МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ АКАДЕМИКА С.П. КОРОЛЕВА
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»

С. В. ФАЛАЛЕЕВ

Конструкция ТРДДФ АЛ-31Ф

Электронное учебное пособие

САМАРА

2013

УДК 621.431.75

ББК 39.55

Автор: **Фалалеев Сергей Викторинович**

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.Н. Матвеев

Фалалеев, С. В. Конструкция ТРДДФ АЛ-31Ф [Электронный ресурс] : электрон. учебное пособие/ С. В. Фалалеев; М-во образования и науки РФ, Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. С.П. Королева (Нац. исслед. ун-т). –Электрон. текстовые и граф. дан. (22,59 Мбайт). – Самара, 2013. – 1 эл. опт. диск (CD-ROM).

Данное учебное пособие посвящено конструкции двигателя АЛ-31Ф. Изложены общие сведения о двигателе и о летательном аппарате, на котором он применяется, приведены описания конструкции основных узлов двигателя: вентилятора, компрессора низкого давления, компрессора высокого давления, камеры сгорания, турбины высокого давления, турбины низкого давления, форсажной камеры и реактивного сопла. Кратко описаны дренажная, масляная и топливная системы двигателя.

Учебное пособие предназначено для подготовки специалистов факультета «Двигатели летательных аппаратов» по специальности 160700.65 «Проектирование авиационных и ракетных двигателей» (специализация «Информационные технологии проектирования и моделирования в авиадвигателестроении») по дисциплинам: «Основы конструкции двигателей» (7 семестр), «Проектирование силовых установок и управление проектами» (А семестр), «Проектирование основных узлов двигателей» (8 семестр) и магистров по направлению 160700.68 «Двигатели летательных аппаратов» (магистерская программа «Интегрированные информационные технологии в авиадвигателестроении») по дисциплинам: «Проектирование силовых установок» (А семестр), «Конструирование основных узлов и систем авиационных двигателей» (9 семестр).

Электронное учебное пособие подготовлено на кафедре конструкции и проектирования двигателей летательных аппаратов СГАУ.

© Самарский государственный

аэрокосмический университет, 2013

СОДЕРЖАНИЕ

Введение 4
1. Общие сведения о двигателе 5
1.1 Краткое описание двигателя 5
1.1.1 Конструктивная схема двигателя 12
1.1.2 Силовая схема двигателя 14
1.2 Краткое описание ЛА 20
2 Компрессор 24
2.1 Компрессор низкого давления 24
2.2 Компрессор высокого давления 47
3 Основная камера сгорания 74
3.1 Общая характеристика камеры сгорания 74
3.2 Конструкция камеры сгорания 83
4 Турбина 98
4.1 Общая характеристика турбины 98
4.2 Конструкция турбины высокого давления 101
4.2.1 Ротор ТВД 101
4.2.2 Статор ТВД 114
4.3 Конструкция турбины низкого давления 122
4.3.1 Ротор ТНД 122
4.3.2 Статор ТНД 135
4.4 Опора турбины 140
4.5 Охлаждение турбины 143
5 Форсажная камера 152
5.1 Общая характеристика ФК 152
5.2 Конструкция ФК 155
5.2.1 Смеситель ФК 155
5.2.2 Фронтовое устройство ФК 159
5.2.3 Жаровая труба ФК 162
5.3 Работа ФК 164
5.4 Система воспламенения топлива ФК 164
6 Регулируемое реактивное сопло 169
7 Наружный контур 198
8 Дренажная система 200
9 Масляная система 206
10 Топливная система 238
11 Электрические коммуникации 243
Заключение 246
Список используемой литературы 247

ВВЕДЕНИЕ

Учебное пособие «Конструкция ТРДДФ АЛ-31Ф» составлено на основе «Руководства по технической эксплуатации» двигателя АЛ-31ФП серии 01 [1] и учебного пособия, подготовленного ВВИА Н.Е. Жуковского [2]. Оно является частью серии пособий, выполненных на основе реализации «Программы развития национального исследовательского университета». Программа предусматривала создание объемных моделей авиационных двигателей, находящихся в «Центре истории авиационных двигателей», созданного при кафедре «Конструкция и проектирование двигателей летательных аппаратов» СГАУ. Объемные модели создавались для тех двигателей, которые являются удачно препарированными и имеют актуальность для изучения студентами факультета ДЛА СГАУ. Создание объемных моделей преследовало цель облегчить изучение элементов конструкции, которые трудно изучить на основе двухмерных чертежей и эскизов и являются плохо видными на макетах двигателей.

Трехмерные модели деталей и узлов двигателя АЛ-31Ф были разработаны студентами группы 2604: Едуновым С.В., Конюховым Д.В., Малиевым В.А. Компьютерная верстка текста учебного пособия выполнена студентами группы 2404: Остапюком Я.А., Филиновым Е.П.

1 ОБШИЕ СВЕДЕНИЯ О ДВИГАТЕЛЕ

1.1 Краткое описание двигателя

0бщие сведения о двигателе

Двигатель двухконтурный, двухвальный, со смешением потоков внутреннего и наружного контуров за турбиной, с общей для двух контуров форсажной камерой и регулируемым сверхзвуковым всережимным реактивным соплом.

Двигатель имеет модульную конструкцию, обеспечивающую высокую технологичность сборки и позволяющую производить замену модулей при минимальном объеме регулировок и проверок. В число модулей входят:

- компрессор низкого давления (КНД);
- газогенератор (включает компрессор высокого давления - КВД, основную камеру сгорания - ОКС, воздухо-воздушный теплообменник - ВВТ, турбину высокого давления - ТВД, турбину низкого давления - ТНД, смеситель);
- фронтовое устройство (ФУ) форсажной камеры сгорания (ФК);
- реактивное сопло (РС) с корпусом форсажной камеры сгорания;
- коробка приводов двигательных агрегатов (КДА) с агрегатами;
- выносная коробка приводов самолетных агрегатов (ВКА).

Двигатель (рис.1.1) состоит из следующих основных узлов и систем: компрессора, основной камеры сгорания, турбины, наружного контура, форсажной камеры сгорания со смесителем и реактивным соплом, приводов вспомогательных устройств, масляной системы, топливной системы, системы противообледенения, системы запуска.

Описание двигателя

Компрессор двигателя — осевой, двухкаскадный, тринадцатиступенчатый. В состав компрессора входят:

- четырехступенчатый компрессор низкого давления 1 (рис.1.1) с регулируемым входным направляющим аппаратом (ВНА);
- девятиступенчатый компрессор высокого давления 4 - с тремя регулируемыми направляющими аппаратами (НА) - входным и первых двух ступеней;
- промежуточный корпус 3.

В состав КНД входят ротор и статор. КВД состоит также из ротора и статора. В состав промежуточного корпуса входят задняя опора ротора КНД, передняя опора ротора КВД и выходной НА КНД. Управление механизацией компрессора осуществляют системы: - управления поворотными закрылками ВНА КНД и поворотными лопатками НА КВД; - предупреждения и ликвидации помпажа.

Основная камера сгорания 6 (рис.1.1) - кольцевая. В состав ОКС входят корпус с диффузором и жаровая труба. Топливо поступает в ОКС через двадцать восемь двухкаскадных форсунок. Воспламенение топливовоздушной смеси при запуске двигателя осуществляется электрической системой зажигания.

Турбина двигателя - осевая, двухступенчатая. В состав узла турбины входят:

- одноступенчатая турбина 8 (рис.1.1) высокого давления с охлаждаемыми воздухом диском, сопловыми и рабочими лопатками;
- одноступенчатая турбина 9 низкого давления с охлаждаемыми воздухом диском, сопловыми и рабочими лопатками;
- опора турбины 15.

ТВД и ТНД состоят из ротора и статора. В состав опоры турбины входят корпус опоры и корпус подшипника.

Форсажная камера сгорания 13 (рис.1.1) — общая для двух контуров, со смешением потоков на входе во фронтовое устройство. В состав форсажной камеры входят корпус смесителя, смеситель и фронтовое устройство. Воспла-

менение топлива в форсажной камере обеспечивает "огневая дорожка".

Регулируемое реактивное сопло 14 с корпусом ФК (рис. 1.1) - сверхзвуковое, всережимное, с внешними створками. В состав РС входят створки сужающейся части, надстворки расширяющейся части, внешние створки, проставки, упругие элементы, стяжное устройство с пневмоприводом. РС смонтировано на корпусе ФК. Внешние створки обеспечивают плавное обтекание хвостовой части самолета, уменьшая ее сопротивление.

Теплообменник 7 (рис. 1.1) – воздухо-воздушный. Предназначен для снижений температуры охлаждающего турбину воздуха. В состав теплообменника входят корпус, трубчатые теплообменные модули и аппарат отключения охлаждения.

Наружный контур 5 (рис. 1.1) состоит из двух корпусов - переднего (разъемного) и заднего.

Узел приводов вспомогательных устройств состоит из центральной конической передачи, коробки приводов двигательных агрегатов (приводится во вращение ротором высокого давления через ЦКП), редуктора датчиков КНД (приводится во вращение ротором низкого давления).

От КДА через гибкий вал осуществляется привод установленной на самолете выносной коробки приводов самолетных агрегатов (ВКА).

Масляная система - автономная, циркуляционная, с двумя топливомасляными теплообменниками. Система обеспечивает подвод масла к узлам трения, отвод его и охлаждение, суфлирование масляных полостей и наддув предмасляных полостей.

Топливная система - гидромеханическая, с применением электронного комплексного регулятора двигателя (КРД).

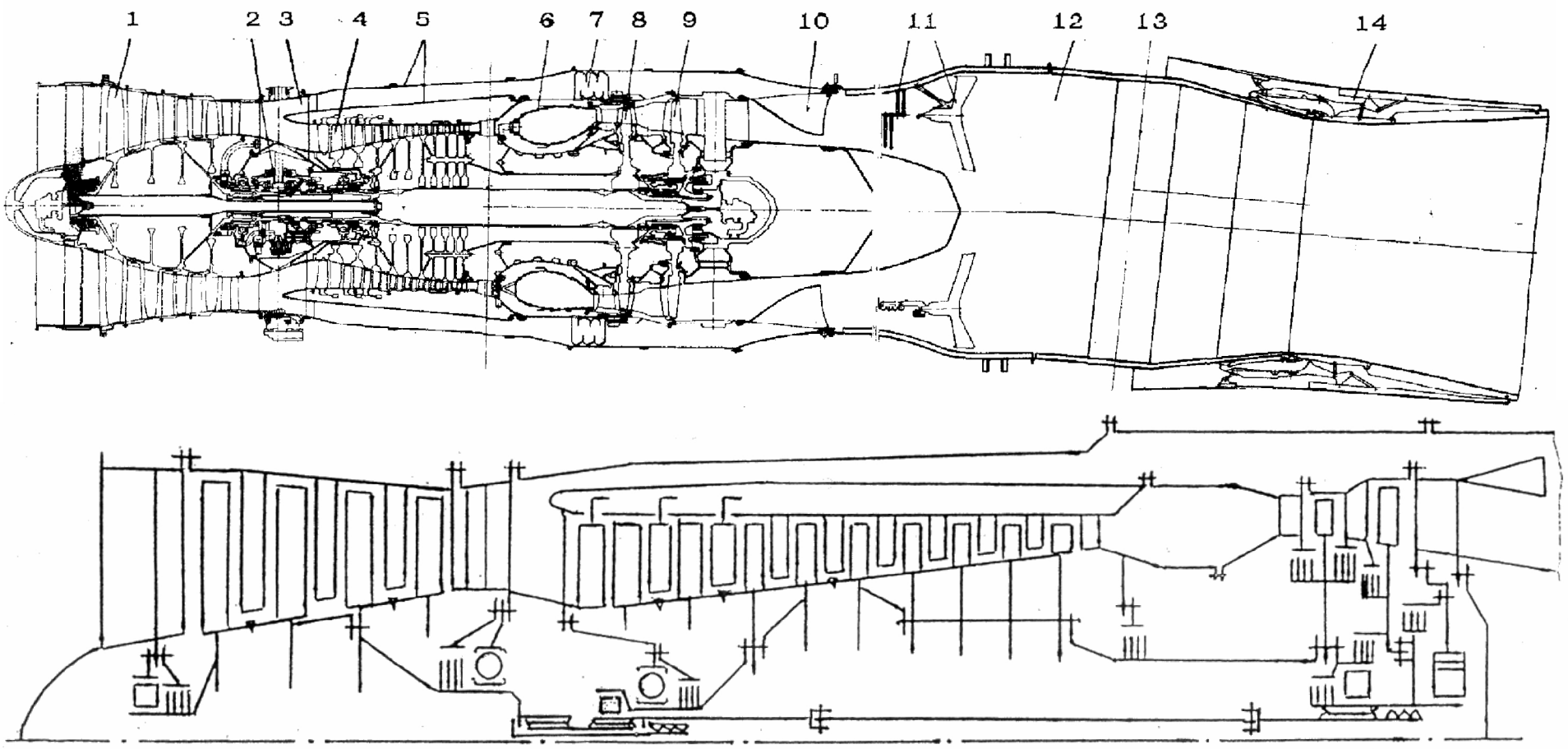
Система противообледенения предназначена для обогрева поверхностей ВНА и кока компрессора горячим воздухом из КВД.

Система управления охлаждением турбины обеспечивает подачу воздуха от КВД на детали турбины.

Система запуска обеспечивает: запуск двигателя на земле и в полете, воспламенение топлива при включении ФК, прокрутку и ложный запуск двигателя. Для запуска двигателя на земле служит газотурбинный двигатель-энергоузел (ГТДЭ), установленный на ВКА. ГТДЭ также используется для привода самолетных агрегатов на земле при неработающем двигателе (режим "ЭНЕРГОУЗЕЛ").

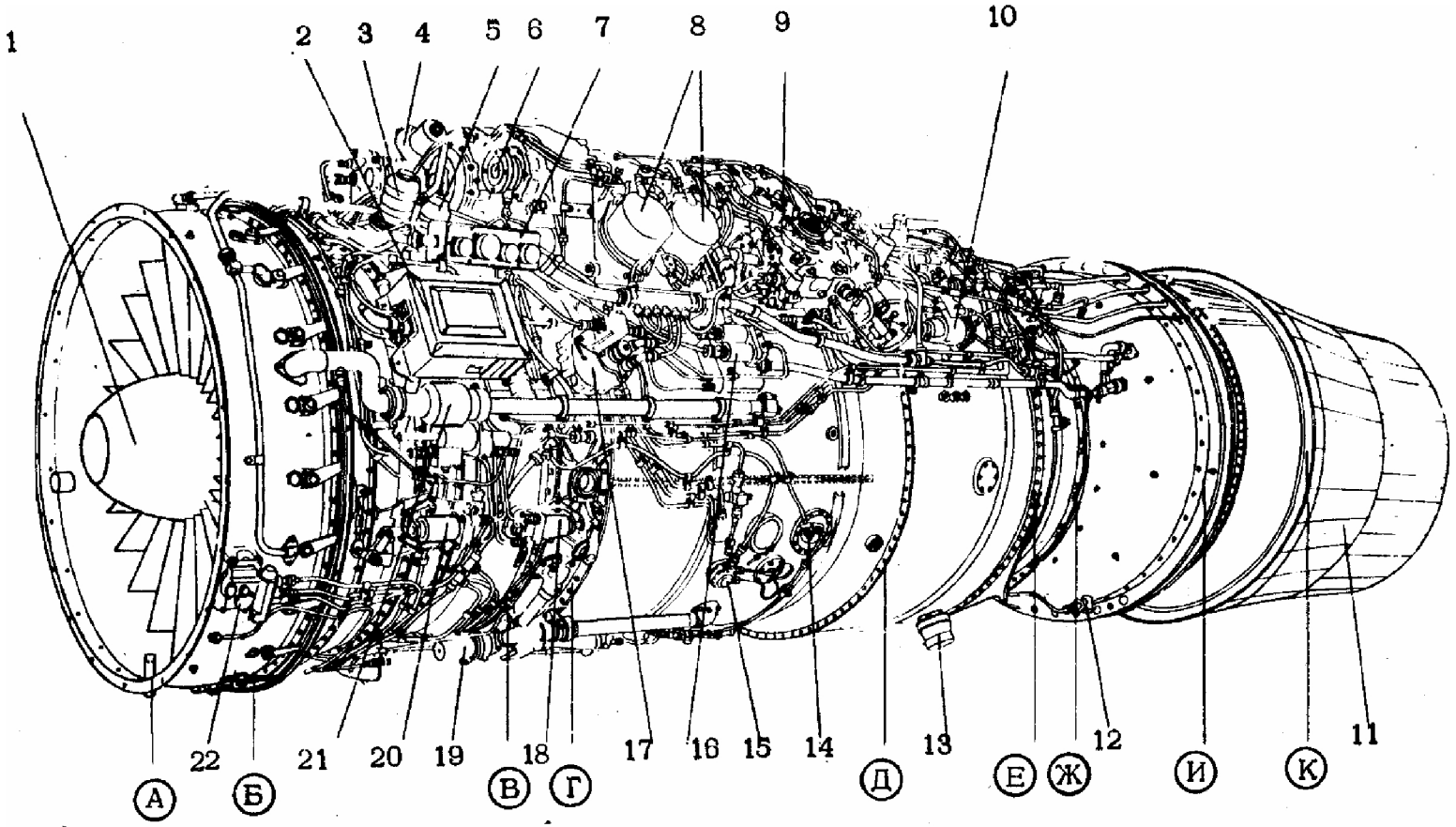
На двигателе (рис. 1.2) установлены датчики и приемники систем контроля, предназначенные для информации о работе двигателя, представляемой визуально и в записи на носители информации бортовых и наземных регистрирующих систем.

Выносная коробка агрегатов с размещенными на ней газотурбинным двигателем-энергоузлом, самолетным генератором и гидронасосами установлена в фюзеляже самолета и соединена с КДА гибким валом. ВКА служит для передачи вращательного движения на агрегаты самолета от КДА при работе двигателя; на ротор ВД и агрегаты самолета от ГТДЭ при запуске двигателя на земле; на агрегаты самолета от ГТДЭ при работе в режиме "ЭНЕРГОУЗЕЛ" при неработающем двигателе.



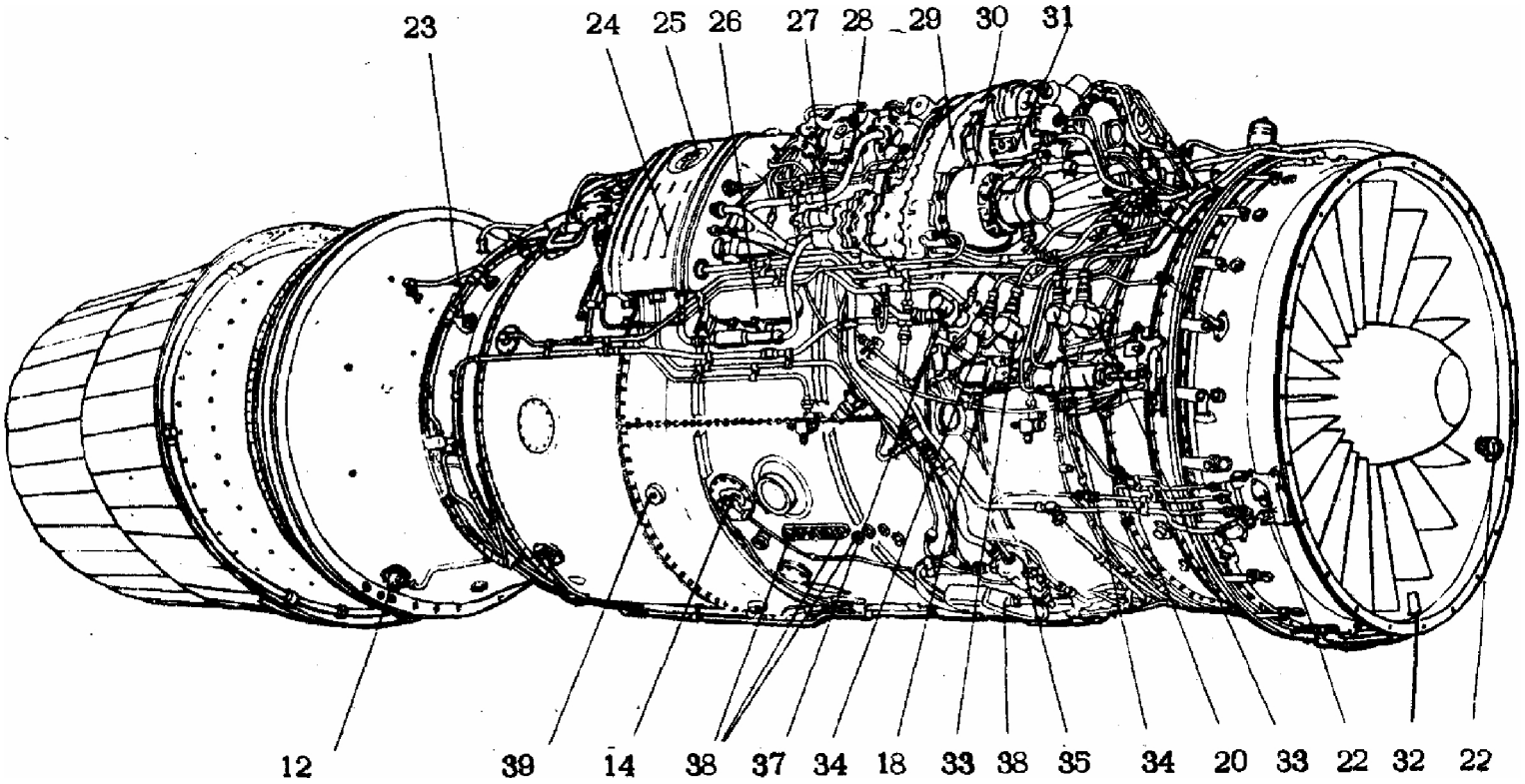
компрессор низкого давления, 2 – ЦКП3 - промежуточный корпус, 4 - компрессор высокого давления, 5 - наружный контур, 6 - основная камера сгорания, 7 - воздухо-воздушный теплообменник, 8 - турбина высокого давления, 9 - турбина низкого давления, 10 – смеситель , 11- коллектор форсажной камеры, 12 - стабилизатор форсажной камеры, 13 - форсажная камера, 14 - реактивное сопло.

Рис. 1.1 Схема двигателя)



А - Б - входной направляющий аппарат, Б - В - компрессор низкого давления, В - Г - промежуточный корпус, Г - Д - передний корпус наружного контура, Д - Е - задний корпус наружного контура, Е - Ж - корпус смесителя, Ж - И - фронтовое устройство, И - К - корпус форсажной камеры, 1 – кок, 2- агрегат зажигания основной камеры сгорания, 3 - топливный фильтр системы управления РС, 4 - центробежный суфлер, 5 - клапан суфлирования компрессора, 6 - фланец крепления гибкого вала, 7 - коробка соединителей, 8- топливный фильтр системы низкого давления, 9 - регулятор сопла и форсажа, 10 – дозатор, 11- реактивное сопло, 12 - датчик пламени ионизационный *IS*- клапан суфлирования турбины , 14 - запальное устройство, 15 - датчик помпажа, 16 - агрегат аварийного слива, 17 - редуктор датчиков, 18 - гидроцилиндр управления поворотными лопатками НА КВД, 19 - клапан переключения наддува, 20 - гидроцилиндр управления поворотными закрылками ВНА КНД, 21- агрегат управления системы противообпеденения, 22 - термодатчик капсульный

Рис. 1.2 Внешний вид двигателя (лист 1 из 2)



23 - термопара контроля температуры газов за турбиной, 24 – маслобак, 25 - масляный фильтр, 26 - теплообменник топливомасляный,
27 – маслоагрегат, 28 - насос-регулятор, 29 - коробка двигательных агрегатов, 30 - топливоподкачивающий центробежный насос,
31 - насос плунжерный, 32 - приемник полного давления, 33 - датчик ДС-11В, 34 - датчик перемещения ДП-110 (ВНА КНД),
35 - распределитель топлива, 36 - сливной бачок, 37 - обратный клапан в системе откачки масла 33- окна осмотра компрессора высокого давления , 39- окно осмотра основной камеры сгорания

Рис. 1.2 Внешний вид двигателя (лист 2 из 2)

1.1.1 Конструктивная схема двигателя

Ротор низкого давления (РНД) - четырехопорный. Передняя опора ротора КНД с роликовым подшипником 1 (рис. 1.3) расположена в корпусе входного направляющего аппарата, задняя опора с шариковым подшипником 3 - в промежуточном корпусе. Передняя опора ротора ТНД с роликовым подшипником 4 размещена в центральной конической передаче (ЦКП), находящейся в промежуточном корпусе; задняя опора с роликовым подшипником 8 — в корпусе опоры турбины. Ротор высокого давления (РВД) - двухопорный. Передняя опора РВД с шариковым подшипником 5 размещена в промежуточном корпусе, задняя опора с роликовым подшипником 7 (межвальным) смонтирована на валу ТНД.

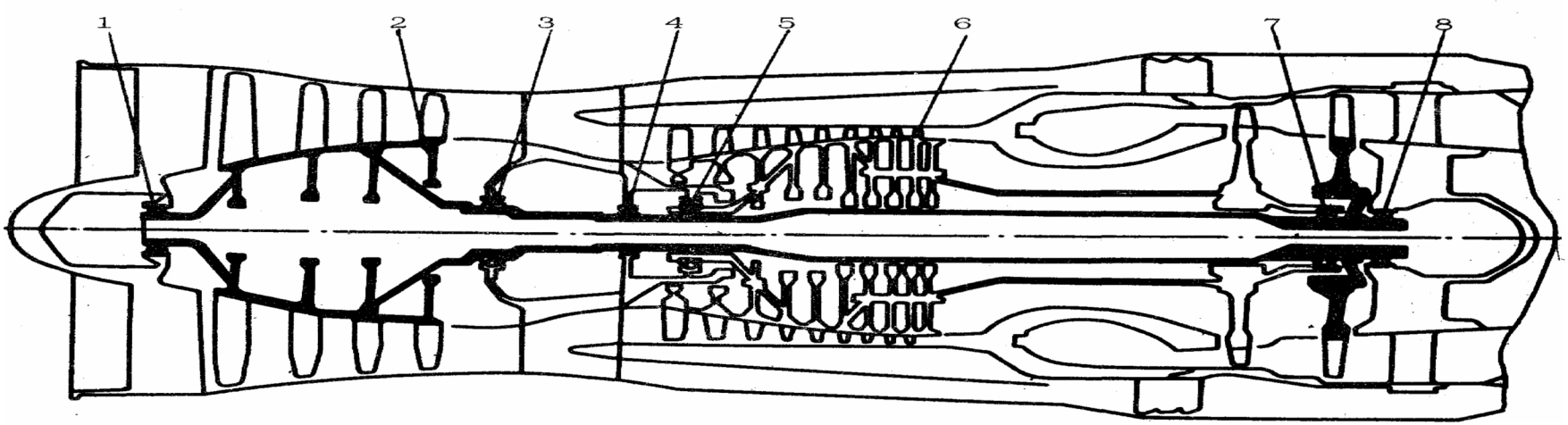
Ротор НД, так же как и ротор ВД, является, благодаря введению двух шлицевых соединений, статически определимой системой.

Радиально-упорный подшипник расположен в промежуточном корпусе – является передней опорой ротора ВД. Здесь обеспечивается благоприятный температурный режим работы подшипника. Но в связи с большим количеством ступеней компрессора ВД и небольшой жесткости при двухопорной схеме возможны большие изменения радиальных зазоров в газогенераторе.

Ротора КНД и КВД имеют барабанно-дисковую конструкцию.

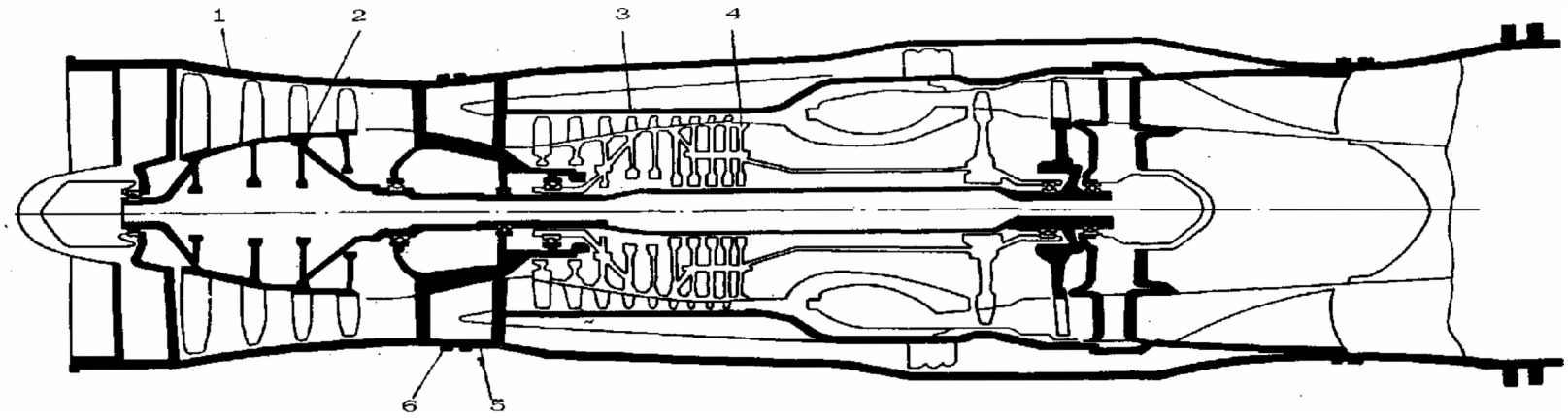
Статоры компрессоров имеют продольные и поперечные разъемы для обеспечения монтажа отбалансированных роторов и для возможности применения различных материалов. Кроме того, статор компрессора ВД выполнен с двойной стенкой, что позволяет разделить функции статора: по внешней стенке передаются нагрузки от корпусов ОКС, турбины, ФКС, сопла, а внутренняя стенка воспринимает нагрузки от направляющих аппаратов и температурные деформации.

Силовая схема двигателя изображена на рисунке 1.4. Основным силовым элементом является промежуточный корпус.



1 - роликоподшипник передней опоры ротора КНД, 2 - ротор низкого давления, 3 - шарикоподшипник задней опоры ротора КНД,
4 - роликоподшипник передней опоры ротора ТНД, 5 - шарикоподшипник передней опоры ротора высокого давления,
6 - ротор высокого давления, 7 - роликоподшипник задней опоры РВД (межвальная), 8 - роликоподшипник задней опоры ротора ТНД

Рис. 1.3 Схема роторов и опор двигателя



1 - наружный контур, 2 - ротор низкого давления, 3 - внутренний корпус, 4 - ротор высокого давления, 5 - промежуточный корпус,
6 - узлы крепления к самолету.

Рис. 1.4 Силовая схема двигателя

1.1.2 Силовая схема двигателя

Общая характеристика силовой схемы

Силовая система двигателя состоит из системы ротора низкого давления, силовой системы ротора высокого давления и силовой системы статора.

Силовая система ротора НД выполнена по четырехопорной схеме с подвижным соединением роторов вентилятора и турбины с упруго-гидравлическими демпферами в передней и задней опорах.

Силовая система ротора ВД выполнена по двухопорной схеме с жестким соединением роторов компрессора и турбины и с упруго-гидравлическим демпфером в передней опоре.

Силовая система статора включает в себя силовые корпуса наружного и внутреннего контуров, соединенных между собой переходным корпусом и регулируемыми опорами в задней части смесителя форсажной камеры.

Узлы крепления двигателя к самолету расположены в двух плоскостях: в плоскости переходного корпуса и в плоскости фронтового устройства форсажной камеры.

Силовая система ротора низкого давления

Силовая система ротора НД состоит из ротора вентилятора, ротора ТНД и элементов соединения роторов. Ротор вентилятора установлен на двух опорах: переднем роликовом подшипнике, размещенном в упруго-гидравлическом демпфере, и заднем опорно-упорном шариковом подшипнике. Опорами ротора ТНД являются: передний роликовый подшипник, установленный внутри корпуса шарикового подшипника центрального привода, и задний роликовый подшипник, размещенный в упруго-гидравлическом демпфере. Четырехопорная схема ротора НД повышает его изгибную жесткость и обеспечивает относительную независимость модулей вентилятора и газогенератора.

Соединение роторов вентилятора и турбины выполнено подвижным и включает в себя шлицевую рессору, закрепленную в вале вентилятора с помощью гайки, и стяжной болт. Подвижность соединения обеспечивается за счет

зазоров в шлицевых соединениях рессоры с валами вентилятора и ТНД и сравнительно высокой податливостью стяжного болта, позволяющих компенсировать возможную несоосность валов. Дополнительная разгрузка ротора НД от изгибных напряжений обеспечивается также повышенной податливостью опор.

Крутящий момент с вала ТНД передается с помощью шлицевой рессоры на вал вентилятора и далее через цапфу распределяется по ступеням.

Осевая сила с вала турбины передается через гайку и стяжной болт также на вал вентилятора. Результирующая сила, равная разности осевых сил роторов вентилятора и турбины НД, с вала вентилятора передается через опору на переходной корпус.

Радиальные силы с роторов передаются через опоры на соответствующие корпуса и далее на узлы крепление двигателя.

Осевое положение ротора вентилятора регулируется подбором толщины элементов уплотнений, установленных между внутренней обоймой подшипника и выступом на вале вентилятора. Положение ротора ТНД обеспечивается стяжным болтом.

Силовая система ротора газогенератора

Силовая система ротора ГГ состоит из ротора компрессора и ротора ТВД.

Ротор ГГ имеет две опоры: передний опорно-упорный шариковый подшипник, установленный в упруго-гидравлическом демпфере, и задний роликовый подшипник.

Соединение роторов выполнено жестким с помощью пустотелого вала и стяжных болтов, участвующих в передаче крутящего момента, осевых и радиальных сил.

Результирующая осевая сила через переднюю опору передается на переходный корпус.

Радиальные силы с ротора передаются через обе опоры на соответствующие корпуса. При этом с задней опоры силы передаются через подшипник ротора и упруго-гидравлический демпфер.

Осевое положение ротора регулируется изменением толщины кольца, устанавливаемого между внутренней обоймой подшипника и упором на цапфе.

Силовая система статора

Силовую систему статора можно условно разделить на силовые системы внутреннего и наружного контуров.

Силовую систему статора внутреннего контура составляют статор газогенератора (ГГ) и статор турбины НД с корпусом опор.

Статор ГГ включает в себя статор КВД, корпус камеры сгорания (КС) и статор ТВД.

В районе КС силовая система ГГ – двухконтурная (связь статоров турбины и компрессора осуществляется по наружному и внутреннему корпусам КС). Замыкание контуров осуществляется с помощью 14-ти полых стоек в районе диффузора КС, через которые все нагрузки с внутреннего корпуса передаются на наружный корпус КС.

Осевые силы и крутящие моменты со статора соплового аппарата (СА) турбины ВД передаются на наружный и внутренний корпуса КС с помощью призонных болтов. Статора ГГ крепиться впереди к переходному корпусу. К заднему фланцу статора газогенератора крепится статор ТНД. В районе смесителя ФК статор внутреннего контура телескопически соединен с корпусом наружного контура. Аналогичные нагрузки со статора турбины НД передаются несколько иначе. Осевая сила полностью передается между корпусами КС и задней опоры турбины.

С корпуса опоры турбины крутящий момент через смеситель и задний узел связи передается на корпус наружного контура и уравновешивается на переходном корпусе крутящих моментов от статора вентилятора.

Соловая система статора наружного контура состоит из статора вентилятора, переходного корпуса, корпуса наружного контура, форсажной камеры и выходного устройства. Все силовые корпуса соединены между собой с помо-

щью фланцев. Взаимная центровка соседних корпусов обеспечивается призонными болтами.

Корпус наружного контура расположен между переходным корпусом и корпусом смесителя ФК, образует с корпусом ГГ наружный контур двигателя и состоит из двух частей, соединенных фланцами.

НА корпусе выполнены фланцы и бобышки для крепления агрегатов и коммуникаций систем двигателя и окна осмотра компрессора, камеры сгорания и турбины.

Крутящие моменты, осевые и радиальные силы по стыкам корпусов передаются призонными болтами, работающими соответственно на срез (при передаче крутящих моментов и радиальных сил) и на растяжение (при передаче осевых сил). Следует отметить, что на установившемся режиме работы двигателя крутящие моменты всех силовых корпусов уравновешиваются на переходном корпусе (при осевом входе и выходе соответственно воздуха и продуктов сгорания). Результирующая осевых сил и радиальные силы передаются на узлы крепления двигателя к самолету.

Работа двигателя

Воздух из самолетного воздухозаборника поступает в КНД, где происходит его сжатие. В промежуточном корпусе (за КНД) воздух разделяется на два потока — внутренний и наружный.

Поток воздуха во внутреннем контуре поступает в КВД, где продолжается его сжатие. Из КВД воздух под высоким давлением поступает в основную камеру сгорания, где смешивается с топливом, впрыскиваемым через двухкаскадные форсунки коллектора основной топливной системы. Смесь воспламеняется разрядом полупроводниковых свечей. Топливо, сгорая, повышает температуру смеси. Образовавшийся газ поступает на турбину (ТВД и ТНД), вращающую роторы высокого и низкого давления.

Поток воздуха в наружном контуре обтекает трубчатые модули теплообменника, снижая температуру воздуха, поступающего на охлаждение элемен-

тов турбины.

Смешение потоков газа внутреннего контура и воздуха наружного контура происходит в смесителе.

