

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

КОНСТРУКЦИЯ И ПРОЧНОСТЬ АВИАЦИОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ. СИСТЕМЫ АВИАЦИОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ
ВОЗДУХОЗАБОРНОГО УСТРОЙСТВА, КОКА
И ПРОТИВООБЛЕДЕНИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ
ТРДД ТИПА ПД-14

Учебно-методическое пособие
по изучению дисциплины

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

Москва
ИД Академии Жуковского
2025

УДК 629.7.036.34
ББК 0551-021
М38

Рецензент:

Хрустиков С.Г. – ст. преп.

Машошин О.Ф.

М38

Конструкция и прочность авиационных двигателей. Системы авиационных двигателей. Особенности конструкции воздухозаборного устройства, кока и противообледенительной системы ТРДД типа ПД-14 [Текст] : учебно-методическое пособие по изучению дисциплины / О.Ф. Машошин, С.Н. Кузнецов, Л.В. Москаленко, В.А. Ряссов, Б.А. Чичков. – М.: ИД Академии Жуковского, 2025. – 24 с.

Данное учебно-методическое пособие издается в соответствии с рабочей программой учебной дисциплины «Конструкция и прочность авиационных двигателей», «Системы авиационных двигателей» по учебному плану направлений подготовки 25.03.01, 25.03.03 специальности 25.05.05 для студентов всех форм обучения.

Рассмотрено и одобрено на заседаниях кафедры 04.09.2025 г. и методического совета 18.09.2025 г.

УДК 629.7.036.34
ББК 0551-021

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. 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. [1]

Настоящее пособие ставит целью дать первоначальное представление об особенностях конструкции воздухозаборного устройства, кока и противообледенительной системы ТРДД типа ПД-14 в рамках тем дисциплин конструкции узлов и систем АД.

Типы входных устройств и их классификация

Входные устройства ГТД предназначены для забора воздуха из окружающей атмосферы, подвода его к двигателю с наименьшими потерями и осуществления процесса сжатия этого воздуха от скоростного напора. [2]

Основным элементом входного устройства является воздухозаборник.

Входные устройства (ВУ) подразделяют на:

- дозвуковые – для чисел M крейсерского полета, не превышающих $0,8...0,9$. Устанавливаются на самолетах гражданской авиации, военно-транспортных самолетах и на вертолетах. В силовых установках этих ЛА сжатие воздуха осуществляется в основном компрессором, а повышение давления за счет скоростного напора невелико. Конструктивно эти ВУ достаточно просты. Их выполняют нерегулируемыми.

У дозвуковых ЛА сжатие воздуха от скоростного напора является не очень значительным и входное устройство осуществляет, в основном, только функции забора и подвода воздуха к двигателю в нужном количестве с малыми потерями.

- трансзвуковые ВУ – для больших дозвуковых крейсерских и относительно небольших сверхзвуковых максимальных скоростей полета ($M_{н} < 1,5...1,7$). Повышение давления за счет скоростного напора в таких устройствах является более значительным; они также отличаются простотой конструкции, так как обычно выполняются нерегулируемыми.

- сверхзвуковые ВУ устанавливаются на самолетах, имеющих высокие значения максимальных чисел M полета. Их, как правило, выполняют регулируемые.

Основными параметрами ВУ и требованиями, предъявляемыми являются:

1. Коэффициент восстановления полного давления, оценивающий потери полного давления при сжатии воздуха в ВУ и при его подводе к двигателю как отношение значения полного давления воздуха на выходе из ВУ (на входе в двигатель) и полного давления в набегающем на ЛА воздушном потоке.

При дозвуковых скоростях полета сжатие воздуха от скоростного напора сопровождается лишь небольшими потерями на трение и вихреобразование, и поэтому значение коэффициента восстановления полного давления лишь немного меньше единицы.

Потери полного давления воздушного потока в воздухозаборнике ведут к пропорциональному снижению полного давления потока воздуха или газа во всех элементах двигателя, что ведёт к снижению тяги двигателя. Поэтому первым требованием к входным устройствам является обеспечение максимально возможных значений коэффициента восстановления полного давления.

2. Степень повышения давления.

3. Коэффициент внешнего сопротивления входного устройства, служащий для определения внешнего сопротивления ВУ.

Обеспечение минимальных значений $s_{x,vx}$ на основных режимах полета ЛА является вторым важнейшим требованием к ВУ.

Входное устройство ТРДД типа ПД-14 - дозвукового типа.

Схема дозвукового воздухозаборника приведена на рис. 1.

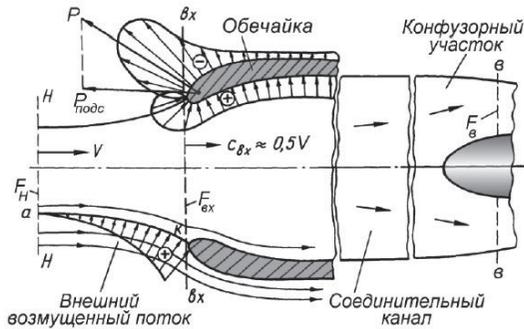


Рис. 1. Схема течения воздуха в дозвуковом входном устройстве

Он состоит из обечайки и канала для подвода воздуха к двигателю. Обечайка выполняется с профилированными относительно толстыми и плавно обтекаемыми входными кромками. Площадь на входе в обечайку $F_{вх}$ выбирается такой, чтобы в расчетных условиях полета она была больше площади струи втекающего воздуха F_H , а скорость $c_{вх}$ меньше скорости полета V . Обычно для самолетных ГТД принимают $c_{вх} \sim 0,5V$. В этом случае почти всё

сжатие воздуха за счет скоростного напора осуществляется перед плоскостью входа, т.е. вне воздухозаборника. Канал за обечайкой должен обеспечивать плавное изменение скорости и не иметь резких поворотов потока, чтобы обеспечить безотрывное течение воздуха и равномерное поле скоростей на входе в компрессор. Непосредственно перед этим входом канал выполняется конфузорным. Ускорение потока на этом участке способствует дополнительному выравниванию поля скоростей.

Внешнее сопротивление X_{ex} дозвукового воздухозаборника при идеальном обтекании гондолы двигателя (т.е. в случае, когда отсутствуют трение и отрывы потока) близко к нулю. В реальных условиях X_{ex} складывается из сопротивления давления и сопротивления трения, возникающих на ее внешней поверхности. Если обечайка имеет плавное очертание передних кромок и обтекается внешним потоком безотрывно, то на ее внешней поверхности за счет ускорения потока появляется зона разрежения и возникает подсосывающая сила. Эта сила направлена в сторону полета, она тем больше, чем меньше F_h по сравнению с F_{ex} и поэтому практически полностью компенсирует дополнительное сопротивление, возникающее при $F_h < F_{ex}$. Поэтому при $M_n < 0,5$ практически $c_{x,ex} = 0$. В диапазоне от $M_n = 0,5$ до $M_n = 0,8$ коэффициент $c_{x,ex}$ увеличивается незначительно и его максимальное значение не превышает обычно $0,05 \dots 0,1$. Коэффициент восстановления полного давления у дозвуковых ВУ при $M_n \leq 0,8$, как показывают эксперименты, лежит в пределах $0,96 \dots 0,99$. [2]

1. Воздухозаборное устройство ТРДД типа ПД-14 как часть мотогондолы двигателя и особенности его конструкции

Воздухозаборное устройство (воздухозаборник) с элементами противообледенительной системы входит в состав мотогондолы двигателя ПД-14.

