

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ВОЗДУШНОГО ТРАНСПОРТА  
(РОСАВИАЦИЯ)

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ» (МГТУ ГА)

---

Кафедра двигателей летательных аппаратов

О.Ф. Машошин, С.Н. Кузнецов, Л.В. Москаленко,  
В.А. Рясов, Б.А. Чичков

## ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ ДВИГАТЕЛЕЙ СЕМЕЙСТВА ПД-14

**Учебно-методическое пособие**  
по выполнению лабораторных работ

*для студентов  
направлений 25.03.01, 25.03.03  
и специальности 25.05.05  
всех форм обучения*

Москва  
ИД Академии Жуковского  
2023

УДК 629.7.036.34  
ББК 0551-02  
МЗ8

Рецензент:

*Котовский В.Н.* – д-р техн. наук, профессор

**Машошин О.Ф.**

МЗ8

Особенности конструкции двигателей семейства ПД-14 [Текст] : учебно-методическое пособие по выполнению лабораторных работ / О.Ф. Машошин, С.Н. Кузнецов, Л.В. Москаленко, В.А. Ряссов, Б.А. Чичков. – М.: ИД Академии Жуковского, 2023. – 36 с.

Данное учебно-методическое пособие издается в соответствии с рабочей программой учебной дисциплины «Особенности конструкции двигателей семейства ПД-14» по учебному плану направлений подготовки 25.03.01, 25.03.03 и специальности 25.05.05 всех форм обучения.

Рассмотрено и одобрено на заседаниях кафедры 31.05.2023 г. и методического совета 14.06.2023 г.

**УДК 629.7.036.34**  
**ББК 0551-02**

*В авторской редакции*

Подписано в печать 05.10.2023 г.  
Формат 60x84/16 Печ. л. 2,25 Усл. печ. л. 2,09  
Заказ № 971/0621-УМП05 Тираж 30 экз.

Московский государственный технический университет ГА  
125993, Москва, Кронштадтский бульвар, д. 20

Издательский дом Академии имени Н. Е. Жуковского  
125167, Москва, 8-го Марта 4-я ул., д. 6А  
Тел.: (495) 973-45-68  
E-mail: zakaz@itsbook.ru

© Московский государственный технический  
университет гражданской авиации, 2023

## Введение

Силовая установка с двигателем типа ПД-14 предназначена для применения в составе двухдвигательных ближне-среднемагистральных самолетов МС-21, служащих для перевозки пассажиров, багажа, почты и грузов на ближних и средних авиалиниях, с аэродромов, имеющих искусственное покрытие.

Двигатель относится к классу двигателей с взлетной тягой 12500...14000 кгс. Степень двухконтурности - 8.5.

Планируется установка ПД-14 и его модификаций на другие типы самолётов.

Эксплуатация двигателя ведется по стратегии № 2 управления ресурсами, до достижения назначенного ресурса любой из основных деталей с последующей отправкой двигателя на ремонтное предприятие-изготовитель для ее инспекции или замены.

Настоящее пособие ставит целью дать первоначальное представление об особенностях конструкции основных узлов ТРДД семейства ПД-14 в рамках тем курса конструкции узлов АД при проведении лабораторных работ.

### 1. Характеристика силовой установки самолета МС-21 с двигателем ПД-14

В состав силовой установки самолета МС-21 (рис. 1) входят:

1. турбореактивный двухконтурный двигатель ПД-14 с раздельным истечением газов из наружного и внутреннего контуров (рис. 2);
2. мотогондола (рис. 2).



Рис. 1. Самолет МС-21-300 с двигателями ПД-14

На двигатель и самолет устанавливаются модули мотогондолы (рис.2):

1. спереди на корпус вентилятора двигателя устанавливается воздухозаборник;

2. сзади на балку пилона устанавливается реверсивное устройство;

3. по бокам на балку пилона устанавливаются створки капота.

4. Масса двигателя сухая не более 3010 кг. Массой силовой установки в состоянии поставки является масса двигателя и узлов мотогондолы, собранных и укомплектованных на заводе-изготовителе. Она составляет 3970 кг. В массу силовой установки не включена масса самолетных агрегатов, устанавливаемых на двигатель на самолетном заводе: генератора; гидронасоса; агрегатов системы отбора воздуха на самолетные нужды; датчиков пожарной сигнализации с элементами крепежа.

Размеры силовой установки отражены на рис. 2.

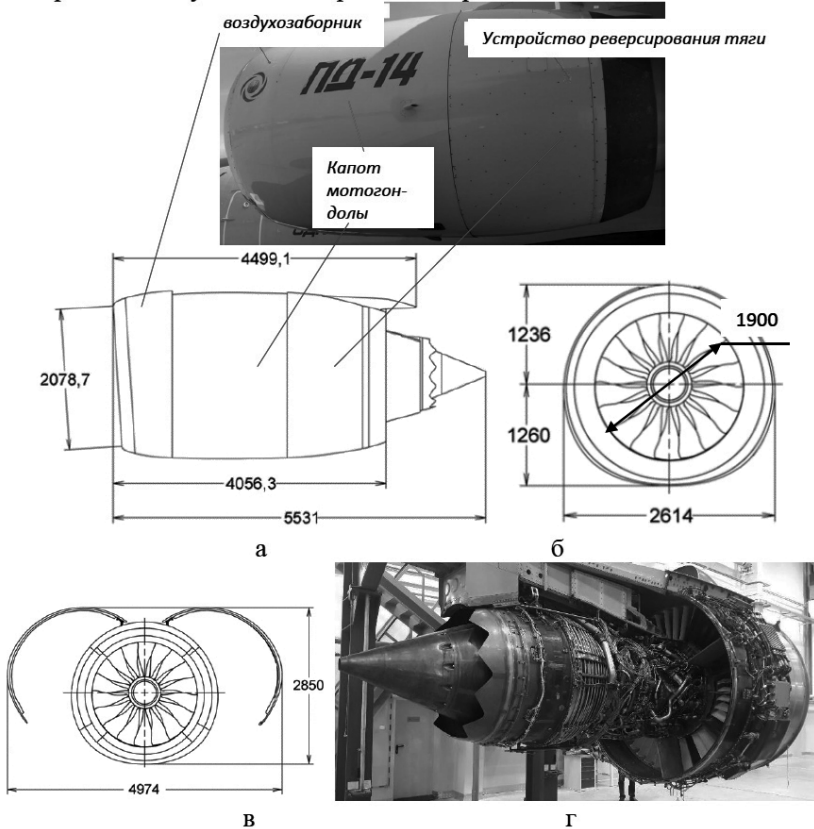


Рис. 2. Модули мотогондолы, размеры СУ ПД-14 и двигатель ПД-14

Основные режимы работы двигателя в высотных условиях без отборов воздуха и мощности на самолётные нужды описаны в табл. .

Взлетный режим (МТО) – это режим работы с максимальной тягой, необходимой для взлета и прерывания посадки. Время работы на данном режиме по времени ограничено 5 минутами. В особых условиях время работы может быть продлено до 10 минут при отказе одного двигателя. Работа на взлетном режиме доступна при полете на высотах от минус 300 до 4060 метров над уровнем моря.

Пониженный взлетный режим позволяет выполнить взлет с тягой, находящейся на более низком уровне, чем взлетная тяга, однако при этом совместимой с ожидаемой взлетной конфигурацией с использованием метода предполагаемой температуры.

Максимальный продолжительный режим (МСТ) при отказе одного двигателя – режим, представляющий максимальную тягу, допустимую для непрерывного использования. Однако для продления срока службы двигателя этот режим не следует использовать в условиях штатной эксплуатации в целях увеличения скорости самолета или вертикальной скорости при наборе высоты.

Основные режимы работы двигателя в высотных условиях  
без отборов воздуха и мощности на самолётные нужды

Режим	Положение РУД	Частота вращения, об/мин		Тяга, кгс
		Ротора низкого давления	Ротора высокого давления	
Режим набора высоты (MCL)	43°±1°	3880±50	14750±100	2800+1%
Максимальный крейсерский	39°±1°	3690±50	14390±100	2500+1%
Крейсерский	35°±1°	3560±50	14140±100	2200+1%
Крейсерский (0,7 набора высоты)	32°±1°	3340±50	13760±100	1700+1%
Малый газ (МГ)	-3°...+5°	2300±75	11830±150	350

Режим набора высоты (MCL) – режим, представляющий максимальную тягу, для выполнения штатного набора высоты. Крейсерские режимы (IDLE - MCL) используются для выполнения горизонтального полета. Горизонтальный полет разрешается выполнять на любом режиме работы двигателя от режима "Малый газ" до режима "Набор высоты" (от IDLE до MCL).

Режим малого газа (IDLE):

– малый газ (земной, полётный) – минимальные обороты малого газа определены требованиями по стабильности компрессора высокого давления и камеры сгорания, и требованиями генератора переменной частоты;

– малый газ при повышенных отборах воздуха ("Bleed idle") для обеспечения требованиям по минимальному давлению отбора воздуха комплексной системы кондиционирования воздуха (КСКВ) и предотвращения перегрева двигателя при работе на режиме "Малый газ" при одновременном включении отборов воздуха в систему СКВ, ПОС крыла или ПОС воздухозаборника происходит рост частоты вращения ротора КВД до 12900 ± 300 об/мин;

– посадочный малый газ ("Approach idle"), при заходе на посадку и нахождении РУД в положении IDLE режим двигателя по сигналам с самолета автоматически увеличивается до режима "Посадочный малый газ" ("Approach idle"), что соответствует режиму "0,3 набора высоты".

Режим реверса - это режим двигателя, который используется для торможения самолета в ходе пробеге по ВПП при посадке. Включение и выключение реверса для торможения самолета при посадке выполняется при работе двигателя на режиме "Малый газ". Время работы двигателя на режиме максимальной обратной тяги не более 30 секунд. Разрешается на пробеге при скорости самолета не менее 110 км/ч: снизить режим двигателя переводом РУД с режима "Максимальная реверсивная тяга" до режима "Минимальная реверсивная тяга" (РУД – в MIN REV); выключить реверс после уменьшения скорости самолета до скорости руления 50 км/ч.

## 2. Характеристика конструктивно-компоновочной и силовой схемы двигателя

Двигатель ПД-14 представляет собой турбореактивный, двухконтурный, двух роторный двигатель с подпорными ступенями компрессора низкого давления, с отдельным истечением потоков наружного и внутреннего контуров и реверсивным устройством (конструктивно входит в состав мотогондолы) в канале

наружного контура.

Основной частью ГТД ПД-14 является унифицированный газогенератор, представляющий собой тепловую машину, состоящую из последовательно расположенных осевого компрессора высокого давления, камеры сгорания и турбины высокого давления.

Термин «газогенератор» обозначает конструкцию для генерирования газового потока высокой энергии за счет подвода тепла к сжатому воздуху (рабочему телу). Его работа основана на преобразовании химической энергии топлива, в энергию нагретого и сжатого газа. Рабочее тело (поток воздуха) от газогенератора обеспечивает вращение ротора турбины низкого давления, механическая работа ротора НД в свою очередь расходуется на привод воздушного вентилятора.

Двигатель состоит из основных узлов, перечисленных на рис. 3, и разделен на модули (\* – модули, заменяемые в эксплуатации без съема двигателя с крыла самолета) : лопатки вентилятора\*; вентилятора-бустера\* (КНД); вала вентилятора с опорами; корпуса вентилятора; корпуса разделительного; центрального привода; валопровода с промежуточной опорой; коробки привода агрегатов\*; компрессора высокого давления; топливных форсунок\*; камеры сгорания; турбины высокого давления; турбины низкого давления с задней опорой; сопла внутреннего\*; центрального тела\*; корпус передний; обшивка газогенератора\*; узла передней подвески и узла задней подвески.