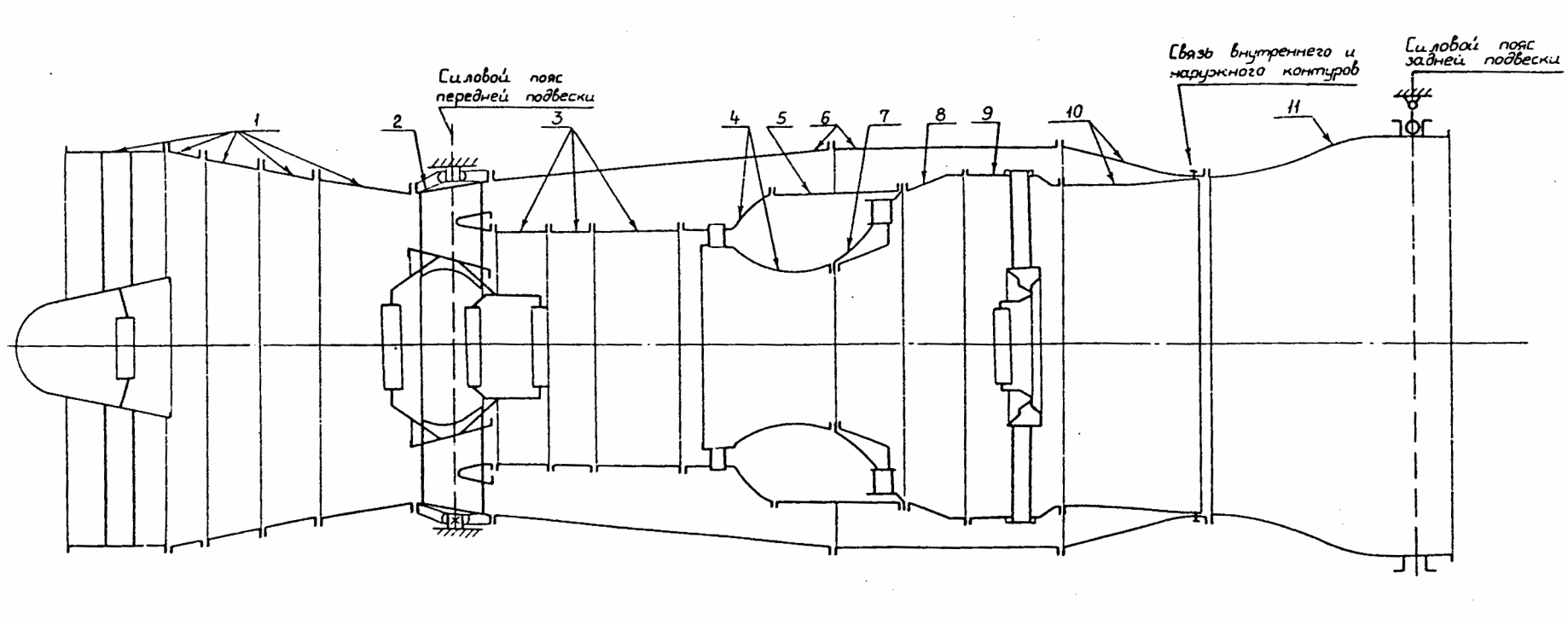
На форсированных режимах в ФК подается топливо, которое, сгорая, повышает энергию газа. Дополнительная энергия реализуется в РС, в результате чего увеличивается тяга двигателя. Результирующая тяга двигателя образуется на всех участках двигателя.

Крепление двигателя к самолету (рис.1.5)

Двигатели расположены в двух разнесенных (на 2400 мм по осям) двигательных отсеках. Оба двигателя крепятся к фюзеляжу в двух поясах:

- переднем, основном, к шпангоуту №36;
- заднем, дополнительном, к шпангоуту №45;

Передний пояс крепления находится на корпусе опор, а задний на корпусе форсажной камеры. В основном поясе крепления двигателя производится с помощью двух шаровых опор и двух съемных штырей-цапф. Одна шаровая опора (у внутреннего борта отсека) имеет сквозное отверстие под цапфу. Вторая шаровая опора (у внешнего борта отсека) с донышком, в котором имеется резьбовое отверстие под стяжной болт. Шаровые опоры могут переставляться с одной стороны двигателя на другую. Через эти узлы передаются вся осевая сила и часть радиальной силы на самолет, а также суммарный крутящий момент. Дополнительный узел крепления расположен на корпусе форсажной камеры. Этот узел воспринимает и передает на силовые элементы фюзеляжа радиальные силы. Эти силы с задних опор через силовые стойки передаются через регулируемую вертикальную тягу на вспомогательный узел крепления. Изменением длины тяги регулируется положение двигателя в вертикальной плоскости.



1 – корпус КНД, 2 – промежуточный корпус с силовым поясом передней подвески, 3 – корпус КВД, 4 – корпус камеры сгорания, 5 – корпус ВВТ
6 – корпус наружного контура, 7 – СА ТВД, 8 – СА ТНД, 9 – задняя опора, 10 – корпус смесителя со связью внутреннего наружного контура
11 – корпус фронтового устройства с силовым поясом задней подвески.

Рис. 1.5 Крепление двигателя к самолету

1.2 Краткое описание ЛА

Су-27 (рис. 1.6) — советский/российский многоцелевой высокоманевренный всепогодный истребитель четвертого поколения, разработанный в ОКБ Сухого и предназначенный для завоевания превосходства в воздухе. Главными конструкторами Су-27 в разное время были Наум Семёнович Черняков, Михаил Петрович Симонов, А. А. Колчин и А. И. Кнышев.



Рис. 1.6 Су-27

Первый опытный экземпляр Су-27 в серийной конфигурации, Т10-7 вышел на летные испытаний весной 1981 г., первый полет на нем В.С. Ильюшин выполнил 20 апреля 1981 года. С 1982 г. на заводе в Комсомольске-на-Амуре началось серийное производство самолета. Впервые серийный Су-27 был облетан на заводе 1 июня 1982 г., в первый полет эту машину поднимал летчик-испытатель ОКБ А.Н. Исаков. Государственные совместные испытания Су-27 завершились в декабре 1983 года.

Результаты испытаний подтвердили исключительно высокие ЛТХ нового самолета. Сведенные воедино, доработки дали на Т-10С "кумулятивный" эффект: получившийся в итоге самолет обладал блистательными лётными данными, превосходя в своем классе всех конкурентов.

Испытания Су-27 по различным программам продолжались еще несколько лет. На вооружение Су-27 принят постановлением правительства от 23 августа 1990 года, только после того, как были устранены все основные недостатки, выявленные в испытаниях. К этому времени Су-27 уже 5 лет находились в эксплуатации. Из строевых частей, первыми в июне 1985 года Су-27 получили летчики 60 ИАП Дальневосточного ВО (Дземги). К 1989 г. самолеты Су-27 находились на вооружении в 16 строевых частях ВВС и войск ПВО СССР. По отзывам командного состава и летчиков переучивавшихся частей, несмотря на то, что по уровню оснащенности и сложности систем и вооружения, новый самолет на порядок превосходил все машины предыдущего поколения, переучивание на Су-27 проходило исключительно просто и безболезненно, самолет оказался вполне доступным для освоения летчикам средней квалификации.

К работам по программе создания Су-27 была привлечена огромная кооперация соисполнителей по всей стране. Широкое внедрение перспективных технологий характерно для любой из систем самолета. Так, например:

- Силовая установка самолета состоит из двух ТРДДФ АЛ-31Ф, разработанных в ОКБ А.М. Люлька. По характеристикам и уровню параметров это двигатели нового поколения, с исключительно высокими удельными показателями по массе, тяге и экономичности, что достигнуто за счёт существенного повышения газодинамических характеристик компрессора и рабочей температуры перед турбиной. Достичь таких характеристик стало возможным только при условии освоения новых перспективных материалов и технологий: новых титановых сплавов, жаропрочных сталей, монокристаллических лопаток, специальных покрытий и т.д.;

- Для самолета в целом, критически важным являлся вопрос обеспечения заданной массы, поэтому для различных систем Су-27 выполнялся большой объем работ по созданию новых комплектующих. К примеру, для обеспечения необходимых характеристик системы управления и снижения габаритов и массы её агрегатов, было решено (в СССР - впервые в серии) использовать на самолете гидросистему с повышенным до 280 кг/см^2 рабочим давлением и принципиально новые типы рулевых приводов, с разделением на отдельные блоки силовых и распределительных узлов;
- БРЭО Су-27 разрабатывалось с широким внедрением цифровой обработки информации на БЦВМ и с учетом принципа широкого комплексирования различных систем по функциям и назначению, к примеру, в состав системы управления вооружением наряду с радиолокационным каналом обнаружения цели (многофункциональная БРЛС) включен независимый информационный канал - оптико-локационная станция;
- В рамках целевой программы перевооружения, для Су-27 разработано новое поколение управляемых ракет средней (К-27Э) и малой (К-73) дальности.

Все вышеперечисленное позволило создать боевой авиационный комплекс, который на равных противостоит самым лучшим зарубежным боевым самолетам. Вся дальнейшая история семейства самолетов типа Су-27 подтверждает этот вывод.

В июне 1989 г. Су-27 и Су-27УБ были впервые показаны за рубежом, на авиавыставке в Ле-Бурже. Летчики-испытатели ОКБ В.Г. Пугачев и Е.И. Фролов продемонстрировали международной авиационной общественности высокие маневренные характеристики самолетов ОКБ Сухого. С тех пор и по сей день, самолеты типа Су-27 являются участниками самых престижных международных авиавыставок и авиашоу, неизменно демонстрируя высочайший уровень отечественной авиапромышленности.

Основные летно-технические характеристики Су-27 приведены в таблице 1.1

Таблица 1.1

Летно-технические характеристики Су-27

Модификация	Су-27
Длина крыла, м	14,70
Длина самолета, м	21,935
Высота самолета, м	5,932
Площадь крыла, м2	62.037
Угол стреловидности крыла, град	42
Масса, кг	
пустого самолета	16300
нормальная взлетная	22500
максимальная взлетная	30000
Масса топлива, кг	
нормальная	5270
максимальная	9400
Тип двигателя	2 ТРДД АЛ-31Ф.
Максимальная тяга, кН	
бесфорсажная	2 х 74,53
форсажная	2 х 122,58
Максимальная скорость, км/ч:	
у земли	1380
на большой высоте	2500 (М=2,35).
Максимальная скороподъемность, м/мин	18000
Практический потолок, м	18500
Динамический потолок, М	24000
Практическая дальность, км	
на высоте	3680
у земли	1370
Максимальная скорость разворота, град/с	
установившегося	17
неустановившегося	23
Длина разбега, м	450
Длина пробега, м	
без тормозного парашюта	620
с тормозным парашютом	700
Макс. эксплуатационная перегрузка	9.

2 КОМПРЕССОР

2.1 Компрессор низкого давления

Компрессор низкого давления предназначен для сжатия воздуха, поступающего в наружный и внутренний контуры двигателя.

КНД состоит из ротора 2 и статора 3. В состав статора 3 входят (рисунок 2.9):

- входной направляющий аппарат 1;
- кок 21;
- передняя опора 19;
- корпуса первой, второй, третьей и четвертой ступеней;
- направляющие аппараты первой, второй и третьей ступеней.

Ротор (рисунок 2.17, 2.18) - барабанно-дисковой конструкции, трехсекционный. Первая секция (сварная) состоит из цапфы 1, дисков первой - 3 и второй - 5 ступеней и цилиндра с фланцем; вторая секция (сварная) включает диск 7 третьей ступени и заднюю цапфу 13 и третья - диск 9 четвертой ступени.

Ротор опирается: передней цапфой 1 на роликовый подшипник; задней цапфой 13 - на шариковый подшипник. Привод откачивающего маслонасоса осуществлен от ротора КНД.

Первая и вторая секции неразборные, все элементы их соединены электронно-лучевой сваркой. Между собой секции соединяются с помощью призонных болтов. Диск четвертой ступени закреплен консольно, что уменьшает расстояние между опорами и увеличивает изгибную жесткость ротора. Диски всех ступеней выполнены с центральным отверстием, с тонким полотном и развитой ступицей.

Диски 3, 5, 7 и 9 ротора - титановые. На ободе каждого диска имеются продольные пазы типа «ласточкин хвост» (рисунок 2.1), в которые устанавливаются рабочие лопатки. В диск первой ступени установлены 37 рабочих лопаток, а

диск второй - 45, в диск третьей - 57 и в диск четвертой - 43. Рабочие лопатки - титановые. Для уменьшения вибронапряжений лопатки первой, второй, третьей ступеней имеют бандажные полки (рисунок 2.2), расположенные на боковых поверхностях пера на расстоянии четверти высоты от края лопатки. По контактным поверхностям бандажных полок обеспечивается натяг; для уменьшения износа на контактные поверхности наносится специальное покрытие.

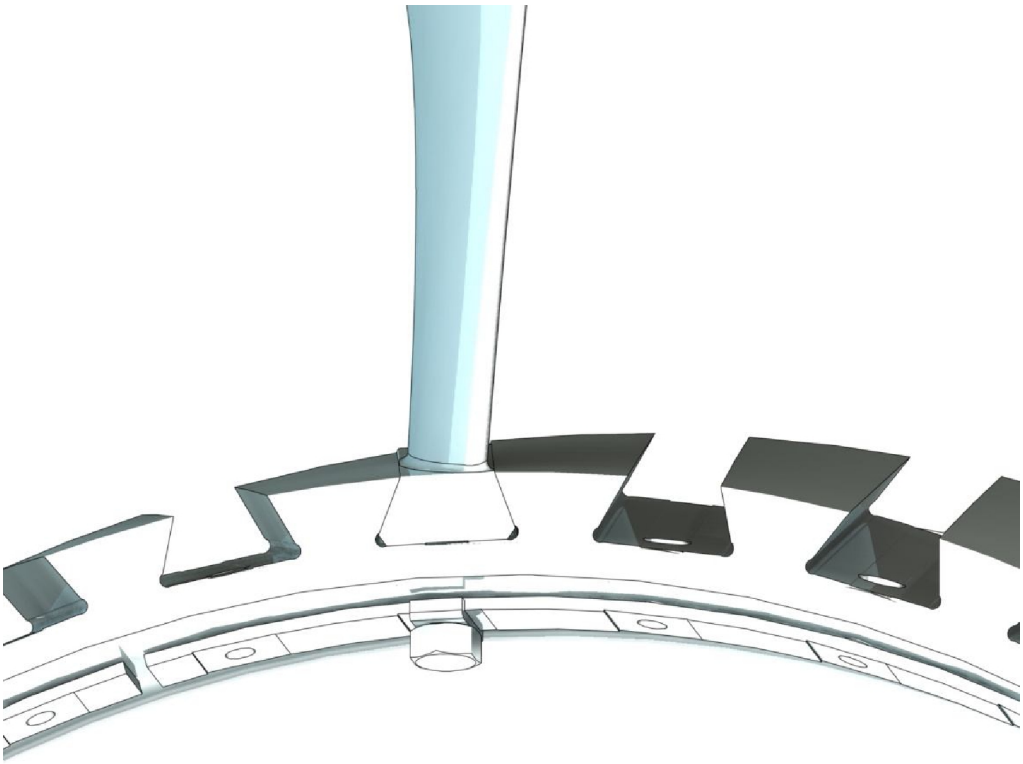


Рис. 2.1 Продольные пазы типа «ласточкин хвост» 1 ступени

От смещения вдоль паза диска лопатки первой и второй ступеней фиксируются радиальными штифтами. На первой ступени (рисунок 2.3) радиальные штифты 1 от выпадания при отсутствии центробежных сил удерживаются кольцом 2, которые от перемещений фиксируется балансировочными винтами 3, завернутыми в штифт. Свободные отверстия в кольце используются для постановки балансировочных винтов в требуемых местах.

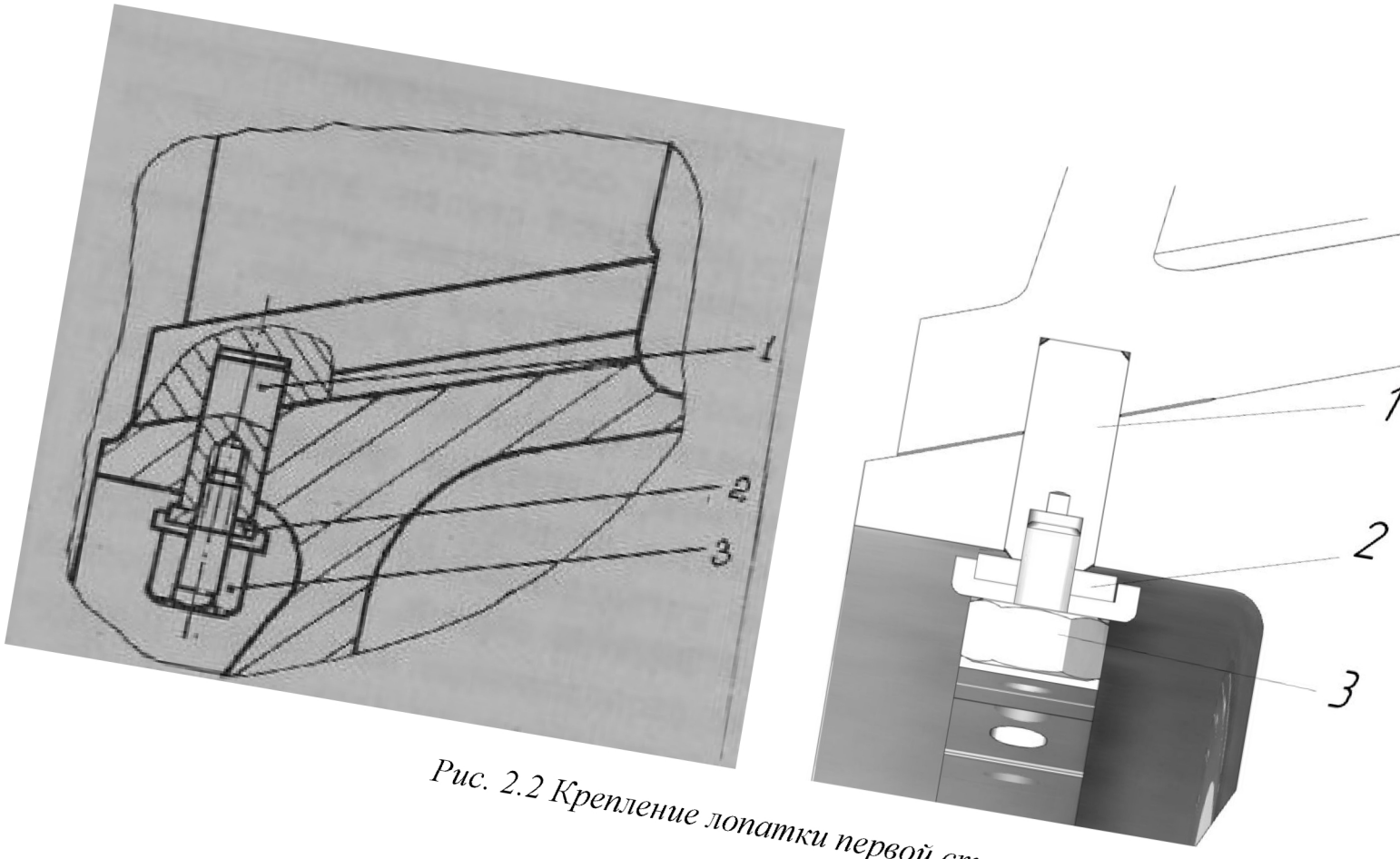


Рис. 2.2 Крепление лопатки первой ступени

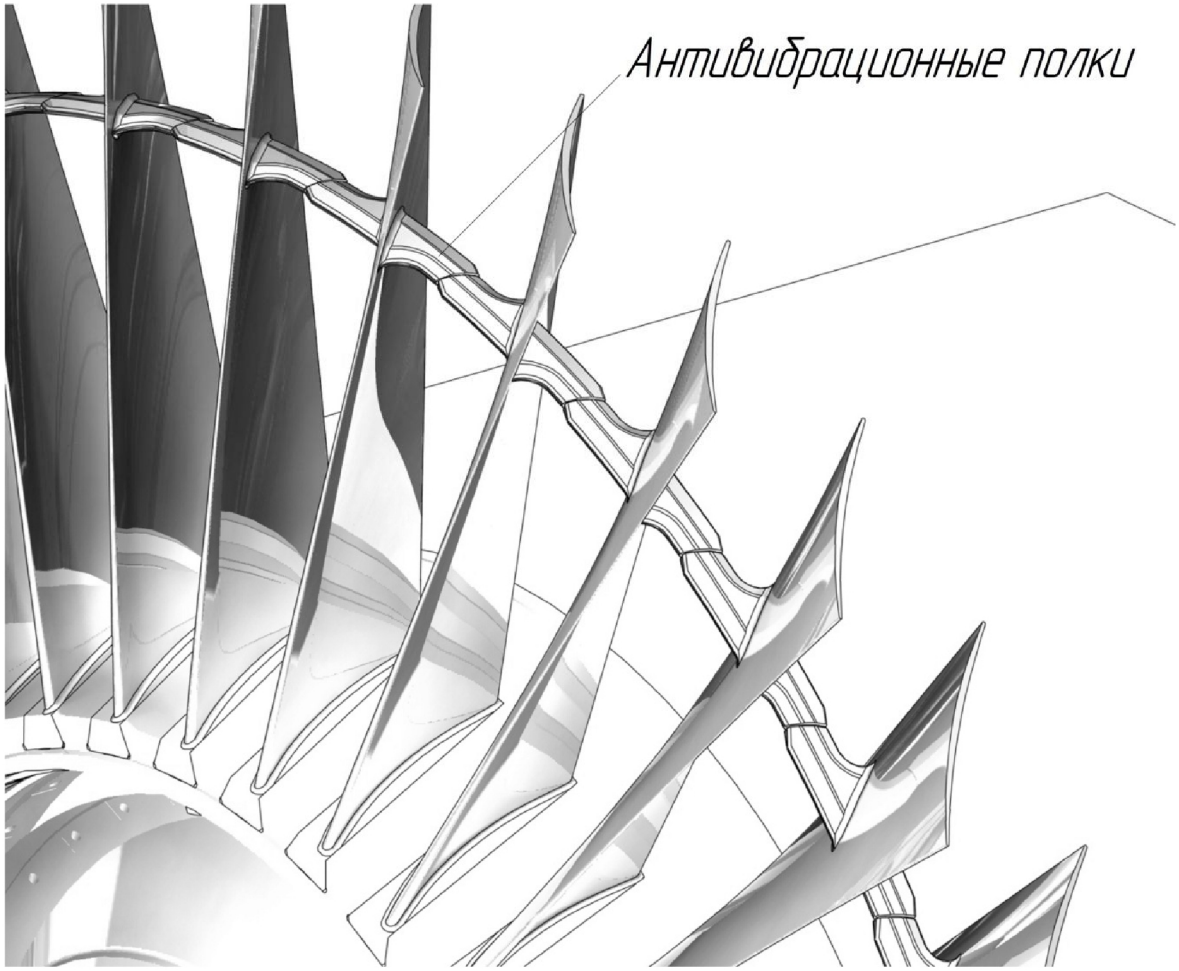


Рис. 2.3 Антивибрационные полки

На второй ступени штифты удерживаются обжимной втулкой. На последующих ступенях осевая фиксация лопаток осуществляется разрезным кольцом 1, вставляемым в кольцевую проточку в лопатке 2 и диске 3 (рисунок 2.4). Кольцо фиксируется стопором 4 (рисунок 2.5).

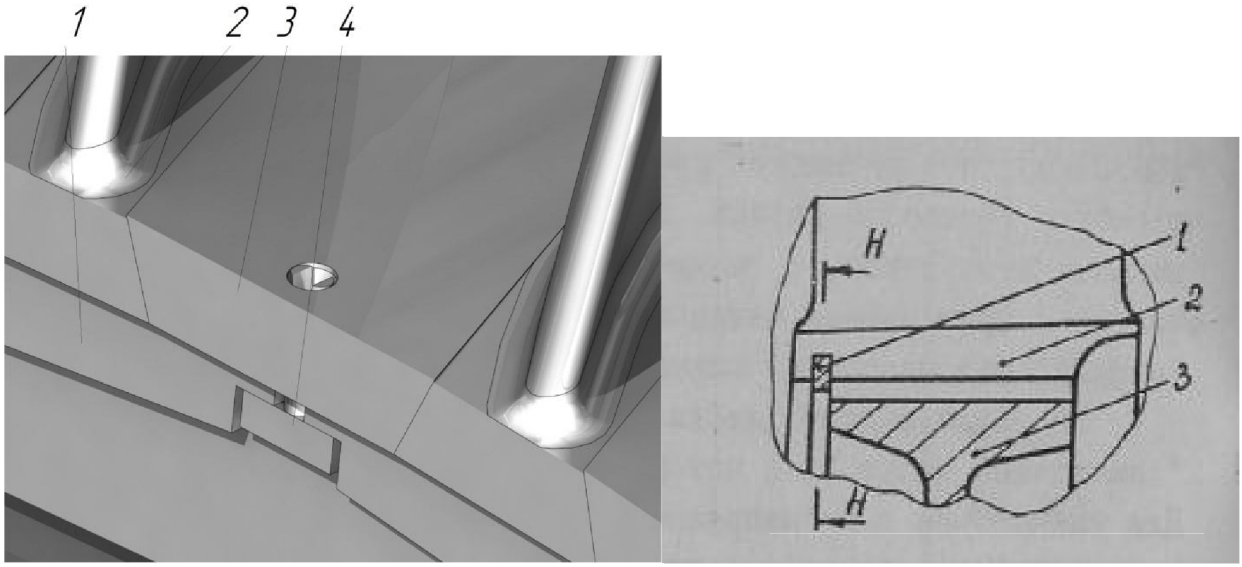


Рис. 2.4 Крепление лопаток диска 3 и 4 ступени

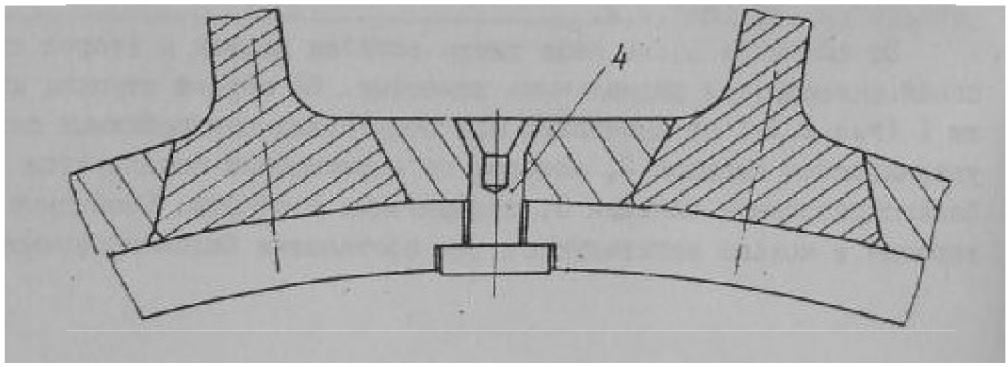


Рис. 2.5 Фиксация кольца

Болты 14 (рисунок 2.14) выполняют функцию балансировочных грузов, для чего имеют различную высоту головки. В барабане ротора за диском первой ступени имеются отверстия А для подвода воздуха из проточной части компрессора во внутреннюю полость ротора для разгрузки от осевых сил.

Передняя опора ротора - силовой элемент двигателя, закреплена на заднем фланце ступицы ВНА и является упругогедравлической. В ее состав входят: корпус роликоподшипника 28 (рисунок 2.14, 2.6), роликоподшипник 29, узел масляного уплотнения 45, крышки 43 и 44 лабиринтного уплотнения.

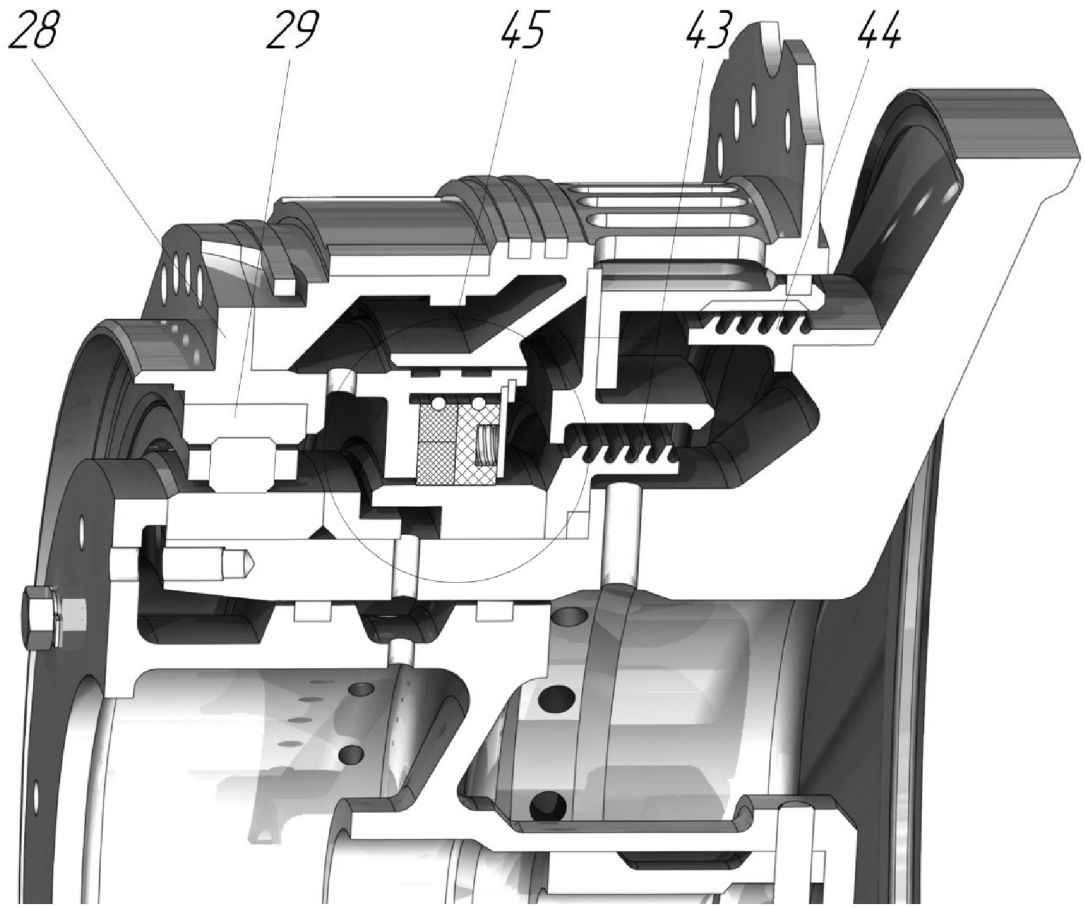
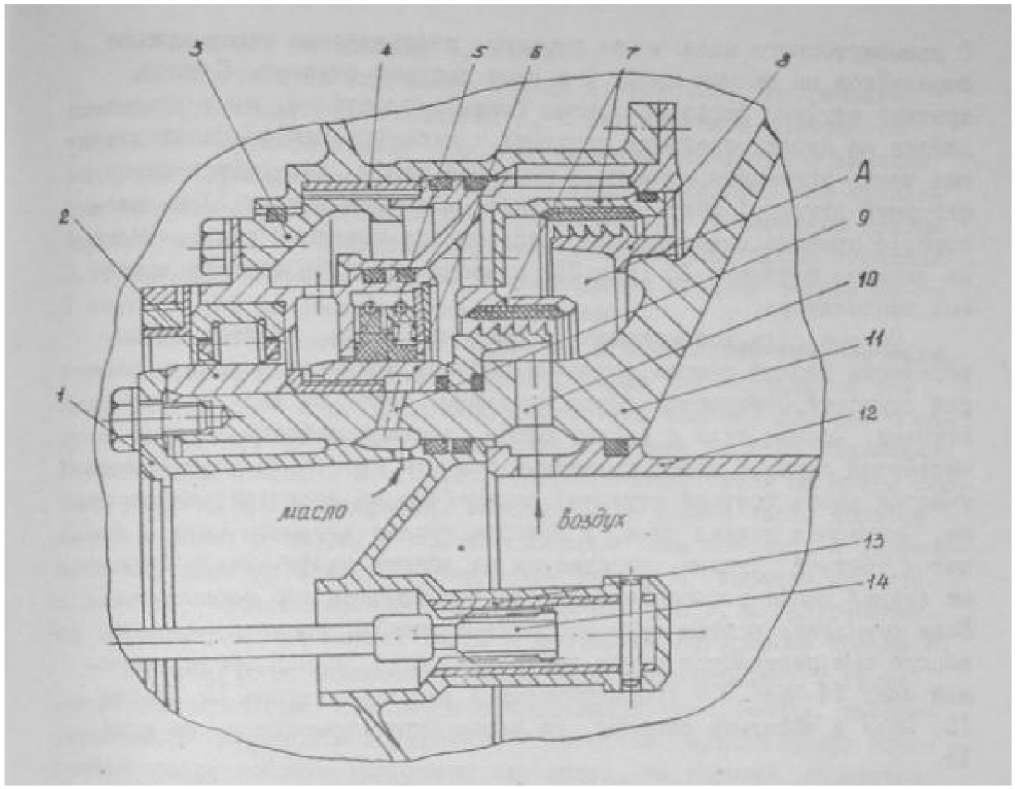


Рис. 2.6 Состав передней опоры КНД

Опорным элементом передней опоры (рисунок 2.7) является роликоподшипник Внутренне кольцо подшипника 2, элементы уплотнений размещены на передней цапфе 11. От осевых перемещений они фиксируются фланцем втулки 1. Для охлаждения кольца 6, через отверстия 9 в фигурной втулке 1 и цапфе 11, подводится масло. Воздух через трубу 12, отверстия 10 в цапфе подводится в полость А для наддува предмаслянной полости передней опоры. Наружное кольцо подшипника, контактное масляное уплотнение 5, монтируются в стальном стакане, который крепится к корпусу подшипника 3. Корпус подшипника упругоподвижный и связан с неподвижным фланцем ступицы через пятьдесят упругих перемычек типа «беличье колесо». В зазор между корпусом подшипника и ступицей установлено многоопорное кольцо 4 с калиброванными отверстиями между выступами. При колебаниях ротора многоопорное кольцо деформируется, масло через отверстия перетекает из одной полости в другую, рассеивая энергию колебаний ротора.



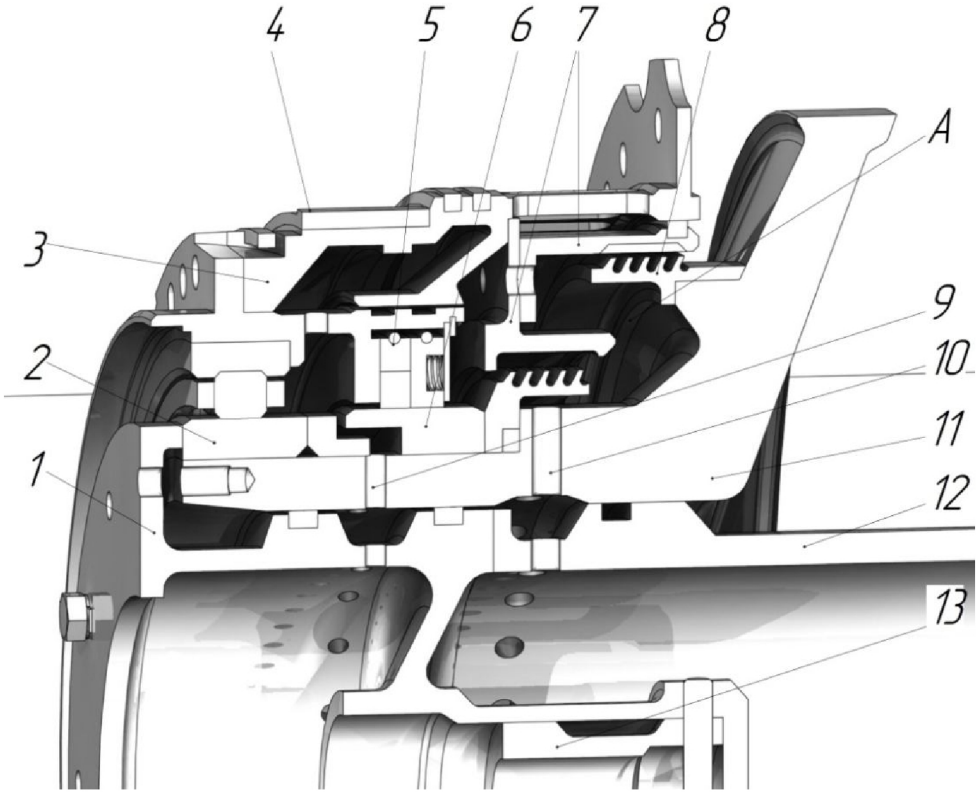


Рис. 2.7 Передняя опора КНД

Задняя опора (рисунок 2.8) – шариковый опорно-упорный подшипник. Внешнее кольцо подшипника выполнено зацело с фланцем, который устанавливается в крышке 1. Крышка 1 с натягом устанавливается в переходном корпусе. Внутреннее кольцо подшипника 5 и элементы уплотнений 2 устанавливаются на промежуточном валу вентилятора 4 и фиксируются гайкой 3. Соединение промежуточного вала вентилятора с задней цапфой осуществляется стяжным болтом, а с ротором турбины низкого давления стяжной трубой.