Основная функция мотогондолы – обеспечение минимально возможного внешнего аэродинамического сопротивления двигательной установки на всех режимах полета и формирование воздушного потока на входе в двигатель с минимальными потерями полного давления и минимальной деформацией потока. Также мотогондола защищает двигатель и его агрегаты от различных внешних воздействий: внешнего потока на всех режимах работы, загрязнений, атмосферных воздействий, статического электричества и молнии, попадания различных посторонних предметов, силового и температурного воздействия реверсивных струй.

Конструкция узлов мотогондолы обеспечивает доступ к деталям и агрегатам, требующим осмотра и обслуживания.

В состав мотогондолы, помимо воздухозаборного устройства с элементами противообледенительной системы, входят капоты мотогондолы и устройство реверсирования тяги двигателя с соплом наружного контура – рис.2.

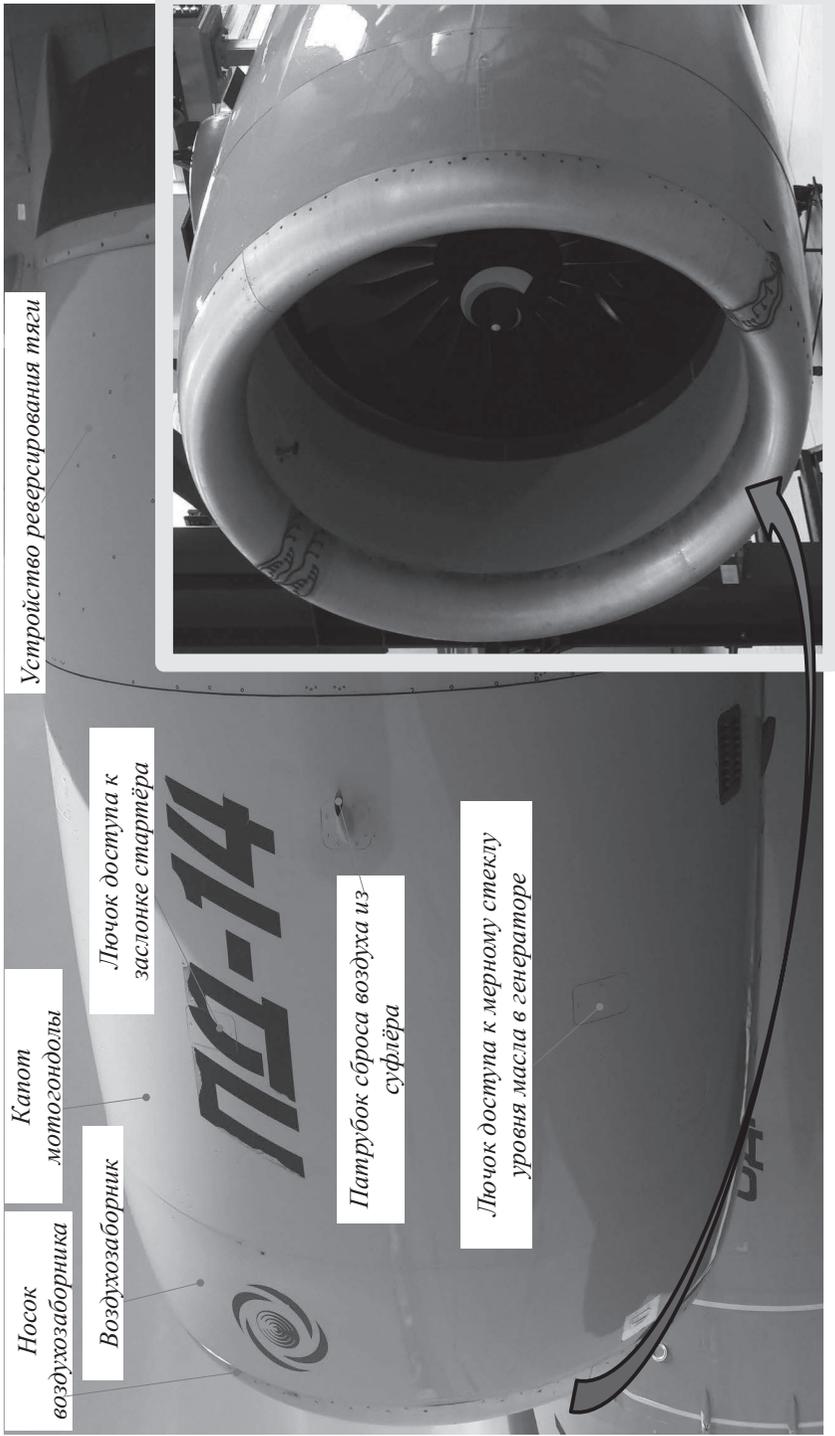


Рис. 2. Элементы мотогондолы

Воздухозаборное устройство (воздухозаборник) двигателя ПД-14 обеспечивает подвод необходимого количества воздуха во всех ожидаемых условиях эксплуатации самолёта, формирует поток поступающего в двигатель воздуха с минимальными потерями скоростного напора и минимальным уровнем шума.

В состав воздухозаборника (рис.3) двигателя входят (рис. 4):

- корпус воздухозаборника, выполненный из полимерного композиционного материала (ПКМ);
- обтекатель наружный, выполненный из ПКМ;
- носок воздухозаборника с элементами ПОС;
- перегородки с ребрами жесткости и шпангоут.

Корпус воздухозаборника спрофилирован для достижения оптимальных аэродинамических характеристик, не имеет продольных стыков на внутренней поверхности, т.е. с «бесшовной» проточной частью. Корпус воздухозаборника является акустическим, состоит из двух рядов сотового заполнителя. К переднему фланцу корпуса крепится носок воздухозаборника, за задний фланец воздухозаборник крепится к двигателю – рис. 7. Корпус имеет место для установки датчика температуры комбинированного П-116М2 – рис. 5,8.

Обтекатель наружный (см. рис. 3) спрофилирован для достижения оптимальных аэродинамических характеристик, не имеет стыков на наружной поверхности, т.е. «бесшовный». Обтекатель представляет собой однослойный углепластиковый кожух с кольцевым ребром жесткости. На наружную оболочку нанесено специальное покрытие, защищающее конструкцию от эрозии и от воздействия статического электричества, также непосредственно в сам материал введена электропроводящая сетка. Для удобства обслуживания и контроля состояния деталей воздухозаборника и ПОС наружный обтекатель имеет лючок в верхней части (см. рис. 3). Также на обтекателе расположены воздухозаборник для вентиляции подкапотного пространства (см.рис. 3).

Шпангоут воздухозаборника представляет собой кольцевую стенку с ребрами жесткости (см. рис.4). Он служит для крепления корпуса воздухозаборника и наружного обтекателя воздухозаборника между собой и дополнительно выполняет функции противопожарной перегородки, имеет отверстия для вывода коммуникаций с датчиков и подвода воздуха через трубу к ПОС (см. рис. 4,5). Дополнительно внутри воздухозаборника, на шпангоуте, устанавливается модуль системы защиты двигателя от раскрутки роторов модуль БЗД-14 (см. рис. 6, справа по полёту на 17 часов).

Носок воздухозаборника – кольцевой узел аэродинамической геометрии содержащий элементы противообледенительной системы (ПОС) (см. рис. 4). Противообледенительная система воздухозаборника – воздушная, для обогрева используется воздух, отбираемый от 6 ступени компрессора высокого давления двигателя. Горячий воздух подводится к носку воздухозаборника по трубе и при помощи кольцевого коллектора, расположенного внутри носка воздухозаборника, обеспечивает равномерный прогрев поверхности носка.