Силовая схема двигателя ПД-14 есть композиция силовых схем роторов высокого давления, низкого давления и корпусов. Силовую схему двигателя составляют: корпус вентилятора; разделительный корпус; корпус передний; узел передней и узел задней подвески; корпуса газогенератора и опоры подшипников; корпуса опоры вентилятора с подшипниками; корпус ТНД с корпусом задней опоры и подшипником; роторы двигателя (рис. 4).

Корпус вентилятора передает нагрузки от входного устройства на разделительный корпус и далее на балку пилона самолета.

Корпус передний предназначен для создания необходимого профиля аэродинамической поверхности наружного контура. К корпусу переднему крепится реверсивное устройство и, соответственно, корпус передает нагрузки от реверсивного устройства на разделительный корпус и далее на балку пилона самолета. Корпус передний содержит в себе ЗПК для уменьшения шума двигателя.

Узел передней подвески воспринимает и передает на пилон самолета силу тяги, основную часть нагрузки веса двигателя и частично боковые усилия от инерционных нагрузок, и аэродинамических сил.

Узел задней подвески воспринимает частично нагрузку веса двигателя, боковые усилия от инерционных нагрузок и аэродинамических сил, и крутящий момент от газовых сил роторов турбины.

Силовая схема ротора газогенератора представляет из себя объединённый ротор компрессора высокого давления и турбины высокого давления. Нагрузки, действующие на ротор ВД, передаются на опоры ротора.

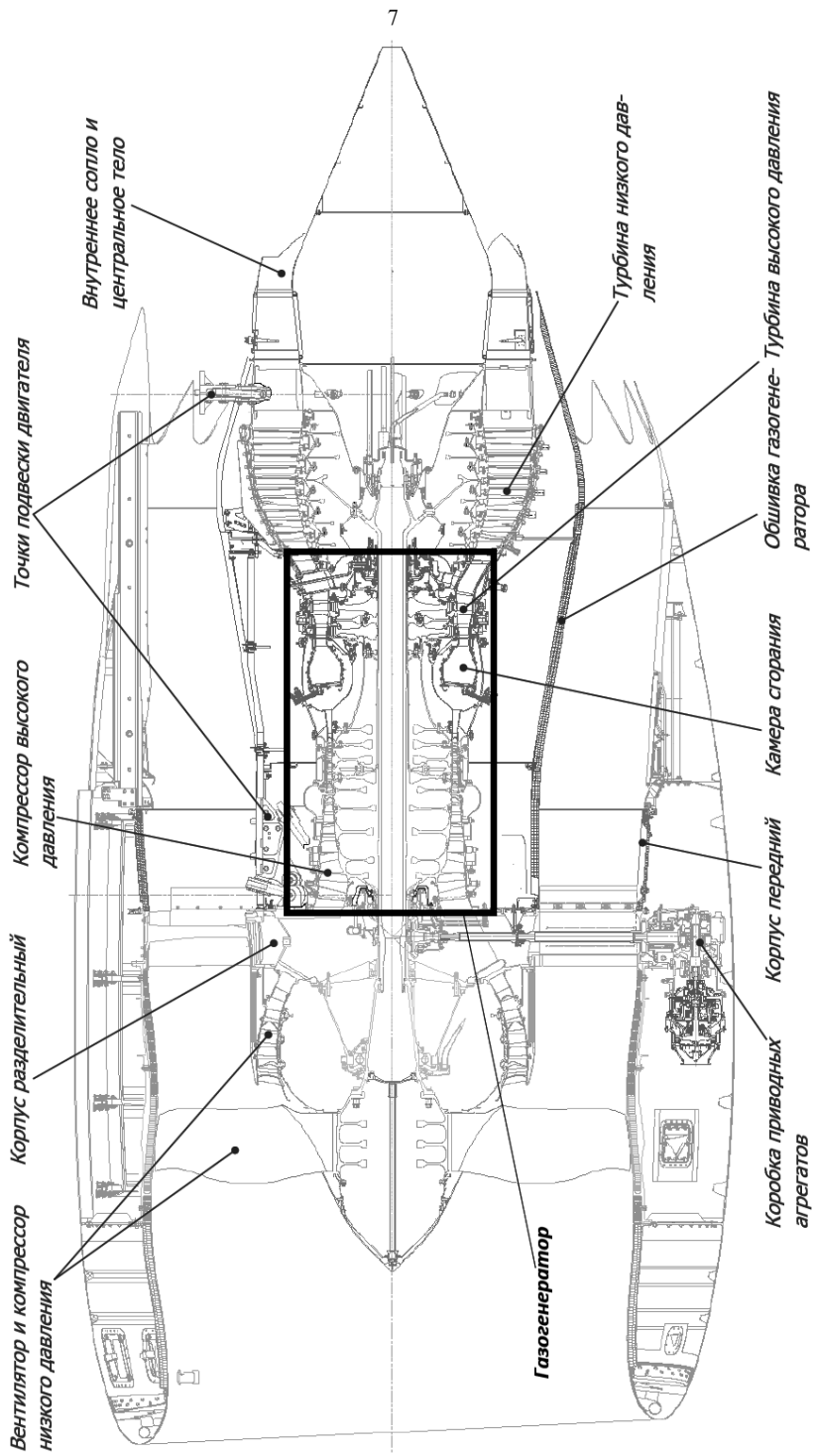


Рис. 3. Основные узлы ТРД ПД-14 с могогондолой

Силовая схема корпуса газогенератора обеспечивает его прочность и жесткость при действии эксплуатационных нагрузок, а также крепление двигателя к силовой балке пилон самолета, на транспортировочной тележке, в транспортировочном ящике и при такелажных работах.

Крепление двигателя осуществляется за внутренний контур (подвеска с «внедренным пилоном») в двух плоскостях: передней (в плоскости передней опоры КВД на разделительном корпусе) и задней (в плоскости задней опоры ТНД) - рис. 4, 5.

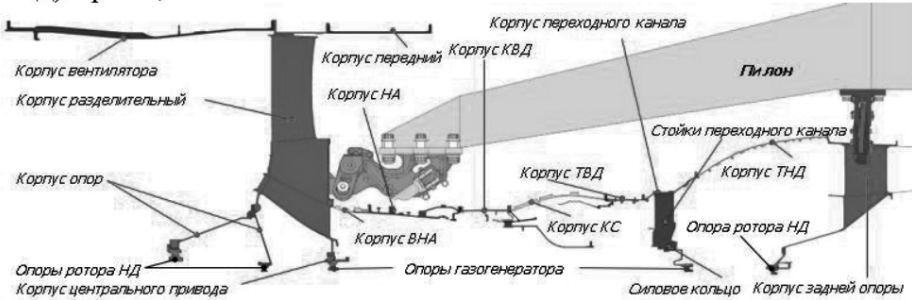


Рис. 4. Силовая схема статора и подвеска двигателя к ВС

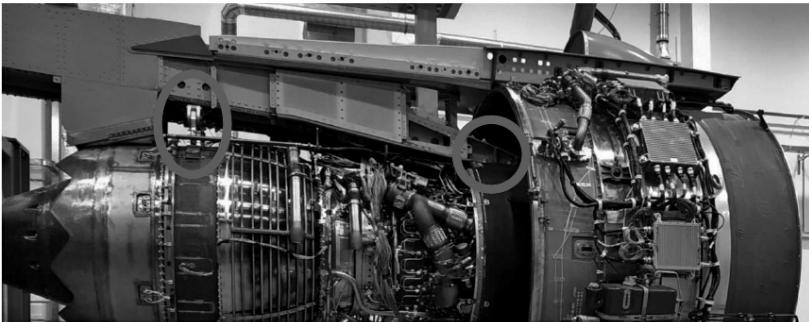


Рис. 5. Крепление двигателя

### 3. Компрессор двигателя

Компрессор двигателя ПД-14 состоит из компрессора низкого давления (КНД) и компрессора высокого давления (КВД).

#### 3.1. Компрессор низкого давления

КНД (рис. 6,7) предназначен для сжатия воздуха и подачи его в компрессор высокого давления (КВД), и наружный контур. КНД – осевой, правого вращения, приводится во вращение турбиной низкого давления.



Ротор состоит из одной ступени вентилятора и трёх ступеней бустера.

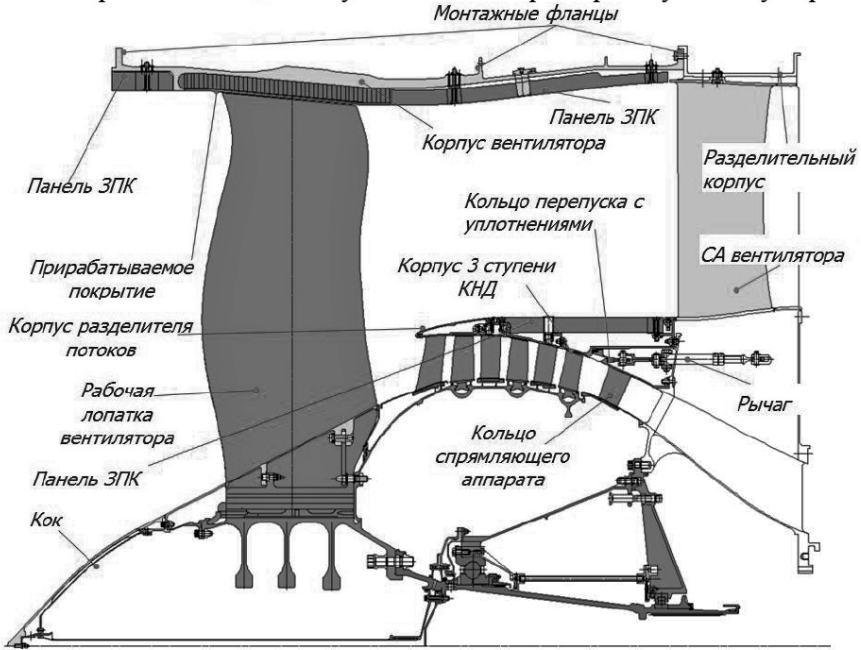


Рис. 6. КНД с элементами перепуска воздуха

Разделительный корпус Корпус вентилятора

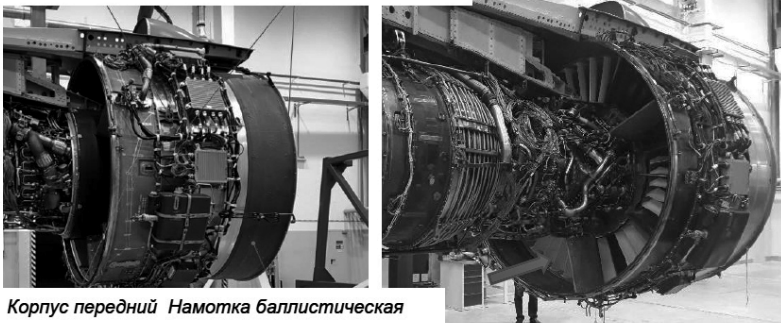


Рис. 7. Корпус вентилятора и вид на СА вентилятора

КНД включает в себя: детали общей сборки; модуль вентилятора-бустера; модуль вала с опорами.

В основные детали общей сборки входят: лопатки вентилятора; межлопаточные платформы с элементами уплотнения зазора между лопатками и платформами; вставки под подошву лопатки (клинья); кок с элементами

балансировки; корпус вентилятора со звукопоглощающими панелями; система перепуска воздуха; лопатки СА вентилятора; корпус разделителя потоков.