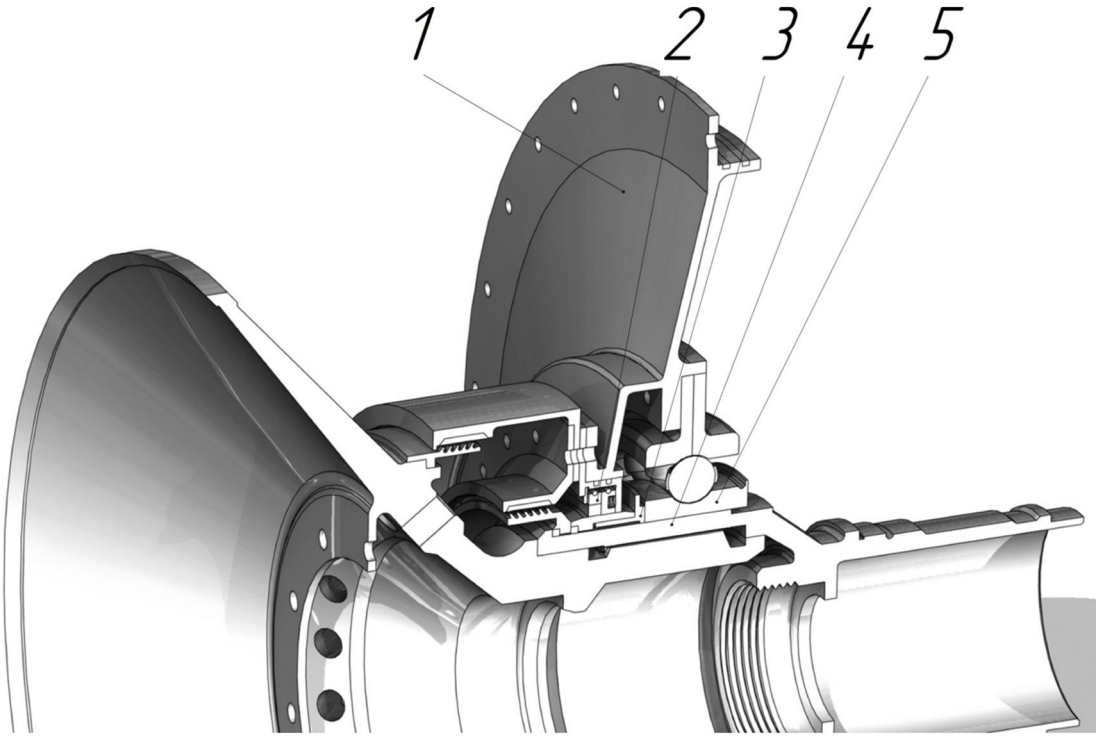


Рис. 2.8 Задняя опора КНД

Статор вентилятора состоит из:

- Входного направляющего аппарата;
- Корпусов первой, второй, третьей и четвертой ступеней;
- Направляющих аппаратов первой, второй и третьей ступеней;
- Выходного спрямляющего аппарата.

Входной направляющий аппарат - титановый, является силовым элементом двигателя. В нем смонтированы:

- передняя опора ротора;
- откачивающий маслонасос;
- кок.

В состав ВНА входят (рисунок 2.14):

- наружное кольцо 35;
- ступица 34;
- стойки 1-23.

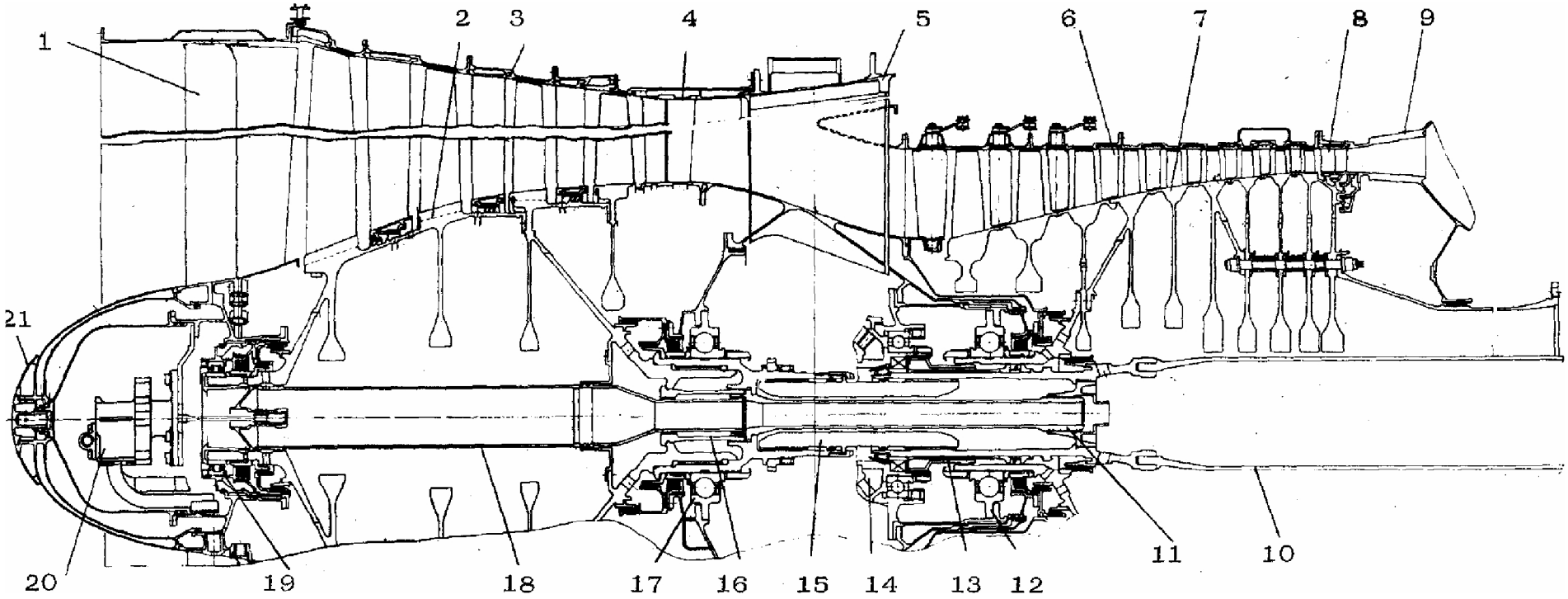
Наружное кольцо передним фланцем стыкуется с каналом воздухозаборника, задним – с корпусом первой ступени. Для крепления лопаток с регулируемой поворотной частью в наружном кольце 35 выполнены пазы и отверстия. Снаружи к кольцу приварена обечайка 36, образующая полость, в которую подводится горячий воздух из-за 7 ступени КВД на обогрев лопаток и кока.

Стойки 1-23 образуют единый аэродинамический профиль с поворотными закрылками 51 и являются силовым элементом ВНА. Стойки - полые, имеют цапфы на концах профильной части, с помощью которых они крепятся к наружному и внутреннему кольцу. К наружному кольцу лопатки крепятся с помощью гайки, наворачиваемой на верхнюю цапфу, к внутреннему – за счет защемления нижней цапфы в составном внутреннем кольце 8. Цапфы поворотных закрылков 51 установлены в подшипниках скольжения, смонтированных в наружном кольце и ступице. На верхней цапфе поворотной части выполнены две лыски, на которые одевается рычаг привода. Регулировка зазоров между поворотной частью лопатки и корпусом производится постановкой регулировочного кольца.

Внутреннее кольцо выполнено составным из трех частей. Они соединены между собой винтами. На переднем фланце внутреннего кольца закреплена крышка, ограничивающая спереди масляную полость передней опоры вентилятора, на заднем – передняя опора ротора вентилятора.

Поворот закрылков осуществляется по команде системы управления ВНА КНД рычагами 42 через приводное кольцо 39 с десятью расположенными по окружности фиксаторами 50. Через семь стоек проходят трубопроводы: - в стойке № 1 - суфлирования масляной полости; - в стойке № 5 - подвода масла; - в стойке № 8 - откачки масла; - в стойках №14,№17, №21- суфлирования предмасляной полости; - в стойке № 11 - слива масла; - стойка № 14 - резервная.

Для уменьшения перетечек воздуха через зазор между стойкой и закрылком в паз стойки установлена пластина 48 с пружиной 49.



1 - входной направляющий аппарат, 2 - ротор КНД, 3 - статор КНД, 4 - выходной направляющий аппарат КНД, 5 - промежуточный корпус, 6 - статор КВД, 7 - ротор КВД, 8 - выходной направляющий аппарат КВД, 9 - основная камера сгорания, 10 - вал ротора ТНД, 11 - стяжная труба, 12 - передняя опора КВД, 13 – рессора, 14 - центральная коническая передача, 15 – рессора, 16 – гайка, 17 - задняя опора КНД, 18 – труба, 19 - передняя опора КНД, 20 - откачивающий маслонасос, 21 – кок

Рис. 2.9 Компрессор

Кок состоит из двух обечаек, образующих полость, в которую поступает горячий воздух из-за седьмой ступени КВД.

Корпус 28 - состоит из наружного и внутреннего корпусов и содержит гидродинамический демпфер. Упругоподвижная передняя часть корпуса связана с неподвижным фланцем ступицы 50-ю упругими перемычками . Упругость корпуса, наличие масляной пленки в полости расположения упругого кольца 47 гасят колебания ротора.

Узел масляного уплотнения предотвращает утечки масла в проточную часть компрессора и воздуха - из проточной части в масляные полости. Масляное уплотнение состоит из сдвоенных сегментных уплотнений с браслетными пружинами.

Корпуса первой 5 (рисунок 2.15), второй 6, третьей 8 и четвертой 10 , 13 ступеней - титановые, выполнены в виде кольцевых оболочек. Взаимная центровка обеспечивается призонными болтами. На заднем фланце корпусов для установки лопаток прорезана кольцевая проточка. Вторая такая же проточка прорезана в наплыве корпуса. Полости В и Г над рабочими лопатками сообщаются с проточной частью компрессора через прорези А и Б и образуют щелевой перепуск (рисунок 2.10, 2.11), расширяющий диапазон режимов устойчивой работы компрессора. В корпусах имеются окна Е для осмотра и текущего ремонта лопаток ротора. Пробка 15 имеет прямоугольный фланец и резьбовое отверстие для ключа. Схема расположения окон осмотра приведена на рисунке 2.16

Соединение корпусов - фланцевое. Передний фланец корпуса 5 соединен с ВНА, задний фланец корпуса 13 - с промежуточным корпусом.

Направляющие аппараты первой, второй и третьей ступеней состоят из лопаток 7, 9, 11 с наружными и внутренними полками и внутренних полуколец 1, 2 и 3, являющихся неподвижными элементами воздушных лабиринтных уплотнений; подвижными элементами служат гребешки на барабане ротора. Наружной полкой лопатка вставлена в кольцевые проточки, прорезанные в наплыве и заднем фланце. От окружных перемещений лопатки фиксируются сухариками

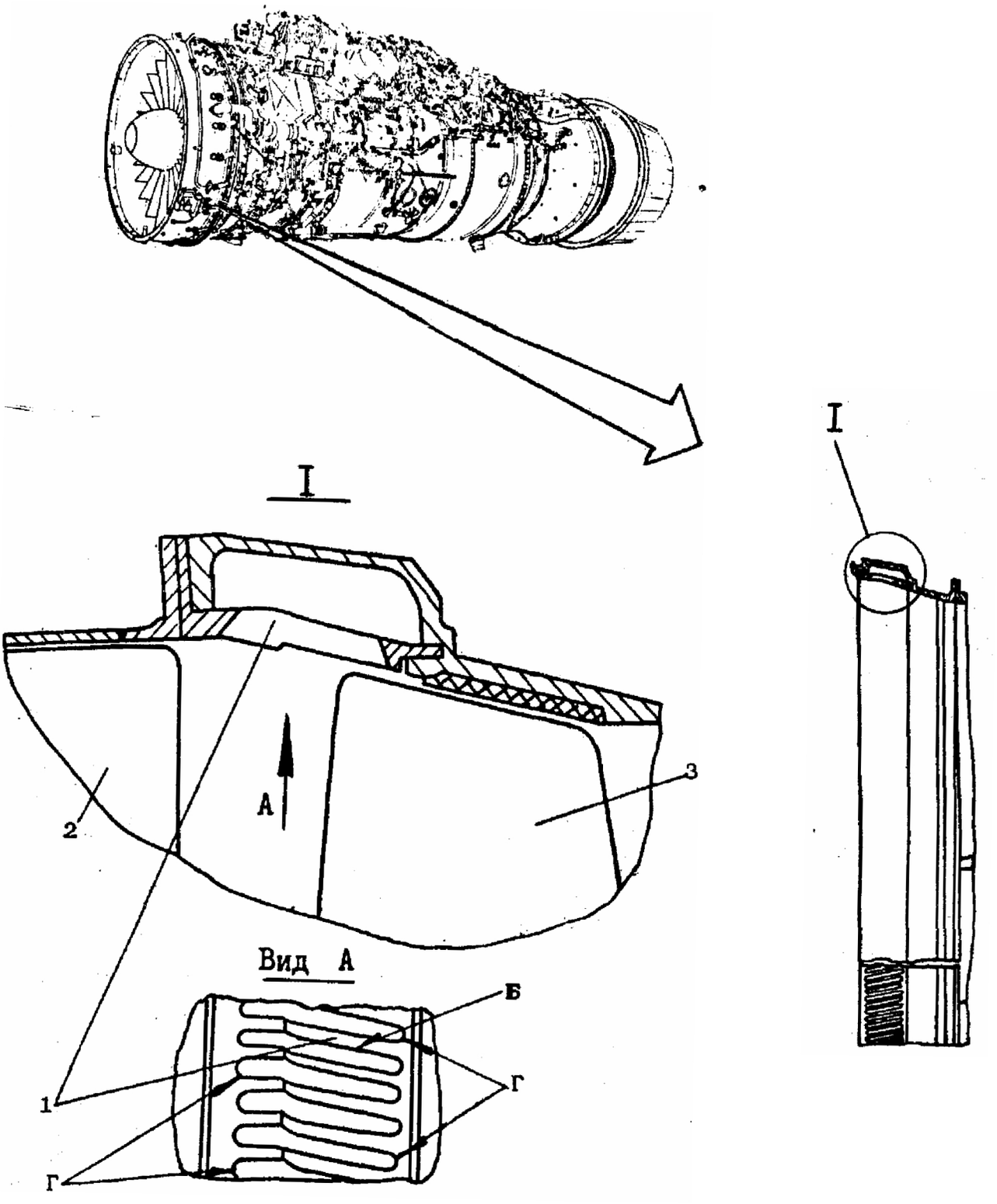
4, вставленными в прорези корпуса.

Внутренние полки используются для установки внутренних полуколец, являющихся неподвижными частями лабиринтных уплотнений. Для уменьшения радиальных зазоров на внутренней поверхности полуколец нанесено легкоприрабатываемое покрытие АНБ. От окружных перемещений каждое полукольцо фиксируется зубом на внутренней полки лопатки.

Над рабочими лопатками четвертой ступени установлено устройство щелевого перепуска 12 (рисунок 2.12), выполненное в виде кольца с окнами для перепуска воздуха. Кольцо фиксируется, с одной стороны, полками лопаток, с другой, фланцем направляющего аппарата.

Выходной направляющий аппарат (рисунок 2.13) состоит из корпуса 22, наружного кольца 21, двух рядов лопаток 20 и внутреннего кольца 23. Каждая лопатка имеет наружную и внутреннюю полки с натягом, установленные в окна, профрезерованных в наружном и внутреннем кольце. Фланцы на наружном и внутреннем кольцах направляющий аппарат соединен с переходным корпусом.

Для изучения конструкции КНД является также полезным ознакомление с рис. 6-13, на которых показаны его отдельные узлы и элементы.



1 - кольцо перепуска, 2 - закрылок ВНА КНД, 3 - рабочая лопатка 1 ступени КНД

Рис. 2.10 Кольцо щелевого перепуска первой ступени КНД



Рис. 2.11 Кольцо щелевого перепуска



Рис. 2.12 Кольцо щелевого перепуска четвертой ступени КНД

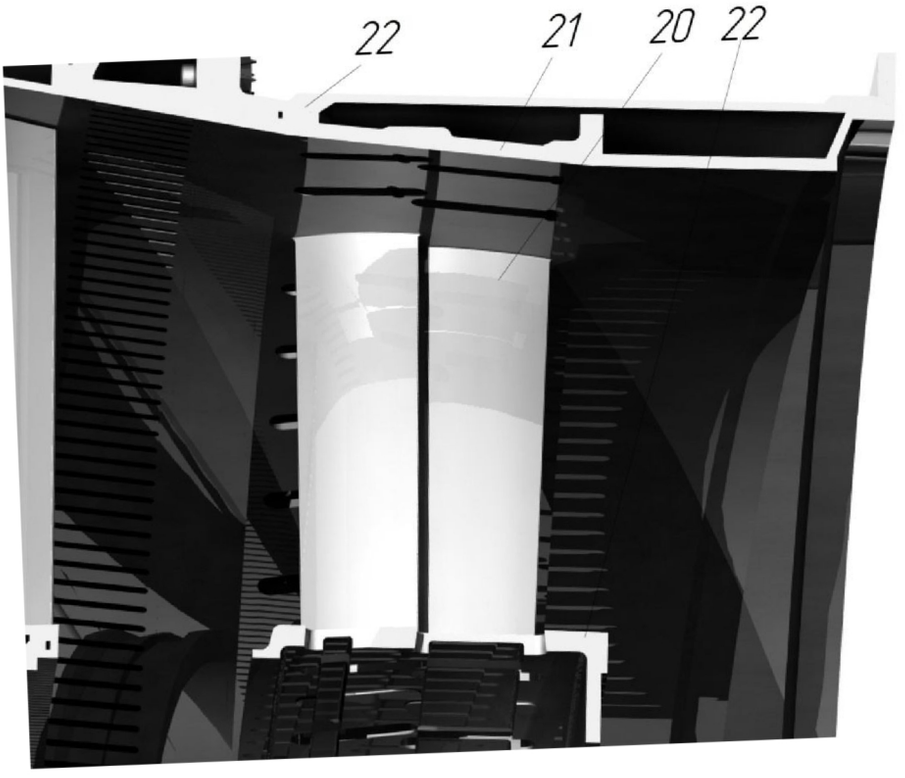


Рис. 2.13 Выходной направляющий аппарат

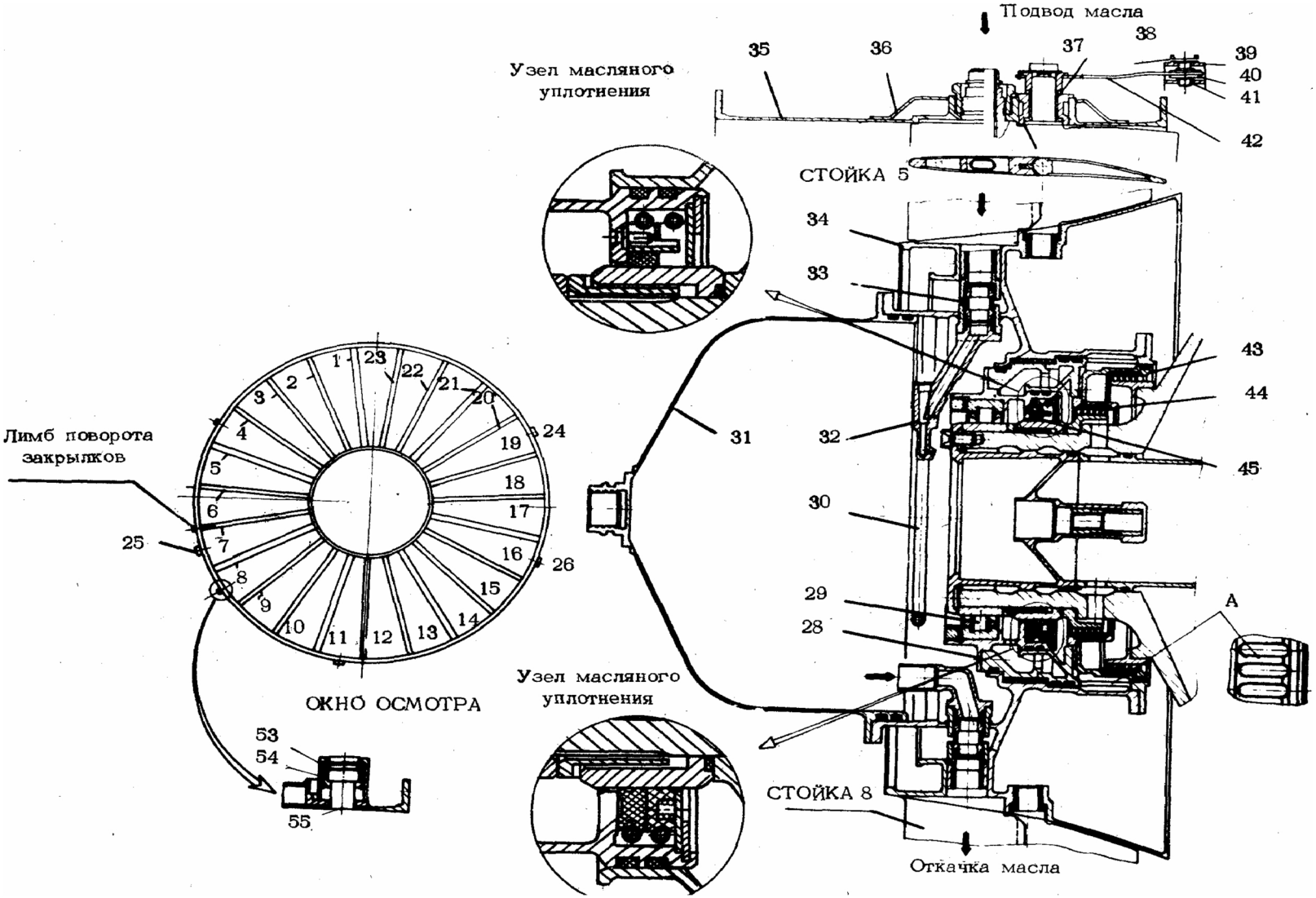
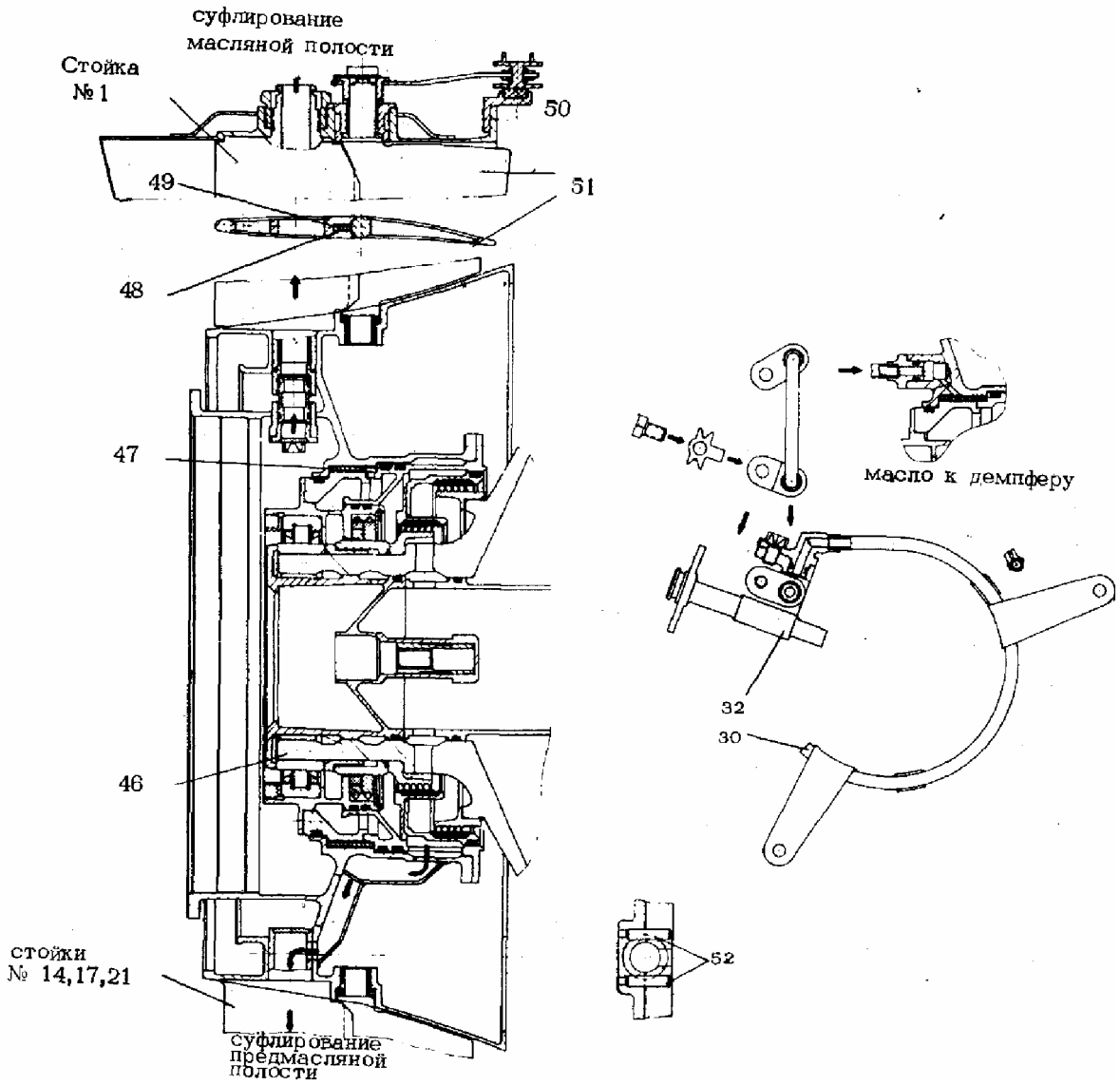
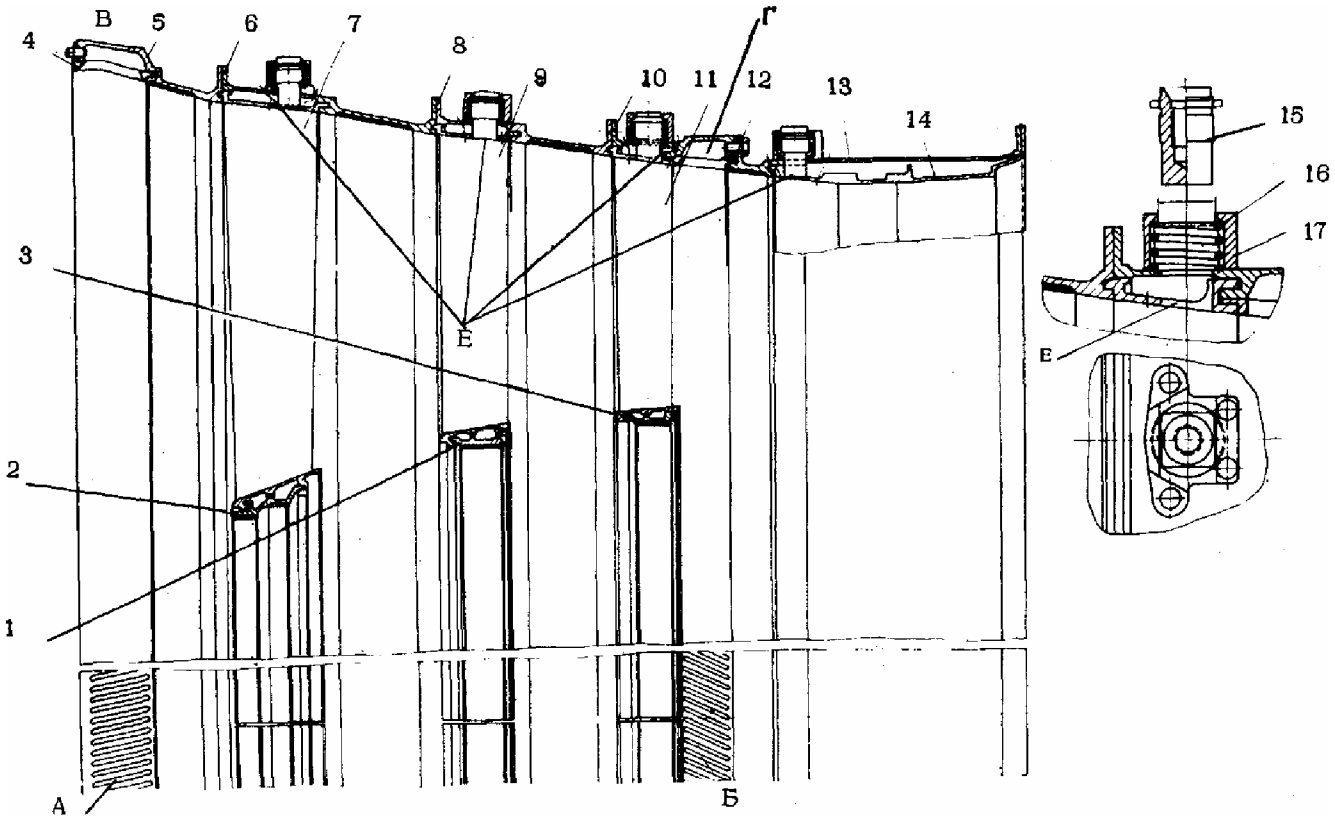


Рис. 2.14 Входной направляющий аппарат и передняя опора КНД (Лист 1 из 2).



1-23 - стойки с поворотными закрылками
24 - бобышка подвода воздуха на обогрев
25-26 - бобышки для крепления ТДК
27 - бобышка крепления приемника давления PQI
28 - корпус подшипника
29 - роликоподшипник
30 - коллектор
31 - кожух
32 - форсунка
33 - труба
34 - ступица
35 - наружное кольцо
36 - обечайка коллектора
37 - регулировочная шайба
38 - стопор
39 - приводное кольцо
40 - сферический подшипник
41 - штифт
42 - рычаг
43,44 - крышка лабиринтных уплотнений
45 - масляное уплотнение
46 - цапфа ротора КНД
47 - упругое кольцо
48 - пластина
49 - пружина
50 - фиксатор
51 - закрылок
52 - штифты
53 - втулка
54 - пружина
55 - пробка

Рис. 2.14 Входной направляющий аппарат и передняя опора КНД (Лист 2 из 2).



1,2,3 - внутренние полукольца, 4 - кольцо щелевого перепуска, 5 - корпус первой ступени, 6 - корпус второй ступени, 7 - лопатка НА первой ступени, 8 - корпус третьей ступени, 9 - лопатка НА второй ступени, 10 - корпус четвертой ступени, 11 - лопатка НА третьей ступени, 12 - кольцо щелевого перепуска, 13 - корпус четвертой ступени, 14 - выходной НА КНД, 15 – пробка, 16 – пружина, 17 – окно.

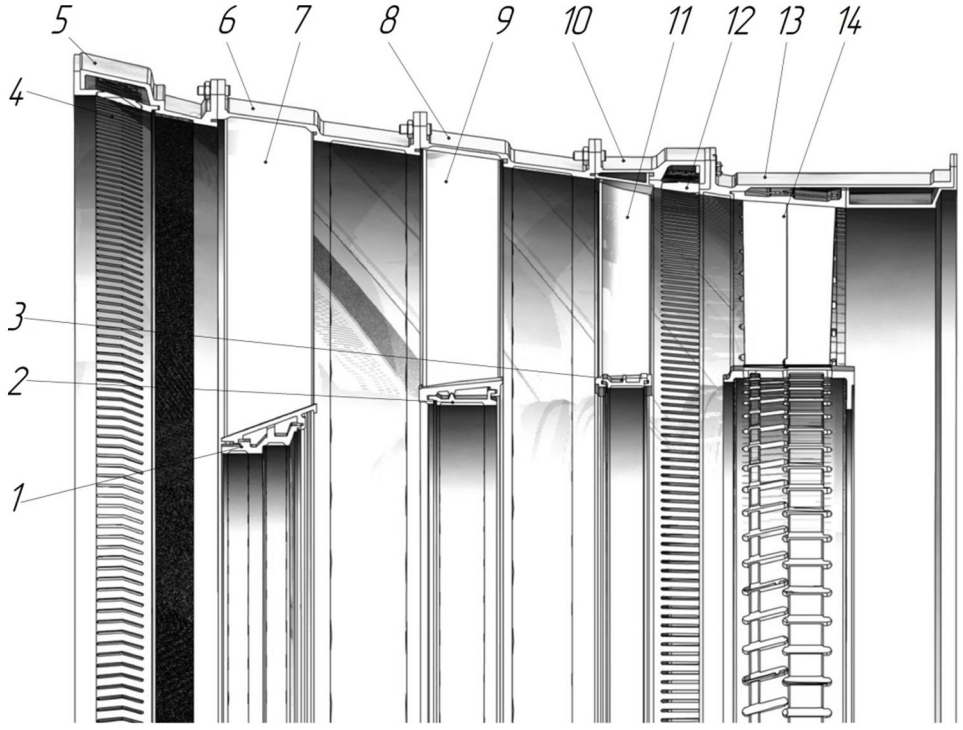
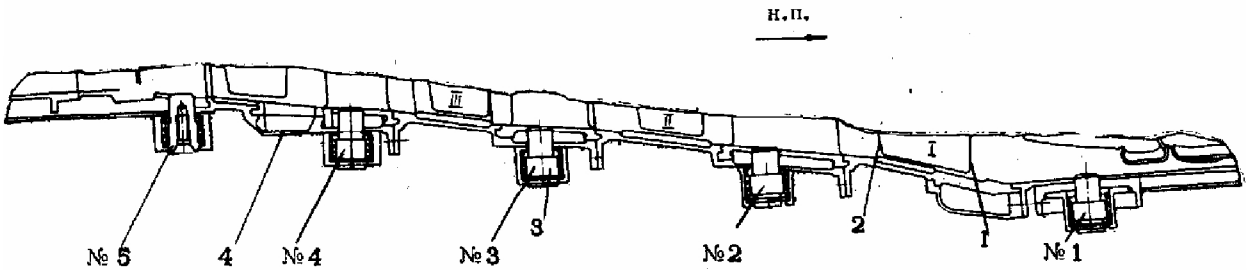
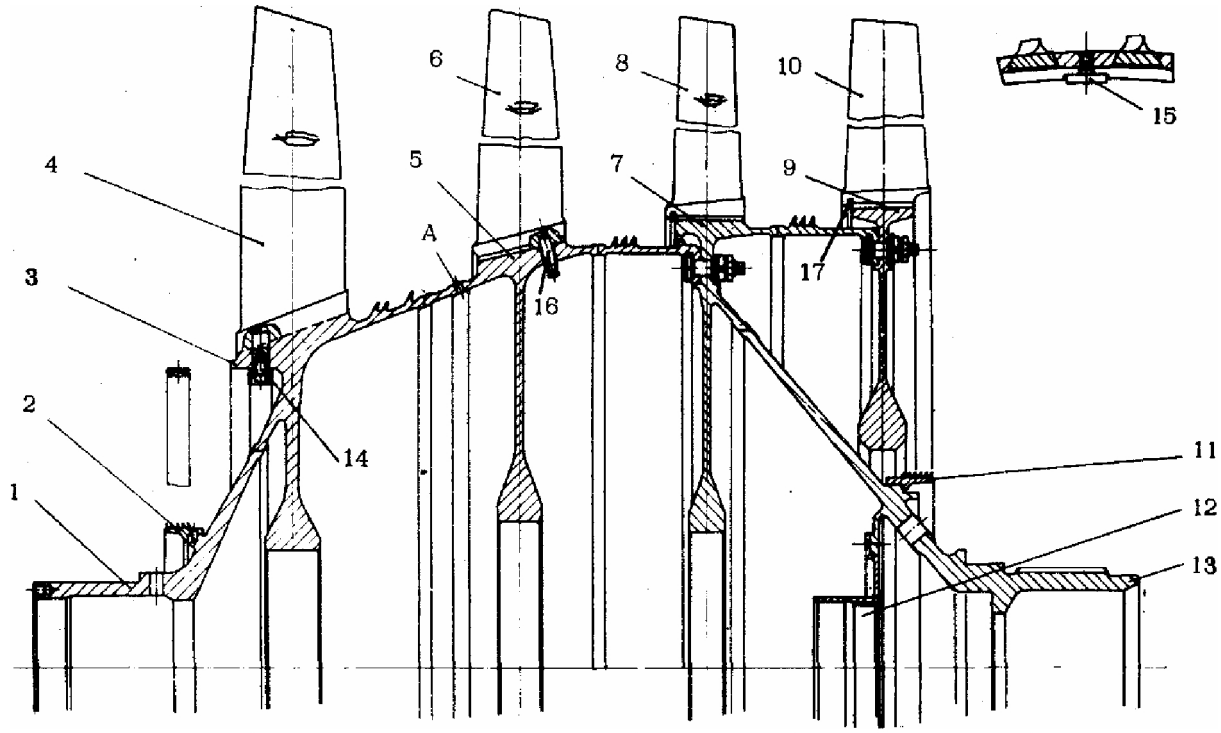


Рис. 2.15 Статор КНД



1 - входная кромка рабочей лопатки первой ступени, 2 - выходная кромка рабочей лопатки первой ступени, 3 – заглушка, 4 - корпус КНД.