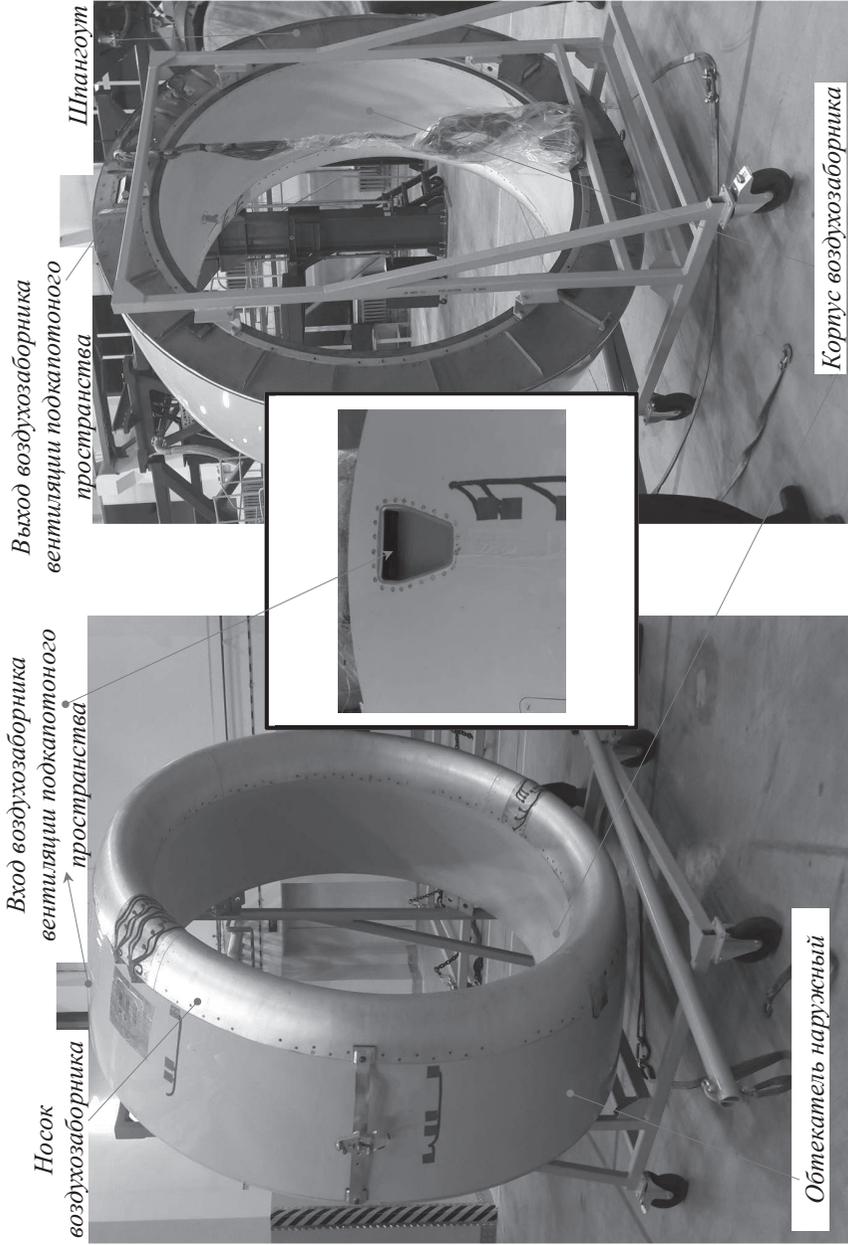


Рис. 3. Воздухозаборник

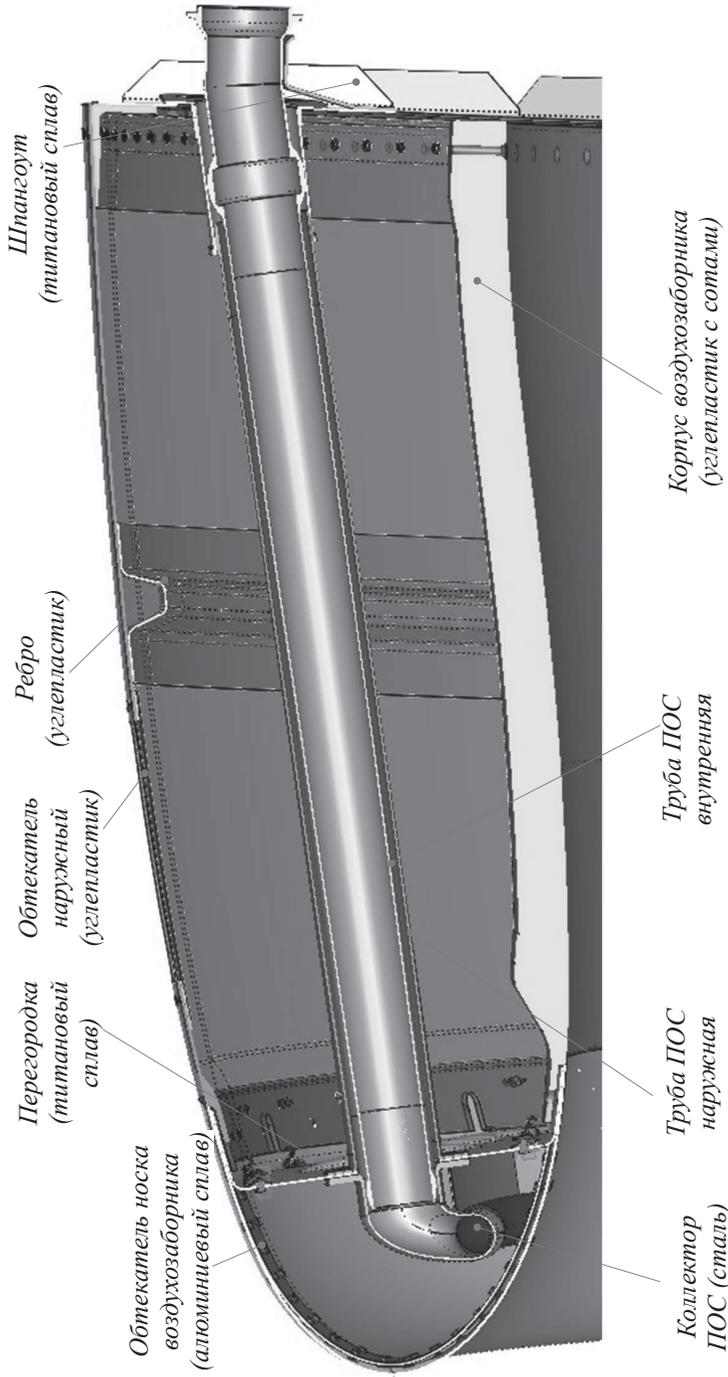


Рис. 4. Конструкция воздухозаборника и применяемые материалы

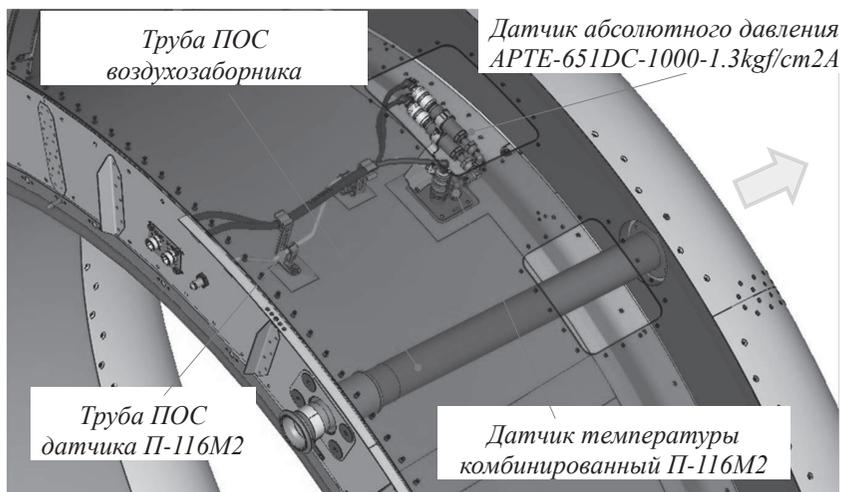


Рис. 5. Трубы и датчики воздухозаборника

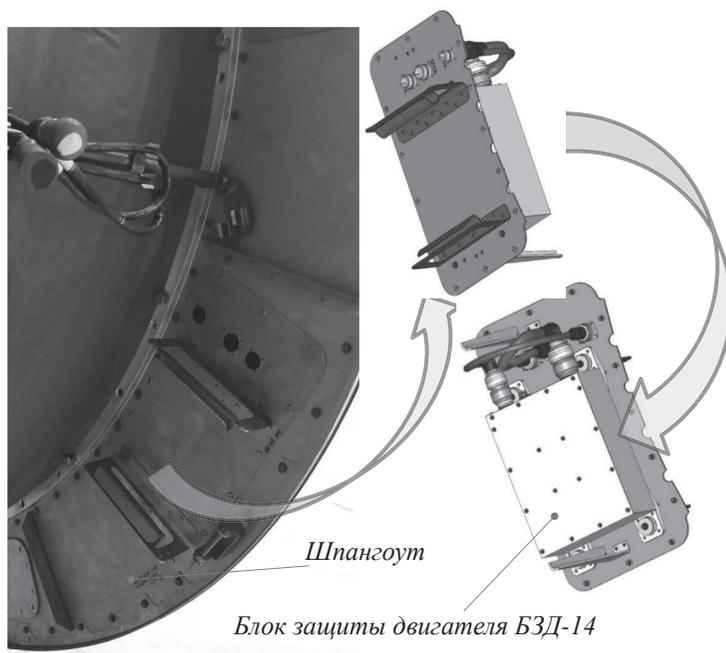


Рис. 6. Размещение блока защиты двигателя БЗД-14
на шпангоуте воздухозаборника

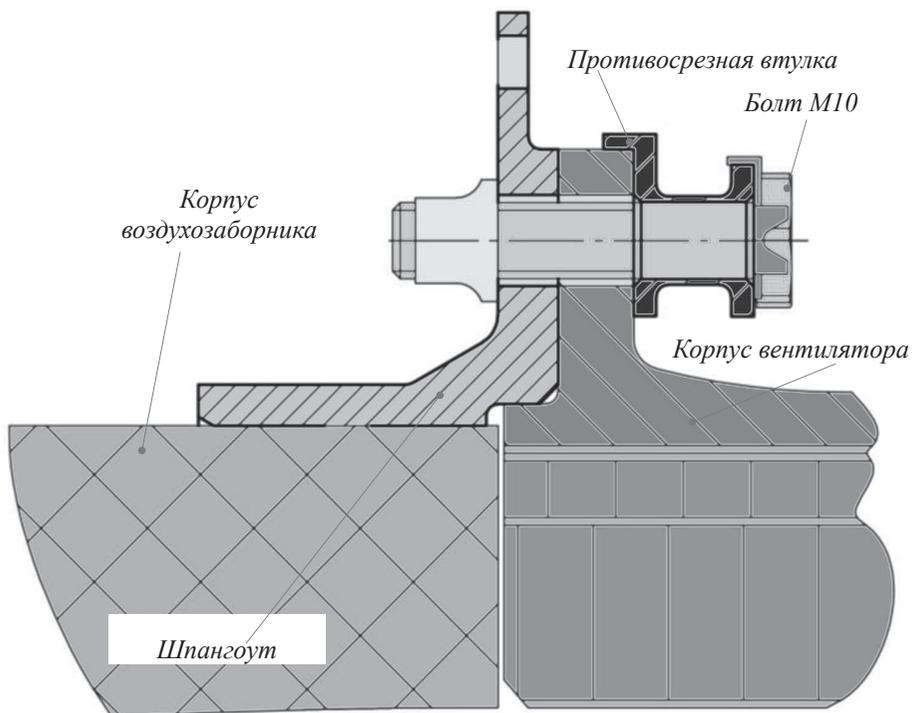


Рис. 7. Крепление воздухозаборника к двигателю



Рис. 8. Расположение датчика температуры П-116М2 в корпусе воздухозаборника

Носок воздухозаборника представляет собой кольцевой узел, содержащий элементы системы ПОС (см. рис. 4,5).

Противообледенительная система (ПОС) воздухозаборника – воздушная, для обогрева используется воздух, отбираемый от 6 ступени компрессора высокого давления двигателя – рис. 12, подробнее в разделе 3 пособия.

Горячий воздух подводится к носку воздухозаборника по трубе и при помощи кольцевого коллектора, расположенного внутри носка воздухозаборника, обеспечивает равномерный прогрев поверхности носка.

Воздухозаборник крепится через присоединительный фланец корпуса к корпусу вентилятора при помощи 36 болтов (см. рис. 7). Для удобства монтажа на воздухозаборнике имеются направляющие штифты.

2. Особенности конструкции кока двигателя

Обтекатель (кок) - вращающегося типа, обогреваемый, с элементами балансировки, служит для формирования потока воздуха на входе в вентилятор – рис. 9.

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.

На поверхности обтекателя нанесён знак “Мерцающий орлиный глаз” (см. рис. 2).

Для под(до)балансировки ротора в эксплуатации на фланце кока предусмотрены конструктивные элементы для постановки балансировочных грузов различной массы – рис. 9,10.

Фиксация грузов осуществляется радиальными резьбовыми фиксаторами, ввинчиваемыми в резьбовые отверстия грузов.

С целью сохранения обводов проточной части, указанные элементы конструкции закрываются кожухом кока.

Элементы системы противообледенительной системы (ПОС) кока и схема обогрева представлены на рис. 12.