Вентилятор – сверхзвуковой с широкохордными (бесполочными) стреловидными рабочими лопатками (рис. 8).



Количество рабочих лопаток – 18.  
РЛ вентилятора полая,  
широкохордная,  
изготовлена из титанового сплава  
BT6,  
хвостовик типа ласточкин хвост,  
масса ~ 7,95 кг.

Рис. 8. Рабочая лопатка вентилятора

Межлопаточная платформа предназначена для образования плавной прочной части -рис. 9.

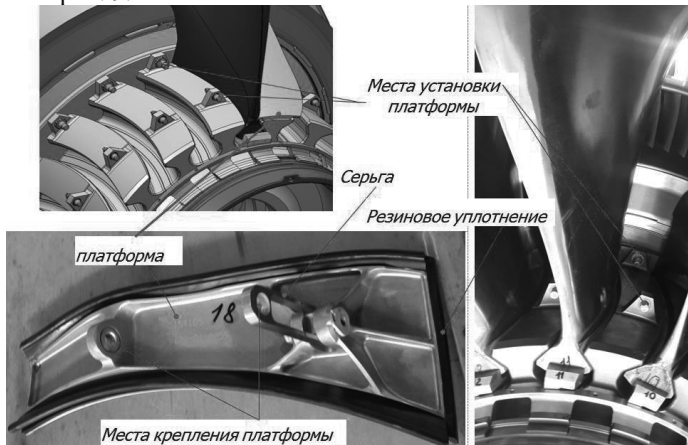


Рис. 9. Межлопаточная платформа

Конструктивно платформа выполнена в виде тонкостенной пластины (образующей втулочную поверхность межлопаточных каналов) с ребрами жесткости и с двумя элементами крепления. Задний элемент платформы выполнен в виде отдельного элемента – серьги. Крепление серьги к платформе осуществляется с помощью болтового соединения.

Для уплотнения зазора между пером лопаток вентилятора и краями платформы (для минимизации потерь из-за перетеканий воздуха) в конструкции платформы предусмотрены резиновые уплотнения. Также имеется резиновое

уплотнение на заднем торце платформы (на стыке с кожухом уплотнения).

Вставки под подошву рабочих лопаток вентилятора предназначены для фиксации рабочей лопатки вентилятора в пазу диска в осевом направлении (рис. 10).

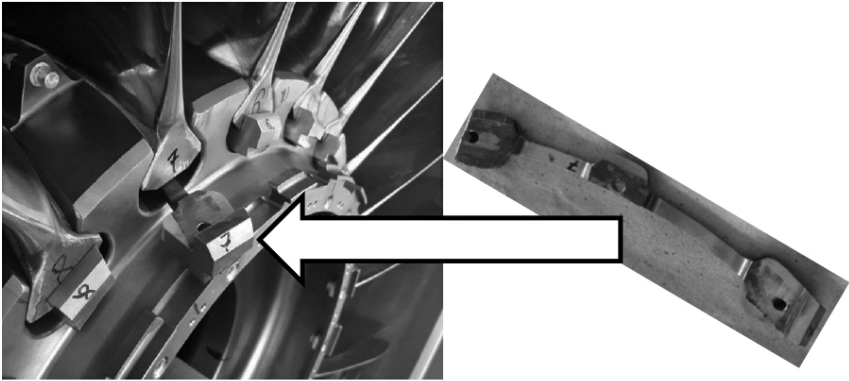


Рис. 10. Диск, рабочие лопатки и вставки под рабочую лопатку вентилятора

Обтекатель (кок) вращающегося типа, обогреваемый с элементами балансировки, служит для формирования потока воздуха на входе в вентилятор (рис. 11). Конструктивно кок выполнен в виде тонкостенной оболочки с фланцем со специальным профилем предотвращающим попадание посторонних предметов во внутренний контур двигателя отражая их в наружный контур.



Рис. 11. Вид на входное устройство двигателя

Для под(до)балансировки ротора в эксплуатации на фланце кока предусмотрены конструктивные элементы для постановки балансировочных грузов различной массы.

Корпус вентилятора является силовым элементом двигателя, формирует проточную часть, обеспечивает удержание фрагментов лопаток вентилятора в случае их обрыва, обеспечивает крепление агрегатов. Корпус вентилятора выполнен из алюминиевого сплава.

Для обеспечения локализации рабочей лопатки вентилятора при ее

обрыве, на корпусе вентилятора выполнена намотка баллистически-стойкой оболочки.

Передний фланец служит для крепления воздухозаборника. Средний фланец служит для крепления агрегатов двигателя. Задним фланцем корпус присоединяется к разделительному корпусу.

На корпусе вентилятора, над рабочими лопатками вентилятора, находится прирабатываемое покрытие.

Спереди и за рабочими лопатками вентилятора расположены акустические панели, которые крепятся с помощью винтового соединения к корпусу вентилятора.

Система перепуска воздуха за КНД предназначена для обеспечения газодинамической устойчивости работы компрессора двигателя.

За рабочими лопатками третьей ступени, перед спрямляющим аппаратом КНД в периферийном сечении выполнен регулируемый перепуск воздуха через кольцевой канал. При работе двигателя кольцо клапана перепуска перемещается в осевом направлении за счет двух рычагов привода, соединенных регулируемые тросами с гидроцилиндрами, закрепленными на разделительном корпусе.

Элементы системы перепуска монтируются к корпусу разделительному и состоят из следующих основных элементов: корпус третьей ступени; кольцо клапана перепуска, которое имеет торцевые уплотнения и служит для предотвращения утечек воздуха из проточной части при закрытом перепуске; рычаги системы управления перепуском с силовыми гидроцилиндрами; наружное кольцо спрямляющего аппарата КНД.

Лопатки СА вентилятора предназначены для спрямления потока воздуха после вентилятора до осевого направления. Лопатки СА вентилятора не входят в силовую схему.

Лопатки СА вентилятора крепятся консольно верхней полкой к разделительному корпусу болтовым соединением, нижняя полка установлена в паз корпуса сектора нижнего. Для минимизации или исключения монтажного зазора в паз корпуса сектора нижнего устанавливается резиновая прокладка СА вентилятора. Материал лопаток СА вентилятора – углепластик (либо алюминиевый сплав).

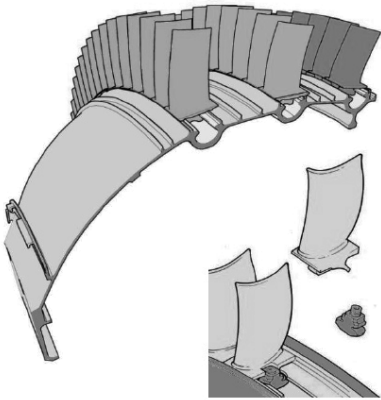
Модуль вентилятор-бустера КНД (рис.3,12) предназначен для поджатия воздуха во внутреннем контуре перед входом в КВД, а так же повышения скорости воздуха и подачи его в наружный контур.

Модуль вентилятора-бустера (КНД) осевой, трехступенчатый, барабанного типа. Входной направляющий аппарат нерегулируемый. Диск вентилятора и барабан вентилятора-бустера составляют единый ротор. За вентилятором-бустером предусмотрен кольцевой перепуск воздуха. Направление вращения ротора: по часовой стрелке при виде по полету.

Диск вентилятора предназначен для крепления рабочих лопаток вентилятора и является основным силовым элементом конструкции ротора КНД. К диску

вентилятора также крепятся обтекатель (кок), платформы вентилятора, барабан подпорных ступеней.

Ротор подпорных ступеней барабанного типа, рабочие лопатки крепятся в кольцевых пазах барабана с помощью хвостовика типа «ласточкин хвост».



Крепление рабочих лопаток КНД погружного типа, хвосты лопаток заводятся в специальные кольцевые выточки-пазы в ободу барабана. Для возможности ввода лопаточных хвостов погружного типа в пазы ротора в последних делается уширение (колодец, по одному для каждой ступени). Лопатки поочередно заводят в это окно и проводят по окружности до надлежащего места.

Количество рабочих лопаток по ступеням: 1 - 90 штук; 2 - 96 штук;  
3 - 98 штук.

Рис. 12. Барабан подпорных ступеней и рабочие лопатки

Конструктивно входной направляющий аппарат и направляющие аппараты состоят из наружного и внутреннего колец и лопаток статора. Лопатки наружными полками сварены в пазы наружного кольца, противоположные профильные концы лопаток вставлены в пазы внутреннего кольца. На внутренних поверхностях наружных колец входного направляющего аппарата, направляющего аппарата второй ступени для обеспечения минимальных зазоров по концам рабочих лопаток (в местах вероятного их касания) нанесен прирабатываемый уплотняющий материал (покрытие истираемое алюминиево-кремниевое и полиэфирное или алюминиево-кремниевое и полиамидное). Для обеспечения оптимальных зазоров по лабиринтам и демпфирования лопаток, вставленных во внутренние кольца, полости внутренних колец направляющих аппаратов заполнены уплотнительной массой (покрытие истираемое силиконовое с наполнением из полых алюминиевых шариков).

Опора вентилятора консольного типа, входит в силовую схему двигателя (рис. 3,4).

### 3.2. Компрессор высокого давления

КВД предназначен для сжатия воздуха и подачи его в камеру сгорания; осевой, левого вращения, восьмиступенчатый.

Сжатый в КВД воздух частично используется на самолётные нужды (СКВ и противообледенительная система (ПОС)), для охлаждения деталей горячей части двигателя, надува лабиринтных уплотнений подшипниковых узлов,

управления радиальными зазорами. КВД осевой, восьмиступенчатый, барабанно-дисковый, комбинированной конструкции.

Для обеспечения газодинамической устойчивости работы двигателя, а также для снижения вибронпряжений на рабочих лопатках компрессора ВНА, НА 1-й и НА-2й ступеней КВД имеет поворотные лопатки, за 3 и 8 ступенями КВД имеется перепуск воздуха в наружный контур, а над рабочими лопатками 1-й ступени КВД выполнена замкнутая полость с перфорированной стенкой.

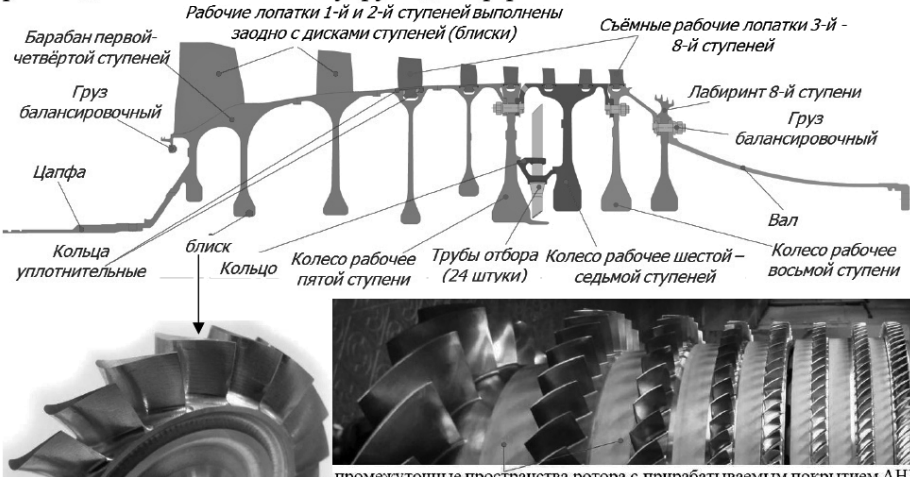
КВД состоит из следующих узлов: ротора КВД (рис. 13); статора КВД; механизации КВД.



Рис. 13. Схема КВД

Ротор КВД (рис. 14) входит в состав ротора газогенератора с шариковым подшипником на передней опоре и роликовым на задней (расположен за ТВД).

