем, используется для вращения воздушного винта, в то время как остальная часть энергии отводится через выхлопное сопло в виде тяги. Существует два основных типа турбовинтовых двигателей: с фиксированной турбиной и со свободной турбиной. Турбовинтовой двигатель с фиксированной турбиной имеет механическую связь между газотурбинным двигателем и редуктором с воздушным винтом, в то время как в двигателе со свободной турбиной связь осуществляется лишь по воздуху. Механической связи между воздушным винтом и двигателем нет.

Обычные газотурбинные и турбовинтовые двигатели незначительно различаются лишь конструктивными особенностями. Конструкция турбовинтового двигателя включает в себя силовую секцию в сборе — основные компоненты газотурбинного двигателя (компрессор, камеру сгорания, турбину и выхлопное сопло), редуктор или коробку передач в сборе — элементы, специфичные только для турбовинтовых конфигураций, муфту крутящего момента, передающую крутящий момент от двигателя к редуктору, и корпус привода вспомогательных механизмов, установленный на нижней части корпуса воздухозаборника компрессора и включающий необходимые зубчатые передачи для приведения в действие всех вспомогательных механизмов силовой установки с соответствующими оборотами в зависимости от оборотов двигателя.

Преимущества турбовинтового двигателя заключаются в его экономичном расходе топлива и высокой эффективности на средних скоростях и высотах, в то время как недостатками являются ограниченные скорости полета, тяжелые зубчатые системы и вероятность их поломки. Турбовентиляторные двигатели представляют собой сочетание лучших характеристик турбореактивных и турбовинтовых двигателей (рисунок 3). В таких двигателях создается дополнительная тяга за счет отвода части воздушного потока через второй контур, минуя камеру сгорания.

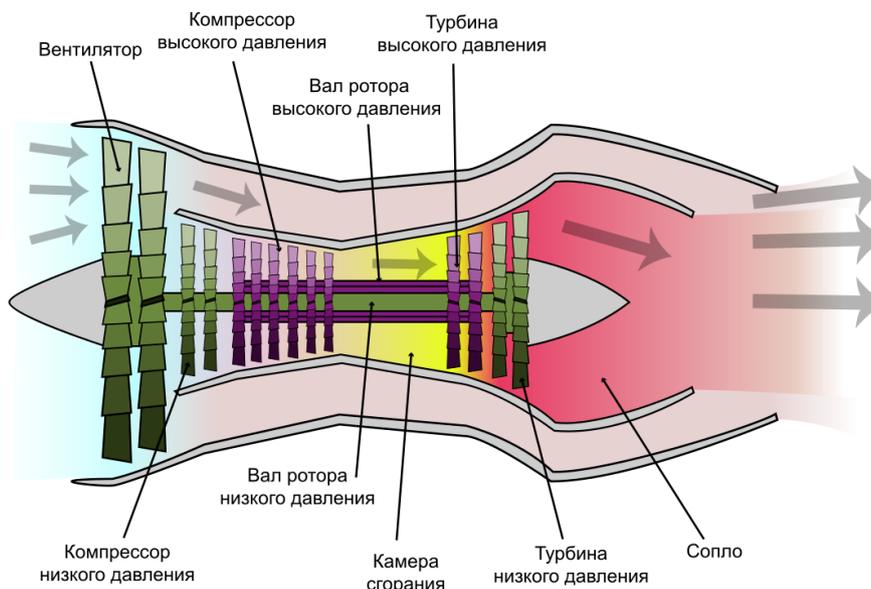


Рис. 3. Турбовентиляторный двигатель [3]

Турбовентиляторные двигатели отличаются наличием большого вентилятора или набора вентиляторов в передней части, обеспечивающего порядка 80 % общей тяги двигателя. Эти двигатели могут иметь малое или большое количество перепускного воздуха, причем количество воздуха, проходящего мимо вентилятора, в килограммах в секунду, по отношению к основному потоку воздуха, является коэффициентом перепуска. Некоторые турбовентиляторные двигатели с малым расходом воздуха применяются на скоростях свыше 0,8 Маха (в основном военные самолеты). В этих двигателях для увеличения тяги используются форсажные камеры: добавляя дополнительные топливные форсунки и пламягаситель в выхлопную систему, можно распылить и сжигать дополнительное топливо, что значительно увеличивает тягу на короткое время.