Рис. 2.16 – Осмотр рабочих окон



1 - передняя цапфа, 2 – лабиринт, 3 - диск первой ступени, 4 - лопатка первой ступени, 5 - диск второй ступени, 6 - лопатка второй ступени, 7 - диск третьей ступени, 8 - лопатка третьей ступени, 9 - диск четвертой ступени, 10 - лопатка четвертой ступени, 11 – лабиринт, 12 – крышка, 13 - задняя цапфа, 14 - балансировочный груз, 15 – стопор, 16 – штифт, 17 - стопорное кольцо

Рис. 2.17 Ротор КНД

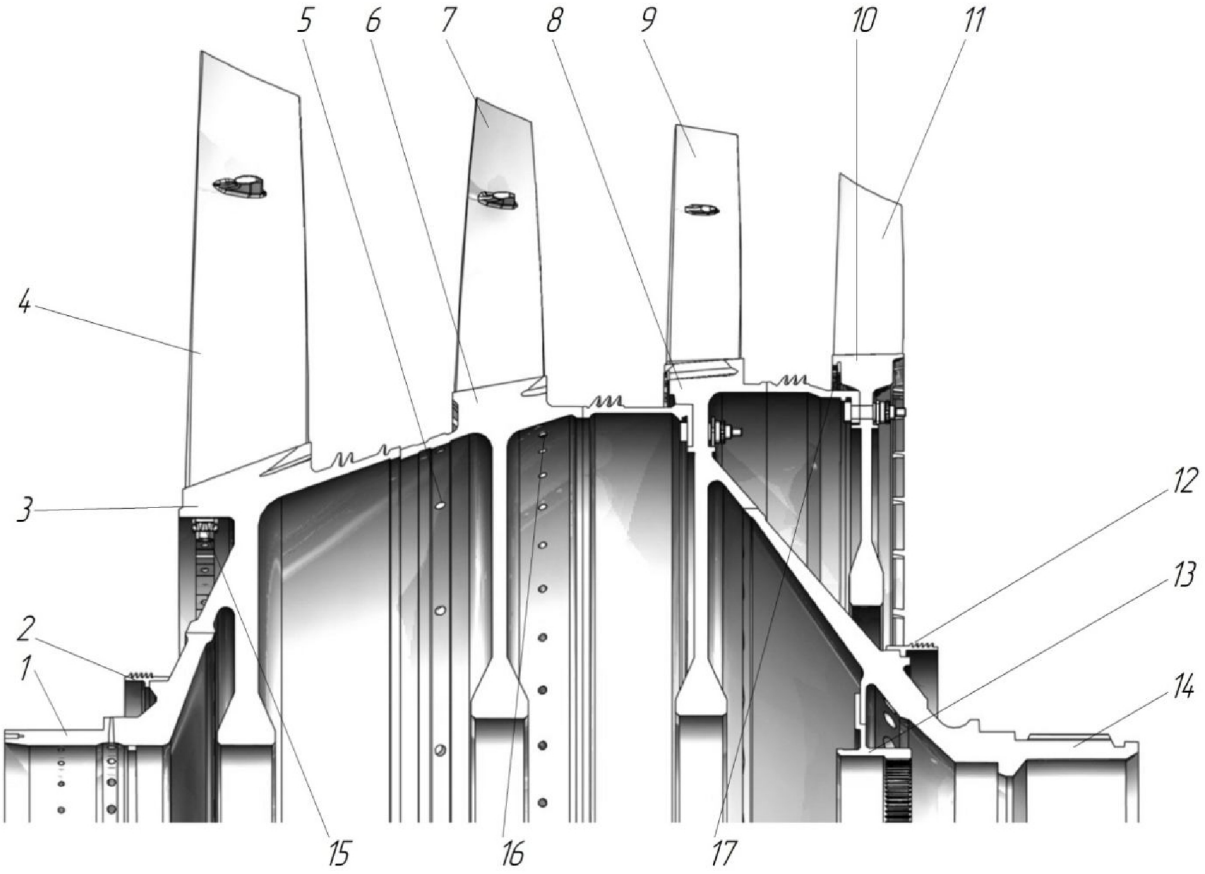
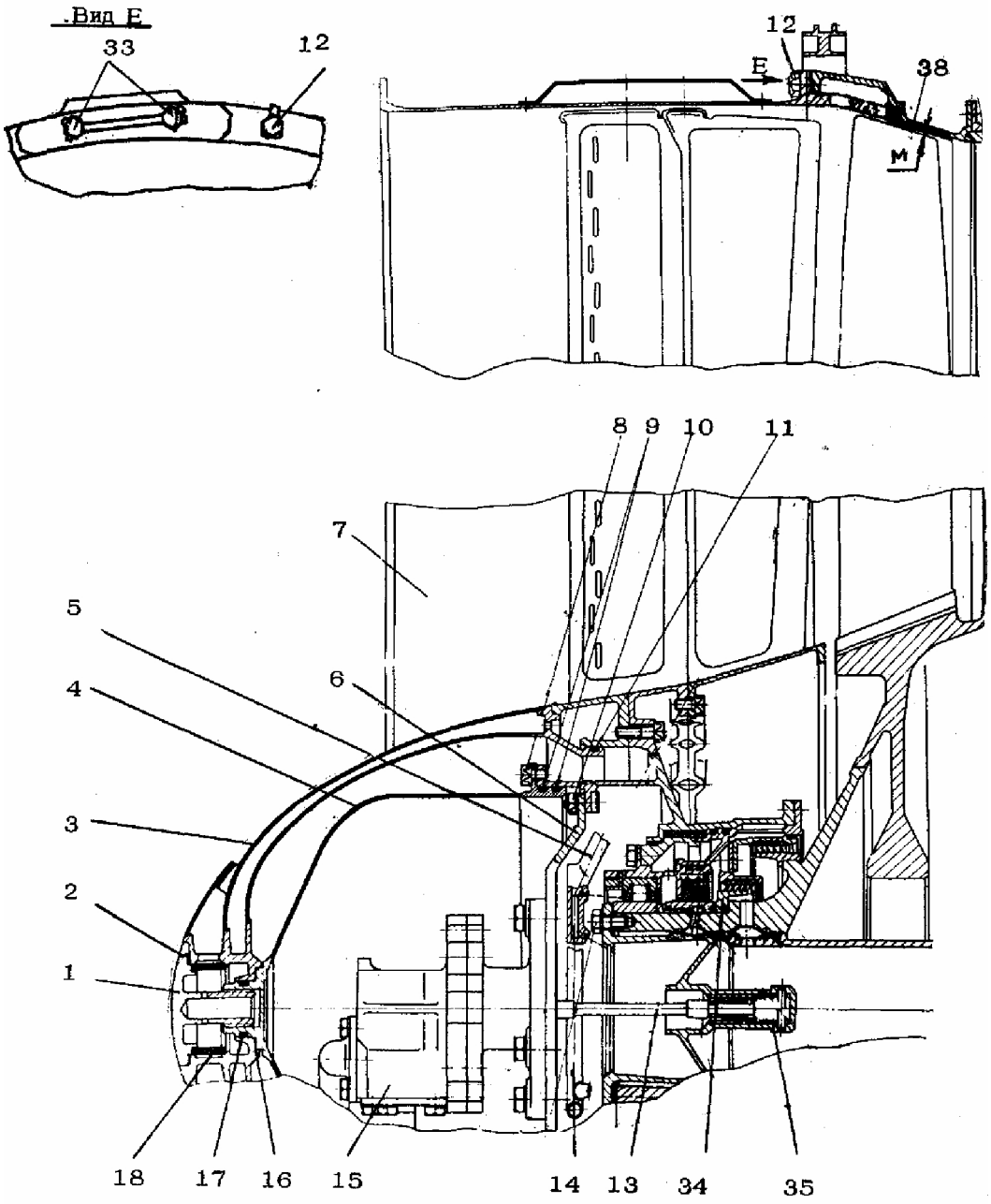
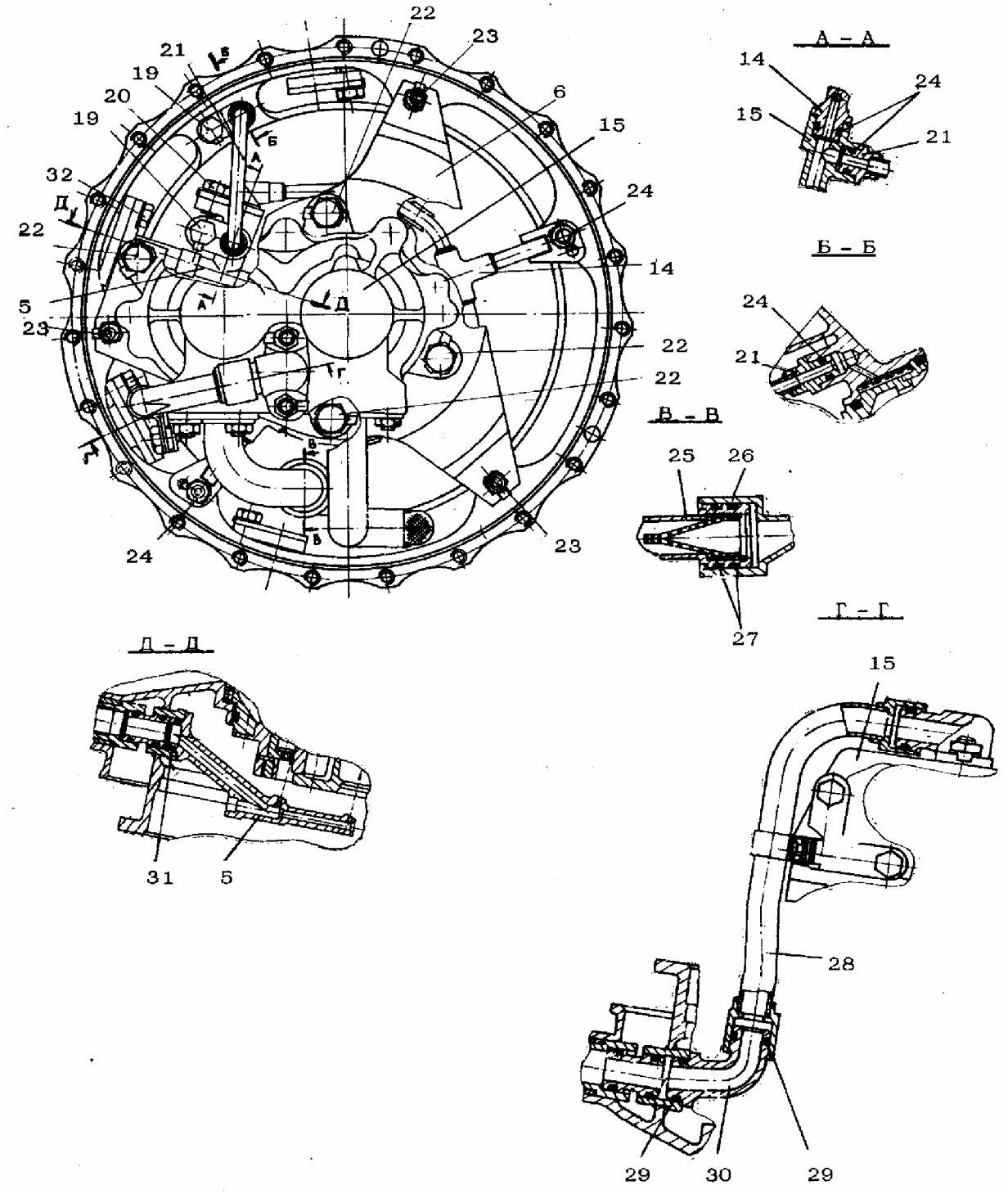


Рис. 2.18 Объемная модель ротора КНД



1 - винт крепления кока, 2 - контровочная шайба, 3 - кок, 4 - кожух, 5 - форсунка,
6 - кронштейн крепления маспонасооа, 7 - корпус ВНА, 8 - винты крепления кожуха
9, 11, 17, 24, 27, 29 и 31 - уплотнительные кольца, 10- гайки крепления кронштейна,
12, 33 - винты крепления ВНА, 13 рессора маслонасоса, 14 - коллектор, 15 - маслонасос,
16 - шайбы, 18 - сетка, 19 - винты крепления трубопровода подвода масла к гидродемпферу,
20 - винт крепления коллектора, 21 - трубопровод подвода масла к гидродемпферу,
22 - винты крепления маспонасоса, 23 - гайки крепления коллектора, 25 – трубопровод,
26 – патрубок

Рис. 2.19 ВНА КНД (лист 1 из 3)



28 - трубопровод откачки масла, 30 – угольник, 32 - винты крепления форсунки,
34 - лабиринтное уплотнение, 35 – втулка, 36 – роликоподшипник,
37 – графитовое уплотнение, 38 – спецсмесь.

Рис. 2.19 ВНА КНД (лист 2 из 3)

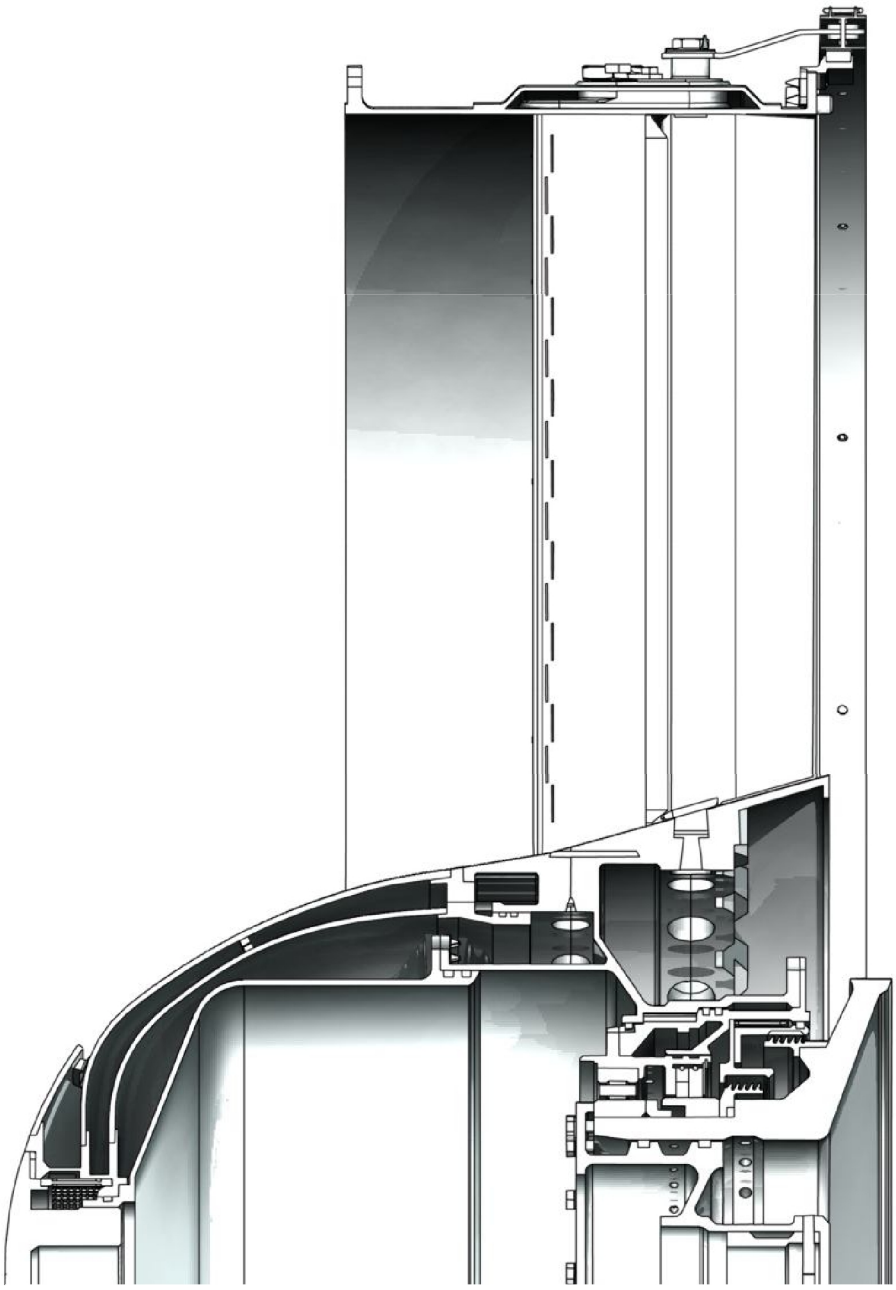


Рис. 2.19 ВНА КНД (лист 3 из 3)

2.2 Компрессор высокого давления

Описание

Компрессор высокого давления (рис. 2.20 и 2.21) сжимает воздух, поступающий во внутренний контур двигателя.

В состав КВД входят статор и ротор.

Статор компрессора ВД

Статор КВД (рис. 2.22и 2.23) включает:

- корпус ВНА, первой, второй и третьей ступени 1;
- задний корпус 2;
- ВНА 3, девять НА 4 и одного спрямляющего 5.

Корпус статора КВД представляет собой полукольца, имеющие фланцы для соединения, и продольный разъем. Передним фланцем статор соединен с промежуточным корпусом, а задним - с корпусом ОКС. В корпусах статора имеются окна осмотра лопаток КВД.

Корпус ВНА, 1, 2 и 3 ступени (рис. 2.24) - титановый с двумя фланцами и продольным разъемом. В корпусе смонтированы лопатки ВНА и НА первой, второй и третьей ступени. К корпусу приварены П-образные обечайки 6, расположенные в три ряда с отверстиями под подшипники внешних цапф поворотных лопаток и бобышки (рис. 2.26) под фиксаторы приводных колец 7 (рис. 2.22) и (рис. 2.34).

Задний корпус (рис. 2.25) - сварной, из сплава на никелевой основе, с двумя фланцами и продольным разъемом.

На наружной поверхности корпуса имеются бобышки для окон осмотра (рис. 2.27 и 2.28) и штифтов фиксации узлов НА (рис. 2.29). К корпусу приварена обечайка 8 (рис. 2.22) коллектора, образующая с ним кольцевую полость отбора воздуха из-за седьмой ступени на нужды самолета, системы наддува масленых уплотнений опор двигателя и противообледенительную систему. Воздух в коллектор поступает через окна, прорезанные в кольце НА седьмой ступени и в корпусе (рис. 2.30). Над всеми рабочими лопатками КВД, в кольцевых проточках корпусов нанесено легкоприрабатываемое покрытие АНБ 9.

Лопатки ВНА (рис. 2.31 и 2.32) – поворотные, двухопорные. Внешние цапфы 1, на которые плотно надеты внутренние втулки 2, вращаются во внеш-

них втулках 3, смонтированных в обечайке 4. Для регулирования зазоров между лопаткой и корпусом используется регулировочное кольцо 5. Крутящий момент от приводного кольца 6 передается через штифты 7 на поводок 8 и через две лыски на внешней цапфе передается на лопатку 9. От выпадания штифт 7 законтрен контровкой 10. Соединение поводка с цапфой осуществляется винтом 11. От отворачивания винт контрится пластинчатой контровкой 12. Усилия от винта передается на поводок через шайбу 13. Внутренние цапфы 14, на которые надеты втулки из антифрикционного материала 15, вращаются в стаканах 16. Стаканы вставлены в разрезные полукольца 17, которые стягиваются винтами 18. Нагрузки с внутренних цапф ВНА передаются на переходной корпус. Разрезные полукольца центрируются между собой штифтами, расположенными перпендикулярно плоскости разъема.

Поворотные лопатки НА первой и второй ступеней закреплены консольно. Подшипники скольжения НА аналогичны подшипникам ВНА.

Поворот лопаток осуществляется от гидроцилиндров системы управления НА КВД через систему качалок, тяг, приводных колец и рычагов (рис. 2.33 и 2.34). Приводные кольца разборные 7 (рис. 2.22), состоят из четырех частей.

НА с третьей по восьмую ступени – нерегулируемые, закреплены консольно, одинаковые по конструкции. Лопатки НА вставлены в пазы типа «ласточкин хвост» прорезанные в полукольцах, вставленных в проточки корпуса. От окружных перемещений полукольца фиксируются винтами, ввернутыми во втулки (см. рис. 2.29).

Спрямляющий аппарат 5 (рис. 2.22) и (рис. 2.35 и 2.36) (на выходе из КВД) состоит из двух рядов лопаток, установленных в кольце с помощью замков типа «ласточкин хвост». Кольцо аппарата фланцем крепится к корпусу основной камеры сгорания. Смещению лопаток вдоль паза спереди препятствует задний корпус КВД, а сзади – упор в расточку камеры сгорания.

Крутящие моменты от спрямляющих аппаратов через узлы крепления полуколец передаются на корпуса, суммируясь от девятой к первой ступени. В стыках корпусов крутящие моменты передаются призонными болтами. Суммарный крутящий момент передается на переходной корпус.

Осевые силы так же суммируются по ступеням и передаются от ступени к ступени, посредством болтов, на переходной корпус.

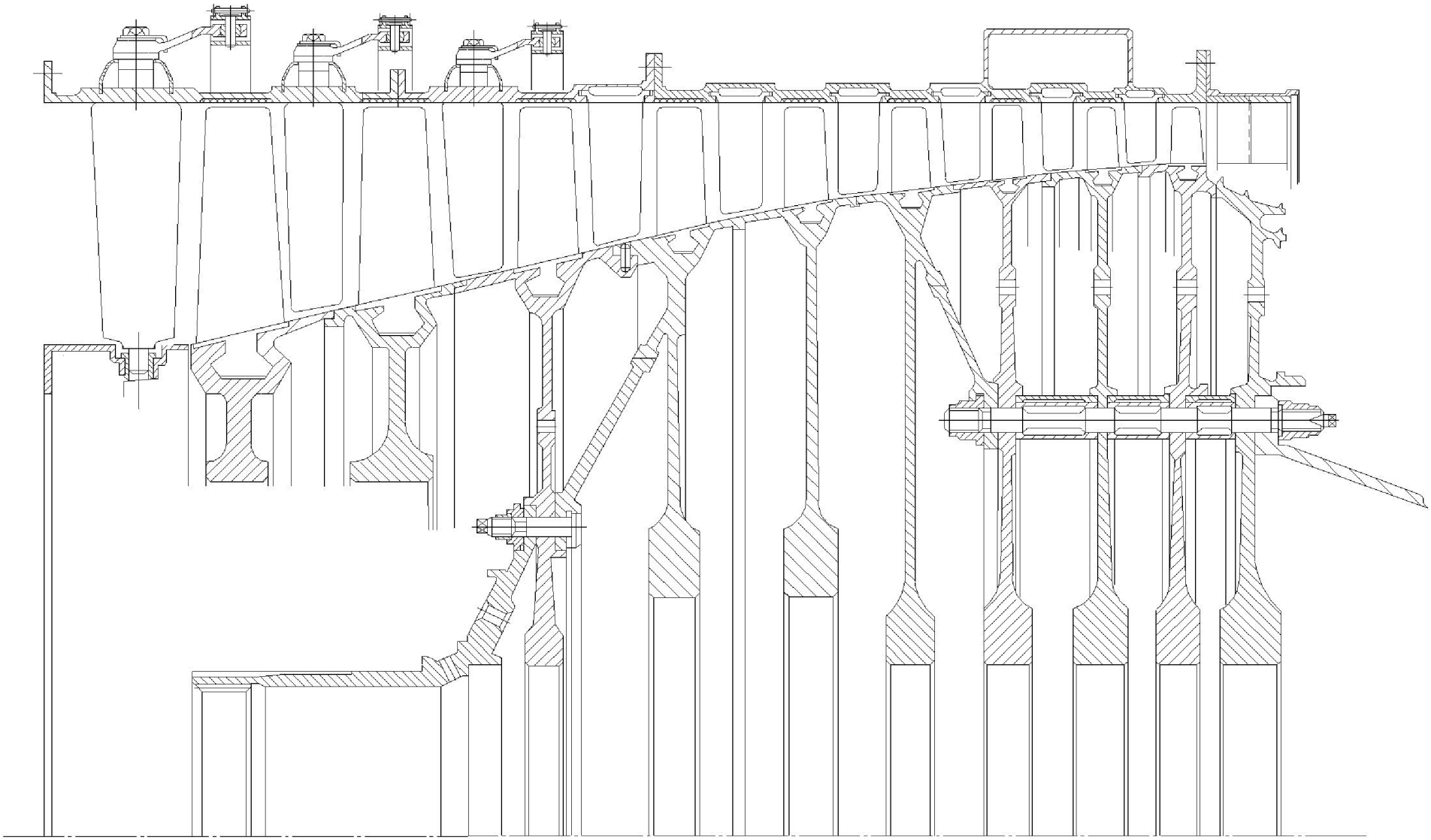


Рис. 2.20 Компрессор высокого давления (ВД)

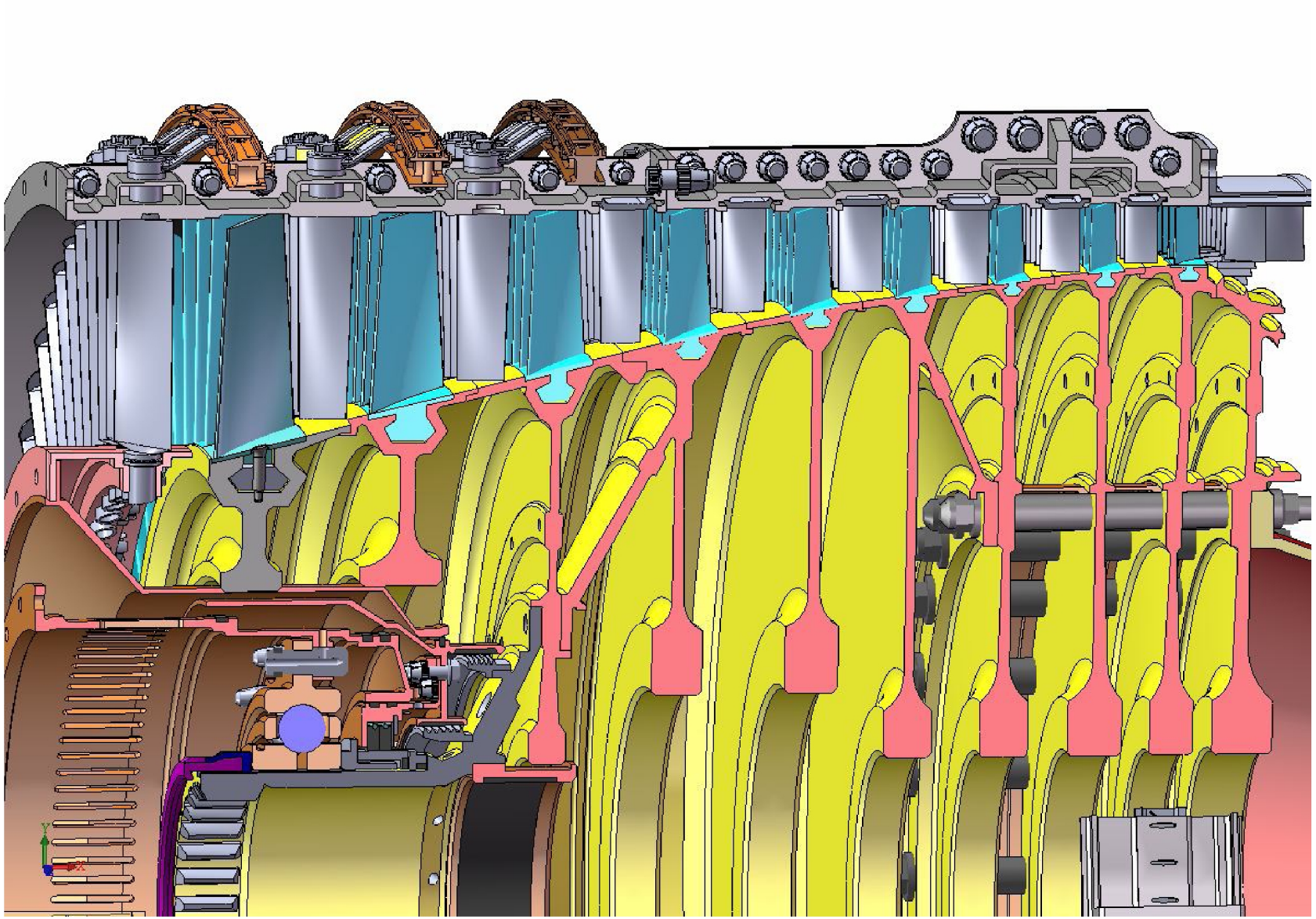


Рис. 2.21 Объемная модель компрессора ВД

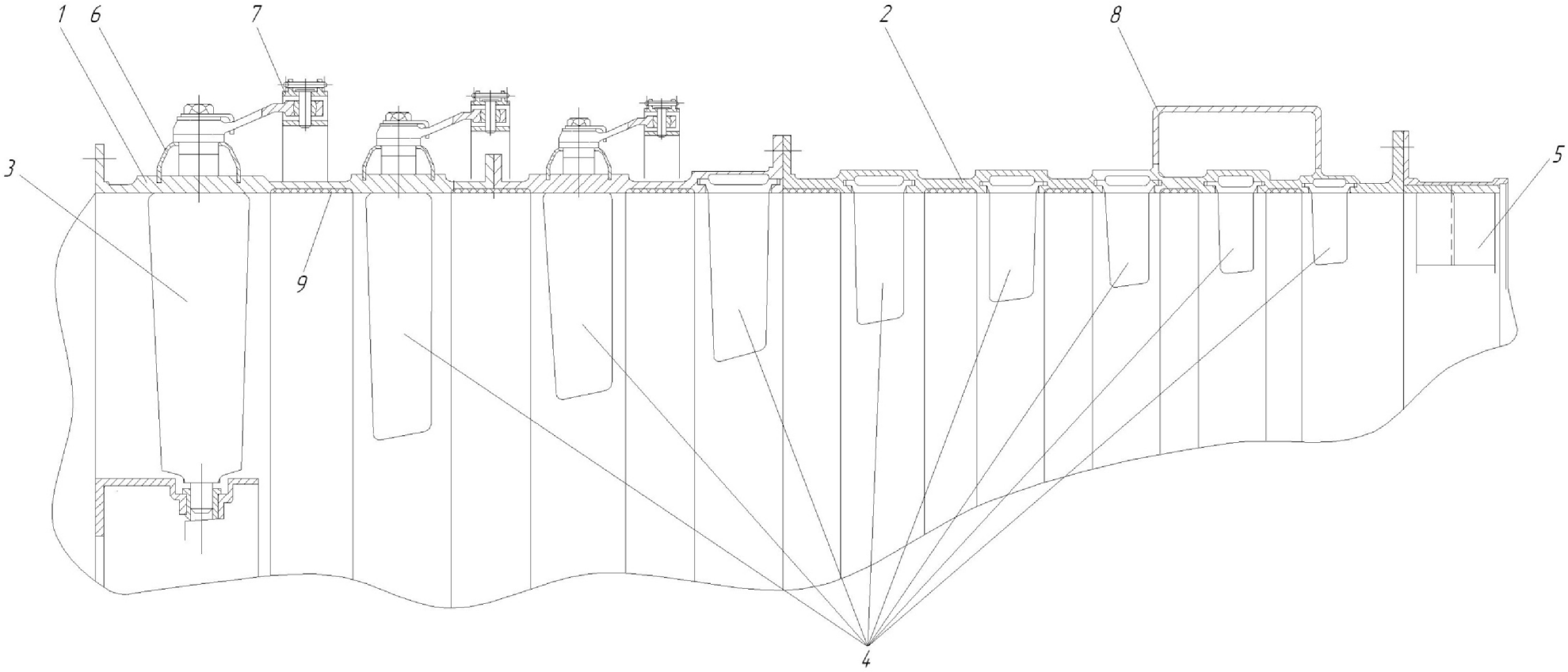


Рис. 2.22 Статор компрессора ВД

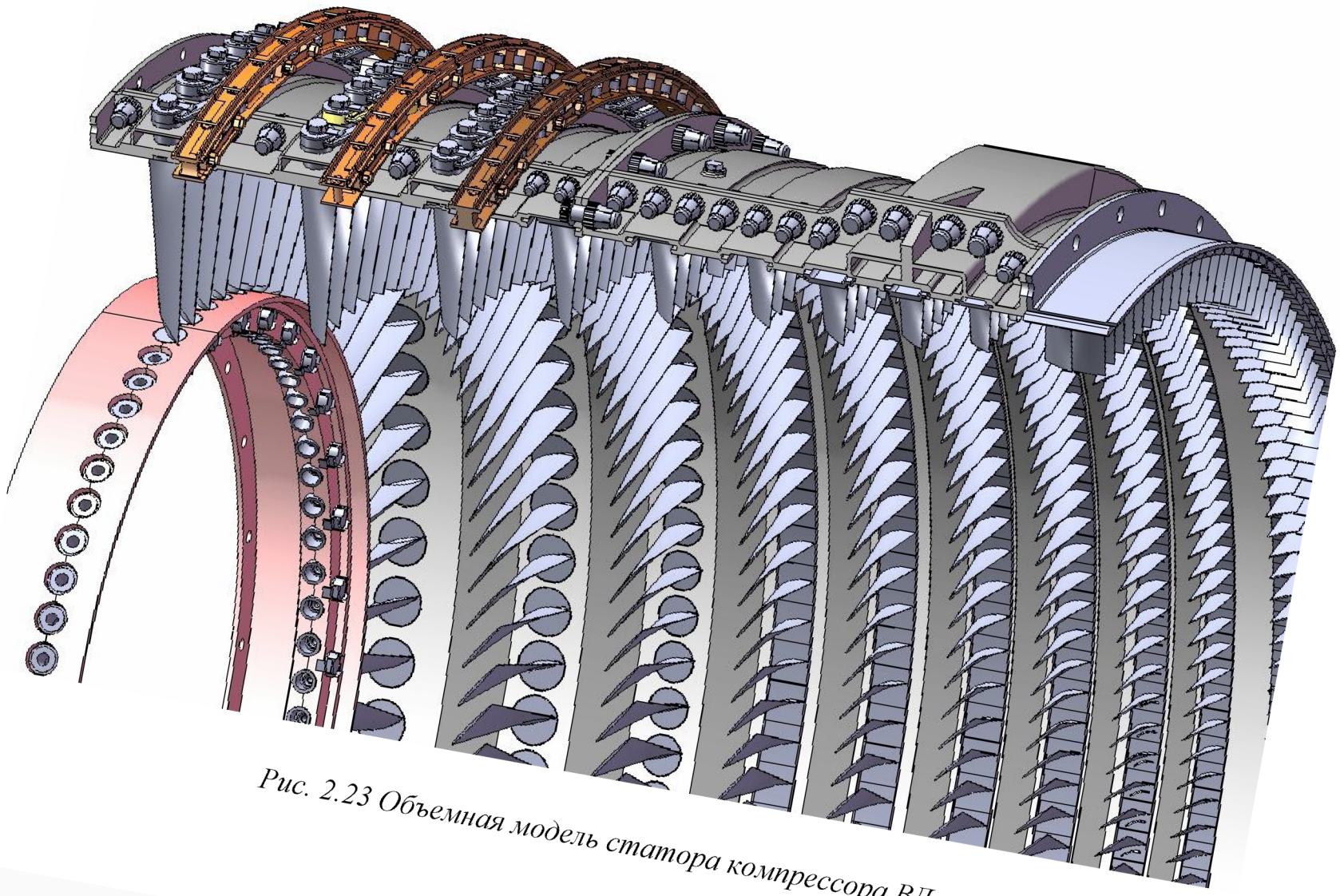


Рис. 2.23 Объемная модель статора компрессора ВД



Рис. 2.24 Корпус ВНА, 1, 2, 3 ступени



Рис. 2.25 Задний корпус

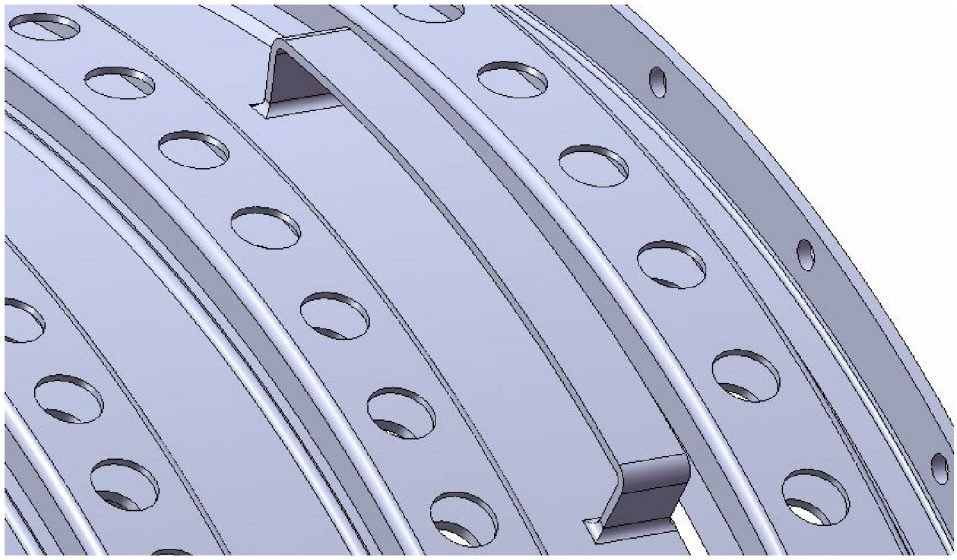
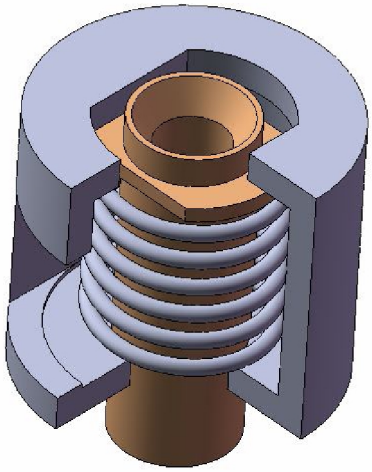