Для снижения уровня виброперегрузок корпусов газогенератора опора шарикоподшипника выполнена упруго-демпферной.



промежуточные пространства ротора с прирабатываемым покрытием АНБ

Рис. 14. Ротор КВД

Ротор КВД состоит из следующих основных деталей и сборочных единиц: барабана первой – четвертой ступеней КВД балансируемого; колеса рабочего пятой ступени; кольца; труб отбора воздуха (24 штуки) от 5-й ступени КВД на охлаждение РЛ 2-й ступени ТВД; колеса рабочего шестой – седьмой ступеней КВД; колеса рабочего восьмой ступени КВД; лабиринта; вала КВД; съёмных рабочих лопаток ротора (с 3-й по 8-ю ступень).

Барабан первой–четвертой ступеней КВД представляет собой сварную секцию, состоящую из цапфы, колеса рабочего первой ступени, колеса рабочего второй ступени и сборных колёс третьей и четвёртой ступеней ротора КВД. На цапфе располагаются колесо зубчатое и шариковый подшипник КВД, входящие в центральный привод и образующие переднюю опору ротора высокого давления. Также на цапфе располагается лабиринт уплотнения опоры шарикового подшипника.

Колесо рабочее первой ступени является сверхзвуковой ступенью КВД с высокой степенью сжатия и представляет собой диск, выполненный заодно с рабочими лопатками. Колесо рабочее второй ступени КВД также представляет собой диск, выполненный заодно с рабочими лопатками. Рабочие лопатки 3-й и 4-й ступеней крепятся в кольцевых пазах барабана с помощью хвостовика типа «ласточкин хвост». Крепление рабочих лопаток КВД погружного типа. Фиксация лопаток в окружном направлении осуществляется посредством вкладышей и фиксаторов. Для уменьшения утечек по замковым соединениям рабочих лопаток и снижения действующих на них вибрационных нагрузок в диски устанавливаются кольца.

Рабочие колёса пятой, шестой и седьмой, а так же восьмой ступеней выполнены сборными и состоят из дисков с кольцевыми пазами и рабочих лопаток с аналогичными 3-й и 4-й ступеням по форме пазов замками. Сборка рабочих лопаток в рабочие колеса с 5-й по 8-ю ступени осуществляется аналогично сборке 3-й и 4-й ступеням. Рабочие лопатки с первой по четвёртую ступени выполнены из титанового сплава, а с пятой по восьмую ступени из легированной стали.

С целью предотвращения титанового пожара на промежуточные диски, рабочих колес с первой по восьмую ступени со стороны проточной части нанесено прирабатываемое плазменное покрытие типа АНБ – рис. 14.

Сварной титановый барабан первой – четвертой ступеней КВД соединен с титановым диском пятой ступени и никелевыми дисками последних ступеней с помощью болтовых соединений, составляя единый, жёсткий узел. Колесо рабочее восьмой ступени КВД с помощью болтового соединения соединено с лабиринтом 8 ступени и валом КВД. Лабиринт служит для уплотнения воздушной полости на выходе из КВД. Через вал КВД идёт передача крутящего момента с ротора ТВД на ротор КВД. Вал КВД выполнен из легированного сплава.

Количество рабочих лопаток изменяется по ступеням - от 21 в первой ступени до 124 в последней.

Статор КВД входит в силовую схему двигателя и состоит из следующих

основных элементов: корпуса ВНА КВД; корпуса с НА первой, второй, третьей ступеней КВД; корпуса КВД; системы механизации КВД; лопаток СА КВД; фланца лабиринта с сотами; упруго-демпферной опоры.

ВНА КВД (рис.15) с наклонной осью лопаток ВНА устанавливается на входе в КВД и служит для направления потока воздуха на лопатки первого рабочего колеса.

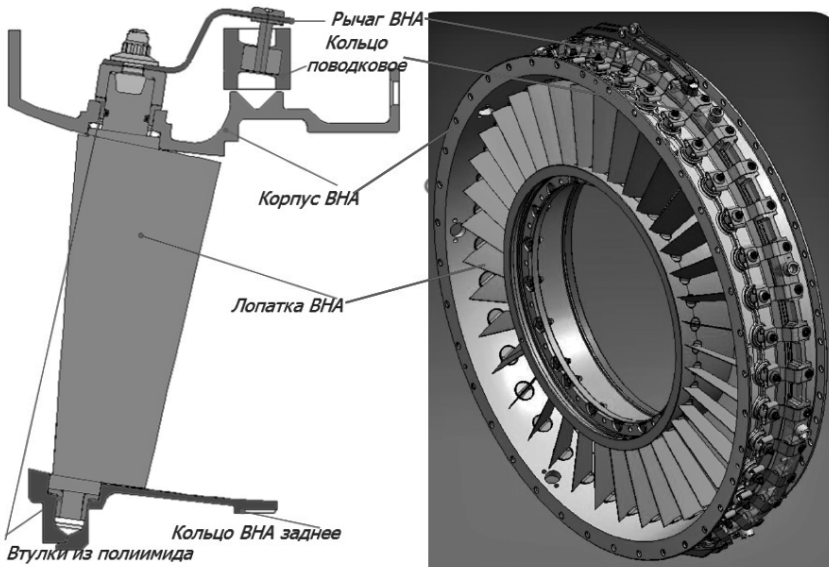


Рис. 15. Регулируемый входной направляющий аппарат

ВНА состоит из: корпуса ВНА; колец ВНА внутреннего и заднего; лопаток ВНА КВД с закрепленными на них рычагами ВНА; кольца поводкового; композитных втулок (подшипники трения).

Механизация КВД предназначена для обеспечения устойчивой работы КВД во всем диапазоне эксплуатационных режимов и снижения вибронпряжений на лопатках компрессора. В механизации КВД предусмотрены: поворотные лопатки ВНА, НА первой и второй ступеней перепуск воздуха из-за третьей ступени КВД; уплотнительные кольца в рабочих колесах ротора с третьей по восьмую ступени ротора КВД.

В корпусе над рабочими лопатками с первой ступени по третью ступень КВД нанесено истираемое покрытие, позволяющее минимизировать рабочие радиальные зазоры и исключить возможность титанового пожара.

Система управления положением лопаток ВНА, НА предназначена для поворота лопаток ВНА и НА первой, второй ступеней с целью обеспечения газодинамической устойчивости (ГДУ) КВД на всех эксплуатационных режимах работы двигателя.



Поворот лопаток ВНА КВД и НА первой и второй ступеней осуществляется рычагами, соединёнными с поворотными лопатками и шарнирно закреплёнными с кольцами поводковыми НА.

Кольца поводковые поворачиваются посредством муфт шарнирно соединённых с одной стороны с кольцами поводковыми, а с другой стороны – с рычагами приводов НА. Рычаги приводятся в движение двумя гидроцилиндрами, закреплёнными на корпусе разделительном.

Корпус ВНА выполнен из титанового сплава и крепится к разделительному корпусу с помощью винтов. Лопатки ВНА КВД изготовлены из титанового сплава и закреплены в корпусе ВНА и внутренних кольцах на втулках из композитных материалов. Лопатки поворачиваются вокруг своей продольной оси с помощью кольца поводкового ВНА соединённого шарнирно со штампованными рычагами ВНА на лопатках ВНА КВД.

Корпус с НА первой, второй, третьей ступеней КВД (рис. 16) расположен после ВНА КВД и крепится к корпусу ВНА с помощью винтов и состоит из: литого корпуса с горизонтальным разъемом; поворотных направляющих лопаток первой и второй ступеней КВД с закреплёнными на них рычагами НА; колец поводковых НА первой и второй ступеней; консольных лопаток третьей ступени КВД.

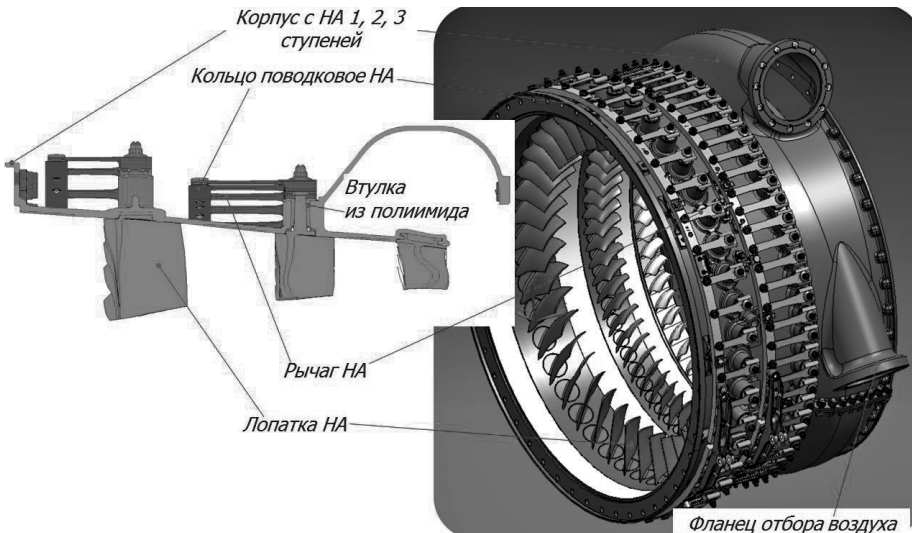


Рис. 16. Корпус с НА первой, второй, третьей ступеней КВД

Корпус с НА первой, второй, третьей ступеней КВД выполнен методом литья из титанового сплава с последующей механической обработкой по посадочным поверхностям.

В корпусе с НА первой, второй, третьей ступеней КВД предусмотрен отбор воздуха из-за третьей ступени КВД в виде кольцевой щели, образованной фланцем корпуса и кольцом рабочем четвёртой ступени КВД, на двигательные и самолётные нужды.

Корпус КВД расположен за корпусом с НА первой, второй, третьей ступеней КВД и крепится к корпусу с НА с помощью винтов.

Корпус КВД состоит из: корпуса КВД среднего; корпуса отбора заднего; кольца рабочего четвертой ступени КВД; колец рабочих пятой и шестой ступеней КВД; кольца рабочего седьмой ступени КВД; кольца рабочего восьмой ступени КВД; лопаток аппаратов направляющих; кожухов обдува.

В корпусе КВД кольцо рабочее четвёртой ступени с помощью болтовых соединений крепится к корпусу отбора заднему. В корпусе КВД среднем располагаются рабочие кольца пятой и шестой ступеней и направляющие аппараты четвёртой, пятой, шестой ступеней с консольными лопатками.

Крепление секторов направляющих аппаратов с консольными лопатками в корпусе КВД среднем осуществляется с помощью болтовых соединений. Рабочие кольца располагаются между направляющими аппаратами и фиксируются от радиальных перемещений относительно направляющих аппаратов с помощью штифтовых соединений. Кольцо рабочее седьмой ступени КВД с помощью болтовых соединений крепится к корпусу отбора заднему. Кольцо рабочее восьмой ступени КВД с помощью болтовых соединений крепится к КС. Кольцо рабочее восьмой ступени КВД выполнено заодно с направляющим аппаратом седьмой ступеней с консольными лопатками.

В корпусе КВД предусмотрен отбор воздуха из-за шестой ступени КВД на двигательные нужды, выполненный в виде кольцевой щели, образованной фланцем корпуса отбора заднего и рабочим кольцом седьмой ступени КВД.

В корпусе отбора заднем расположен кожух обдува системы активного управления радиальными зазорами над последними ступенями КВД.

На корпусных деталях над рабочими лопатками с четвёртой ступени по восьмую ступень КВД нанесено истираемое покрытие, позволяющее минимизировать рабочие радиальные зазоры.