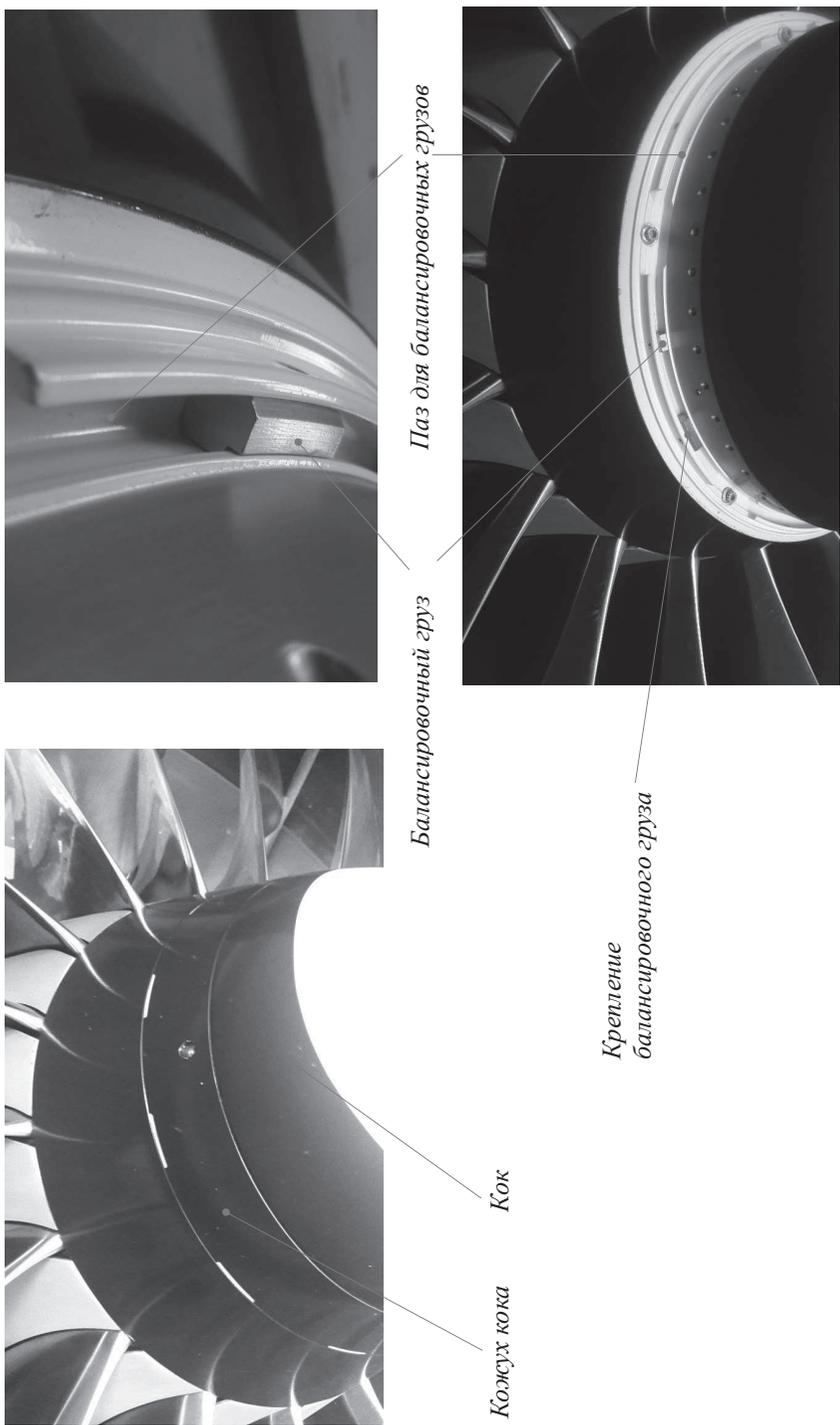
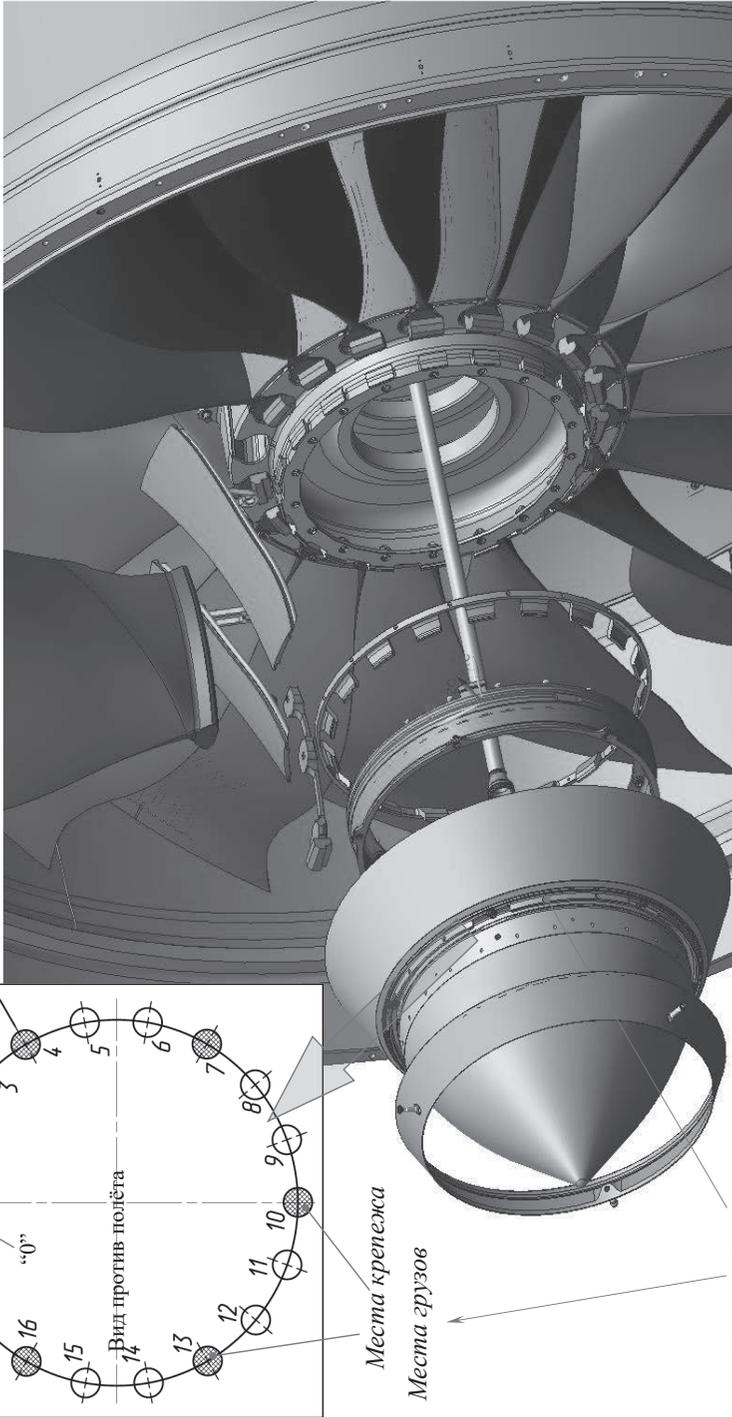
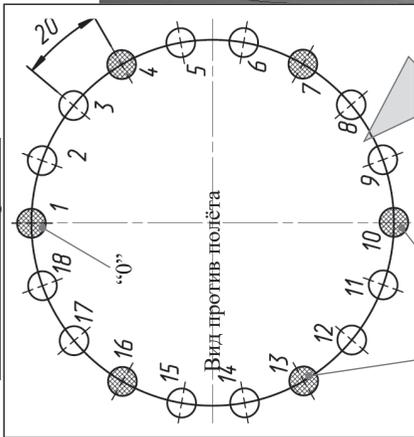


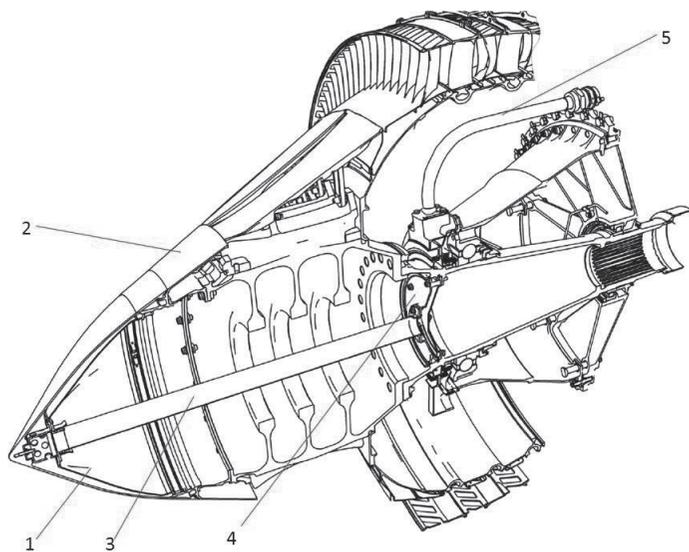
Рис. 9. Кок, кожух кока и балансировочные грузы

Схема балансировки:



Паз для балансировочных грузов

Рис. 10. Крепление лопасти вентилятора к диску и размещение балансировочных грузов