Рис. 2.26 Бобышка под фиксаторы приводных колец



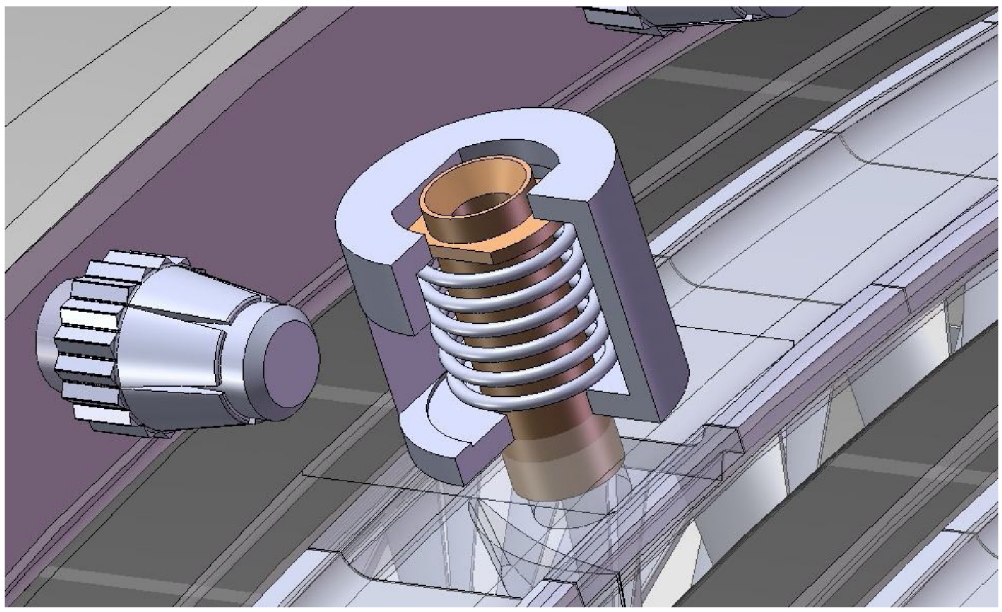


Рис. 2.27 Пробка окна осмотра рабочих лопаток компрессора ВД

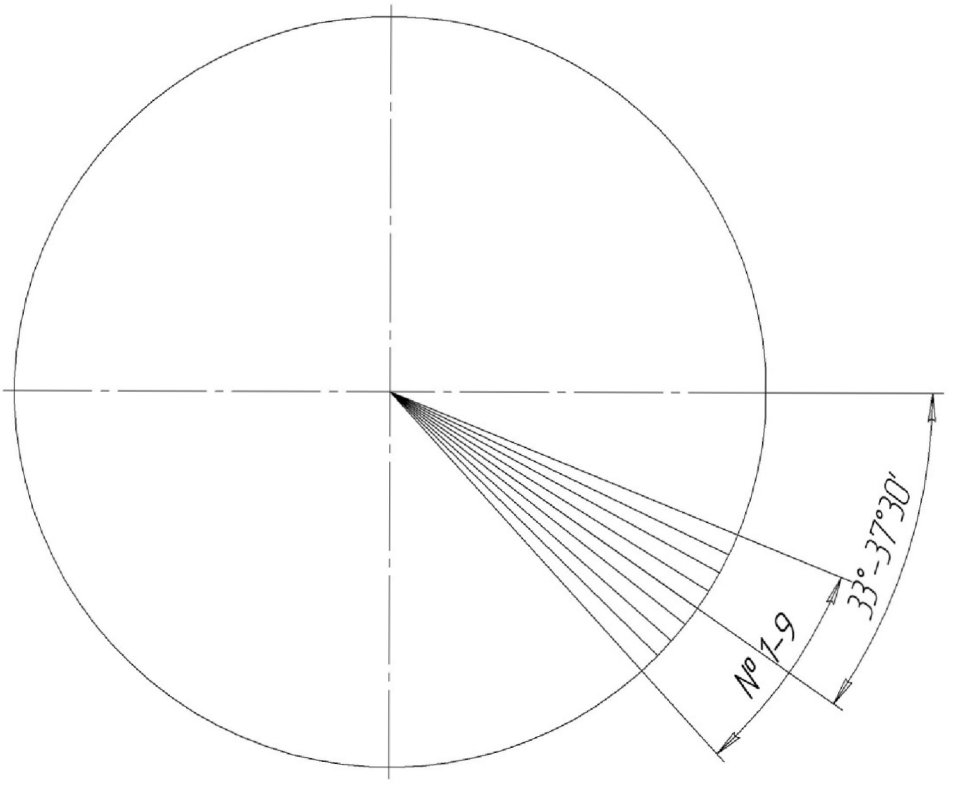


Схема расположения окон осмотра

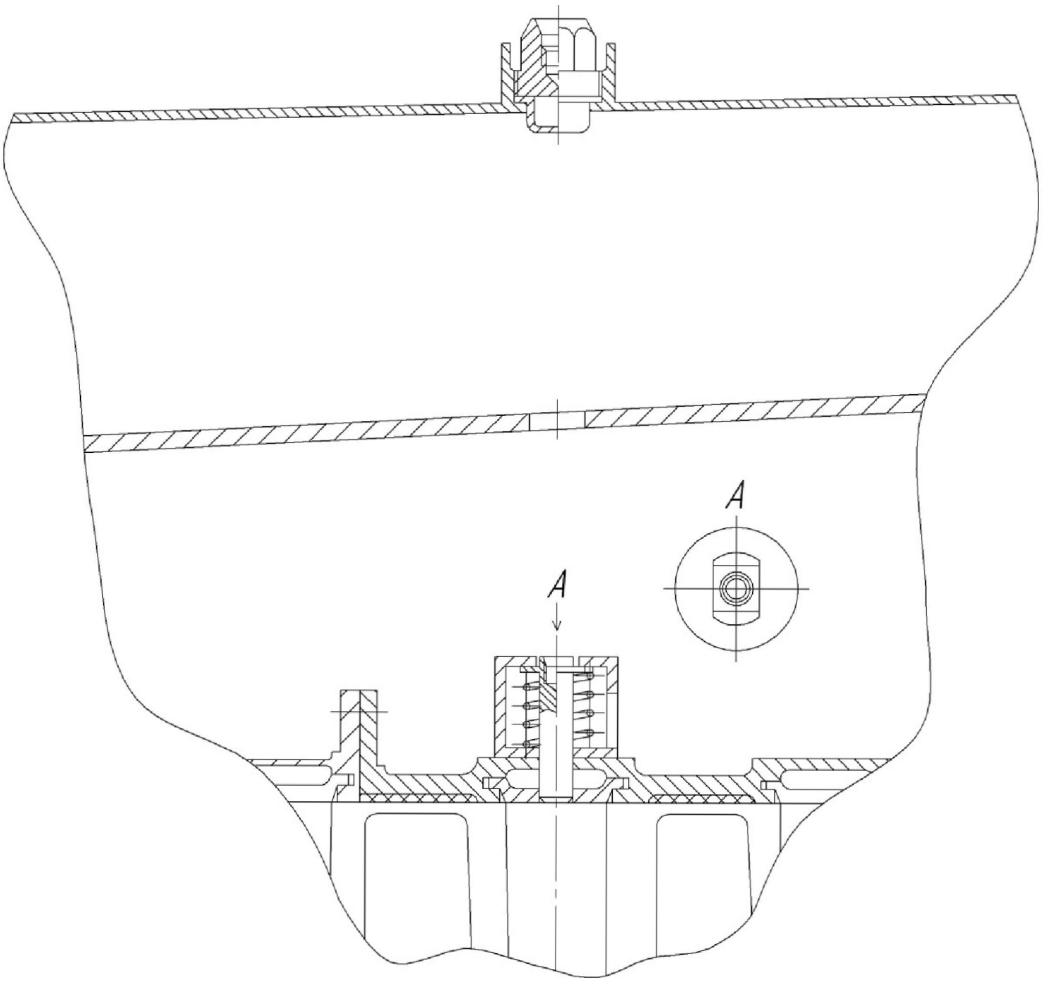


Рис. 2.28 Осмотр рабочих лопаток компрессора ВД

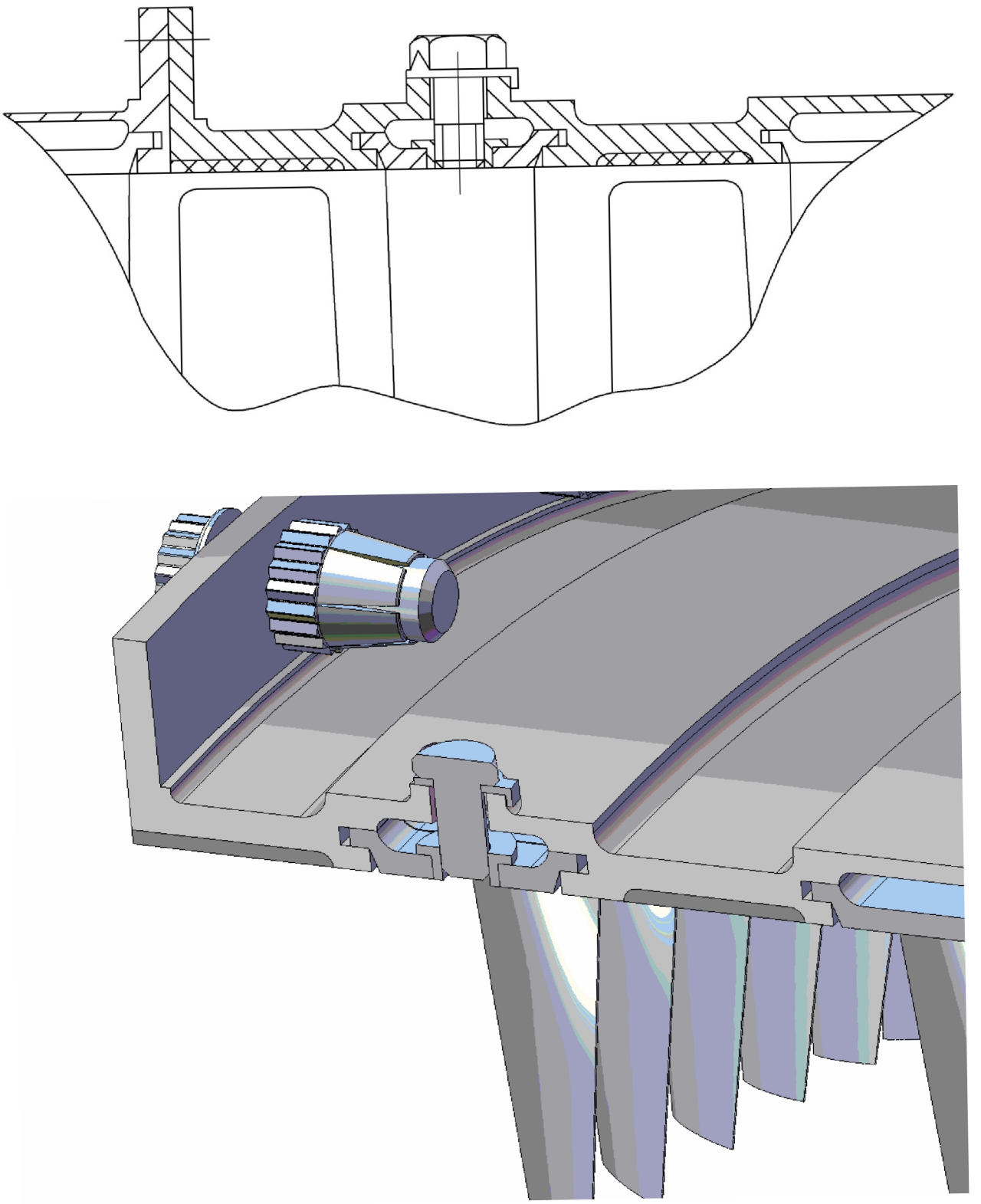


Рис. 2.29 Фиксация НА в окружном направлении

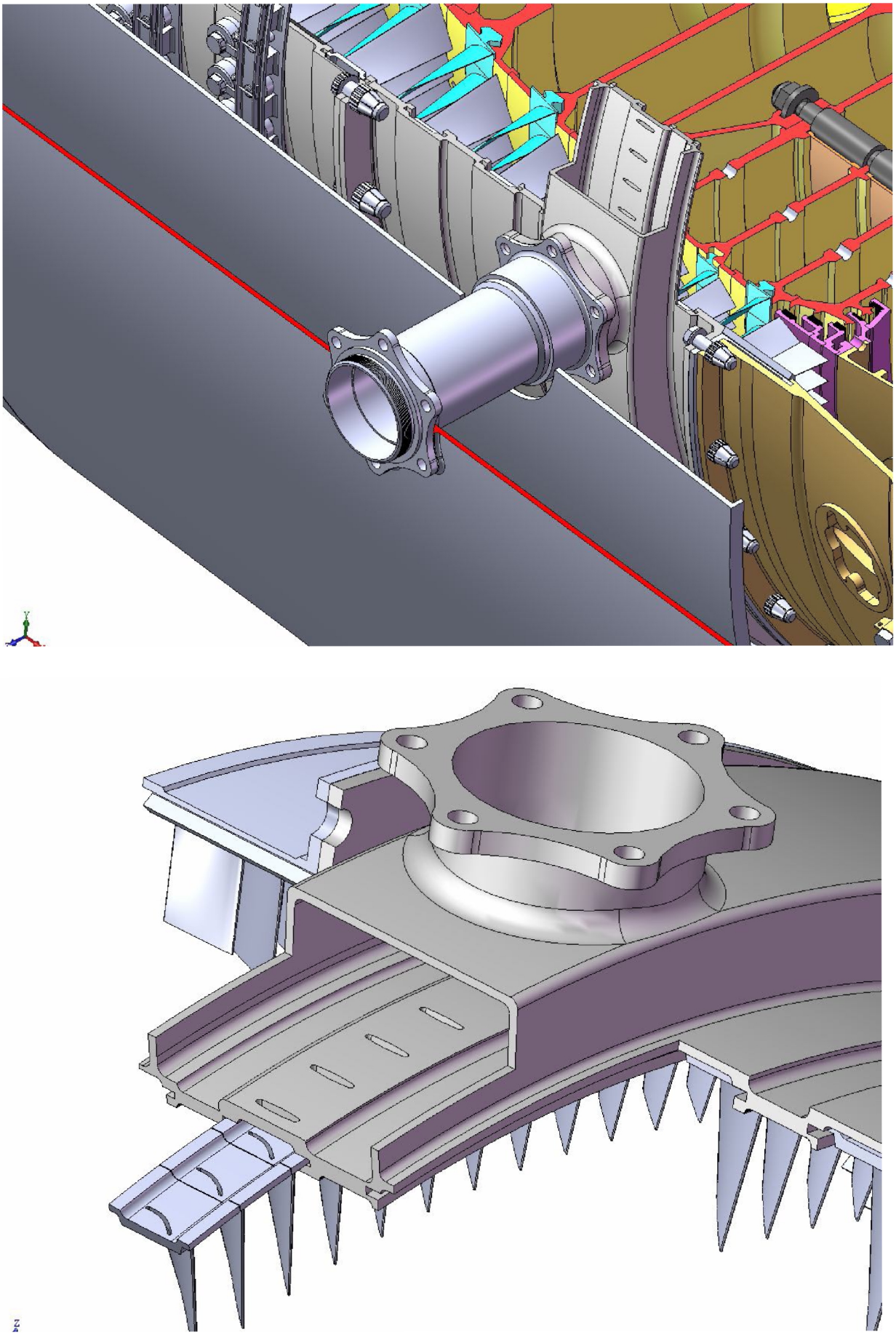


Рис. 2.30 Отбор воздуха из-за 7 ст. компрессора ВД

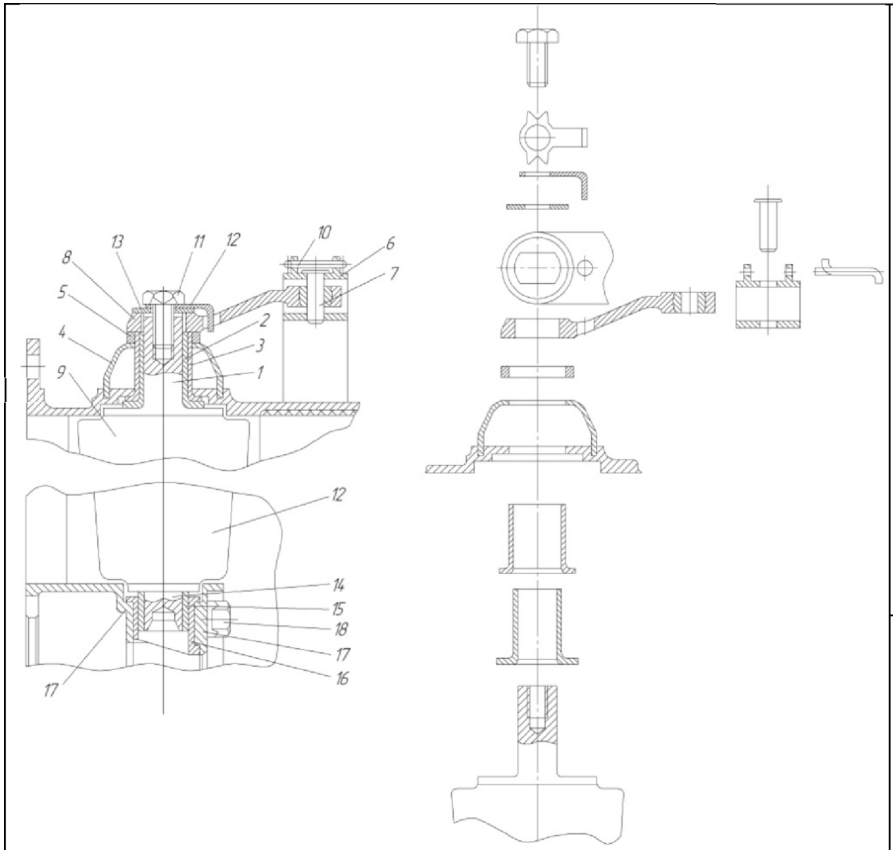


Рис. 2.31 ВНА

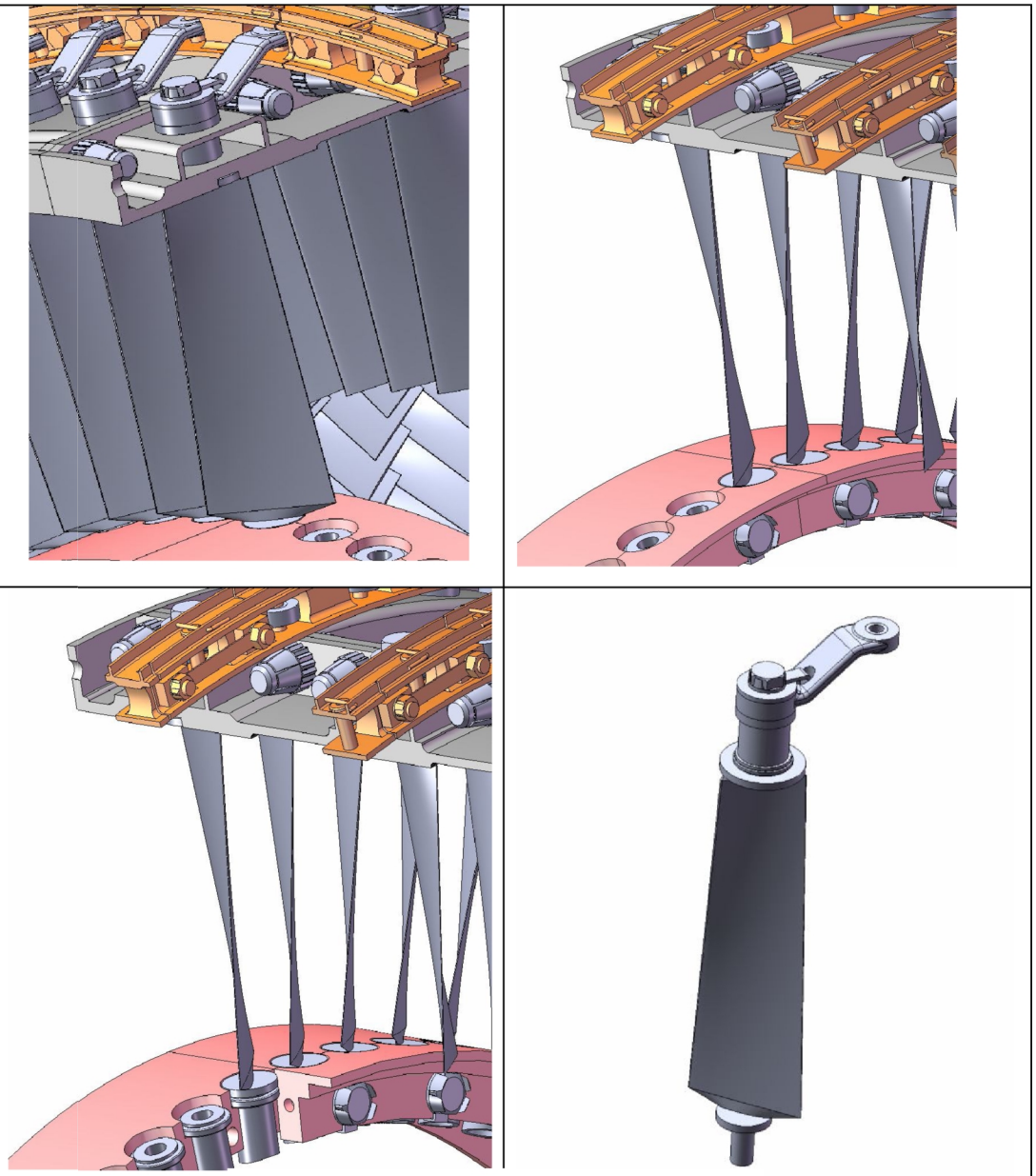
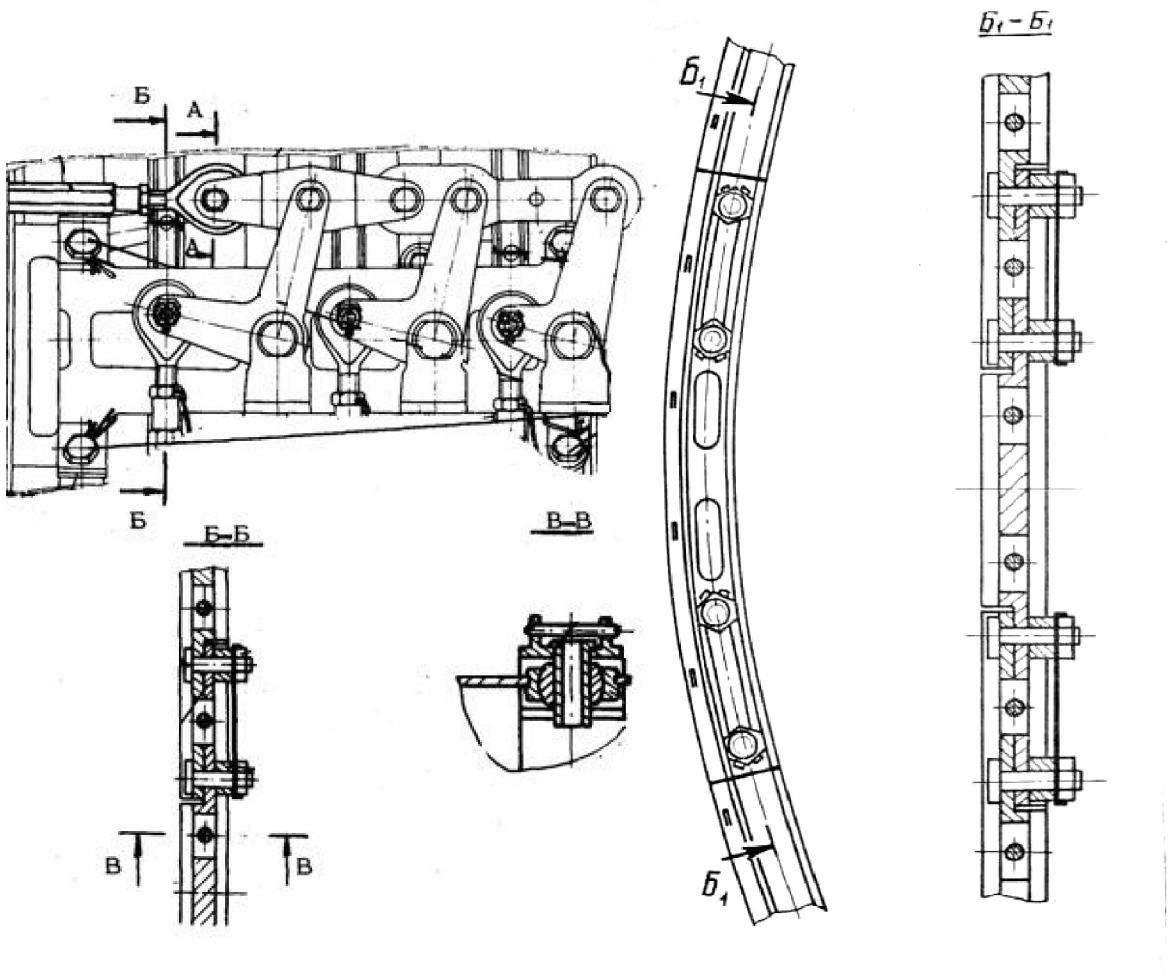


Рис. 2.32 Объемная модель ВНА



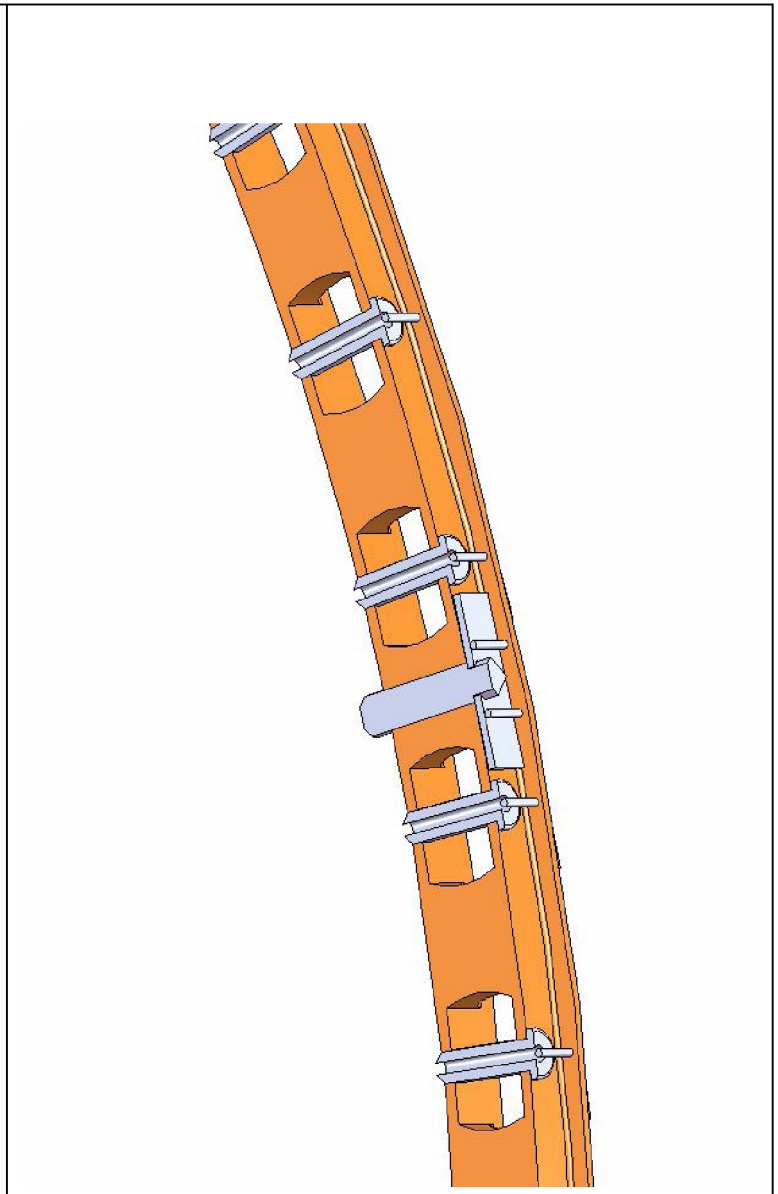


Рис. 2.33 Механизм поворота ВНА и РНА 1 и 2 ой ступени. Приводное кольцо

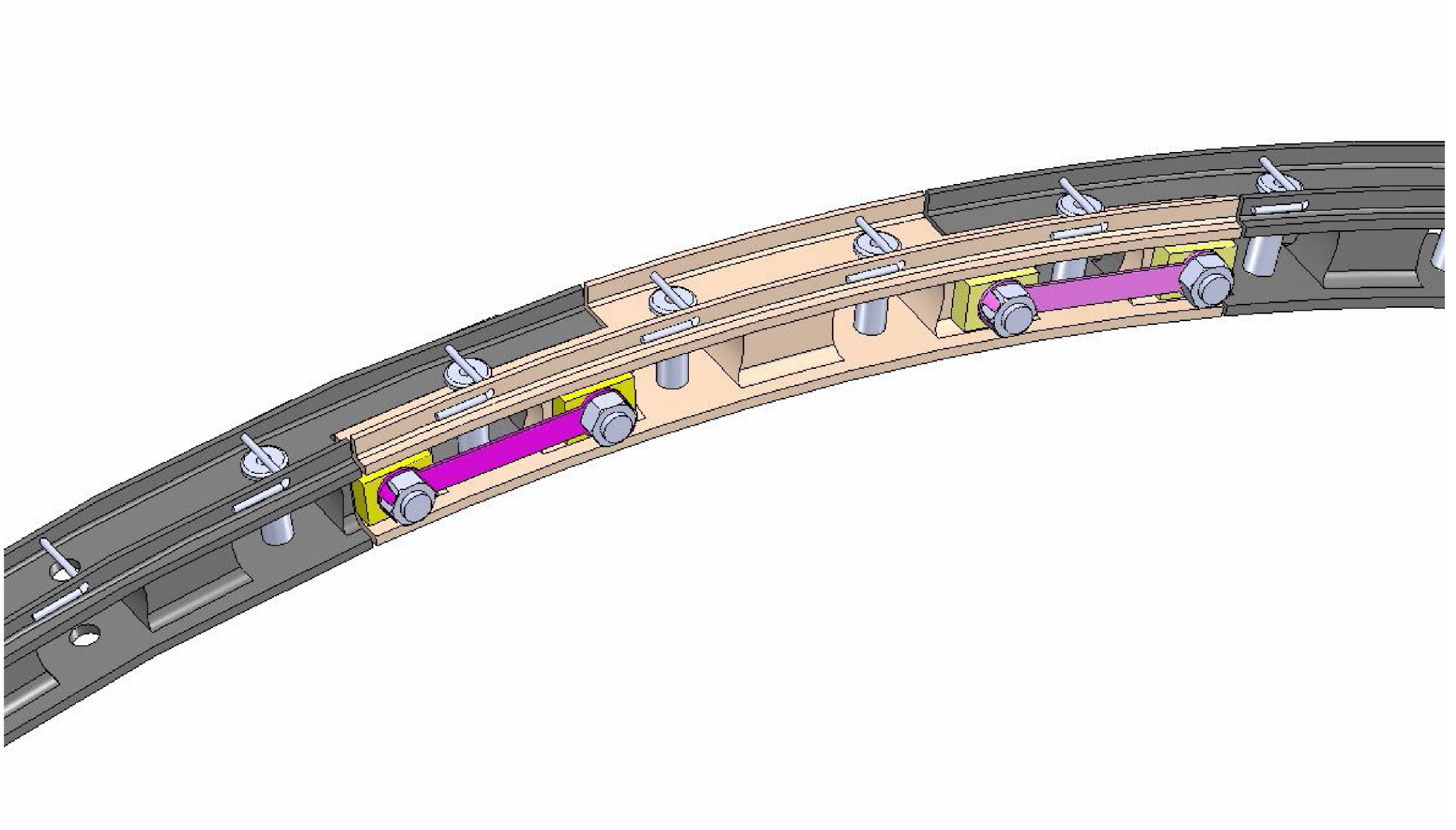


Рис. 2.34 Объемная модель приводного кольца

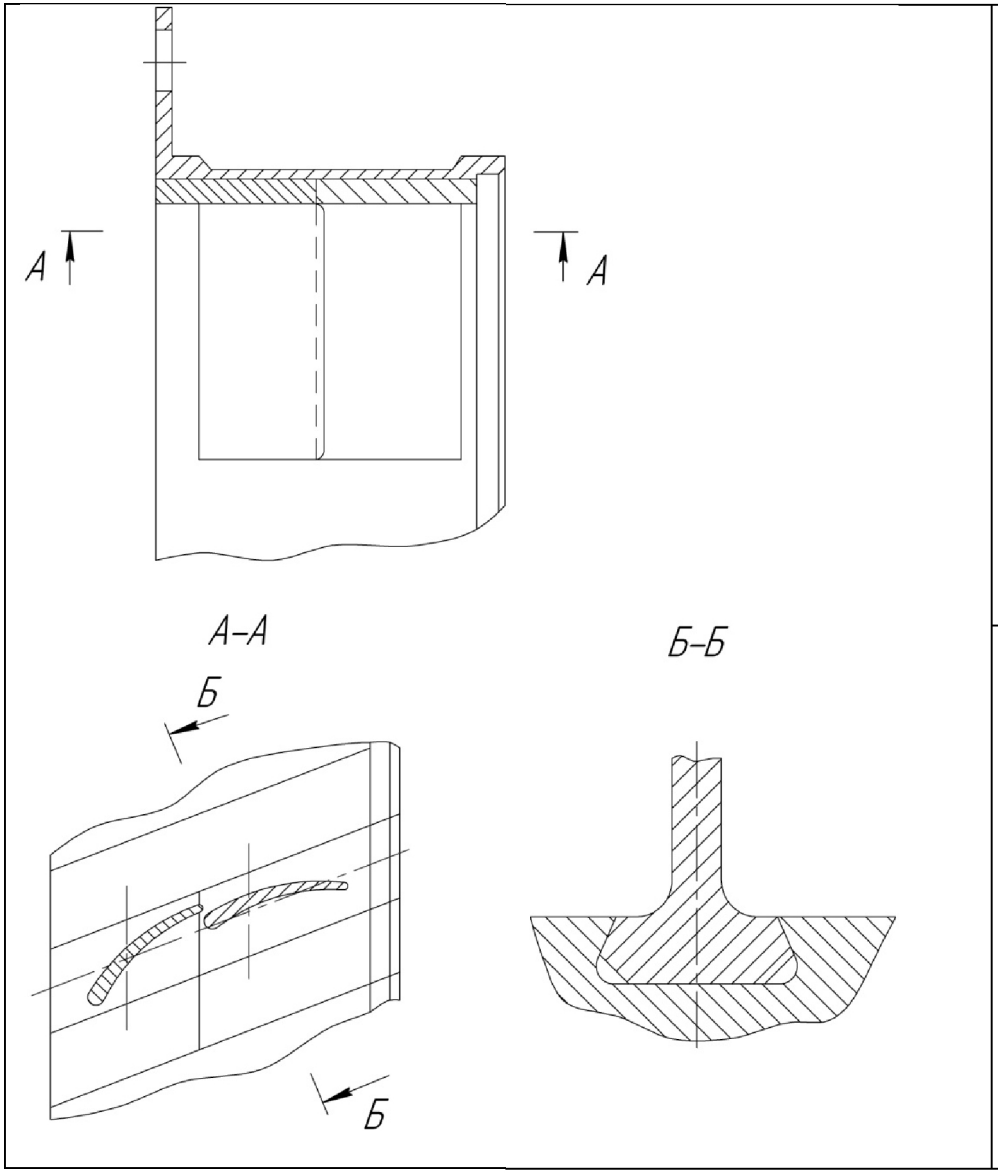


Рис. 2.35 Конструкция СА

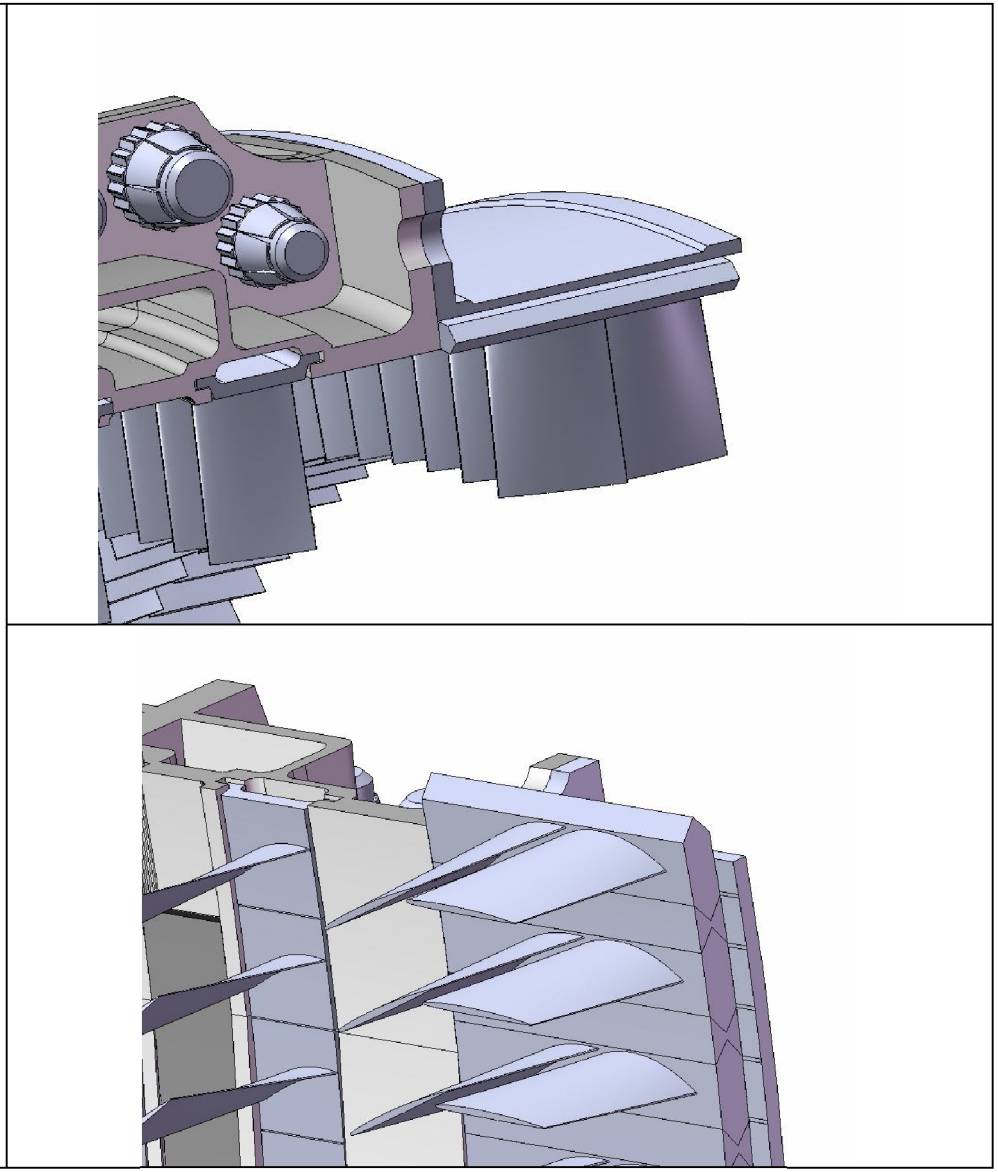


Рис. 2.36 Объемная модель СА

Ротор компрессора ВД

Ротор КВД (рис. 2.37 и 2.38) барабанно-дисковой конструкции. Состоит из дисков с рабочими лопатками, передней цапфы 1, вала 2, соединяющего ротор КВД с диском ТВД, и диска лабиринта 3.