Лопатки СА КВД разворачивают воздух, закрученный лопатками рабочего колеса восьмой ступени КВД, до осевого направления перед его поступлением в камеру сгорания. Лопатки СА КВД выполнены из жаропрочного сплава.

Фланец лабиринта с сотами служит для уплотнения воздушной полости на выходе из КВД.

Лопатки СА конструктивно располагаются в диффузоре камеры сгорания.

Фланец лабиринта с сотами крепится болтовыми соединениями к корпусу внутреннему КС.

Упруго-демпферная опора предназначена для демпфирования радиальных колебаний ротора высокого давления компрессора и состоит из: кольца рессоры наружного; уплотнительных колец; регулировочного кольца; наружной обоймы шарикоподшипника – рис. 17.

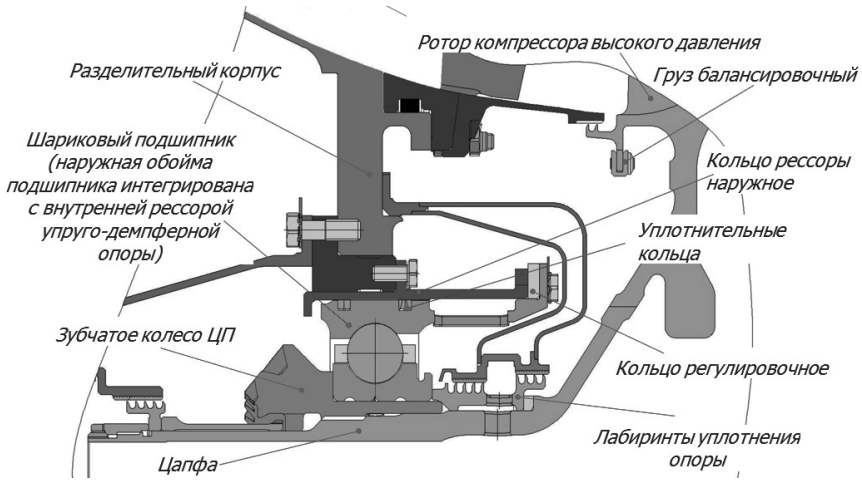


Рис. 17. Упруго-демпферная опора

В наружном кольце рессоры и фланце наружной обоймы шарикоподшипника выфрезерованы окна, которые являются элементами рессор.

Между наружной обоймой шарикоподшипника и наружным кольцом рессоры с помощью маслоуплотнительных колец образована полость в которую нагнетается масло с рабочим давлением. Образованная таким образом масляная прослойка является демпфирующей. Допустимый ход упруго-демпферной опоры  $\sim 0,2$  мм.

Величина КПД компрессора при работе двигателя зависит, в частности, от величины радиальных зазоров между рабочими лопатками ротора и корпусом компрессора, которые определяют потери, связанные с перетеканием газа из области высокого давления в область низкого давления. Указанные радиальные зазоры изменяются в зависимости от режимов работы двигателя и зависят от температурного состояния роторных и статорных деталей, коэффициента линейного расширения материала.

Для поддержания этих зазоров ближе к минимальным значениям в процессе работы двигателя применяется система активного управления радиальными зазорами КВД. Активное управление радиальными зазорами обеспечивается обдувом корпуса КВД более холодным воздухом, отбираемым из-за КНД.

#### 4. Корпус разделительный

Разделительный корпус (РК) является силовым элементом между компрессором низкого давления и компрессором высокого давления, корпусом вентилятора и реверсивным устройством.

Разделительный корпус (рис. 18) включает в себя: сварной разделительный корпус (состоящий из литой втулочной части, наружных силовых стоек и наружного кольца); трубопроводы наддува шарикоподшипника; стекатели.

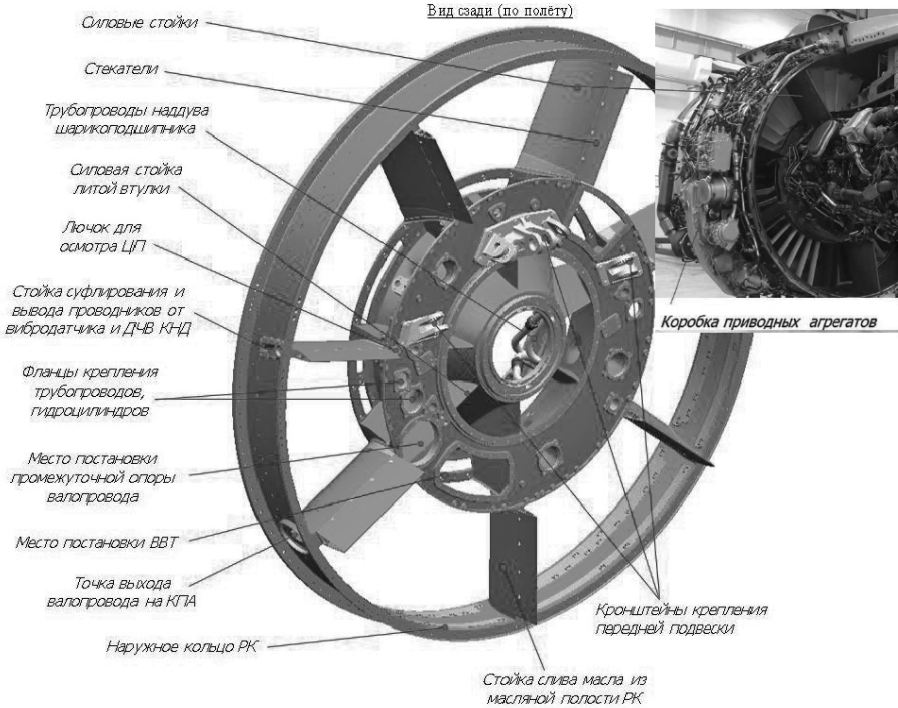


Рис. 18. Корпус разделительный и коробка приводных агрегатов

Разделительный корпус формирует по всей своей длине, внутреннюю и наружную проточные части.

В проточной части наружного контура имеются семь стоек, расположенных равномерно по окружности. В трех силовых стойках наружного контура проходят коммуникации двигателя.

Максимальная температура воздуха проточной части внутреннего контура в районе разделительного корпуса не более 180 °С.

Разделительный корпус выполняет следующие функции: позиционирует детали роторов относительно деталей статоров; обеспечивает частичную связь двигателя с самолетом; обеспечивает связь с корпусами окружающих узлов; воспринимает нагрузки (тягу двигателя, обратную тягу реверса, избыточные внутренние давления, повышенную внутреннюю температуру, от дисбалансов роторов, от эволюций самолета в полете, от обрыва лопатки вентилятора); обеспечивает выполнение аэродинамических функций; обеспечивает размещение

элементов системы перепуска воздуха из внутреннего контура в наружный; обеспечивает подвод масла смазки и охлаждения; обеспечивает подвод воздуха на обогрев КНД; обеспечивает слив масла.

В разделительном корпусе размещен центральный привод двигателя (см. рис.3), предназначенный для передачи крутящего момента от вала КВД к валу валопровода с промежуточной опорой (ВПО) и от валика ВПО к валу КВД при запуске двигателя, а также для установки модульной опоры шарикоподшипника КВД.

Центральный привод состоит из ведущего зубчатого колеса, установленного на вал КВД, ведомого зубчатого колеса (установленного на подшипниках качения) в корпусе центрального привода. Смазку подшипников и зубчатого зацепления обеспечивают жиклеры.

## 5. Камера сгорания

Камера сгорания (КС) двигателя ПД-14 кольцевого типа и предназначена для подвода энергии к рабочему телу при работе двигателя.

Камера сгорания двигателя ПД-14 расположена между компрессором высокого давления КВД и турбиной высокого давления ТВД и представляет собой законченный конструктивный и технологический модуль.

КС состоит из следующих основных элементов (рис. 19): корпуса наружного (сварной); корпуса внутреннего (с диффузором и СА КВД); перегородки перфорированной; трубы жаровой; комплекта форсунок (24 двояных форсунки); топливных коллекторов (3 контура); соплового аппарата 1-й ступени ТВД; свечей зажигания поверхностного разряда СП-14МС (2 шт.); штуцера дренажной системы; лючков осмотра.

Корпус наружный камеры сгорания предназначен для соединения в единый узел деталей КС и удержания избыточного давления рабочего тела в полости КС.

Корпус наружный представляет собой кольцевую профилированную оболочку с передним и задним кольцевыми фланцами, и рядами бобышек и фланцев на боковой поверхности. Бобышки и фланцы на боковой поверхности корпуса наружного предназначены для выполнения осмотров газовоздушного тракта, установки дренажного штуцера, крепления форсунок, свечей зажигания и трубопроводных коммуникаций (рис. 19, 20).

Корпус внутренний представляет собой кольцевую профилированную оболочку с передним и задним кольцевыми фланцами и кольцевым диффузором в средней его части.

Корпуса внутренний и наружный изготавливаются из никелевых сплавов. Лопатки спрямляющего аппарата КВД соединены со стенками диффузора пайкой высокотемпературным припоем. Корпус внутренний совместно с корпусом наружным образуют кольцевую полость, в которой располагается труба жаровая.

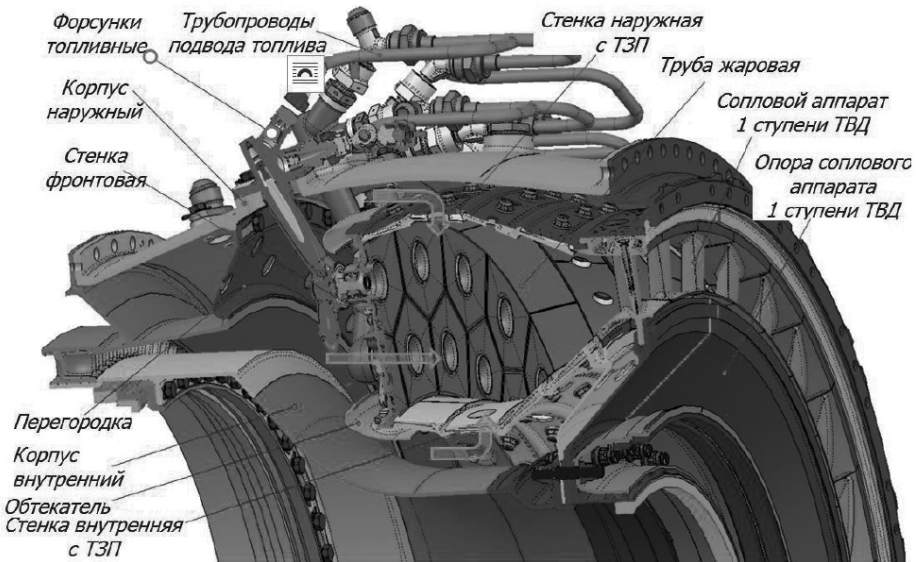


Рис. 19. 3D разрез модуля камеры сгорания

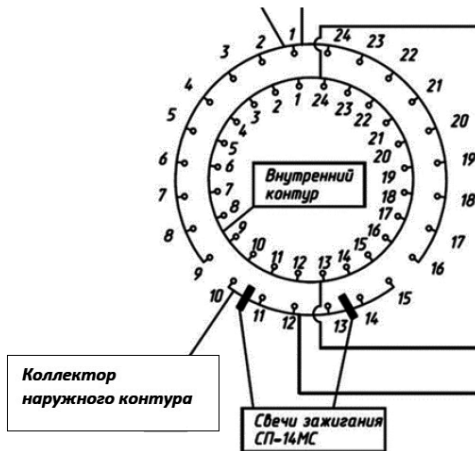


Рис. 20. Размещение коллекторов, форсунок и свечей зажигания

В передней части КС между корпусом наружным и корпусом внутренним имеется полость, отделенная перегородкой, из которой выполняется отбор воздуха на самолетные нужды и перепуск воздуха при запуске двигателя. Перегородка представляет собой штампованную профилированную оболочку, изготовленную из листовой заготовки никелевого сплава. Перегородка имеет множество

отверстий, обеспечивающих равномерный отбор воздуха и исключения влияния отборов на работу КС.