- 1 - обечайка кока
- 2 - кок
- 3 - труба подвода воздуха
- 4 - втулка ПОС
- 5 - трубопровод ПОС

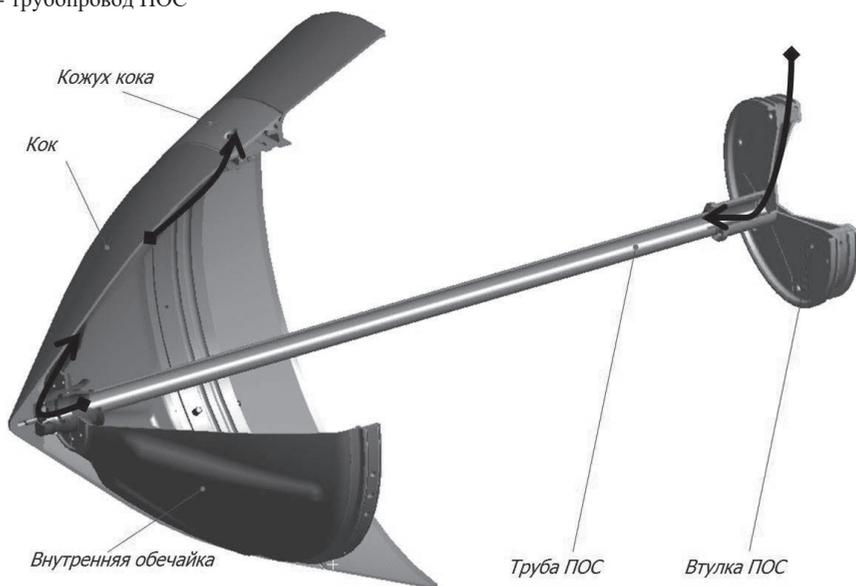


Рис. 11. Кок и элементы ПОС кока

3. Особенности конструкции противообледенительной системы входного устройства двигателя

Противообледенительная система (ПОС) входного устройства двигателя является частью системы отбора воздуха от двигателя – рис. 12, табл..

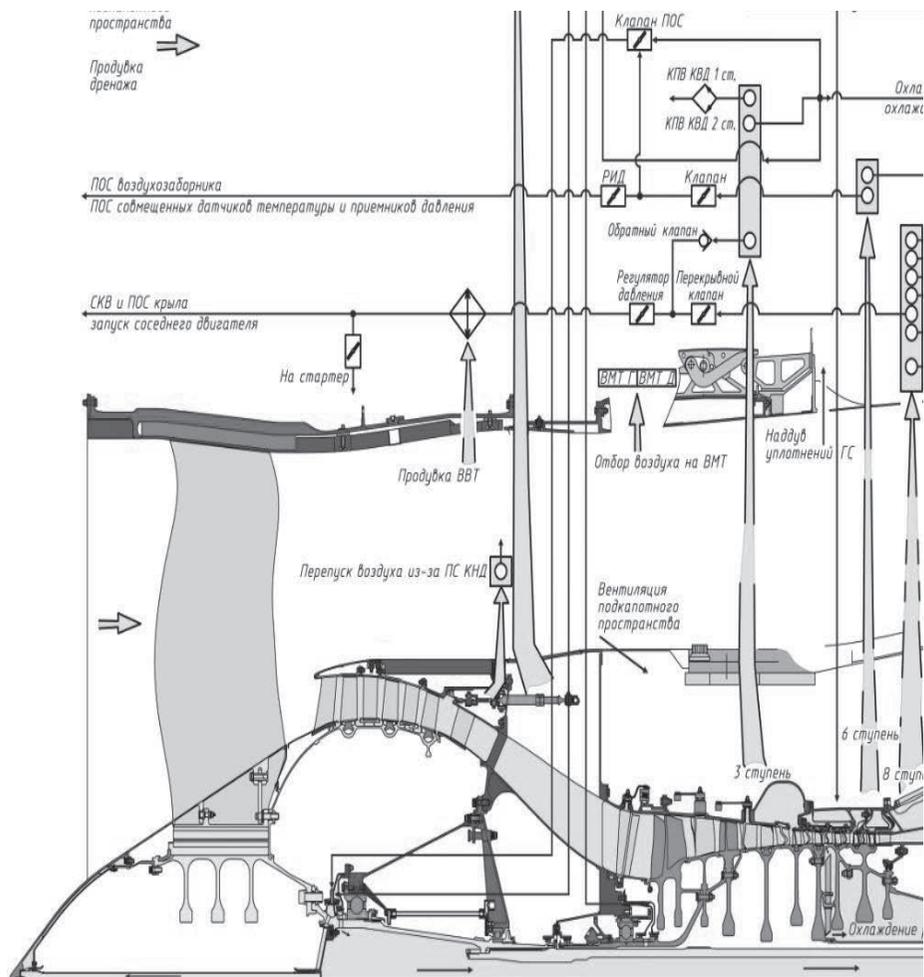


Рис. 12. Схема отбора воздуха от двигателя

Управление клапанами ПОС входит в состав системы управления воздушными клапанами двигателя – рис. 13.