В турбовентиляторных двигателях предусмотрены две конструкции выхлопных сопел. Воздух, выходящий из вентилятора, может отводиться за борт с помощью отдельного сопла вентилятора или по внешнему корпусу базового двигателя и быть отведенным через смешанное сопло (вместе с выхлопными газами из камеры сгорания и сопла второго контура). Такой воздух либо смешивается с выхлопными газами перед отводом (смешанное или общее сопло), либо сбрасывается непосредственно в атмосферу без предварительного смешивания (отдельное сопло). Турбовентиляторные двигатели наиболее широко применяются в транспортной авиации, выступая в роли компромисса между хорошей эффективностью и высокой тягой турбовинтового двигателя, а также высокой скоростью и возможностью полетов на больших высотах, характерной для турбореактивных двигателей.

Преимущества турбовентиляторного двигателя заключаются в экономичности и меньшем уровне шума по сравнению с турбореактивными двигателями. Однако недостатками являются их больший вес и большая площадь лобового сопротивления по сравнению с турбореактивными двигателями, а также их неэффективность на очень больших высотах. Четвертый распространенный тип реактивного двигателя — турбовальный (рис. 4). Он передает энергию на вал, который крутит другие механизмы, помимо воздушного винта. Основное отличие турбореактивного двигателя от турбовального заключается в том, что в турбовальном двигателе большая часть вырабатываемой энергии используется для приведения в движение турбины, а не для создания тяги.

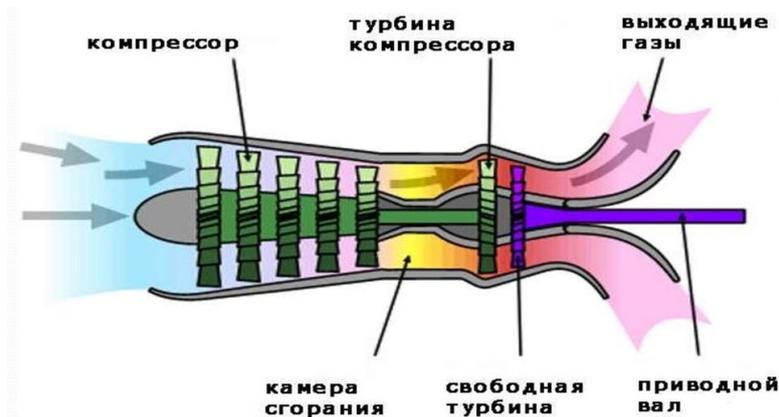


Рис. 4. Турбовальный двигатель [4]

Турбовальные газотурбинные двигатели чаще всего применяются в вертолетах, где их задача — передача мощности на вал, который вращает трансмиссию вертолета, или служат бортовым вспомогательным силовым агрегатом. Более того, турбовальные двигатели широко используются в качестве вспомогательных силовых установок на больших магистральных самолетах. Эти вспомогательные силовые установки обеспечивают электроэнергию и сжатый воздух на земле, а также служат в качестве резервного генератора во время полета.

Преимущества турбовального двигателя заключаются в существенно более высоком отношении мощности к весу по сравнению с поршневыми двигателями, а также более компактных размерах. С другой стороны, у турбовального двигателя есть свои недостатки: высокая шумность в процессе работы и возможные сложности с зубчатыми системами, которые могут выходить из строя.

Таким образом, можно заключить, что авиационные двигатели — это сложные конструкции, которые требуют особого внимания к процессу проверки их функционирования. Одним из критически важных процессов, обеспечивающих безопасность функционирования воздушных судов и их компонентов, является поддержание летной годности. Главная цель поддержания летной годности [5] заключается в том, чтобы обеспечить соответствие технического состояния воздушного судна установленным требованиям летной годности на протяжении всей его эксплуатации до момента списания.

Порядок поддержания летной годности определяется федеральными авиационными правилами в зависимости от назначения воздушного судна [6]. В соответствии с приказом Минтранса России от 27.11.2020 №519, плановый инспекционный контроль летной годности проводится один раз в год. Внеочередной инспекционный контроль осуществляется при наличии информации о нарушении правил эксплуатации и (или) поддержания летной годности воздушного судна [7].

Важным этапом проверки становится визуальный осмотр, который применяется для обследования и ручной проверки состояния воздушного судна или его компонентов, в том числе двигателей. Осмотр воздушного судна может варьироваться от простого обхода до детальной диагностики, включающей полную разборку и использование сложных инструментов. Система проверок состоит из множества процессов, охватывающих отчеты авиационных специалистов, управляющих и обслуживающих воздушное судно. Основное назначение этой системы заключается в поддержании воздушного судна в исправном состоянии и готовности к применению по назначению.

В отличие от ремонта по техническому состоянию, лишь регламентированное обслуживание обеспечивает летную годности воздушного судна. Своевременное техническое обслуживание в установленные предприятием изготовителем сроки является залогом надежной и безопасной эксплуатации воздушного судна. Каждое воздушное судно должно проходить проверку с использованием различных систем, включая систему летных часов и систему календарной проверки, а также их комбинации.