Барабан ротора состоит из двух секций, четырех стальных дисков – седьмой 4, восьмой 5, девятой 6 ступеней и диска лабиринта 3. Первая секция включает диски первой 8, второй 9 и третьей 10 ступеней, вторая – диски четвертой 11, пятой 12, шестой 13 ступеней. Соединение дисков в секциях осуществляется электронно-лучевой сваркой. Первая, вторая секции и передняя цапфа соединены между собой призонными болтами. Кроме этого первая и вторая секции по ободу диска 3 и 4 ступеней соединяются радиальными штифтами 14. Соединение второй секции с дисками 7, 8, 9 ступеней, диском лабиринта и валом, осуществляется стяжными болтами 15.

Диски КВД (рис. 2.39) выполнены с центральными отверстиями. Они имеют сравнительно тонкие полотна и массивные ступицы. Наличие массивных ступиц объясняется значительным диаметром центральных отверстий для размещения узла упорного подшипника КВД и вала турбины вентилятора.

Лопатки 15 (рис. 2.37) и (рис. 2.39) установлены на ободах дисков в поперечных пазах с профилем «ласточкин хвост». Монтаж лопаток производится через специальное окно (рис. 2.40), прорезанное на ободе диска. Когда весь комплект лопаток одной ступени набран, лопатки сдвигают вдоль паза на половину шага. При этом окно в пазу располагается между замками двух соседних лопаток, которые соприкасаются между собой полками. В таком положении лопатки контрятся (рис. 2.41 и 2.42) от перемещения в окружном направлении специальными резьбовыми фиксаторами, которые вворачиваются во вкладыши, установленные между замками лопаток. При заворачивании фиксатора нижний конец его входит в глухое отверстие, просверленное в дне замкового паза диска. Упершись в дно отверстия, фиксатор прижимает вкладыш к проточке диска. Верхний конец фиксатора, проходящий через специальные

выемки в полках двух соседних лопаток, развальцовывается для предотвращения отворачивания, а выступающая часть его спиливается. На дисках устанавливается 5 и более таких вкладышей. Для статической балансировки облапаченных дисков между замками лопаток могут также размещаться балансированные грузики.

Вал 2 (см. рис. 2.37) соединяет ротор КВД с диском турбины высокого давления и передает крутящий момент и суммарную осевую силу. Соединение вала с дисками осуществляется с помощью стяжных болтов (рис. 2.43), работающих на срез и растяжение. Болты 16 (рис. 2.37) имеют резьбу с двух сторон, посадочные отверстия под диски и четырехгранник под ключ для фиксирования от проворачивания. Между дисками седьмой, восьмой, девятой ступеней и диском лабиринта внутри кольцевых буртов, выполненных на полотне диска, с натягом установлены кольцевые проставки 17 для обеспечения требуемого расстояния между дисками. Внутри проставок установлены втулки 18, имеющие посадочную поверхность под болты. Втулки установлены для улучшения технологичности изготовления кольцевых проставок. При сборке ротора КВД в отверстия, выполненные во второй секции, с натягом вставляются болты и спереди на них наворачиваются гайки. После этого на болты устанавливаются диски с проставками, ставится вал КВД и все это стягивается в один пакет. Такая конструкция увеличивает жесткость дисков последних ступеней КВД и позволяет отстроиться от резонансных колебаний дисков во всем диапазоне рабочих режимов двигателя.

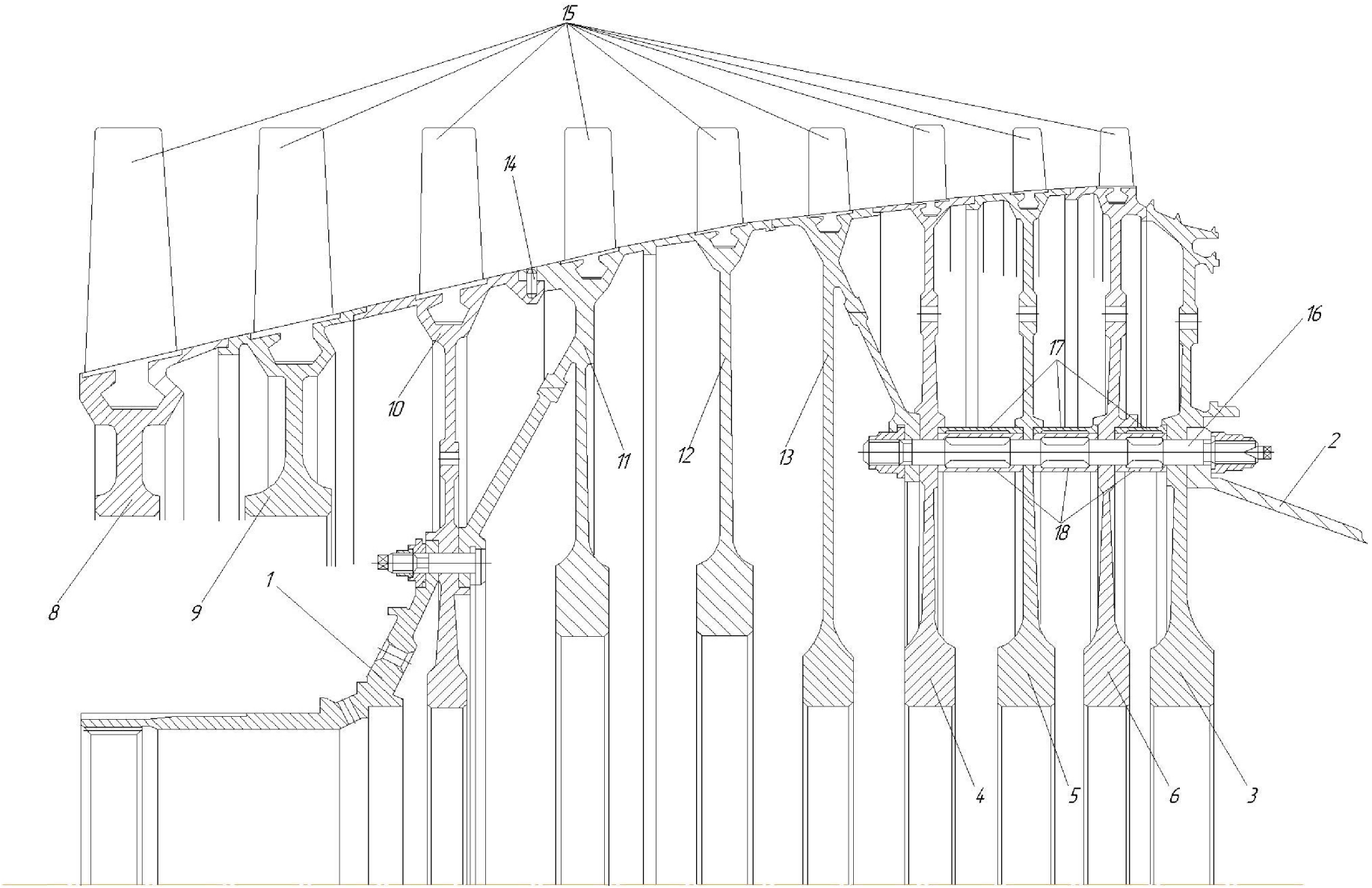


Рис. 2.37 Ротор компрессора ВД

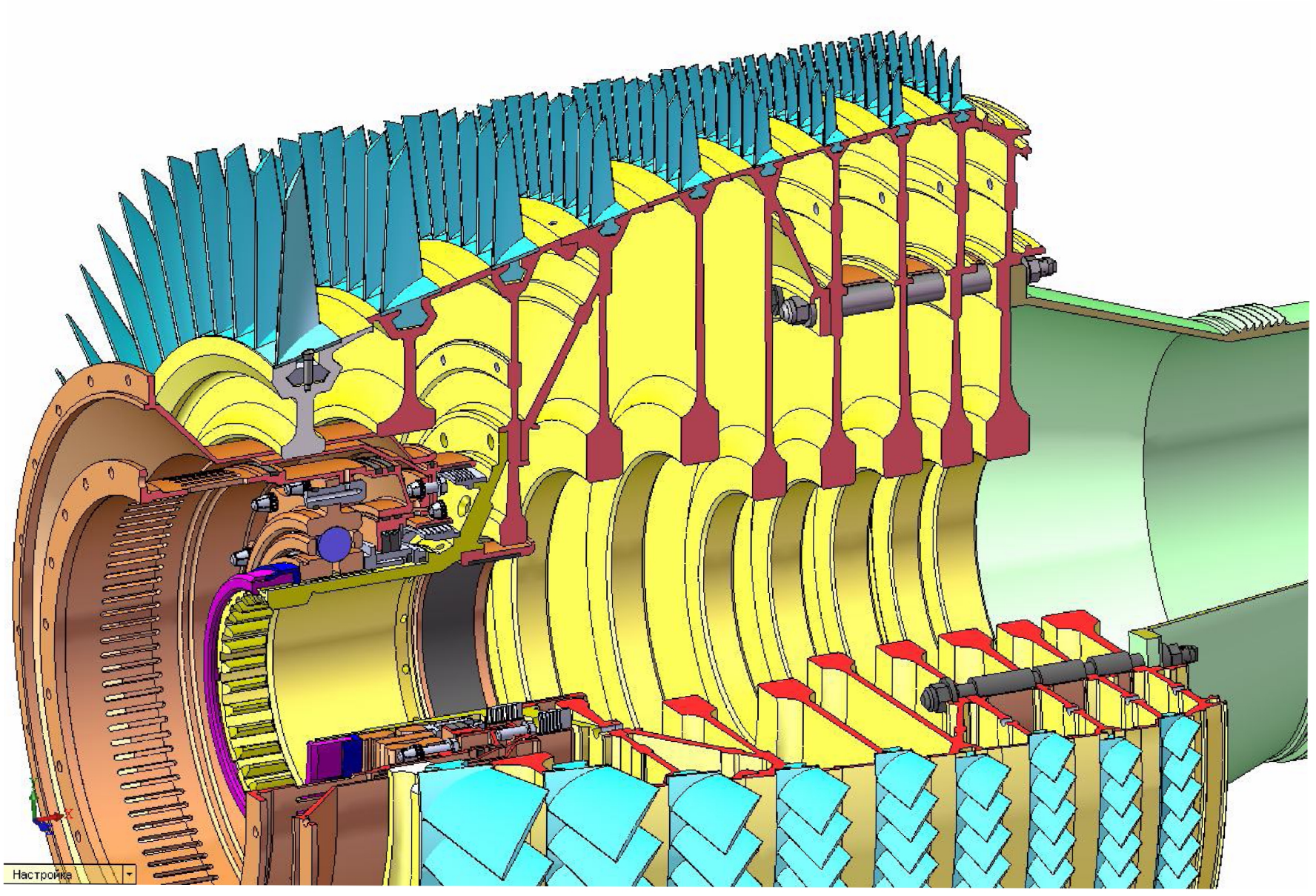
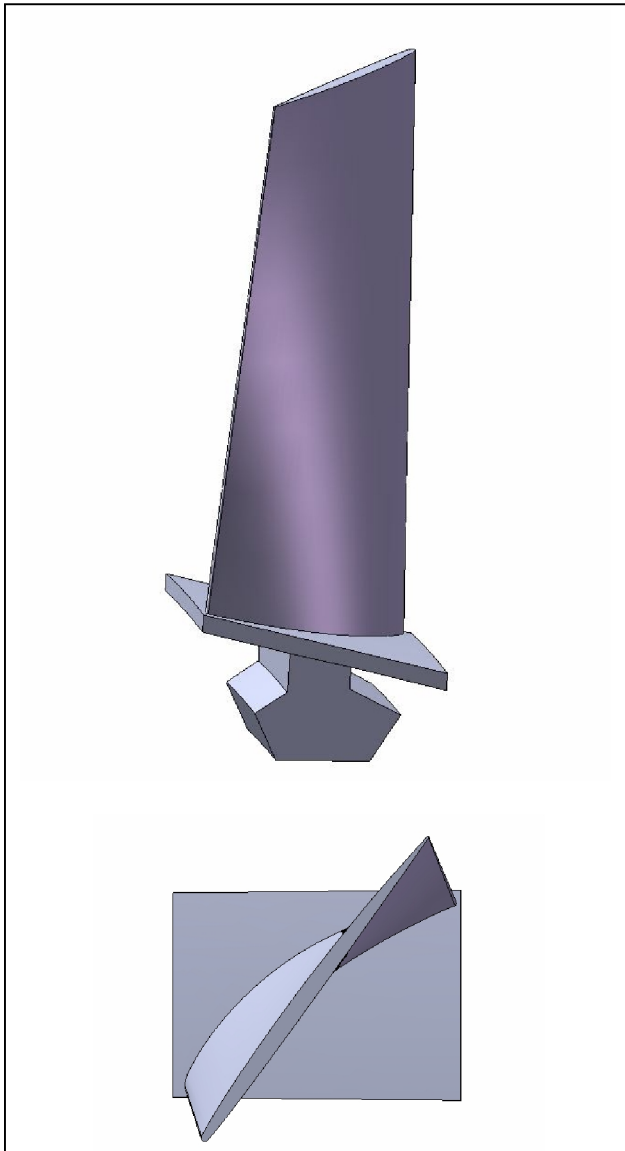


Рис. 2.38 Объемная модель ротора ВД



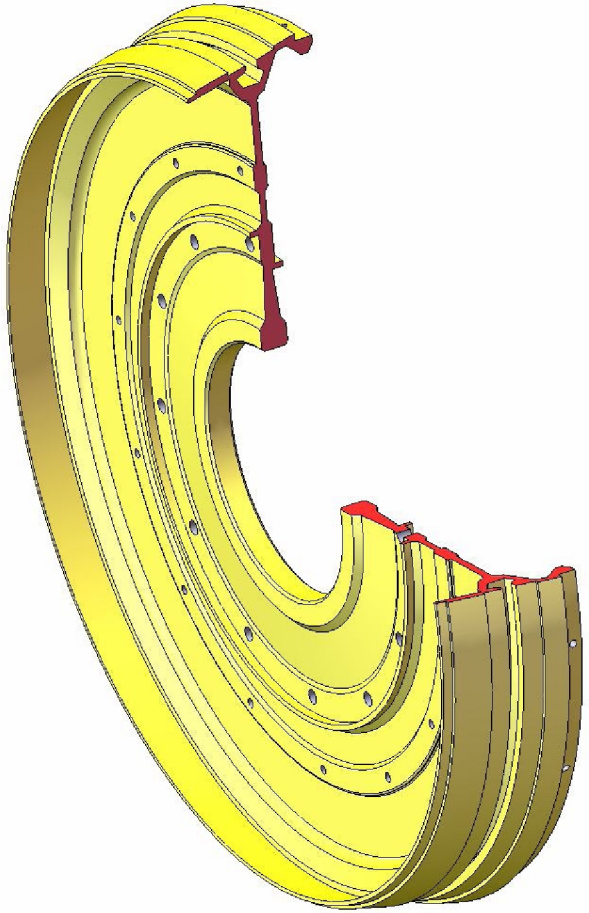


Рис. 2.39 Объемная модель Диска и лопатки 3 ст компрессора ВД

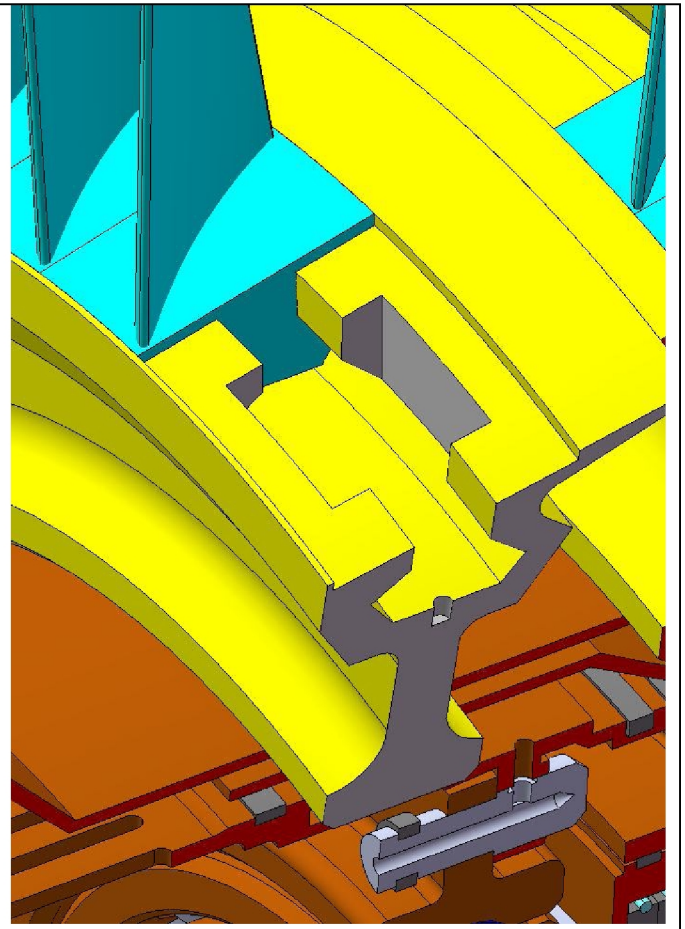


Рис. 2.40 Окно для монтажа лопаток

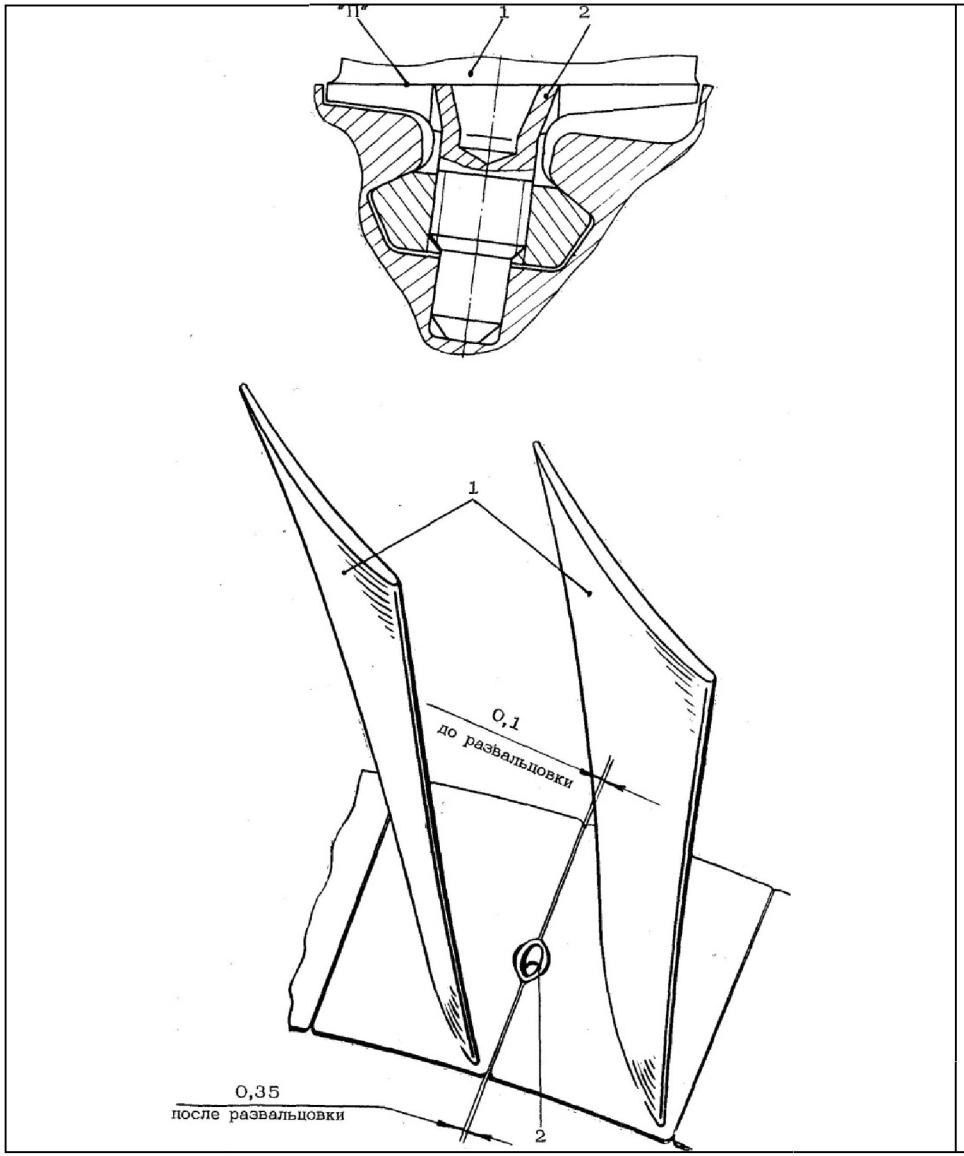


Рис. 2.41 Фиксация рабочих лопаток от окружных перемещений в диске. (1-лопатка; 2-фиксатор).

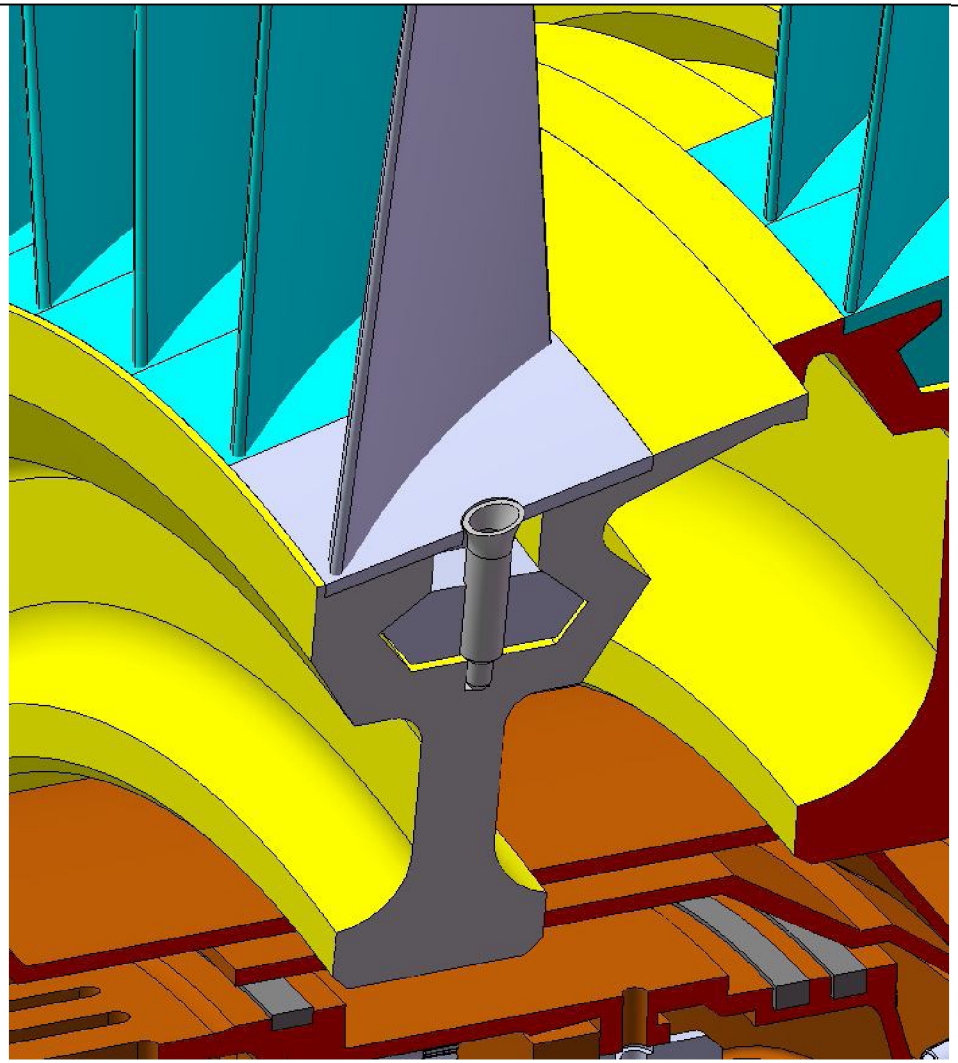


Рис. 2.42 Фиксация лопаток (объемная модель)

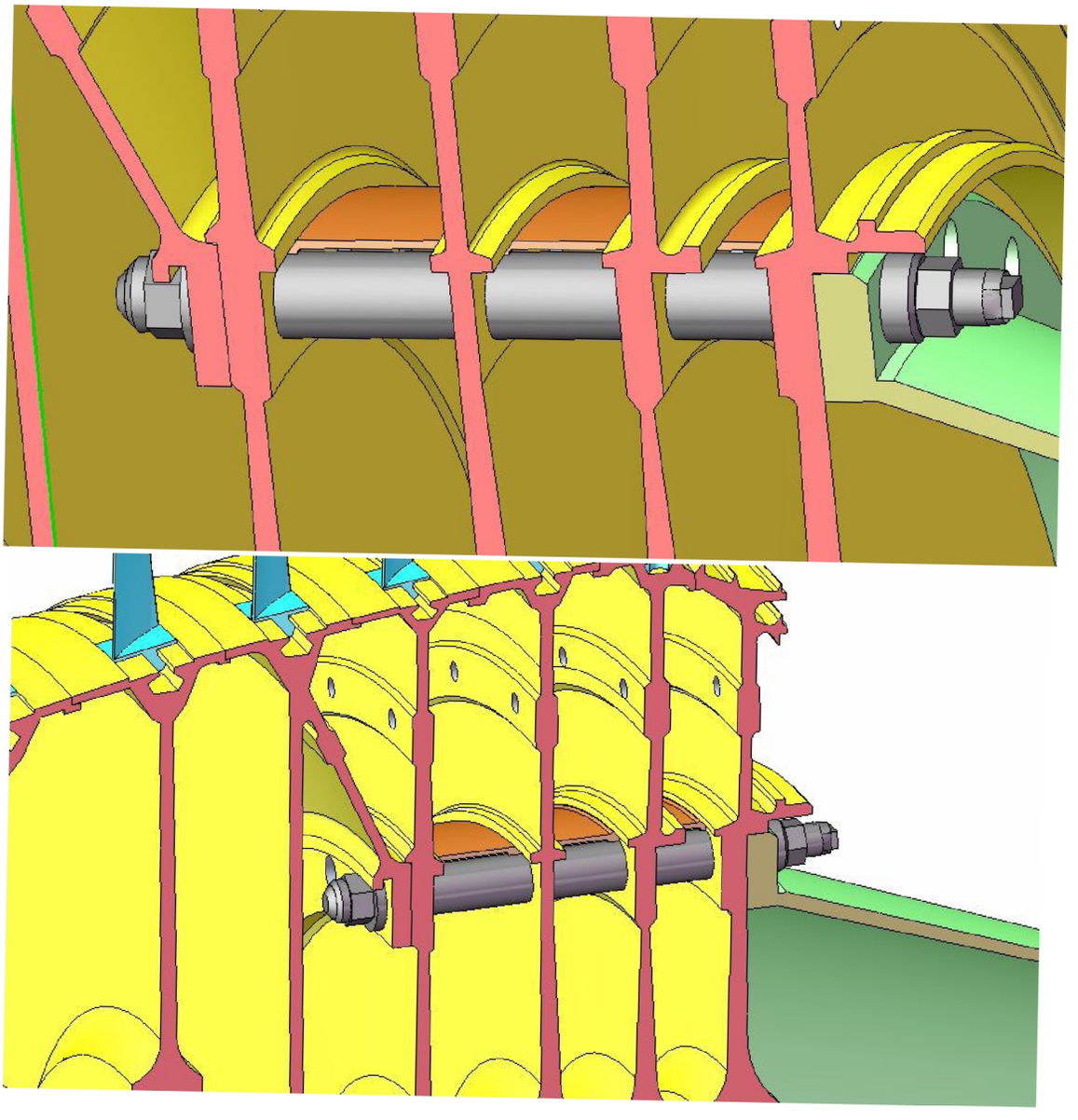


Рис. 2.43 Стяжной болт

Передняя опора компрессора ВД

Передняя опора ротора газогенератора (рис. 2.44 и 2.45) упругогидравлическая. Опорным элементом передней опоры является шариковый опорно-упорный подшипник. Внутреннее кольцо подшипника 1, элементы уплотнений размещены на передней цапфе 2. От осевых перемещений они фиксируются гайкой 3. Внешнее кольцо подшипника 4 выполнено зацело с фланцем, который устанавливается в корпусе подшипника. Корпус подшипника упругоподвижный и связан с неподвижным фланцем переходного корпуса через упругие перемычки 6 типа «беличье колесо». В зазор между корпусом подшипника и внутренним кольцом переходного корпуса вставлено многоопорное кольцо 7 с калиброванными отверстиями. Работа упругогидравлической передней опоры ротора газогенератора по рассеиванию энергии колебаний ротора аналогична работе передней опоры вентилятора.

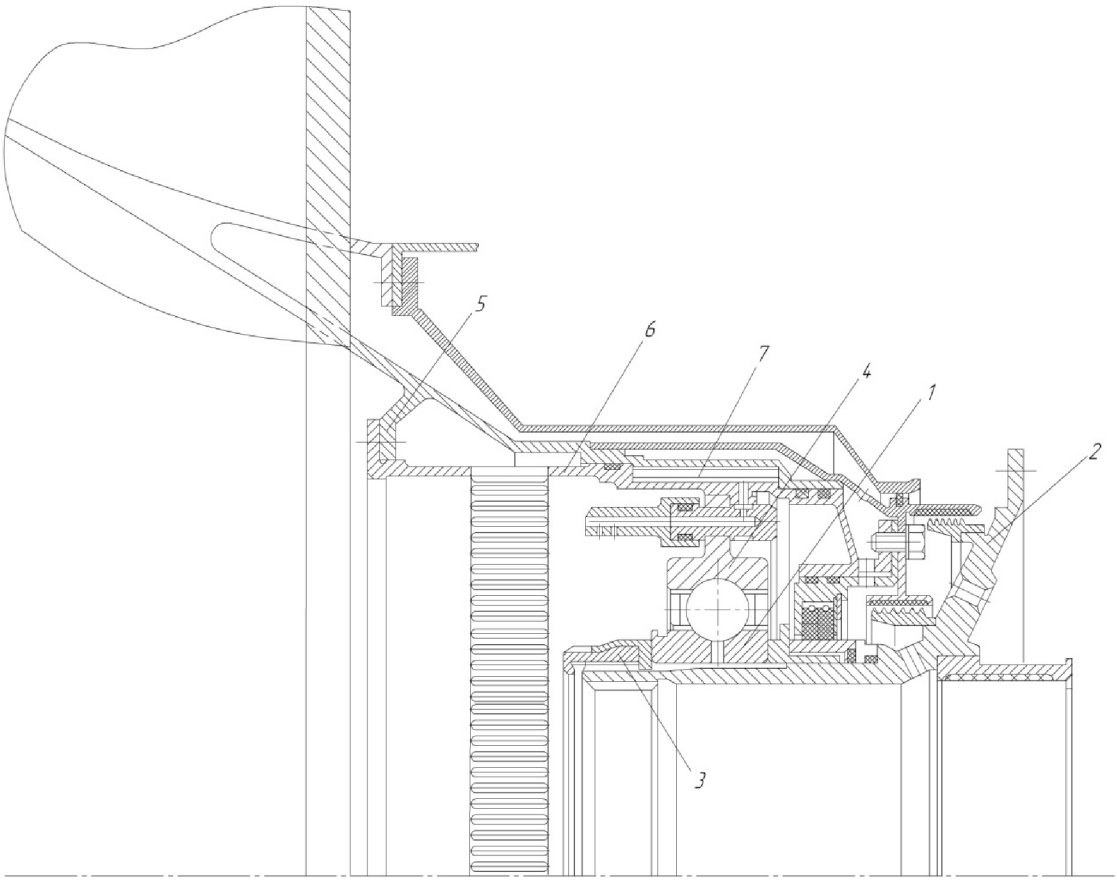


Рис. 2.44 Передняя опора газогенератора

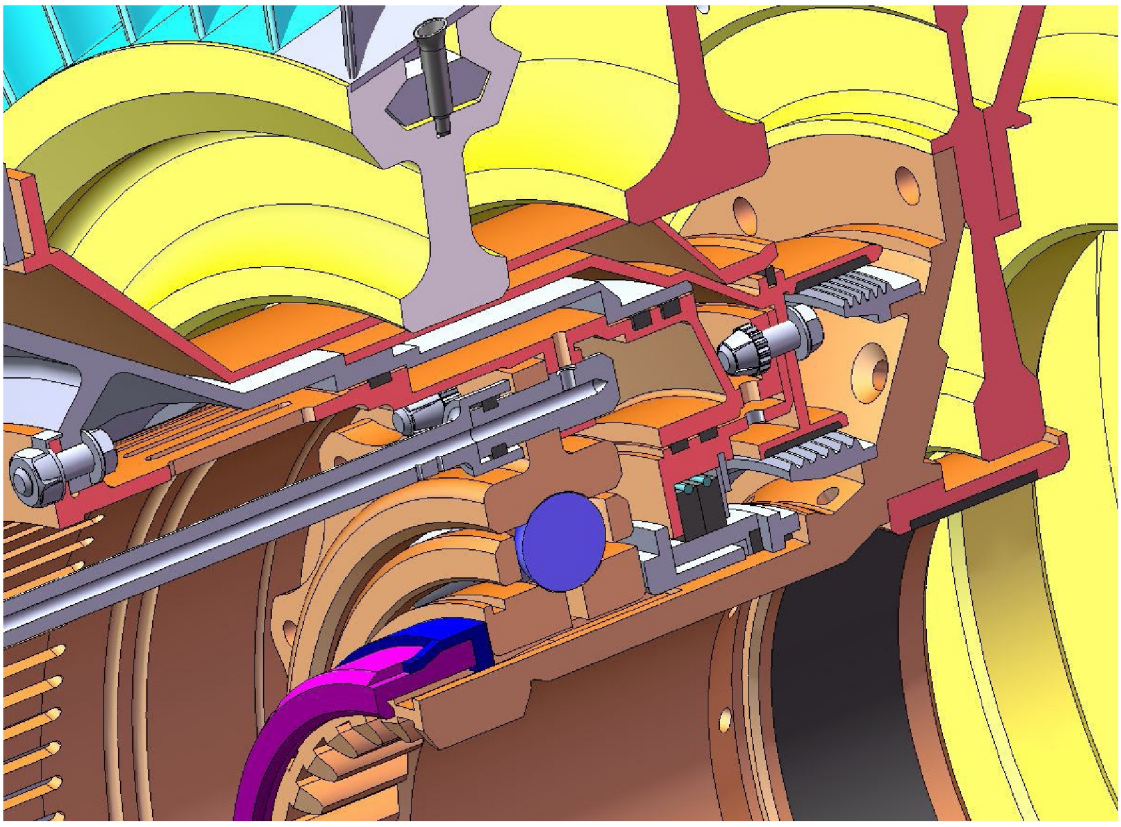


Рис. 2.45 Объемная модель передней опоры

Передача крутящего момента по элементам ротора.

Крутящий момент с ТВД через вал 2 (рис. 2.37) передается на болты 16. Болты, работая на срез, передают крутящий момент на диск лабиринта и диски девятой, восьмой и седьмой ступеней. Кроме этого крутящий момент передается на коническую диафрагму диска шестой ступени. Далее крутящий момент передается на диски пятой и четвертой ступеней. С диска четвертой ступени крутящий момент делится на два потока.

Часть момента передается через радиальные штифты, а большая часть – через коническую диафрагму и призонные болты на диски третьей, второй и первой ступеней. С призонных болтов крутящий момент передается на переднюю цапфу, а с передней цапфы на ведущую коническую шестерню.