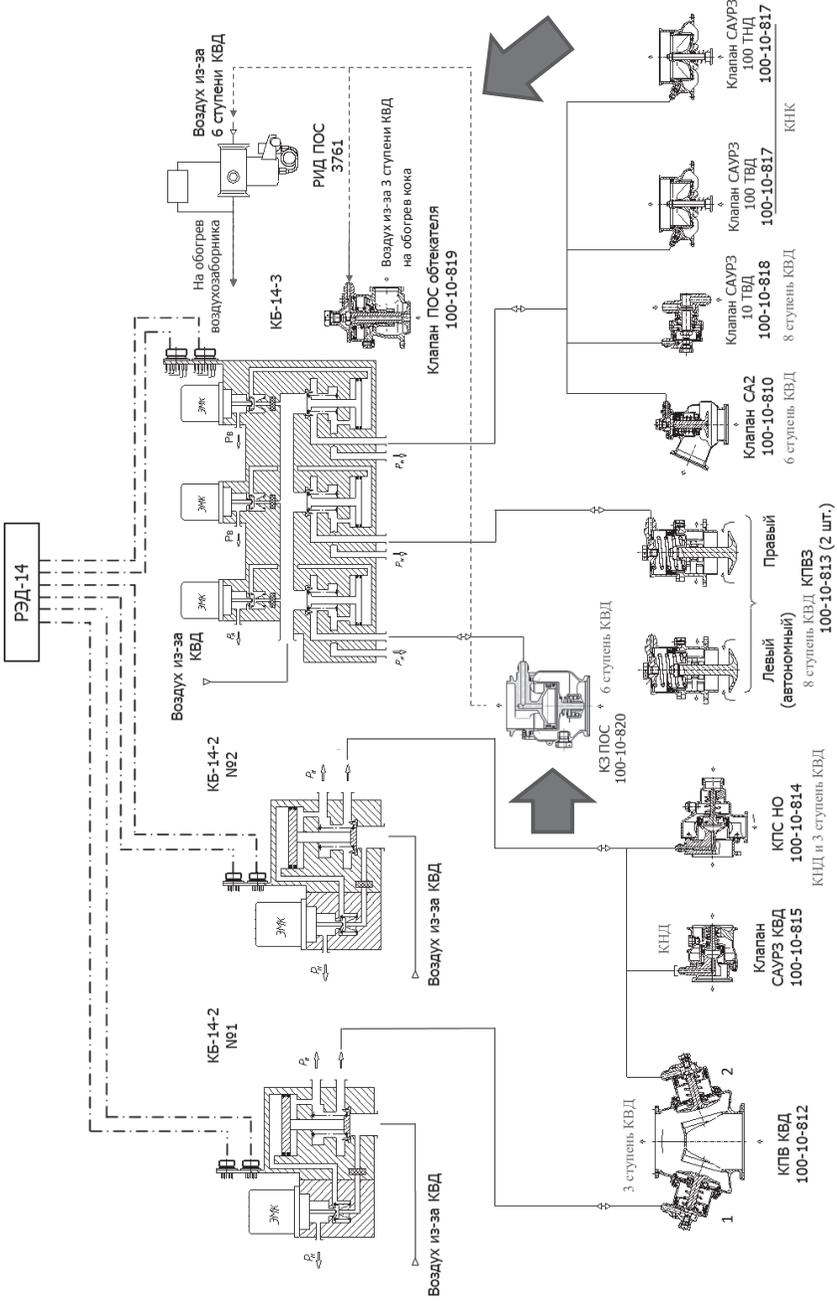


Рис. 13. Клапаны ПОС в составе системы управления воздушными клапанами

Таблица целевых отборов воздуха на двигателе ПД-14

Точка отбора воздуха	Целевое назначение воздуха	Управляемость
3 ступень КВД	Отбор на ПОС кока	Косвенно по команде самолёта
6 ступень КВД	Отбор на ПОС воздухозаборника	По команде самолёта

Клапан ПОС предназначен для подачи воздуха от третьей ступени КВД на обогрев кока и относится к системе отбора воздуха.

Клапан пневматический, состоит из корпуса, клапана и пневмоцилиндра с поршнем. Клапан установлен слева по полёту на фланце патрубка трубопровода подвода воздуха на охлаждение ТВД от третьей ступени КВД слева сбоку двигателя – рис. 17,18.

Работа клапана зависит от работы системы ПОС воздухозаборника. Открытие запорного клапана ПОС кока происходит воздухом из-за 6 ступени КВД после открытия запорного клапана КЗ ПОС воздухозаборника (рис.14,15).

Клапан ПОС кока на остановленном двигателе находится в закрытом положении (нормально закрытый). При работе двигателя, после повышения давления воздуха перед регулятором избыточного давления (РИД-рис.16) ПОС до 5 кгс/см^2 , воздух с данным давлением подводится в штуцер пневмоцилиндра и клапан открывается, обеспечивая отбор воздуха от третьей ступени на обогрев кока двигателя. При снижении давления перед агрегатом РИД ПОС ниже 5 кгс/см^2 клапан закрывается, отбор воздуха на обогрев кока прекращается.

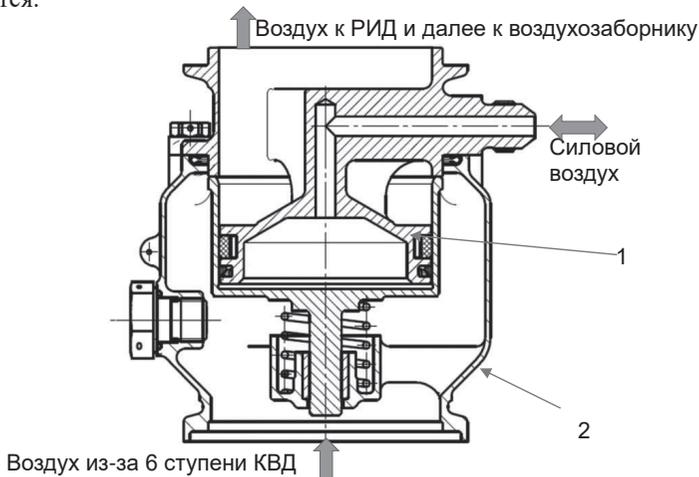


Рис. 14. Клапан запорный
противообледенительной системы воздухозаборника

1 – исполнительное устройство; 2 – корпус

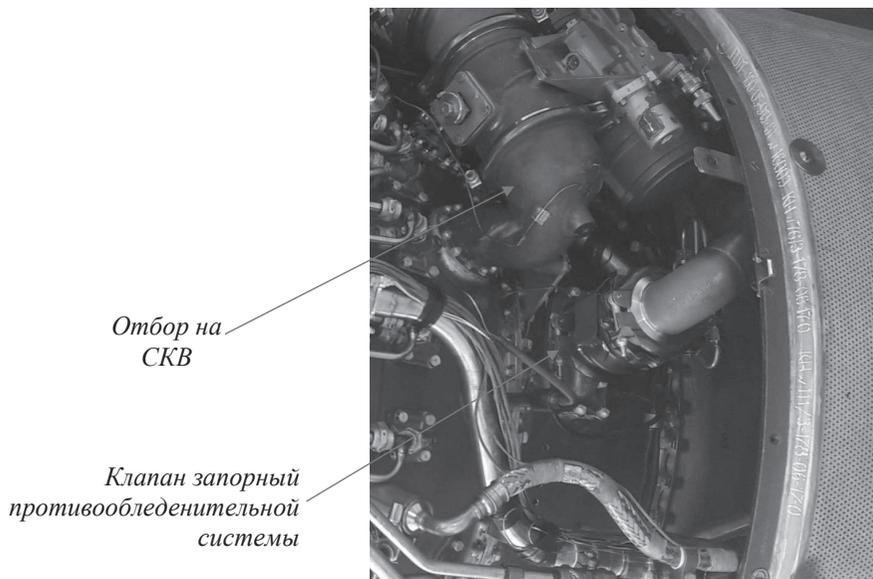


Рис. 15. Расположение на двигателе клапана запорного противообледенительной системы (КЗ ПОС)

Вид справа по полёту



Рис. 16. Расположение на двигателе регулятора избыточного давления ПОС (указан стрелкой)

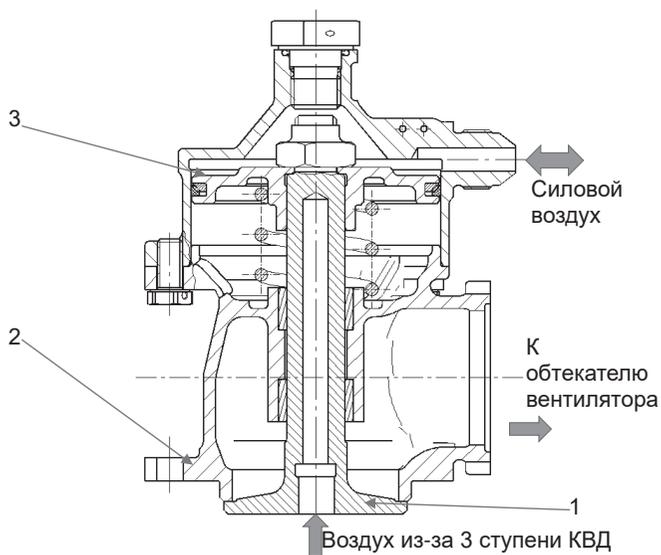


Рис. 17. Клапан ПОС кока

1 – клапан; 2 – корпус; 3 – поршень

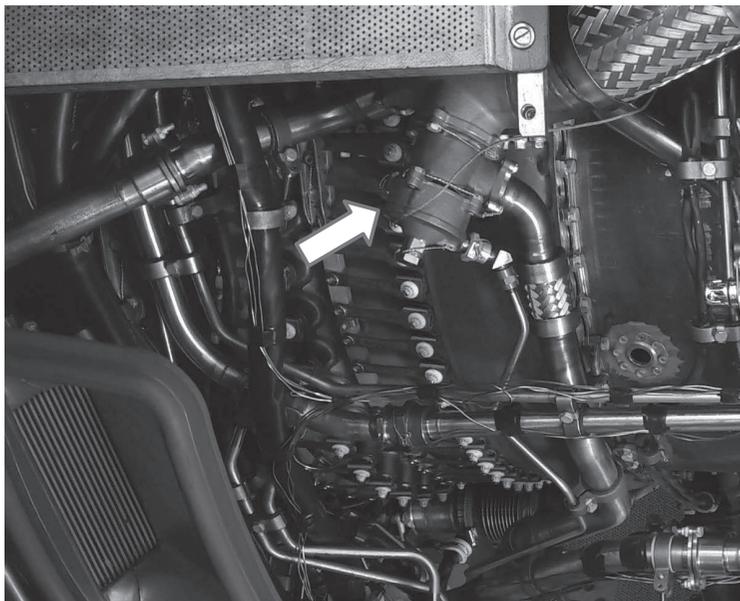


Рис. 18. Расположение на двигателе клапана ПОС кока (указан стрелкой)