Труба жаровая предназначена для формирования устойчивого процесса горения топлива в КС с высокой степенью полноты сгорания и низкой эмиссией вредных веществ. Труба жаровая имеет двухслойную сегментную конструкцию с высокоэффективной импактно-конвективно-заградительной системой охлаждения, состоящей из внешних оболочек и накладных теплозащитных панелей (ТЗП покрыты керамическим слоем).

Труба жаровая состоит из стенок наружной, внутренней и фронтальной стенки, на которых установлены теплозащитные панели закреплённые резьбовыми штырями на пайке и обтекателей. Фронтальные модули расположенные во фронтальной стенке представляют собой завихрители с профилированными каналами и соплом. Фронтальные модули крепятся к фронтальной стенке с возможностью перемещения при тепловых расширениях. Фронтальные модули имеют центральную втулку для установки топливных форсунок.

Форсунка топливная одноконтурная, двухканальная предназначена для подвода и распыла топлива в КС. Форсунка представляет собой сварной узел, состоящий из корпуса с крепежным фланцем и двумя распылительными головками. Каждая головка содержит топливный центробежный распылитель и воздушный канал с завихрителем – рис. 21.

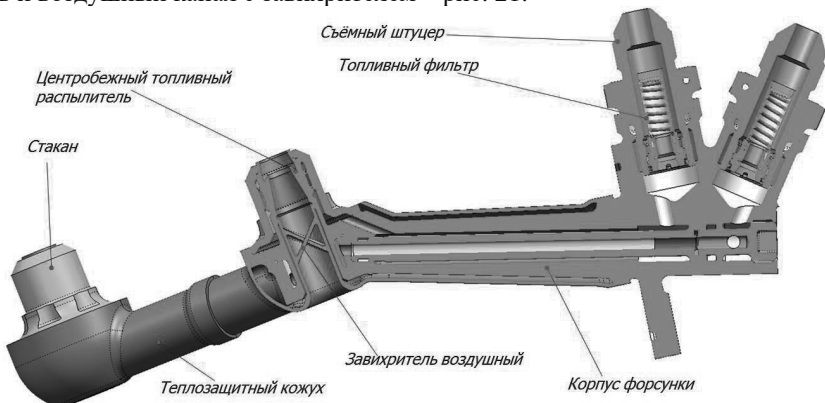


Рис. 21. Форсунка двухканальная с воздушным распылом

Топливный коллектор предназначен для подвода топлива к форсункам камеры сгорания. КС имеет 3-и топливных коллектора, на розжиге работает 1-й коллектор (6 форсунок), на разгоне подключается 2-й коллектор (18 форсунок), на малом газу подключается в работу 3-й коллектор.

Свечи зажигания поверхностного разряда предназначены для воспламенения топливно-воздушной смеси в камере сгорания двигателя при запуске на земле и в полете.

Штуцер дренажной системы предназначен для отвода конденсата из камеры сгорания в систему дренажа.

Лючки осмотра предназначены для выполнения осмотровых работ при техническом обслуживании камеры сгорания.

## 6. Турбина двигателя

Турбина двигателя предназначена для преобразования кинетической энергии газового потока в механическую работу на валу ротора и привода компрессоров высокого и низкого давления, вентилятора и агрегатов расположенных на коробке приводных агрегатов.

Турбина двигателя состоит из турбины высокого давления (ТВД) и турбины низкого давления (ТНД).

Турбина – осевая, двухвальная, роторы ТВД и ТНД вращаются с разными частотами вращения и направлениями. ТВД имеет направление вращения – левое по полёту, ТНД – правое.

### 6.1. Турбина высокого давления

ТВД предназначена для преобразования энергии газового потока в механическую работу для привода КВД и агрегатов расположенных на коробке приводных агрегатов.

ТВД состоит из ротора турбины высокого давления; статора турбины высокого давления; роликоподшипниковой опоры; переходного канала с первым сопловым аппаратом ТНД (рис.22).

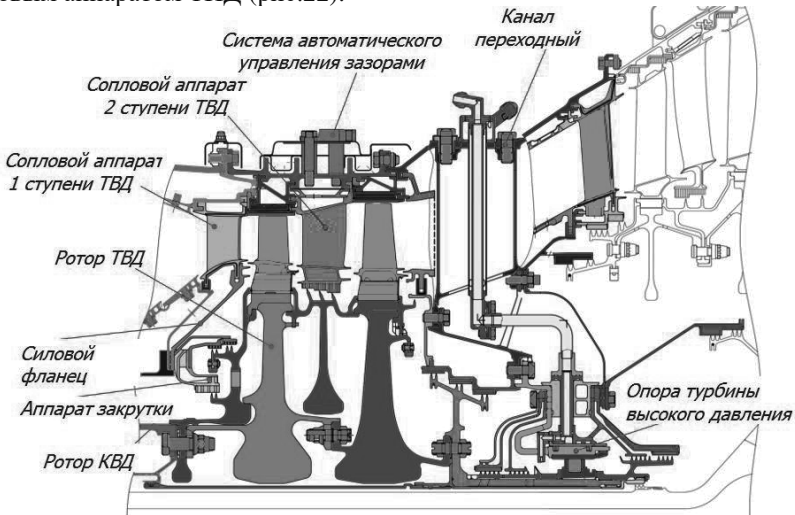


Рис. 22. Схема турбины высокого давления



Ротор ТВД имеет барабанно-дискую конструкцию и состоит из дефлектора диска первой ступени; промежуточного диска; 58 рабочих лопаток первой ступени и 62 рабочих лопаток второй ступени; кольца заднего (охлаждаются воздухом КВД); вала; лабиринта с маслозахватом; гайки-лабиринта. Рабочие лопатки 1-й ступени ТВД полые без бандажной полки (рис. 23).

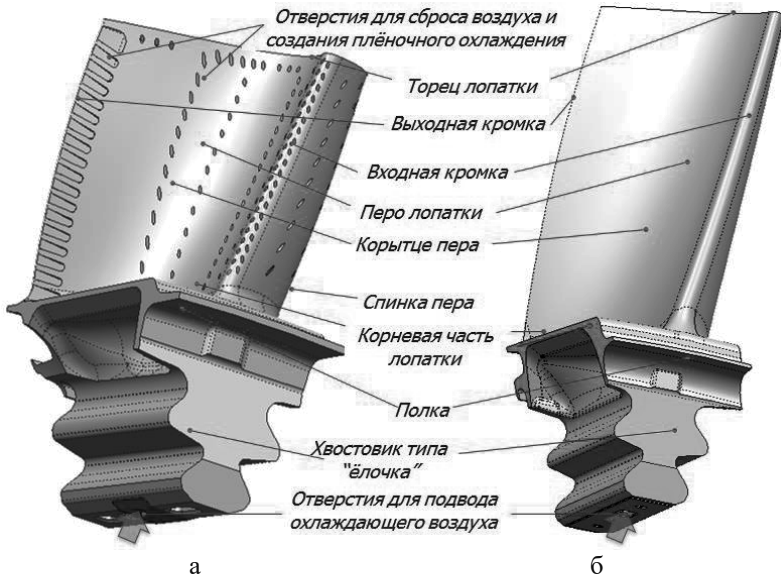


Рис. 23. Рабочие лопатки ТВД

а - рабочая лопатка 1-й ступени

б- рабочая лопатка 2-й ступени

Для повышения эффективности охлаждения внутри лопатки имеются цилиндрические переемычки – интенсификаторы. Охлаждающий воздух попадает в лопатку через отверстия в замковой части, продувает внутренние полости рабочей лопатки и выходит через отверстия во входной, выходной кромках и отверстия на спинке и корытце рабочей лопатки дополнительно создавая пленочное охлаждение наружной поверхности лопатки. На наружной поверхности рабочей лопатки 1-й ступени нанесено теплозащитное покрытие.

Рабочие лопатки 2-й ступени ТВД полые, без бандажной полки (рис. 23). Для повышения эффективности охлаждения внутри лопатки имеются цилиндрические переемычки – интенсификаторы. Охлаждающий воздух попадает в лопатку через отверстия в хвостовике, продувает внутренние полости рабочей лопатки и выходит через отверстия в торце рабочей лопатки. На наружной поверхности рабочей лопатки 1-й ступени нанесено теплозащитное покрытие.

Рабочие лопатки ТВД крепятся в ободу диска при помощи хвостовика типа

“ёлочка”, от осевых перемещений лопатки фиксируются при помощи дефлектора первой ступени, промежуточного диска и заднего кольца.

Дефлектор первой ступени, диски первой и второй ступеней с валом соединены в единую конструкцию при помощи призонных болтов.

Передним фланцем ротор соединяется с задним фланцем ротора КВД. К заднему фланцу диска второй ступени крепится фланец вала, на котором располагается роликовый подшипник задней опоры ротора высокого давления.

Лабиринт, совмещенный с задней частью вала, необходим для организации лабиринтного уплотнения формирующего полость охлаждения диска второй ступени.

Статор ТВД состоит из соплового аппарата первой ступени (охлаждается воздухом КВД); соплового аппарата второй ступени (охлаждается воздухом КВД); деталей системы автоматического управления радиальными зазорами ТВД; переходного канала с сопловым аппаратом первой ступени ТНД; трубопроводов подвода масла, трубопроводов суфлирования и откачки, трубопровода подвода воздуха для продувки силовой части опоры; опоры ТВД.

Сопловой аппарат первой ступени ТВД состоит из 30 сопловых лопаток, аппарата закрутки ТВД, силового фланца. Наружные полки сопловых лопаток 1-й ступени с помощью Г-образных выступов крепятся к наружной обечайке жаровой трубы камеры сгорания. Внутренние полки лопаток своими задними буртиками входят в кольцевую канавку силового фланца. Такое крепление лопаток обеспечивает компенсацию теплового расширения в радиальном направлении, в окружном направлении они могут расширяться за счёт зазора между полками.

Сопловой аппарат второй ступени ТВД состоит из 38 сопловых лопаток, корпуса который является силовой оболочкой, соединяется через фланцы болтовыми соединениями с корпусами камеры сгорания и переходного канала. Наружные полки сопловых лопаток 2-й ступени с помощью Г-образных выступов крепятся к наружному корпусу консольно.

На разрезные кольца ТВД нанесено истираемое покрытие.

ТВД охлаждается воздухом компрессора высокого давления силовые и рабочие лопатки 1-й ступени воздухом, отбираемым из-за 8-й ступени КВД; сопловые лопатки 2-й ступени воздухом, отбираемым от 6-й ступени КВД; рабочие лопатки 2-й ступени и диски воздухом отбираемым от 5-й ступени КВД; стойки переходного канала и первого соплового аппарата ТНД воздухом, отбираемым от 3-й ступени КВД; корпус ТВД (САУРЗ) воздухом наружного контура или из-за 8-й ступени КВД.

Величина КПД турбины и удельный расход топлива при работе двигателя зависят, в частности, от величины радиальных зазоров между рабочими лопатками и корпусом турбины, которые определяют потери, связанные с перетеканием газа из области высокого давления в область низкого давления. Указанные радиальные зазоры изменяются в зависимости от режимов работы двигателя и зависят от температурного состояния роторных и статорных деталей, коэффициента линейного расширения материала.