Система календарной проверки подразумевает, что соответствующая проверка проводится по истечении определенного периода, определенного в календарных неделях. С точки зрения управления техническим обслуживанием система календарного контроля является наиболее эффективной. Система летных часов, в свою очередь, устанавливается в тех случаях, когда существуют ограничения по количеству летных часов. Эти ограничения могут возникать в результате различных сроков эксплуатации отдельных компонентов воздушного судна.

В настоящее время активно разрабатываются новые материалы и технологии, направленные на повышение эффективности функционирования воздушных судов и их двигателей. Кроме того, внедряются импортозамещающие технологии, направленные на поддержание летной годности воздушных судов, находящихся в эксплуатации. Все эти факторы прямо влияют на организацию систем проверок. Своевременное внесение необходимых изменений в системы проверок позволит значительно повысить функциональные показатели воздушных судов и обеспечить их надежную и длительную эксплуатацию.

**Заключение.** В завершение следует подчеркнуть, что действующие системы проверок и регламентирующие их документы не являются догмой. Появление новых материалов, технологий обработки конструкционных материалов и методов диагностики подразумевает необходимость оперативного изменения руководящих документов для обеспечения безопасной эксплуатации воздушных судов.

### Список литературы

1. Почему у Боинга 737 двигатели не круглые, а приплюснуты снизу. URL: <https://dzen.ru/a/YlbFh1Btmyml3KS0> (дата обращения: 03.02.2025).
2. Турбовинтовой двигатель. URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Файл:Turboprop\\_operation.png](https://ru.wikipedia.org/wiki/Файл:Turboprop_operation.png) (дата обращения: 03.02.2025).
3. Турбовентиляторный двигатель. URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Файл%3ATurbofan\\_operation\\_lbp-ru.svg](https://ru.wikipedia.org/wiki/Файл%3ATurbofan_operation_lbp-ru.svg) (дата обращения: 03.02.2025).
4. Турбовальный двигатель. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/File%3ATurboshaft\\_operation\\_%28multilanguage%29.svg](https://en.wikipedia.org/wiki/File%3ATurboshaft_operation_%28multilanguage%29.svg) (дата обращения: 10.02.2025).
5. Чинючин Ю.М., Босых Н.Н., Трифионов М.Ю. *Основы поддержания летной годности воздушных судов. Управление процессами обеспечения и поддержания летной годности воздушных судов.* Учебно-методическое пособие. Москва: ИД Академии Жуковского; 2021. 96 с.
6. *Воздушный кодекс Российской Федерации.* N 60-ФЗ от 19 марта 1997 г. URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_13744/07d8e545ac878505f21fc200ed79804a35857be1/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_13744/07d8e545ac878505f21fc200ed79804a35857be1/) (дата обращения: 12.02.2025).
7. *Об утверждении федеральных авиационных правил «Требования к летной годности гражданских воздушных судов. Форма и порядок оформления сертификата летной годности гражданского воздушного судна, порядок приостановления действия и аннулирования сертификата летной годности гражданского воздушного судна».* Приказ от 27 ноября 2020 г. №519. URL: <https://sudact.ru/law/prikaz-mintransa-rossii-ot-27112020-n-519/> (дата обращения: 12.02.2025).

**Об авторах:**

**Итхави Хуссейн Раад Махмуд**, магистрант кафедры технической эксплуатации летательных аппаратов и наземного оборудования Донского государственного технического университета (344023, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, ул. Страны Советов 1), [husseein98r@gmail.com](mailto:husseein98r@gmail.com)

**Андрей Станиславович Решенкин**, кандидат технических наук, заведующий кафедрой технической эксплуатации летательных аппаратов и наземного оборудования Донского государственного технического университета (344023, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, ул. Страны Советов 1), [reshenkin@list.ru](mailto:reshenkin@list.ru)

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

*Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.*

**About the Authors:**

**Itkhavi Hussain Raad Mahmoud**, Master's Degree Student of the Technical Operation of Aircraft and Ground Equipment Department, Don State Technical University (1, Strana Sovetov Str., Rostov-on-Don, 344023, Russian Federation), [husseein98r@gmail.com](mailto:husseein98r@gmail.com)

**Andrey S. Reshenkin**, Cand.Sci. (Engineering), Head of the Technical Operation of Aircraft and Ground Equipment Department, Don State Technical University (1, Strana Sovetov Str., Rostov-on-Don, 344023, Russian Federation), [reshenkin@list.ru](mailto:reshenkin@list.ru)

**Conflict of Interest Statement:** the authors declare no conflict of interest.

*All the authors have read and approved the final manuscript.*