Нагружение ротора осевыми силами и разгрузка упорного подшипника. Суммарная осевая сила передается через переднюю опору ротора газогенератора на переходной корпус. Осевая сила, возникающая на рабочих колесах восьмой, седьмой и шестой ступеней, через обода дисков, проставки и стяжные болты передается на вторую секцию ротора КВД. Суммируясь с осевой силой, возникающей на рабочих колесах шестой, пятой и четвертой ступеней, через конические диафрагмы и обода дисков она передается на переднюю цапфу. Осевая сила, возникающая на первой секции ротора КВД (рабочих колесах первой, второй и третьей ступеней), через радиальные штифты и коническую диафрагму диска четвертой ступени также передается на переднюю цапфу. Суммарная осевая сила через бурт на передней цапфе передается на внутреннее кольцо шарикоподшипника и далее на переходной корпус. Если суммарная осевая сила направлена назад, то с передней цапфы на внутренней кольцо шарикоподшипника она передается через гайку 3 (рис. 2.44). Для разгрузки передней опоры ротора газогенератора полость за диском лабиринта сообщается со вторым контуром через полые стойки основной камеры сгорания.

Динамическая балансировка ротора производится по двум плоскостям. Передняя плоскость – кольцевой буртик на диске первой ступени, задняя плоскость – на кольцевом буртике диска лабиринта.

Балансировочные грузики крепятся к буртикам заклепками.

Обеспечение газодинамической устойчивости

Для обеспечения газодинамической устойчивости используется 2-х каскадная схема компрессора, которая обеспечивает по сравнению с однокаскадной схемой более высокий уровень пропускной способности на входе в компрессор на пониженных режимах работы двигателя.

Так же используются ВНА и РНА первой и второй ступени, которые при выходе двигателя на режим малого газа и на самом режиме работают на частичное прикрытие осевого входа в компрессор ВД.

Оба этих мероприятия направлены на увеличение осевой составляющей скорости на входе в компрессор, в целях обеспечения оптимальных углов натекания воздушного потока на переднюю кромку лопатки и, следовательно, на исключение срывных явлений в компрессоре и увеличения кпд на пониженных режимах.

Подвод смазки к РУП

Подвод смазки к подшипнику передней опоры КВД – РУП осуществляется по трубопроводу через стойки переходного корпуса. Форсунки расположены около наружного корпуса подшипника. Струя масла, попадая в паз вала, проходит под внутреннее кольцо подшипника и под действием центробежных сил выдавливается в полость шариков подшипника, омывая их.

Разгрузка РУП

Разгрузка РУП осуществляется за счет наличия разгрузочной полости, расположенной за диском шестой ступени. Данная полость сообщается со вторым контуром через полые стойки диффузора ОКС и отверстия в дисках 7, 8, 9 ступенях и диске лабиринта.

Материалы основных деталей компрессора ВД приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1

Материалы основных деталей компрессора ВД

1.	Рабочие лопатки 1,2 ст. Рабочие лопатки 3,4,5 ст. Рабочие лопатки 6,7,8,9 ст.	ВТ-3-1 ВТ-18 ЭП-718ИД
2.	Диски 1,2,3,4,5,6 ст. Диски 7,8,9 ст. и диск лабиринта	ВТ-25 ЭП-742
3.	Корпус 4-9 ст.	ЭП-708
4.	Лопатки НА 3-9 ст.	ЭП-718ИД
5.	Втулки распорные	ЭП-742

3 ОСНОВНАЯ КАМЕРА СГОРАНИЯ

3.1 Общая характеристика камеры сгорания

Камера сгорания (КС) (рис. 3.1 и 3.2) – прямоточная, кольцевая. В КС применен диффузор с фиксированным срывом потока и фронтовое устройство с вихревыми горелками.

Фиксированный срыв стабилизирует потоки в кольцевых каналах камеры и радиальные эпюры температуры газа перед сопловым аппаратом турбины. При этом укороченный диффузор позволил сократить общую длину КС.

Топливо в КС подается по двум топливным коллекторам 4 (рис. 3.5 и 3.13) с помощью двадцати восьми центробежных двухсопловых форсунок. Топливные коллекторы и трубопроводы подвода топлива теплоизолированы кремнеземной лентой КЛ-II и металлическим экраном из IX18H9T.

Запуск КС осуществляется с помощью двух свечей поверхностного разряда, установленных со смещением ¼ шага от осей вихревых горелок. Схема расположения свечей на КС, форсунок и точек подвода топлива приведена на рис. 3.3.

Цилиндрическая часть корпусов свечей, входящая в корпус КС, охлаждается воздухом из-за компрессора, который проходит через специальные окна в корпусе свечи и выдувается внутрь жаровой трубы.

Применение системы непосредственного запуска КС от запальных свечей по сравнению с пусковыми воспламенителями позволило:

- повысить надежность работы и живучесть системы вследствие меньшего числа элементов, входящих в систему, и отсутствия трубопроводов и агрегатов с пусковым топливом;
- снизить вес и габариты системы запуска;
- сократить инерционность запуска, особенно в условиях отрицательных температур.

Основные параметры и материалы КС представлены в таблице 3.2 и 3.3.

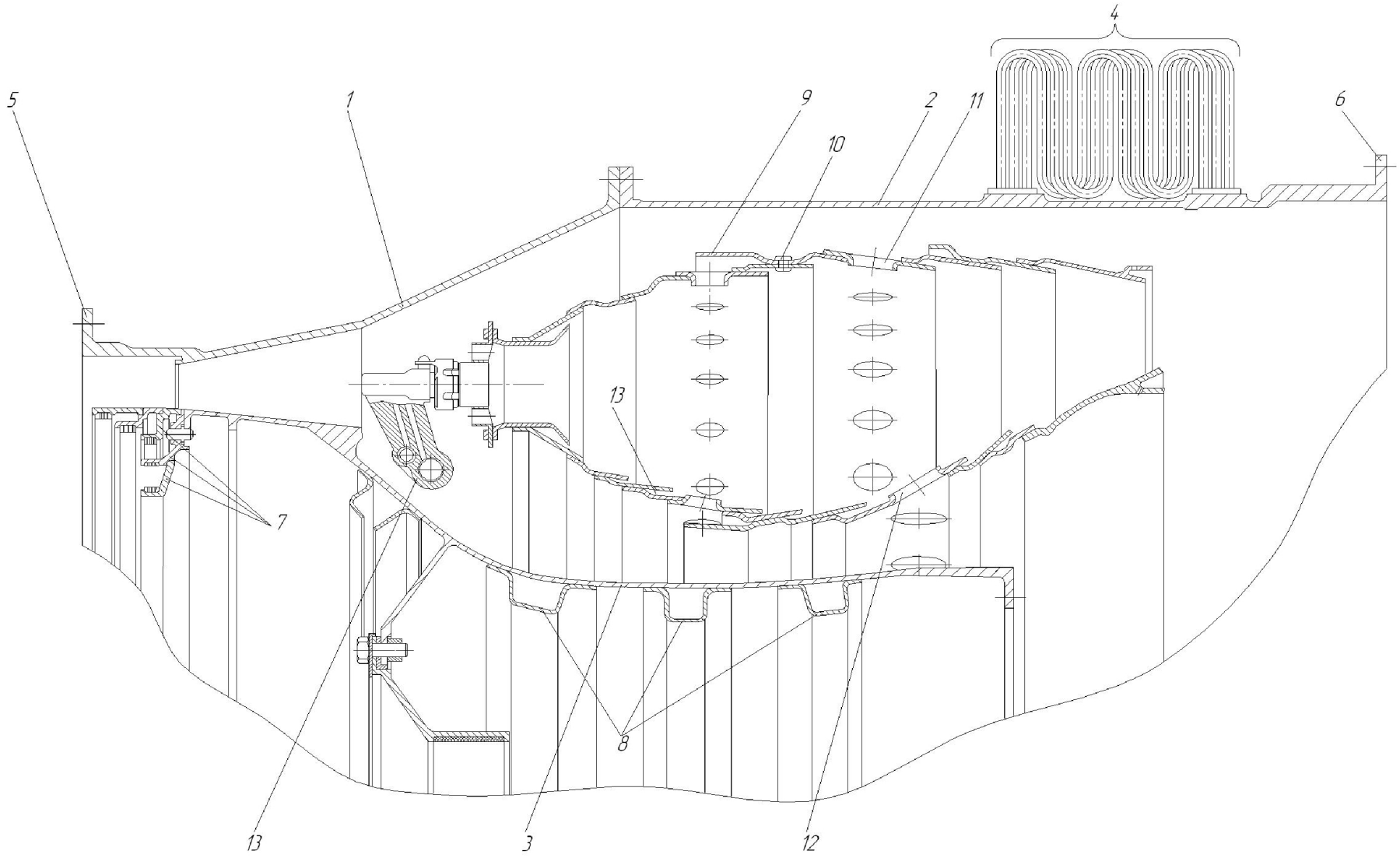


Рис. 3.1 Основная камера сгорания (ОКС)

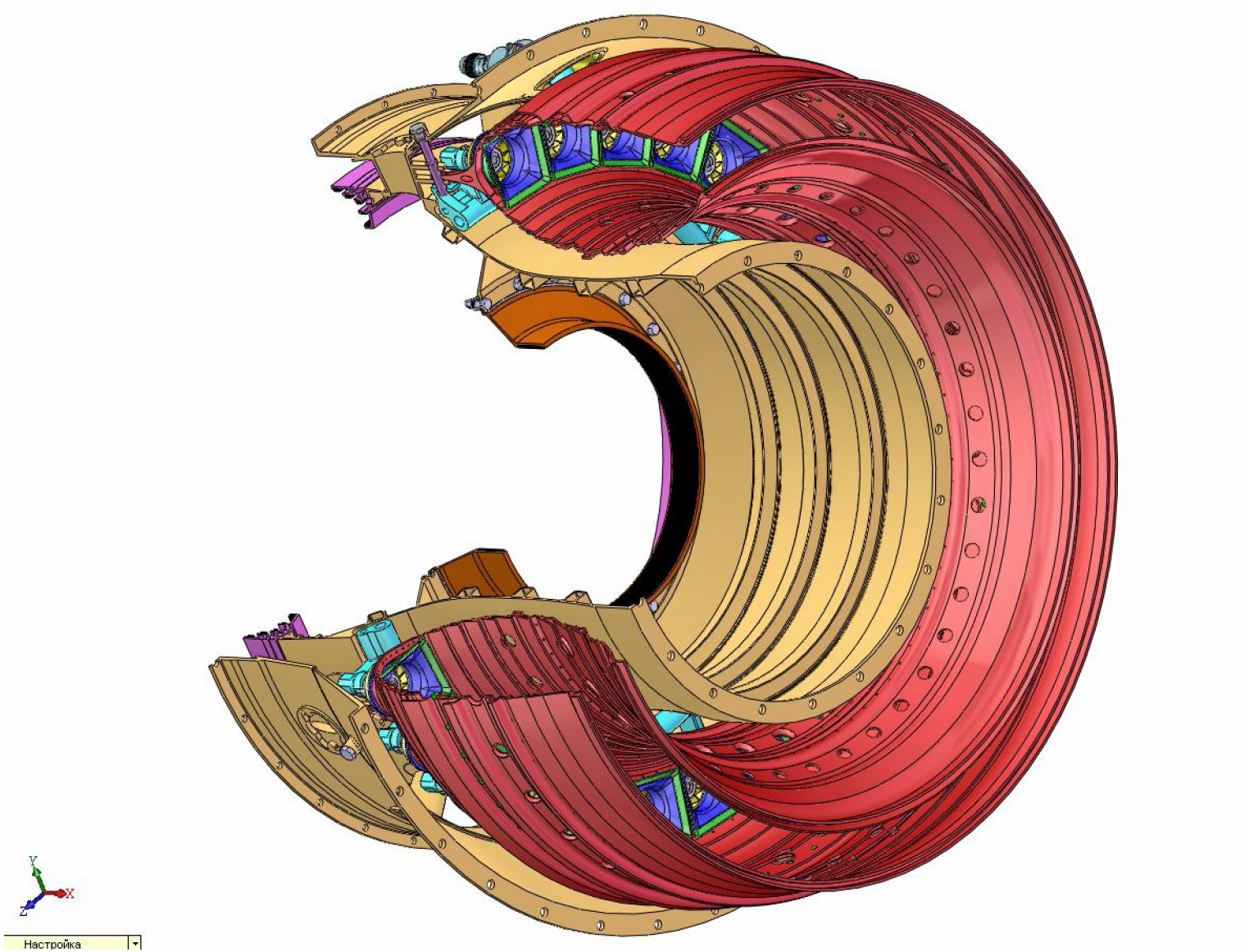


Рис. 3.2 Объемная модель ОКС (лист 1 из 2)

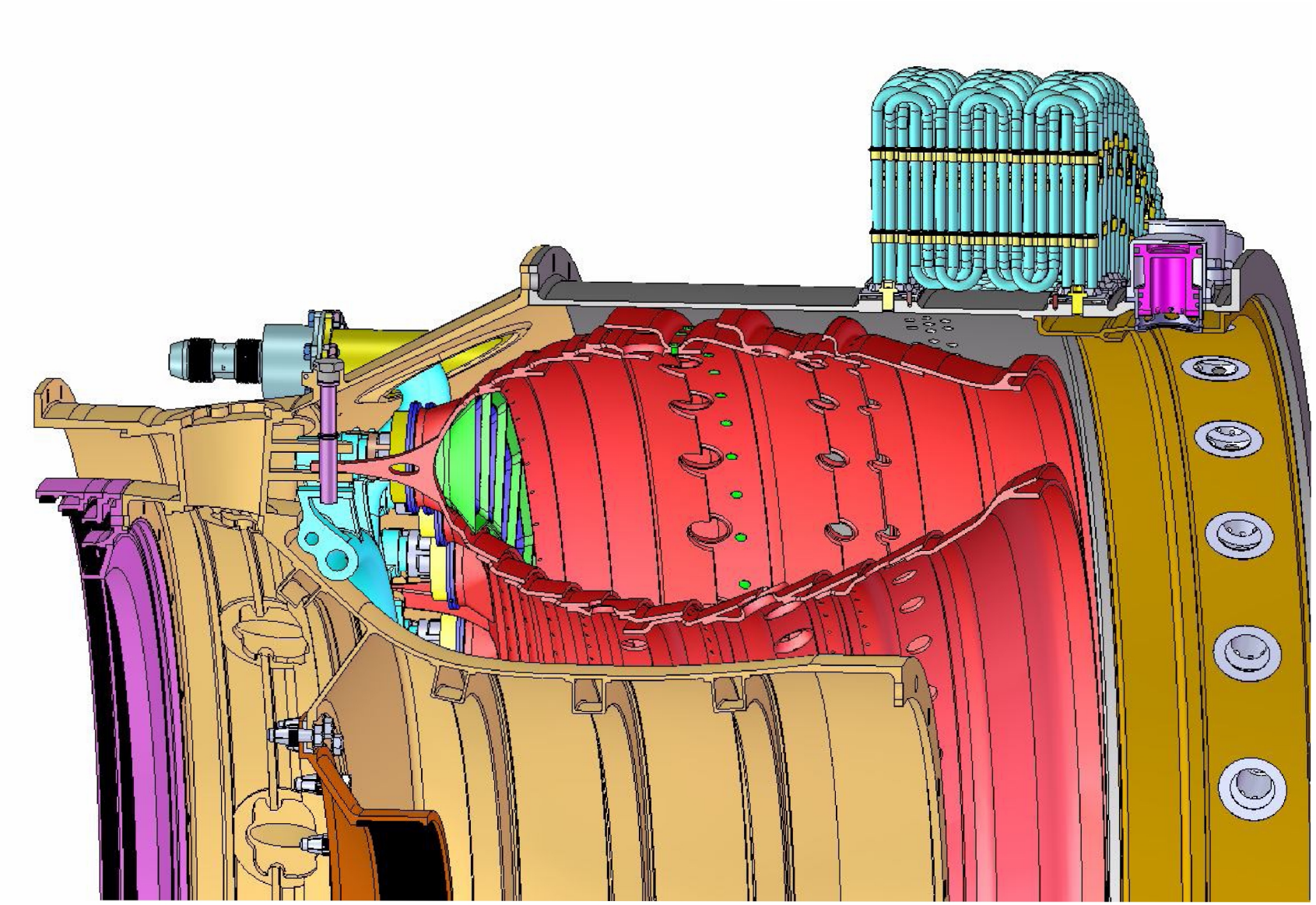


Рис. 3.2 Объемная модель ОКС (лист 2 из 2)

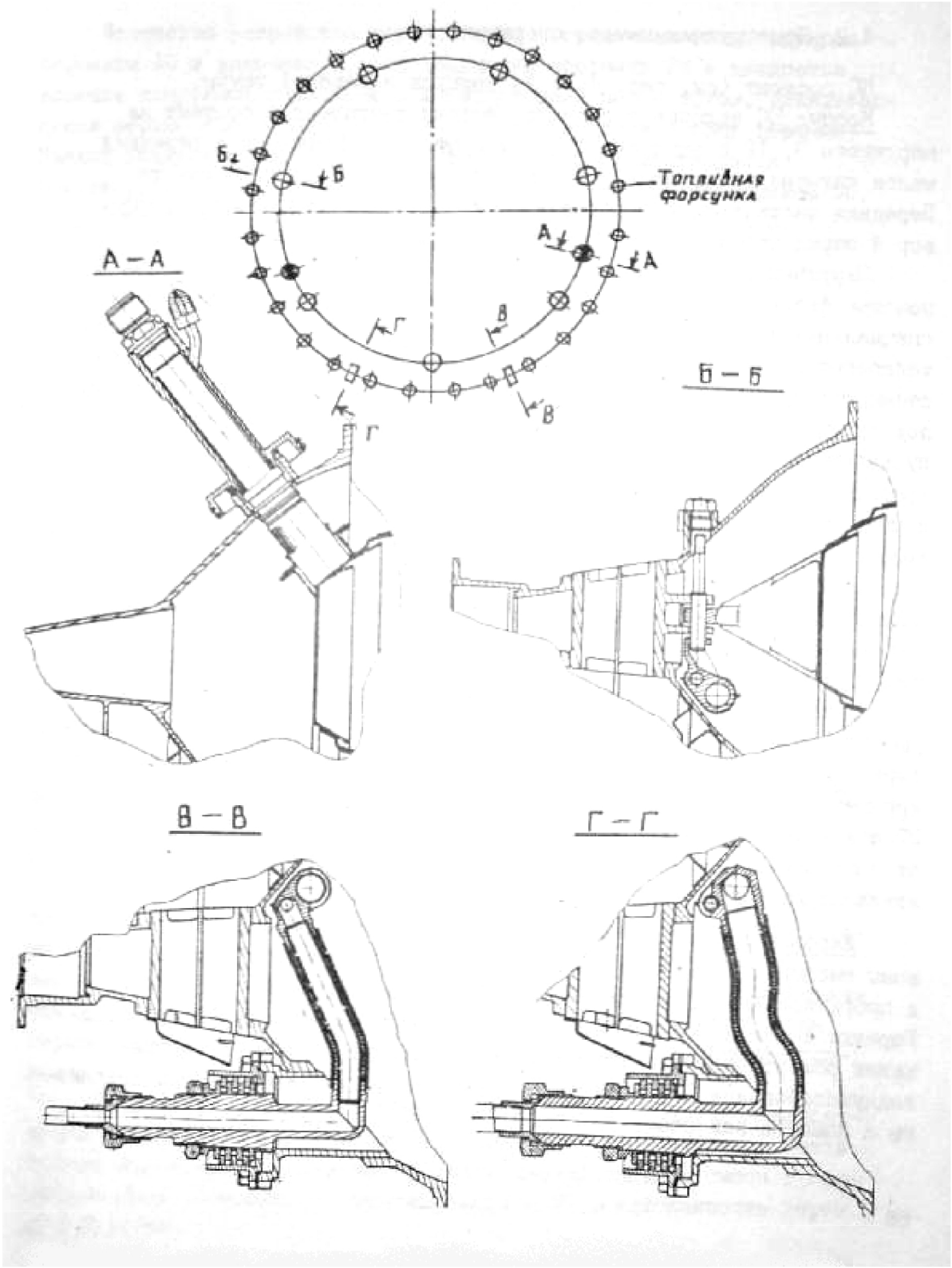


Рис. 3.3 Схема расположения свечей на КС, узлов крепления жаровой трубы, форсунок и точек подвода топлива

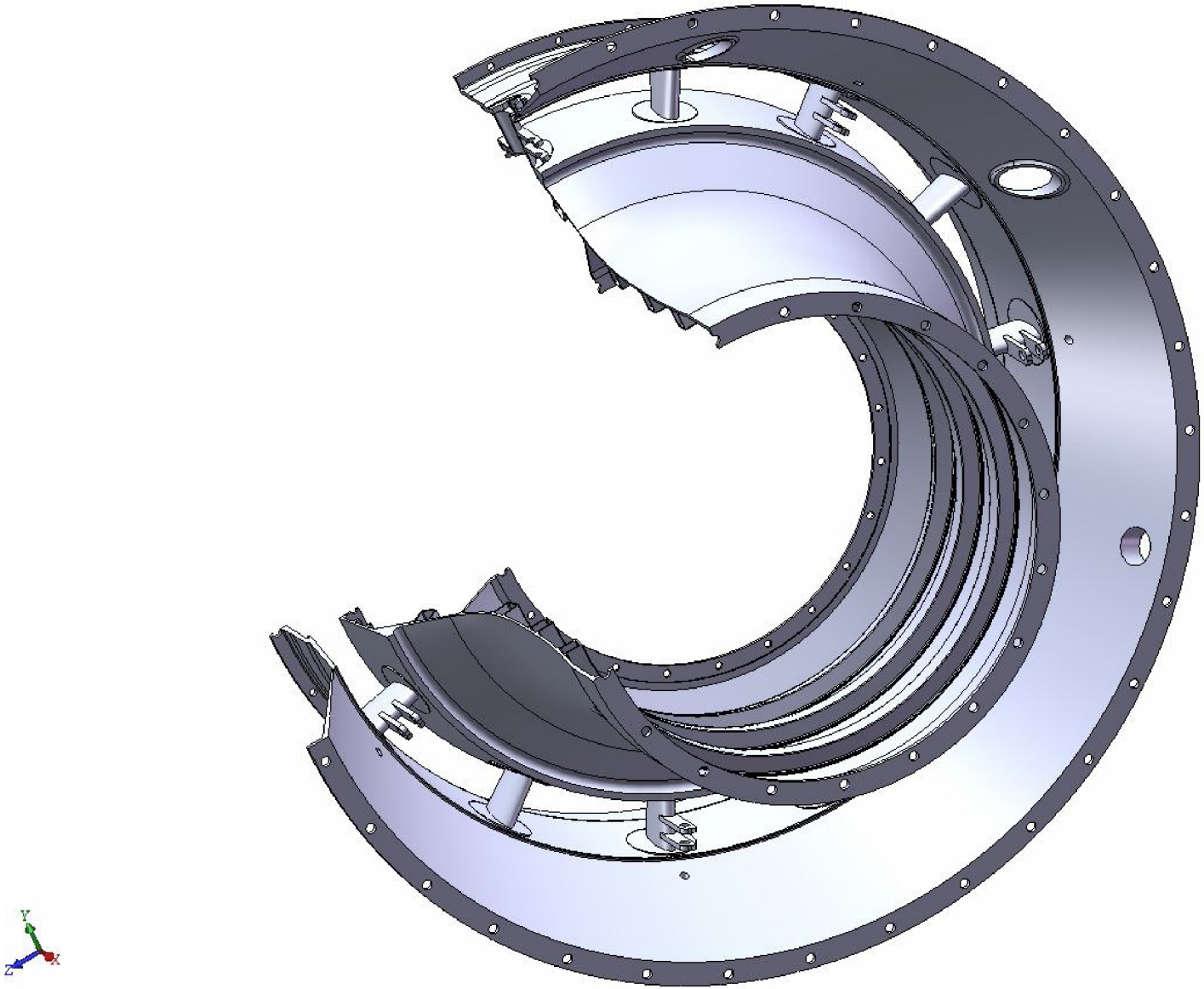


Рис. 3.4 Корпус ОКС (лист 1 из 2)

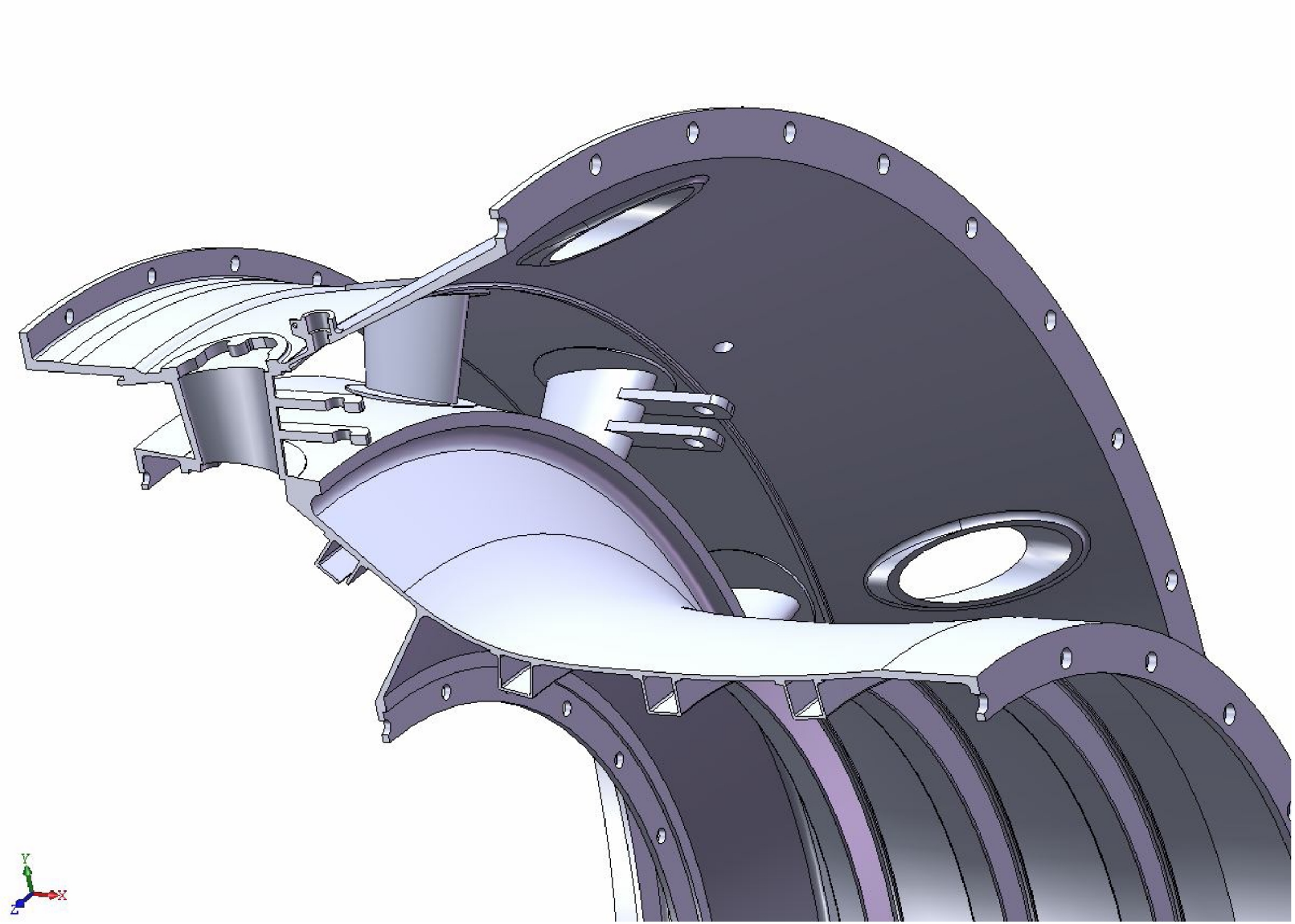


Рис. 3.4 Корпус ОКС (лист 2 из 2)

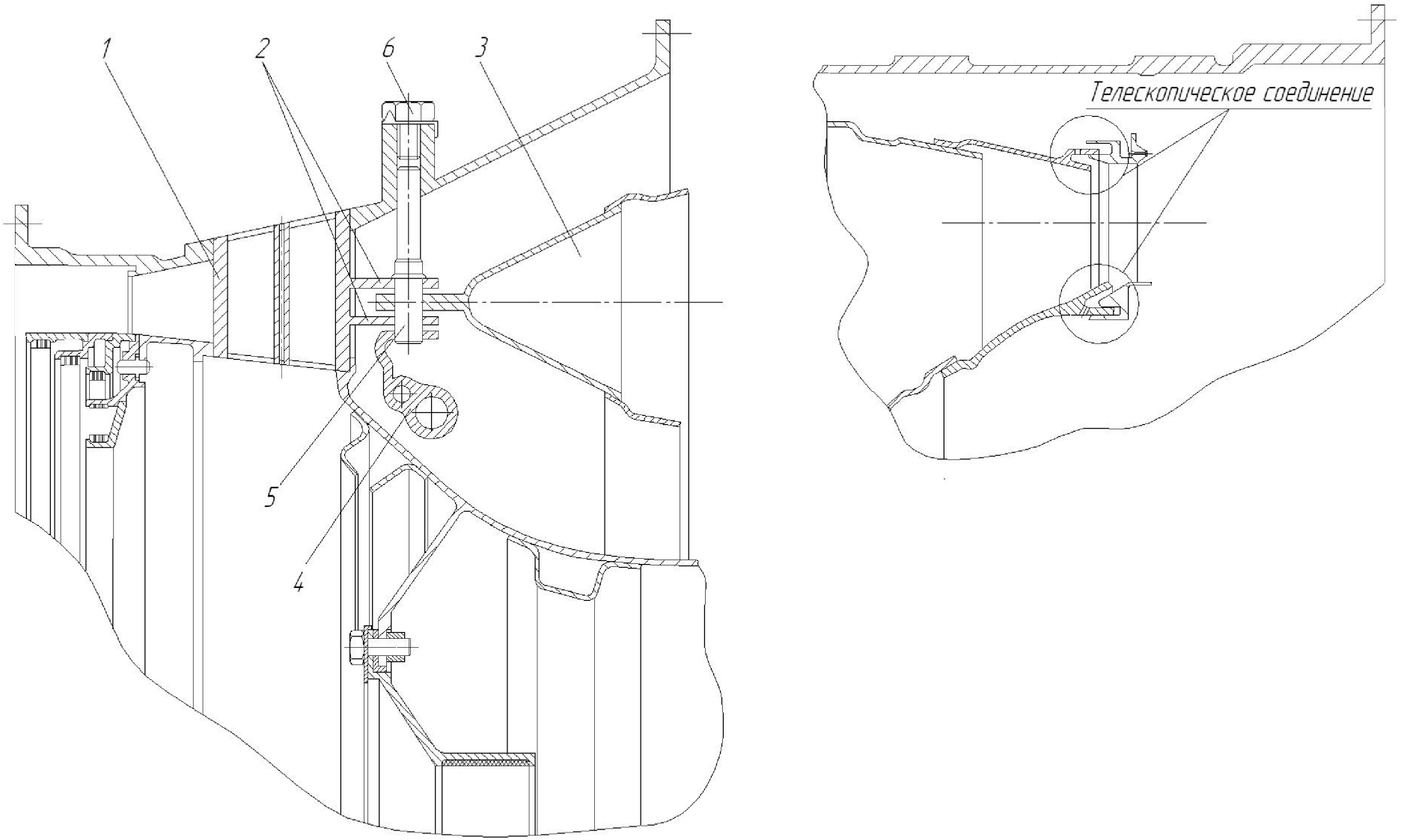


Рис. 3.5 Схема крепления жаровой трубы

Таблица 3.1

Основные газодинамические и конструктивные параметры КС

(H=0, M=0, режим «М»)

№ п/п	Параметры	Величина
1	Температура воздуха за КВД, К	440
2	Давление воздуха за КВД, кПа	237
3	Расход воздуха, %: - через лопаточный завихритель - через головную часть ЖТ	 11-12 38-39
4	Коэффициент избытка воздуха	2,29
5	Коэффициент полноты сгорания	0,98
6	Коэффициент потери полного давления	0,059
7	Относительная длина КС	
8	Относительная длина ЖТ	
9	Относительная длина газосборника	1,1
10	Степень раскрытия диффузора	1,65

Таблица 3.2

Материалы деталей КС

№ п/п	Деталь	Материал
1	Корпус	(ЭП-718) ХН62ВМЮТ
2	Жаровая труба	ЭП-648
3	Фронтовое устройство	ЭП-99
4	Внутренняя поверхность ЖТ	Покрытие ВКНП-5 («Рубин»)

3.2 Конструкция камеры сгорания

КС (рис. 3.1 и 3.2) состоит из корпуса и жаровой трубы.

Корпус КС (рис. 3.4) включен в силовую систему двигателя и состоит из наружного 1 и 2 (рис. 3.1) и внутреннего корпусов 3, соединенных в передней части четырнадцатью полыми литыми стойками 1 (рис. 3.5) с помощью сварки. Передняя часть корпусов образует кольцевой двухступенчатый диффузор перед фронтовым устройством жаровой трубы.

Наружный корпус состоит из двух частей 1 и 2, соединенных с помощью фланцев и призонных болтов. В задней части корпуса на специальных граненых поясах установлены модули воздухо-воздушного теплообменника 4, лючки осмотра турбины и клапаны системы охлаждения турбины (см. раздел ВВТ). На наружном корпусе имеются также фланцы под струйную форсунку запуска форсажной камеры, для установки пусковых свечей (рис. 3.7), отбора воздуха, окон осмотра КС (рис. 3.10) и бобышки для крепления агрегатов и коммуникаций. Передним фланцем 5 (рис. 3.1) наружный корпус крепится к заднему фланцу корпуса КВД, а задним 6 – к фланцу корпуса ТВД.

Внутренний корпус 3 задним фланцем крепится к корпусу СА ТВД. На переднем фланце корпуса установлены элементы лабиринтного уплотнения 7 (рис. 3.1 и рис. 3.17). К внутренней поверхности корпуса приварены четыре профилированных кольцевых ребра жесткости 8 (рис. 3.1 и 3.18).

Полые стойки 1 (рис. 3.5 и 3.6) обеспечивают силовую связь наружного и внутреннего корпусов КС и сообщают заднюю разгрузочную полость компрессора с проточной частью наружного контура. На семи стойках 1 имеются кронштейны 2 для крепления жаровой трубы 3 и топливных коллекторов 4 к корпусу КС с помощью специальных штифтов 5, зафиксированных от выпадания резьбовыми пробками 6. Схема расположения узлов крепления жаровой трубы приведена на рис. 3.5 и 3.6.

Жаровая труба (рис. 3.8) состоит из фронтового устройства, зоны смешения и газосборника, образованных вихревыми горелками и профилированными наружными и внутренними секциями.

Горелки и секции соединены между собой с помощью сварки. Для повышения ремонтной технологичности жаровой трубы наружный козырек воздухозаборника 9 (рис. 3.1), а также пятая и шестая наружные секции соединены с помощью заклепок 10 (рис. 3.9).

Фронтовое устройство жаровой трубы ограничивается воздухозаборником 9 и включает в себя кольцевую оболочку с двадцатью восьмью вихревыми горелками (рис. 3.12-3.14) и диффузорную часть трубы, оканчивающуюся первым поясом отверстий подвода воздуха в зону горения.

Расход воздуха через фронтовое устройство регламентируется лопаточным завихрителями 2 (рис. 3.12) и воздухозаборником 9 (рис. 3.1).

Вихревая горелка состоит из цилиндрической вихревой камеры, на входе в которую подвижно в радиальном направлении установлен лопаточный завихритель 2 (рис. 3.12), а на выходе – конический насадок 4 с углом раскрытия 46^0. В центре завихрителя установлена топливная форсунка 1 центробежного типа.

Вихревая горелка используется как пневматический распылитель топлива, а также выполняет функции аэродинамического стабилизатора пламени за счет организации зоны обратных токов вдоль оси вихревой камеры. При этом в процессе турбулентного взаимодействия между топливовоздушным вихрем и высокотемпературным ядром зоны горения осуществляется дополнительное дробление и испарение топлива.

Применение вихревых горелок с малым шагом в окружном направлении совместно с отверстиями и системой заградительного охлаждения позволило фактически избежать переобогащения смеси в первичной зоне, повысить надежность запуска КС и устойчивость горения. При этом максимальная избыточная температура стенок фронтового устройства не превышает 460 К, что вполне допустимо для материала жаровой трубы.

Формирование поля температур на выходе из камеры сгорания осуществляется в смесительной части жаровой трубы воздухом, поступающим через отверстия 11 и 12 (рис. 3.1 и рис. 3.11).

Для снижения температурных напряжений в районе отверстий и повышения жесткости края отверстий отбортовываются внутрь трубы (рис. 3.11).

Для охлаждения стенок жаровой трубы в местах соединения секций имеются кольцевые щели, в которые через отверстия поступает воздух, создавая заградительную пленку в пристенном слое секции. Для обеспечения допустимой температуры стенок жаровой трубы ширина секций в данной КС не превышает 25 мм. Для выравнивания температуры и предотвращения коробления и прогара стенок, расположенных непосредственно за горелками, отверстия, подводящие охлаждающий воздух к участкам секций между горелками, выполнены большого диаметра.

Жаровая труба имеет две плоскости опор (рис. 3.5 и 3.6): в передней части с помощью семи кронштейнов, фиксирующих жаровую трубу в осевом и радиальном направлениях и на входе в сопловой аппарат ТВД с телескопического соединения. Передние узлы крепления жаровой трубы обеспечивают свободу температурных расширений трубы в радиальном направлении в пределах зазора в кронштейнах. Свобода температурных расширений трубы в осевом направлении обеспечивается телескопическим соединением.