Для поддержания этих зазоров ближе к минимальным значениям в процессе работы двигателя применяется система активного управления радиальными зазорами в ТВД. Активное управление радиальными зазорами обеспечивается обдувом корпуса ТВД воздухом, отбираемым из компрессора.

Система активного управления радиальными зазорами (САУРЗ) коробчатого типа, состоит из 4-х сварных секторов, в каждый из которых подводится охлаждающий воздух. На внутренней части секторов выполнены по два перфорированных коллектора, через которые выполняется обдув корпуса ТВД – см. рис. 22.

Для снижения вибраций в конструкции предусмотрена упруго-демпферная опора, которая состоит из гибкого элемента рессоры и масляного демпфера. Масляный демпфер формируется фланцем и наружной поверхностью рессоры, расположенной над роликоподшипником ТВД. Масляно-воздушные коммуникации расположены в переходном канале, обеспечивают подвод, отвод масла и воздуха на подшипник.

Узел опоры состоит из рессоры; кольца опоры наружного; деталей уплотнения; жиклеров; коллектора масляно-воздушного; роликоподшипника ТВД; фланцев лабиринтных уплотнений.

Масло для смазки и охлаждения роликоподшипника ТВД подается через внутреннюю обойму, для чего через жиклер поступает в маслозахват, установленный на цапфе вала ТВД.

Переходный канал (см. рис. ) предназначен для обеспечения плавного перехода от проточной части турбины (ТВД) газогенератора к проточной части турбины низкого давления, а так же для передачи радиальных усилий с роликоподшипника ТВД на силовой корпус. Переходный канал входит в силовую схему двигателя и состоит из: наружного корпуса переходного канала; силовых стоек (стоек семинога); обтекателей с обечайками; соплового аппарата первой ступени ТНД (80 лопаток); деталей лабиринтного уплотнения.

В силовую часть переходного канала входят корпус переходного канала и семиног, состоящий из семи стоек. Через стойки семинога проходят трубопроводы: продувки семинога, подвода и откачки масла, суфлирования опоры ТВД.

Обтекатели с верхними и нижними обечайками формируют проточную часть. Через обтекатели проходят стойки семинога. Обтекатели обеспечивают плавное обтекание стоек семинога горячим газом, в обтекателях организовано конвективное охлаждение.

На внутреннем фланце переходного канала устанавливается опора ТВД, которая является задней опорой ротора газогенератора.

В состав переходного канала также входит сопловой аппарат 1-й ступени ТНД. Лопатки СА полые, через них проходит холодный воздух, подводимый к корпусу переходного канала, и охлаждает ротор ТНД.

## 6.2. Турбина низкого давления

Турбина низкого давления (ТНД), предназначена для привода компрессора низкого давления с вентилятором.

ТНД – осевая, реактивная, шестиступенчатая, с вращением ротора по часовой стрелке при виде по полету (рис. 24) и состоит из ротора; статора; опоры роликоподшипника; задней опоры турбины низкого давления; системы активного управления радиальными зазорами.

Передним фланцем корпус ТНД соединяется с корпусом переходного канала.

Уплотнение проточной части между подвижным и неподвижным лопаточным венцом выполнено с помощью лабиринтных уплотнений.

К задним фланцам опоры ТНД крепится внутреннее сопло и центральное тело (рис.25).

Ротор ТНД предназначен для преобразования энергии газового потока в механическую работу на валу ротора для привода КНД и вентилятора.

Ротор ТНД имеет барабанно-дискую конструкцию и состоит из рабочих колес 1-6 ступени (рабочие лопатки полые, неохлаждаемые с бандажной полкой); лабиринтов междисковых; лабиринта переднего; лабиринта заднего; роликоподшипника ТНД; лабиринта уплотнения опоры роликоподшипника ТНД; вала; лабиринтов разгрузочных; стяжной гайки.

Крутящий момент с ротора ТНД на ротор КНД передается через шлицевое соединение валов ТНД и КНД.

Радиальные нагрузки ротора воспринимаются роликовым подшипником, который является задней опорой ротора НД двигателя.

Крутящий момент с рабочих колёс на вал передается через диск четвертой ступени. Осевые усилия с ротора ТНД на ротор КНД передаются через вал ТНД и гайку, затягивающую шлицевое соединение валов КНД и ТНД.

Лабиринт – передний диска первой ступени, лабиринт - задний диска шестой ступени и рабочие диски между собой соединены призонными болтами. Призонные болты обеспечивают осевую фиксацию элементов ротора и передачу крутящего момента.

Передний и задний лабиринты препятствуют попаданию продуктов сгорания во внутреннюю полость ротора.

Лабиринты разгрузочные ротора ТНД образуют полость сброса воздуха из опоры ТВД и обеспечивают необходимый уровень осевой силы на шарикоподшипник ротора низкого давления (вентилятора).

Для обеспечения необходимого уровня температуры деталей замковые соединения дисков первой – шестой ступеней продуваются воздухом из-за третьей ступени КВД.

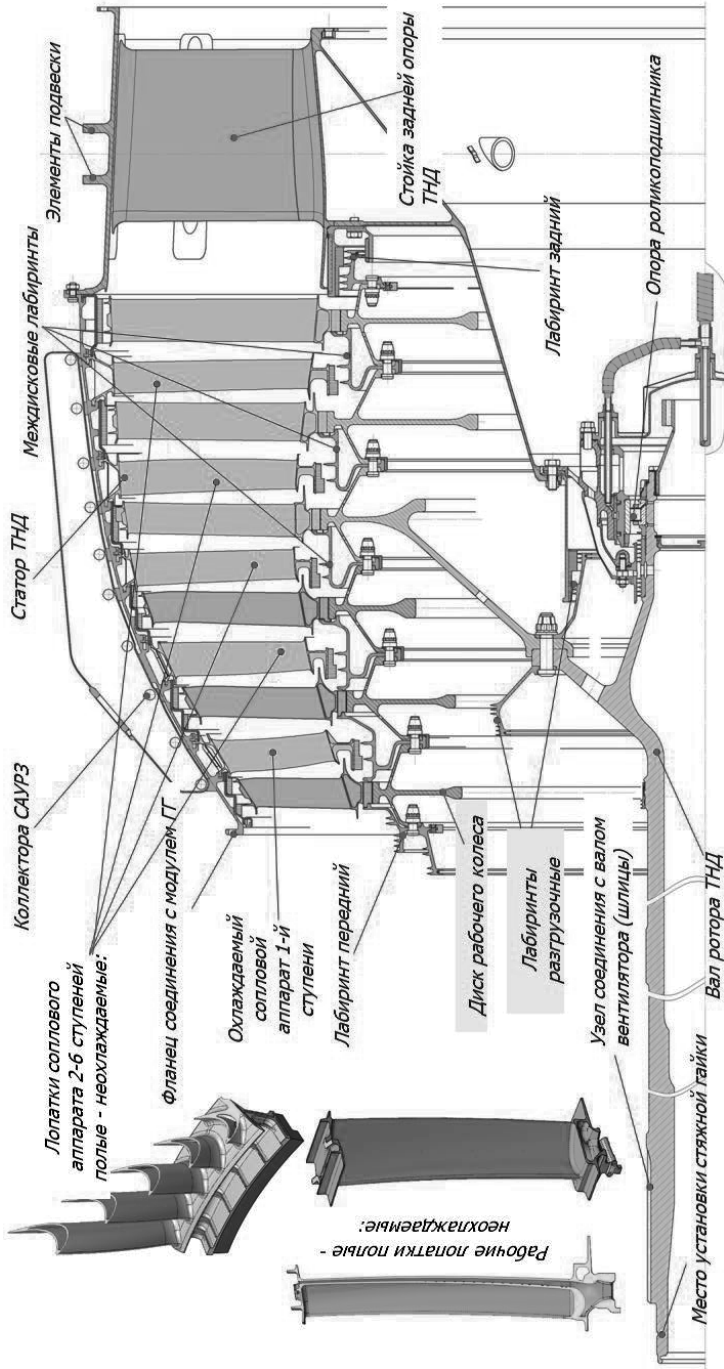


Рис. 24. Схема модуля ТНД, рабочие лопатки и СА ТНД

Статор ТНД предназначен для преобразования потенциальной энергии газа в кинетическую и формирования проточной части, а так же для восприятия и передачи усилий с ротора ТНД на подвеску двигателя и удержания блоков сопловых лопаток и секторов.

Статор ТНД состоит из: первого соплового аппарата ТНД (конструктивно входит в переходный канал ТВД); блоков сопловых лопаток 2-6 ступени (лопатки полые, неохлаждаемые); корпуса ТНД; задней опоры; секторов сотовых; узла роликоподшипника; масляных трубопроводов, обеспечивающих подвод и отвод масла на подшипник (в задней опоре ТНД).

Статор воспринимает газодинамические нагрузки от сопловых лопаток ТНД, а также инерционные нагрузки от ротора ТНД через опору и передает их на корпус газогенератора и заднюю подвеску двигателя (рис. 4).

Первый сопловый аппарат входит в состав переходного канала ТВД, через сопловые лопатки первой ступени обеспечивается подвод воздуха для охлаждения ротора ТНД.

Опора ТНД предназначена для передачи нагрузок с ротора ТНД на статор. Она состоит из: крышки лабиринта; втулки рессоры; корпуса опоры; рессоры; переходника; масляного трубопровода; крышки корпуса опоры; масляной форсунки; подшипника; лабиринта; уплотнений; трубы откачки масла.

Опора упруго-демпферная, по типу «беличье колесо». Упругим элементом служит рессора. Демпфер расположен между корпусом опоры и рессорой. Масло в демпфер подается через трубопровод и переходник.

Масляная полость образована корпусом опоры с лабиринтами и крышкой корпуса опоры. Наддув лабиринтного уплотнения происходит через вал ТНД.

Для защиты масляной полости от нагрева вокруг нее выполнены полости, продуваемые воздухом. После продувки воздух сбрасывается в отверстия кожуха крышки корпуса опоры.

Подача масла на подшипник ротора ТНД организована масляной форсункой. Масло подается на внутреннюю поверхность вала, а затем по радиальным каналам поступает на дорожку качения внутренней обоймы, и далее под действием центробежных сил растекается по телам качения и на наружную обойму. Коммуникации опоры расположены в силовых стойках задней опоры.

Опора ТНД располагается между ТНД и соплом внутренним и представляет собой конструкцию составляющую с ТНД единый узел (модуль).

Функции опоры турбины низкого давления: служит опорой вала турбины низкого давления ТНД; с элементами задней подвески образует задний силовой пояс двигателя и служит для крепления элементов задней подвески; служит для расположения коммуникаций: трубопроводов подвода/отвода масла и воздуха; служит для спрямления с помощью профилированных стоек потока газа, вытекающего из ТНД, на входе во внутреннее сопло; служит для крепления сопла внутреннего и центрального тела; образует проточную часть на участке между ТНД и внутренним соплом.

Опора ТНД состоит из: наружного корпуса; внутреннего корпуса; 15 профилированных стоек (пяти толстых и 10 тонких приваренных к корпусам).

Корпус опоры цельносварной, неохлаждаемый состоит из коаксиально расположенных наружного и внутреннего корпусов, с сваренными между ними тангенциально, с наклоном  $8^\circ$ , 15 литыми профилированными стойками.

Наружный корпус образован цилиндрической обечайкой с фланцами и проушинами крепления тяг системы подвески двигателя к пилону крыла самолёта.

Внутренний корпус образован наружной профилированной стенкой и точёными фланцами из раскатных колец, соединённых листовыми конусными стенками.