4. Особенности технического обслуживания ВУ, вентилятора и ПОС

Техническое обслуживание включает в себя:

- визуальный осмотр зоны воздухозаборника;
- осмотр мотогондолы со стороны подкапотного пространства;
- осмотр агрегатов системы отбора воздуха;
- очистку с помощью химических веществ обтекателя

и работы по устранению обнаруженных неисправностей.

Операции по ТО характеризуются следующим.

При визуальном осмотре зоны воздухозаборника снимают с входного устройства чехол. При этом осмотр проводят при установленном чехле на сопла наружного и внутреннего контуров во избежание авторотации ротора вентилятора от ветра.

Осматривают:

- входной канал двигателя;
- обтекатель;
- рабочие лопатки вентилятора (со стороны входа);
- ВНА подпорных ступеней, входные кромки рабочих лопаток первой подпорной ступени;
- спрямляющие лопатки вентилятора и стойки разделительного корпуса (со стороны входа);
- входное отверстие комбинированного датчика температуры и давления;
- платформ вентилятора на наличие вмятин и трещин, на наличие выступания резинового уплотнения в щелях между рабочими лопатками вентилятора и платформами;
- прирабатываемого покрытия на корпусе вентилятора над рабочими лопатками вентилятора на наличие выработки и сколов покрытия;
- панелей ЗПК передних и верхних на корпусе вентилятора на наличие вмятин и трещин;
- корпуса разделителя потоков на наличие вмятин и трещин.

При наличии механических повреждений необходимо проверить от руки надежность крепления агрегатов.

Выполняют осмотр газоздушного тракта двигателя в случае обнаружения следов попадания во внутренний контур посторонних предметов и (или) обнаружении повреждений на рабочих или спрямляющих лопатках вентилятора.

Проверяют плавность вращения ротора вентилятора, проворачивая ротор рукой за лопатку вентилятора (по ходу вращения). Вращение должно быть плавным без заеданий и постороннего шума.

Убеждаются, что во входном устройстве нет посторонних предметов и при окончании работ одевают чехол на входное устройство.

При осмотре мотогондолы со стороны подкапотного пространства открывают створки капота мотогондолы.

Осматривают шпангоут, винтовое соединение воздухозаборника к двигателю и места крепления трубопроводных и электрокоммуникаций двигателя к воздухозаборнику.

В процессе осмотра агрегатов системы отбора воздуха выполняют осмотр трубопроводов и рукавов, внешний осмотр клапанов, деталей их крепления на отсутствие повреждений.

Убеждаются в целостности прокладок и контровок, касания трубопроводов и электрожгутов между собой и двигателем. Не допускается повреждение или отсутствие контровок; отсутствие или выворачивание винтов крепления клапанов; наличие трещин на корпусах и деталях их крепления.

Для очистки с помощью химических веществ обтекателя, рабочих лопаток вентилятора, лопаток СА вентилятора подготавливают компоненты моющего раствора П-5 (сода кальцинированная (ГОСТ 5 100-85) - от 10 г до 30 г; нитрит натрия (ГОСТ 19906-74) - от 10 г до 30 г; жидкое стекло (ГОСТ 13078-81) - от 10 г до 30 г). Приготавливают моющий раствор, смешивая компоненты раствора П-5 в 10 литрах воды.

Выполняют ручную промывку обтекателя и рабочих лопаток вентилятор, в процессе которой размещают резиновый коврик в корпус входного устройства; устанавливают емкость с подготовленным моющим раствором П-5 (температура моющего раствора должна быть от 50 °С до 60 °С).

Щеткой, смоченной раствором П-5, промывают обтекатель, рабочие лопатки вентилятора со стороны спинки и корыта.

Протирают чистой салфеткой поверхности: спинки, корыта рабочих лопаток вентилятора, обтекателя, корпуса вентилятора.

Выполняют визуальный осмотр и контроль чистоты промытых поверхностей.

Убирают резиновый коврик, емкость и инструменты из корпуса вентилятора.

Проверяют входное устройство на отсутствие посторонних предметов.

Контрольные вопросы

1. Перечислите элементы мотогондолы и назовите основные функции мотогондолы.
2. Какие функции выполняет воздухозаборное устройство ?
3. Какие элементы конструкции входят в состав воздухозаборника ?
4. Назначение воздухозаборника на наружном обтекателе ?
5. Как обеспечивается защита воздухозаборника от воздействия статического электричества ?

6. Что представляет собой шпангоут воздухозаборника и какие функции он выполняет ?
7. Опишите конструкцию носка воздухозаборника.
8. Что представляет собой противообледенительная система воздухозаборника ?
9. Опишите конструкцию крепления воздухозаборника к двигателю.
10. Охарактеризуйте назначение и размещение датчика П-116М2 ?
11. Охарактеризуйте назначение кока двигателя ?
12. Опишите конструкцию кока двигателя.
13. Как элементы конструкции кока используются для добалансировки ротора вентилятора ?
14. Опишите конструктивные элементы противообледенительной системы кока.
15. Охарактеризуйте противообледенительную систему входного устройства двигателя как часть системы отбора воздуха от двигателя.
16. Какие клапаны входят в состав ПОС и их место в схемы системы управления воздушными клапанами ?
17. Охарактеризуйте точки отбора воздуха на двигателе в противообледенительную систему входного устройства.
18. В каких местах на двигателе размещены клапаны противообледенительной системы ?
19. Опишите перечень процедур технического обслуживания воздухозаборника, кока и их противообледенительной системы.

Литература

1. Кузнецов С.Н., Рясов В.А. Двигатель ПД-14. Конспект лекций. Ч.1-12.– Пермь. 2019.
2. Котовский В.Н., Комов А.А. Теория авиационных двигателей: учебное пособие (конспект лекций). Ч. 1. – М.: МГТУ ГА, 2013.

Содержание

Введение.....	3
1. Воздухозаборное устройство как часть мотогондолы двигателя и особенности его конструкции	5
2. Особенности конструкции кока двигателя	12
3. Особенности конструкции противообледенительной системы входного устройства двигателя.....	16
4. Особенности технического обслуживания ВУ, вентилятора и ПОС	21
Контрольные вопросы.....	22
Литература.....	23

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

Конструкция и прочность авиационных двигателей.
Системы авиационных двигателей.
Особенности конструкции воздухозаборного устройства,
кока и противообледенительной системы ТРДД типа ПД-14

Учебно-методическое пособие

В авторской редакции

Подписано в печать 20.11.2025 г.
Формат 60x84/16 Печ. л. 1,5 Усл. печ. л. 1,395
Заказ № 2028/0929-УМП08 Тираж 25 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.: (499) 755-55-43
E-mail: zakaz@itsbook.ru