На верхней части наружного корпуса опоры предусмотрены проушины крепления тяг системы подвески двигателя к пилону крыла самолёта.

Для минимизации врезания гребешков рабочих лопаток в сотовые сектора статора ТНД и поддержания требуемого КПД турбины в конструкции ТНД предусмотрена САУРЗ (рис. 24). Охлаждающий воздух через коробки распределительные попадает трубопроводные коллекторы и выходя через отверстия в трубопроводах охлаждает корпус статора ТНД тем самым устанавливая оптимальный зазор между рабочими лопатками турбины и корпусом статора.

## 7. Система выхлопа двигателя

Система выхлопа предназначена для отведения выхлопных газов от турбины в атмосферу с преобразованием тепловой и потенциальной энергии газов в кинетическую энергию вытекающих струй.

Выхлопное устройство состоит из сопла внутреннего и центрального тела (корпуса с конусом)– рис. 25,26.

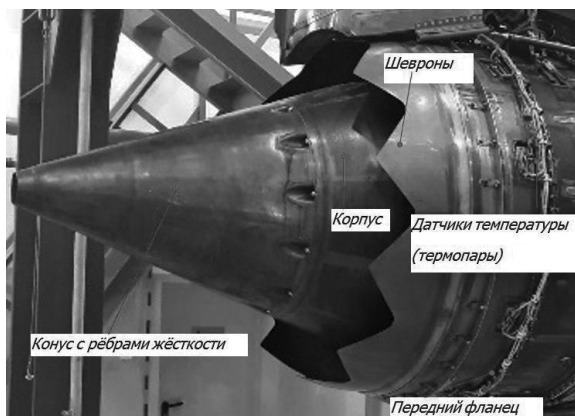


Рис. 25. Вид внутреннего сопла и центрального тела

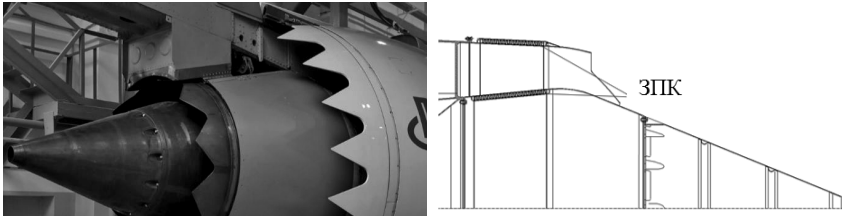


Рис. 26. Вид внутреннего сопла, центрального тела и наружного сопла

Сопло внутреннее представляет собой конусную сварную конструкцию с ЗПК, устанавливаемую на двигатель в виде единого узла (модуля) – рис. 25.

Сопло внутреннее – это модуль, состоящий из сопла и установленных по окружности 11 датчиков температуры (термопар). Сопло передним кольцевым фланцем крепится к опоре ТНД.

Установка шевронов на выходных кромках сопел наружного и внутреннего контуров обеспечивает снижение шума струи на 3 – 4 дБ в области максимума спектра при потерях тяги на уровне 1 - 1,5 % идеальной тяги сопла.

Установка металлических однослойных ЗПК за турбиной обеспечивает снижение шума на ~3 дБ в диапазоне частот 4 – 5 кГц.

Центральное тело представляет собой конструкцию, состоящую из корпуса и конуса. Центральное тело передним фланцем крепится к опоре ТНД.

Корпус представляет собой конусную сварную конструкцию с ЗПК, передним и задним кольцевыми фланцами. К заднему фланцу корпуса крепится конус, представляющий собой конусную сварную конструкцию с ребрами жесткости.

## 8. Устройство реверсирования тяги с соплом наружного контура

Реверсивное устройство (РУ) предназначено для изменения направления реактивной струи, для получения обратной тяги при пробеге на этапе посадки, и снижения длины пробега самолета по взлетно-посадочной полосе. Кроме того, реверсивное устройство является средством повышения безопасности посадки на мокрую или обледенелую ВПП и в случае прерванного взлета.

Реверсивное устройство - решетчатого типа, конструктивно расположено в хвостовой части мотогондолы и объединено с наружным соплом (рис.27). САУ реверсивного устройства работает во взаимодействии с самолетной системой и электронно-вычислительным комплексом системы автоматического управления двигателя.

В модуль реверсивного устройства входят следующие элементы: подвижная часть со звеньями створок и тягами; неподвижная часть; система электропривода реверсивного устройства (ЭРУ); вторичный замок; система сдвижки и фиксации.



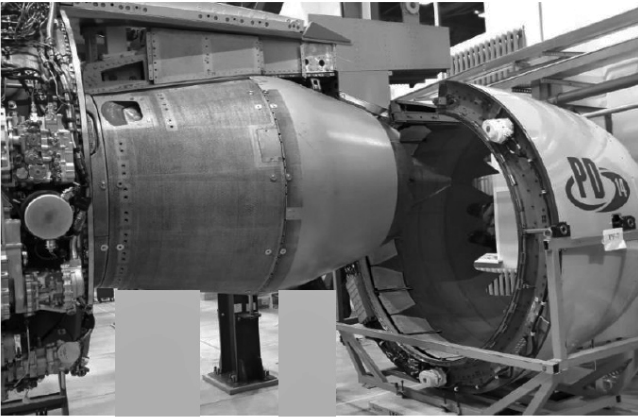


Рис. 27. Модуль реверса перед монтажом на шплон

Время переключения реверсивного устройства: на обратную тягу – 2 с, на прямую тягу – 4...6 с.  
Тяга на максимальном реверсивном режиме – 2700 кгс.  
Разрешается на пробеге при скорости самолета не менее 110 км/ч. Время непрерывной работы на режиме «Максимальный реверсивный», не более 30 с.

Подвижная часть состоит из наружного и внутреннего подвижных обтекателей объединенных с наружным соплом, выполненных из композиционного материала и звеньев перекрывающих канал наружного контура створок (11 штук), установленных на переднем фланце внутреннего обтекателя (рис. 28). В положении «Прямая тяга» подвижная часть закрывает каркас реверсивного устройства с решетками и образует проточную часть наружного контура.

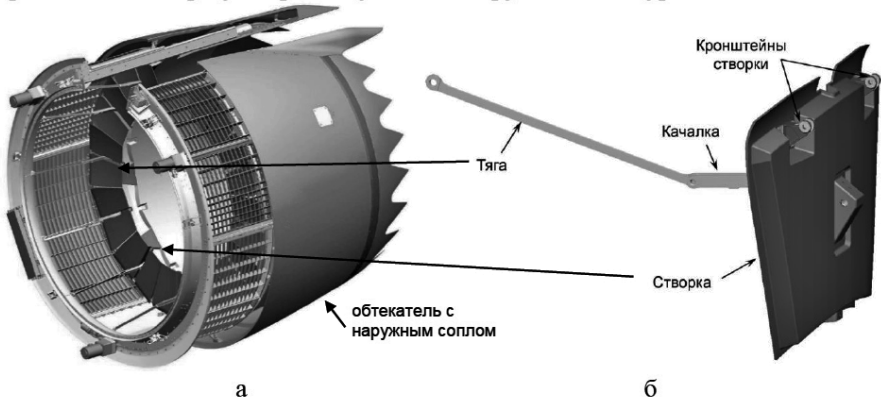


Рис. 28. Реверсивное устройство в положении обратная тяга (а) и створка РУ в положении обратная тяга

Неподвижная часть реверсивного устройства представляет собой решетчатый силовой каркас и состоит из переднего, заднего титановых шпангоутов с направляющими и секций углепластиковых решеток (8 штук), установленных между шпангоутами. В нижней части каркаса установлены силовые панели. Дополнительно на переднем шпангоуте установлены: перегородка РУ (на

наружный фланец которой опираются створки мотогондолы), внутренний входной участок в решетки РУ (обеспечивает плавный поворот потока в каналы решеток). Металлический силовой каркас с решетками, закрепленный на переднем корпусе двигателя системой замков, представляет собой жесткую кольцевую конструкцию, по которой перемещается подвижная часть.

Электропривод РУ (ЭРУ) предназначен для перекладки РУ двигателя из положения «Прямая тяга» в положение «Обратная тяга» и обратно во время пробежки самолета по взлетно-посадочной полосе после его посадки. С помощью ЭРУ подвижная часть РУ перемещается на направляющих неподвижной части, в процессе перемещения створки посредством кинематических звеньев тяг и качалок поворачиваются и перекрывают КНК. РУ включает в себя блок управления, три электромеханизма и электропроводку.

### **Контрольные вопросы**

1. Что входит в состав силовой установки самолета с двигателем ПД-14 (далее – двигатель)?
2. Перечислите модули мотогондолы.
3. Что понимается под унифицированным газогенератором ?
4. Назовите основные узлы двигателя.
5. Какими модулями образована конструкция двигателя ?
6. Какие конструктивные элементы образуют силовую схему ротора двигателя и как осуществляется передача усилий ?
7. Какие конструктивные элементы образуют силовую схему статора двигателя ПД-14 и как осуществляется передача усилий ?
8. Как осуществляется крепление двигателя к самолету ?
9. Дайте общую характеристику конструкции компрессора двигателя.
10. Перечислите детали общей сборки КНД.
11. Опишите конструкцию вентилятора-бустера двигателя.
12. Какими конструктивными решениями обеспечивается газодинамическая устойчивость КНД ?
13. Опишите назначение, функции и состав разделительного корпуса двигателя.
14. Дайте общую характеристику компрессора высокого давления двигателя.
15. Охарактеризуйте конструкцию ротора КВД двигателя.
16. Охарактеризуйте конструкцию статора КВД двигателя.
17. Охарактеризуйте механизацию КВД двигателя.
18. Охарактеризуйте конструктивные решения по снижению вибрации двигателя.
19. Опишите систему активного управления радиальными зазорами КВД.
20. Какие материалы использованы в конструкции компрессоров двигателя?

21. Тип камеры сгорания двигателя и ее основные элементы ?
22. Охарактеризуйте особенности конструкции жаровой трубы камеры сгорания двигателя.
23. Как конструктивно реализована форсунка камеры сгорания двигателя?
24. Дайте общую характеристику турбины двигателя.
25. Опишите конструкцию ротора турбины высокого давления двигателя.
26. Опишите конструкцию статора турбины высокого давления двигателя.
27. Опишите систему охлаждения турбины высокого давления двигателя.
28. Охарактеризуйте систему активного управления радиальными зазорами турбины двигателя.
29. Назначение и особенности конструкции переходного корпуса турбин двигателя.
30. Опишите конструкцию ротора турбины низкого давления двигателя.
31. Опишите конструкцию статора турбины низкого давления двигателя.
32. Опишите назначение и состав выходного устройства двигателя.
33. Тип реверсивного устройства двигателя, его состав и особенности монтажа?

### Литература

Кузнецов С.Н., Ряссов В.А. Двигатель ПД-14. Конспект лекций 1-12. – Пермь. 2019. 193 с.

## Содержание

Введение.....	3
1. Характеристика силовой установки самолета МС-21 с двигателем ПД-14.....	3
2. Характеристика конструктивно-компоновочной и силовой схемы двигателя.....	5
3. Компрессор двигателя .....	8
3.1. Компрессор низкого давления.....	8
3.2. Компрессор высокого давления.....	13
4. Корпус разделительный.....	19
5. Камера сгорания.....	21
6. Турбина двигателя.....	24
6.1. Турбина высокого давления.....	24
6.2. Турбина низкого давления.....	28
7. Система выхлопа двигателя.....	31
8. Устройство реверсирования тяги с соплом наружного контура.....	32
Контрольные вопросы.....	34
Литература.....	35