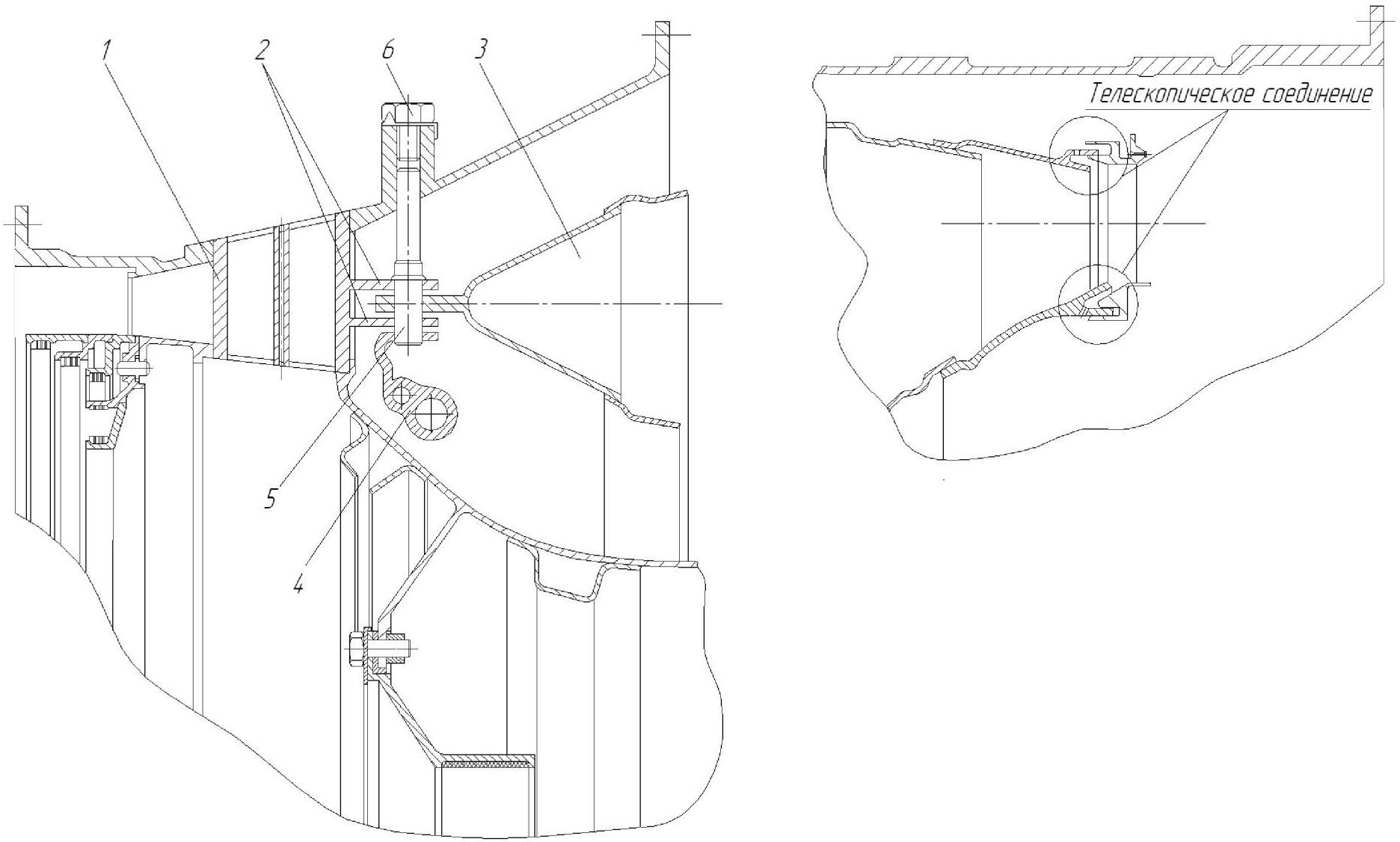


Рис. 3.5 Схема крепления жаровой трубы

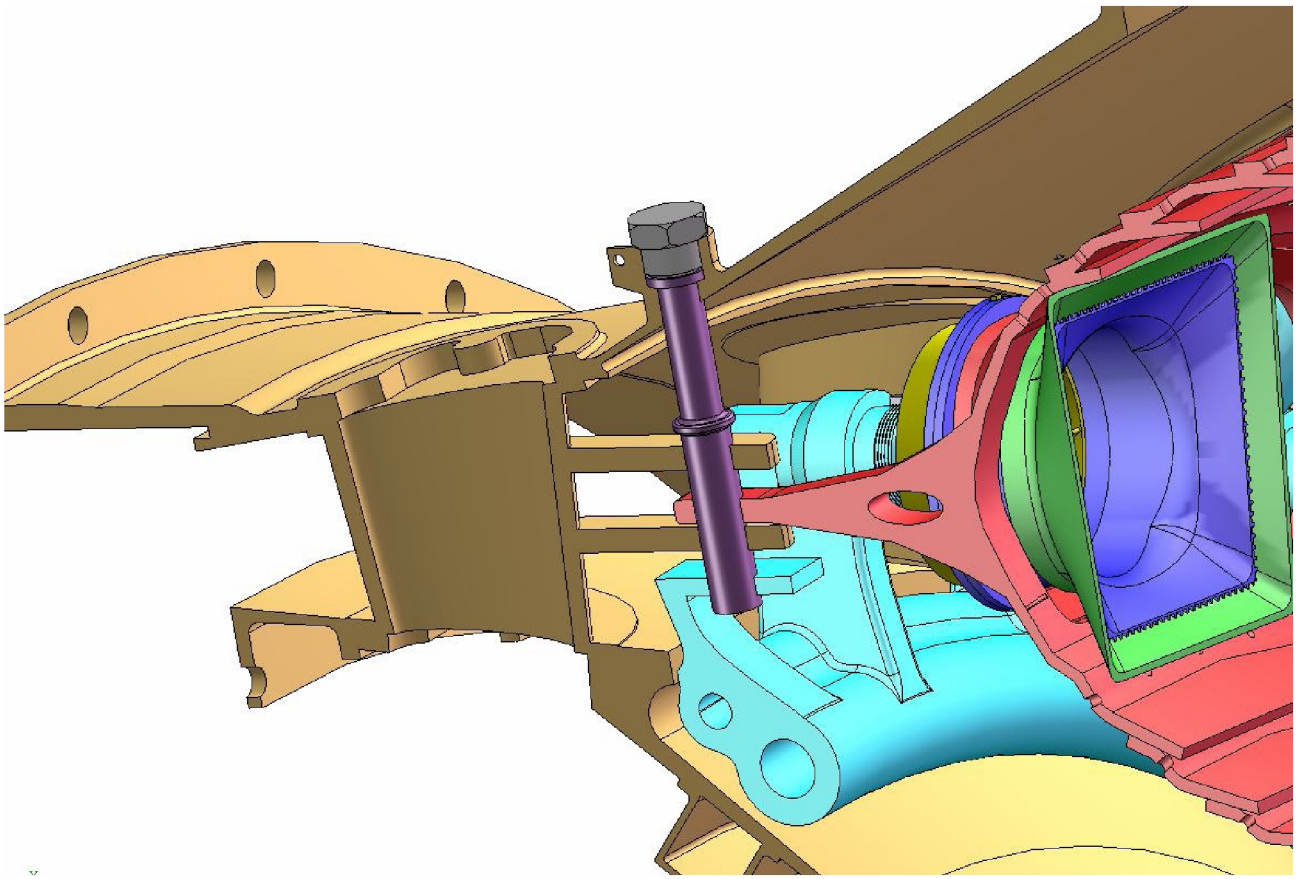


Рис. 3.6 Фиксация жаровой трубы в осевом направлении

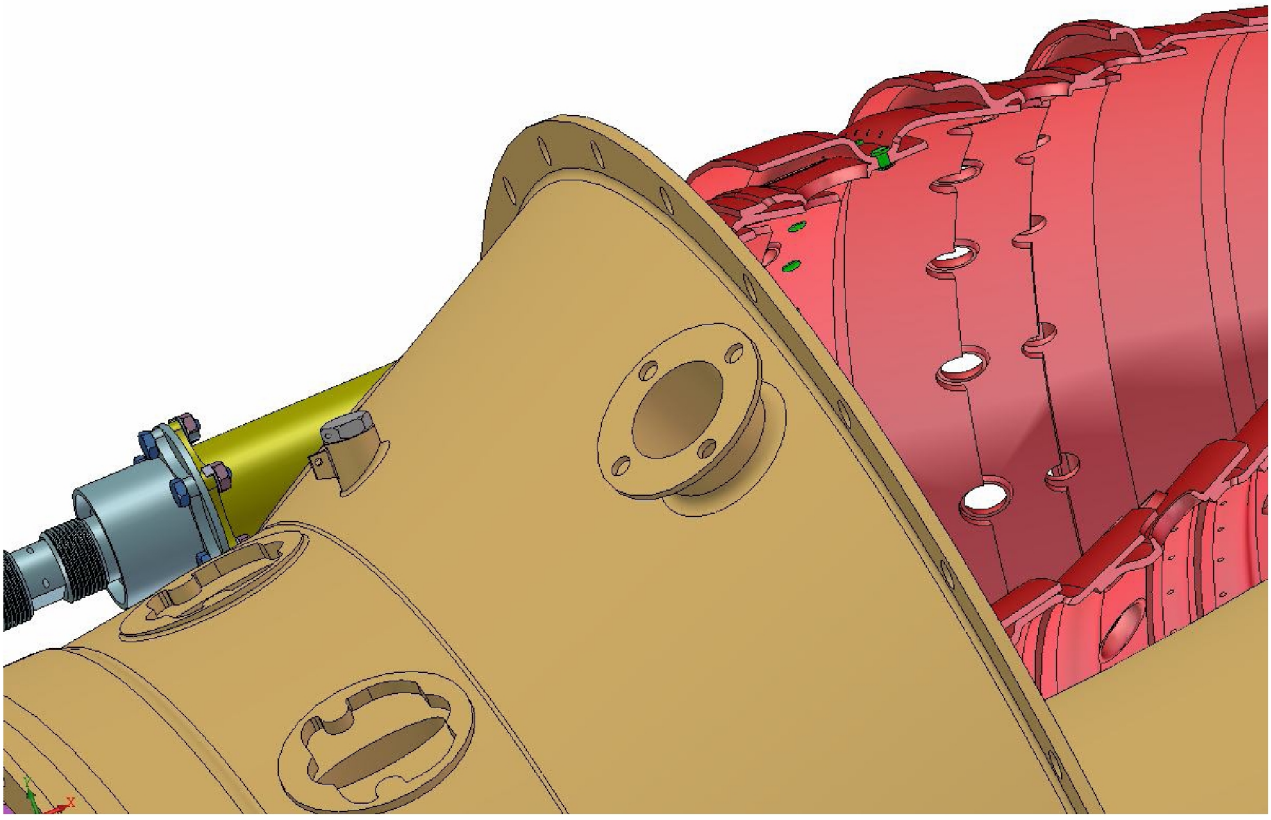


Рис. 3.7 Фланец на корпусе ОКС для установки пусковых свечей

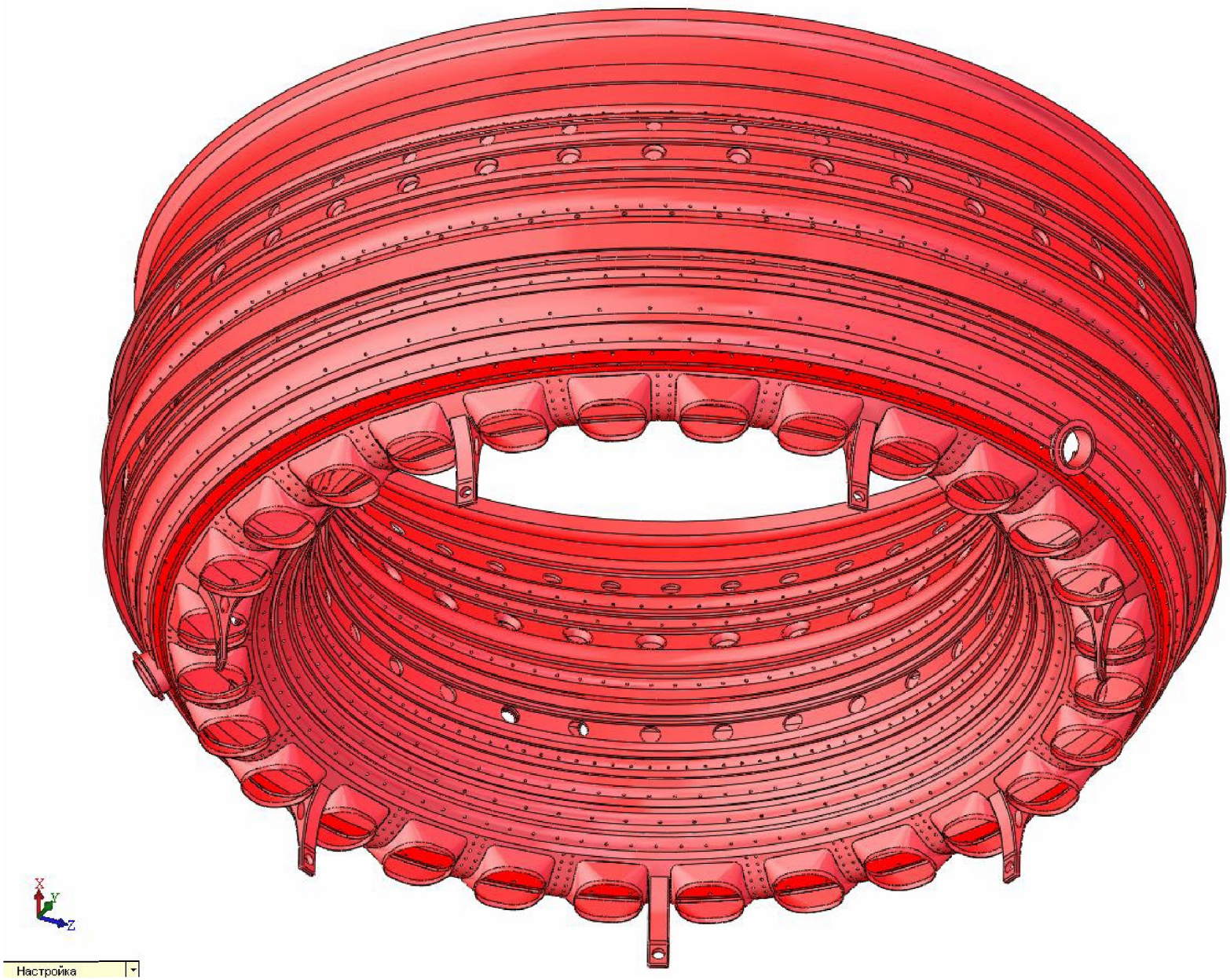
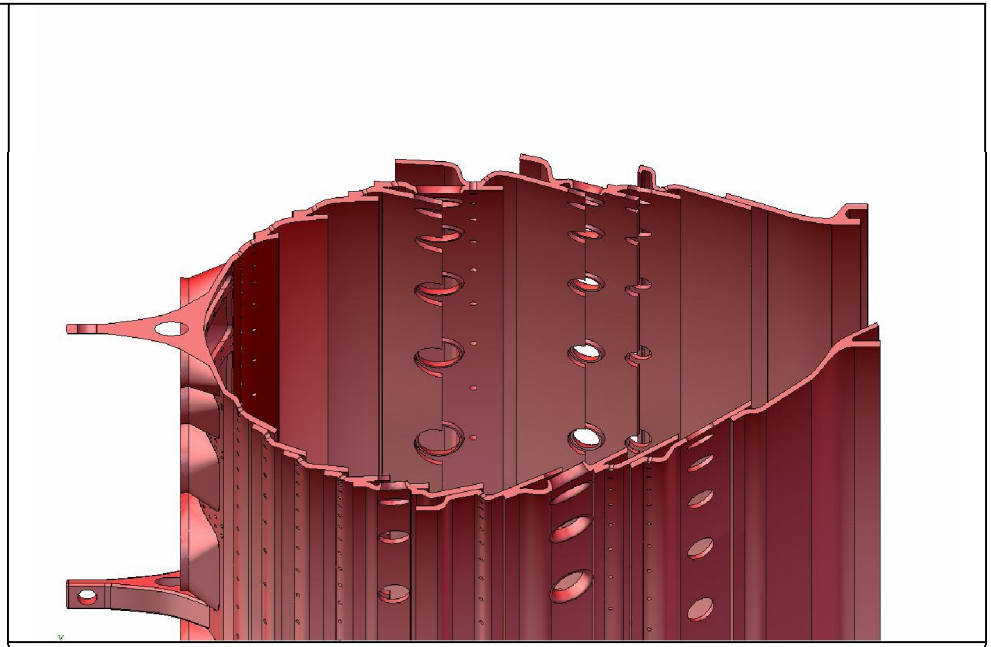


Рис. 3.8 Жаровая труба (лист 1 из 2)





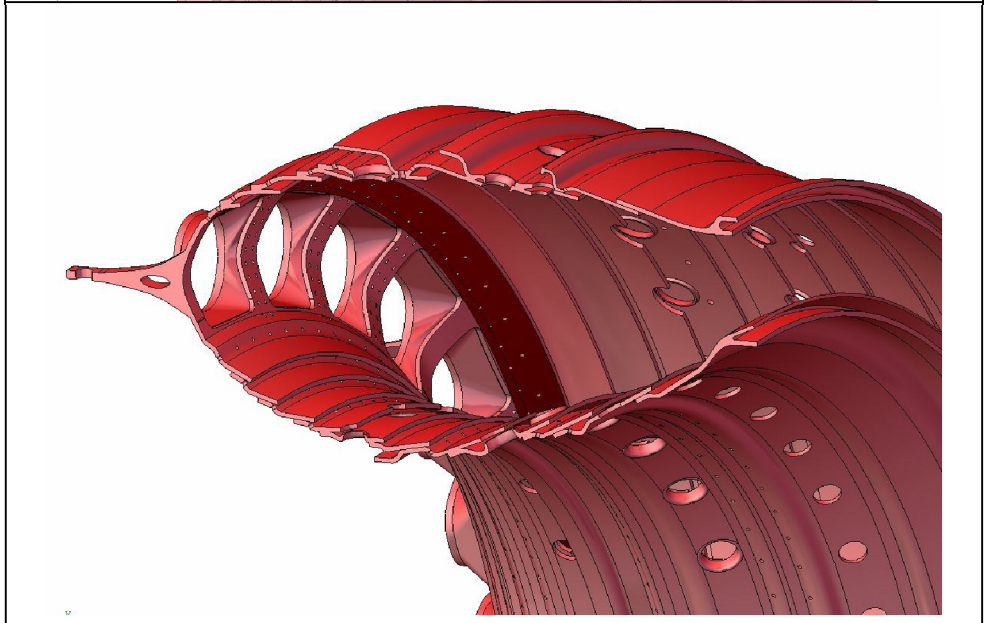


Рис. 3.8 – Жаровая труба (лист 2 из 2)

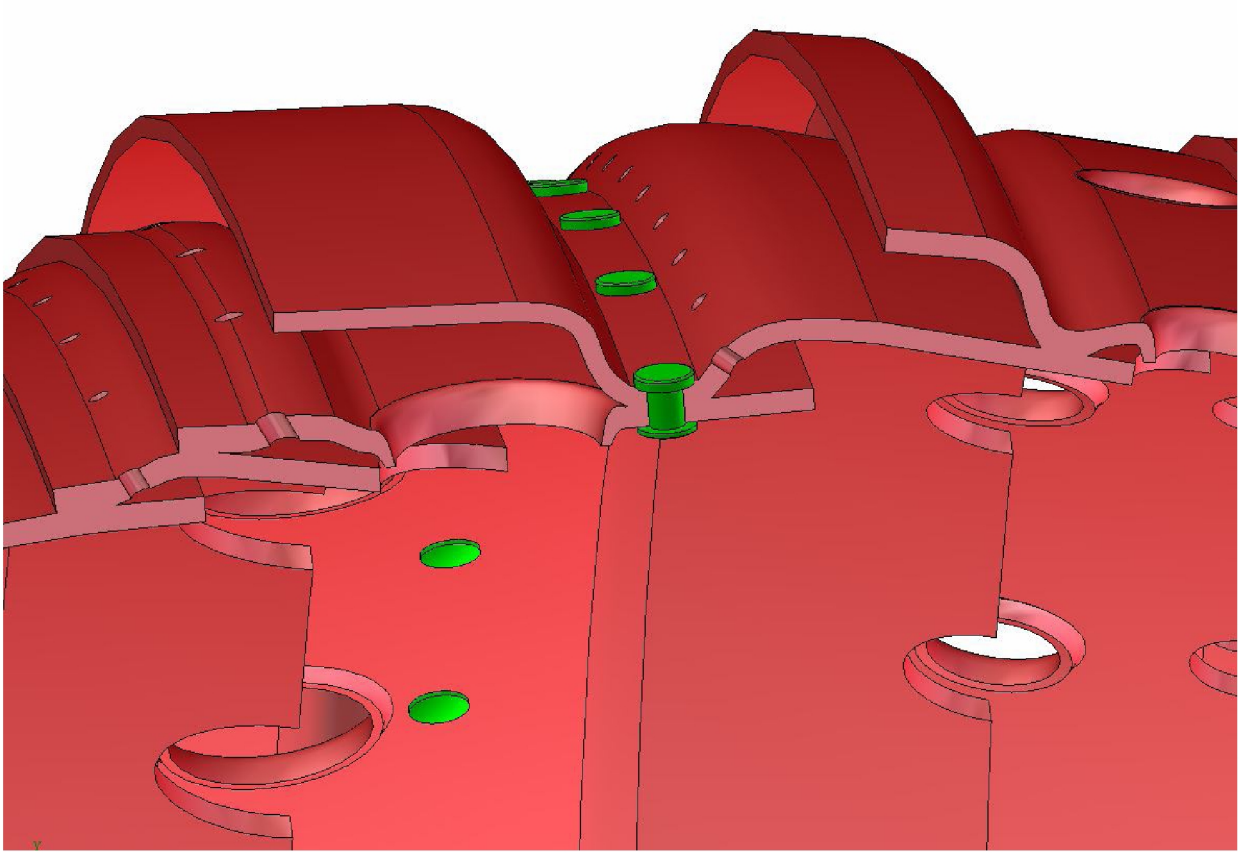


Рис. 3.9 Крепление секций жаровой трубы

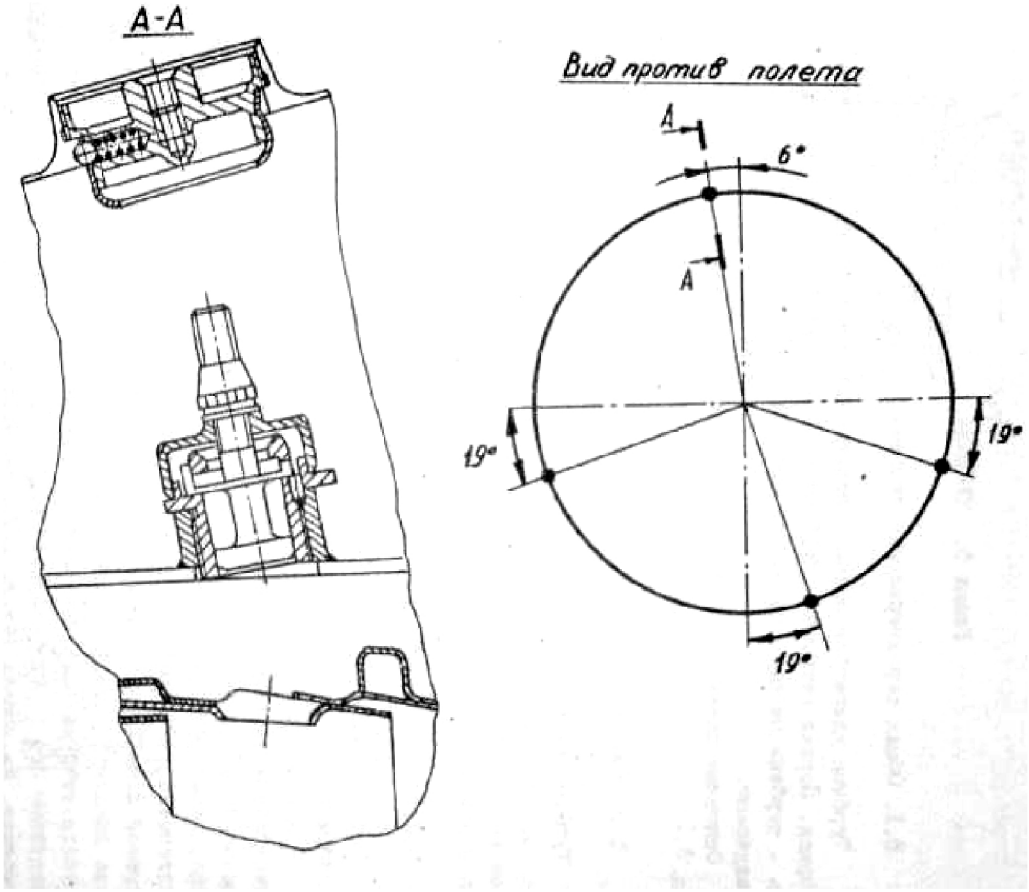


Рис. 3.10 Окно осмотра ОКС

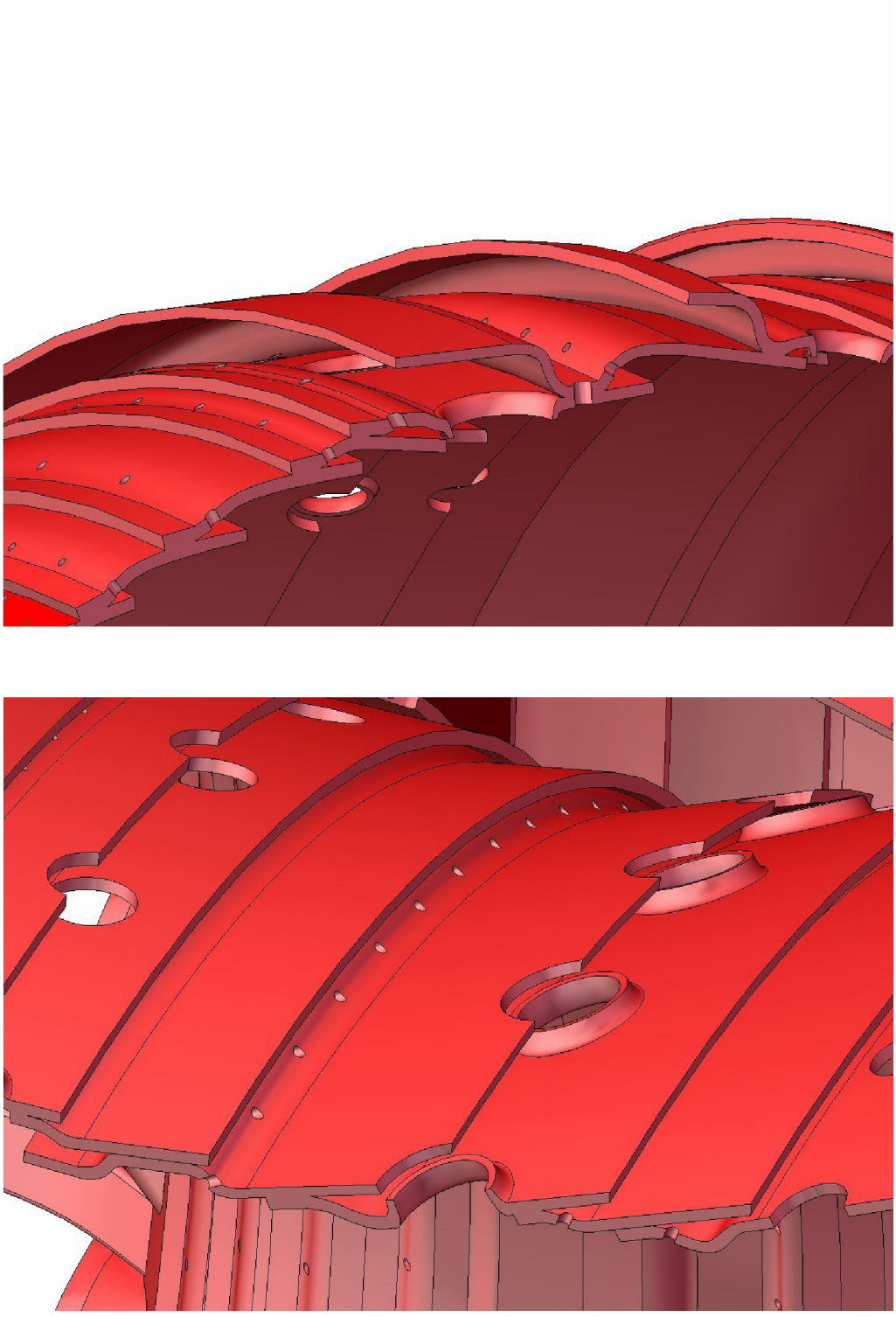


Рис. 3.11 Отверстия для подачи воздуха в зоны горения и смешения

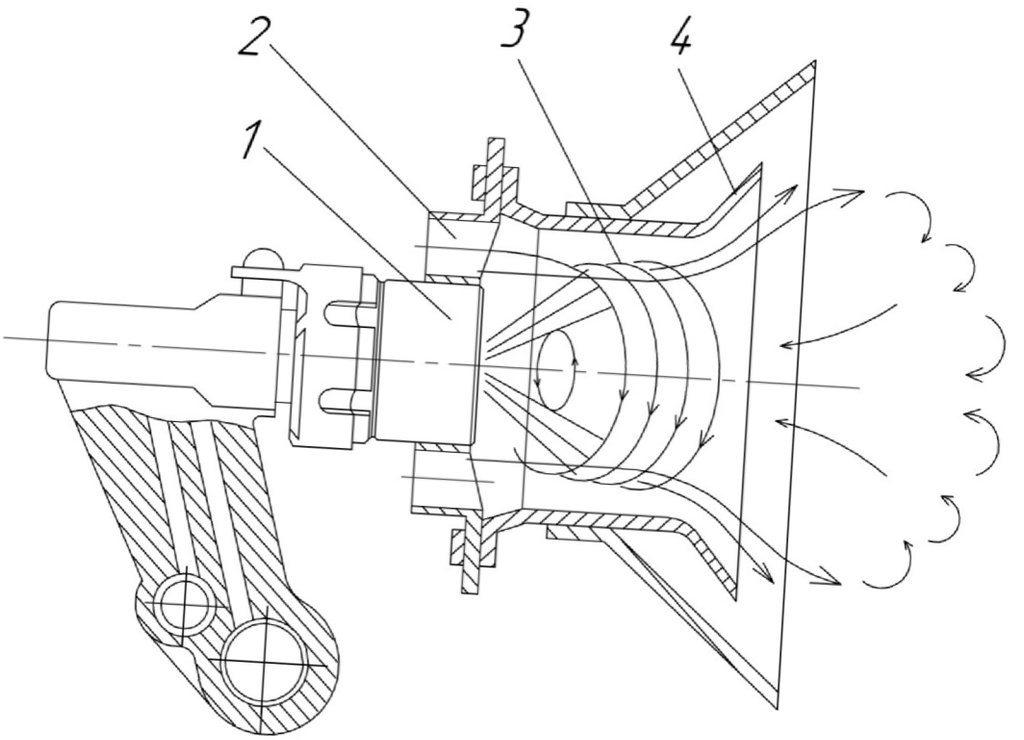


Рис. 3.12 Схема вихревой горелки

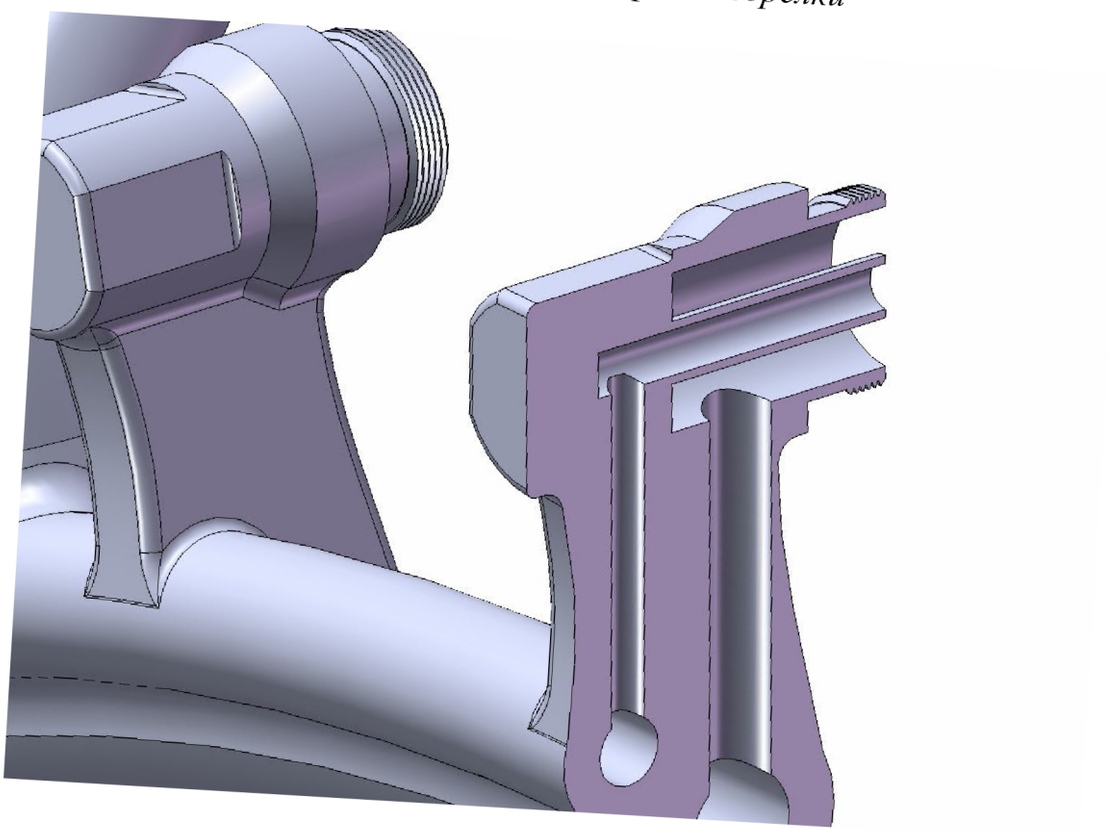
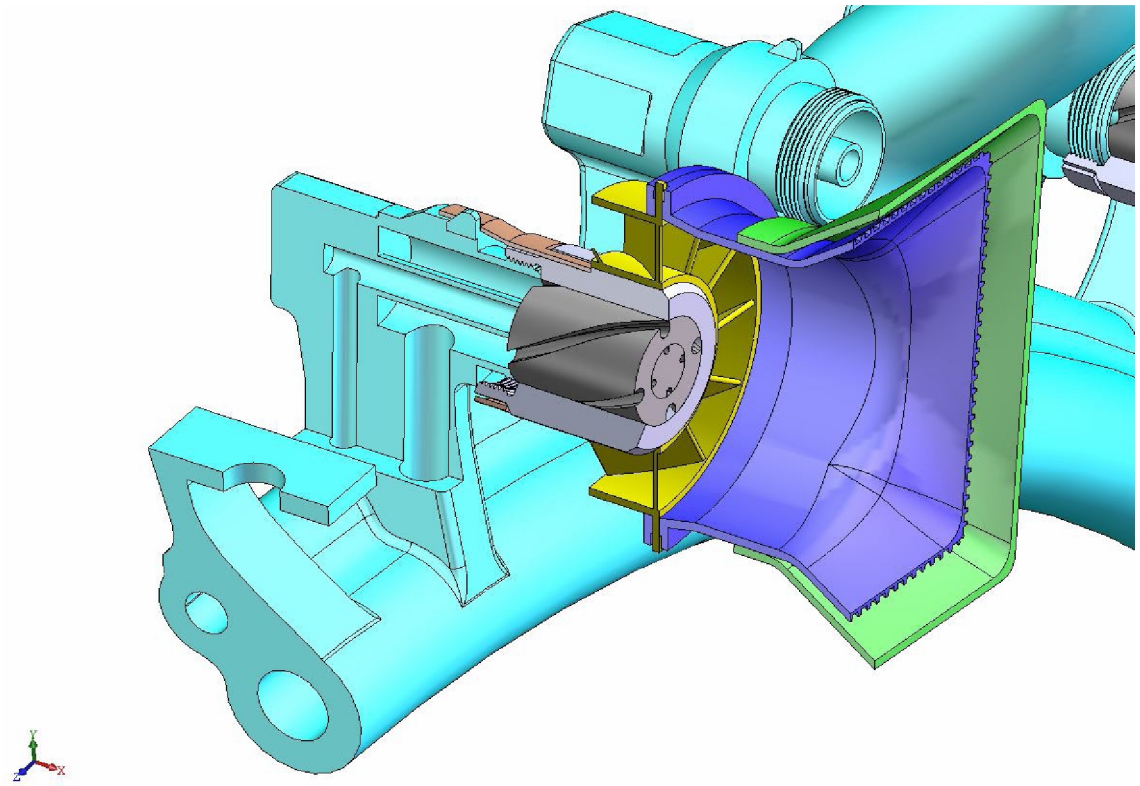


Рис. 3.13 Подвод топлива к центробежной форсунки



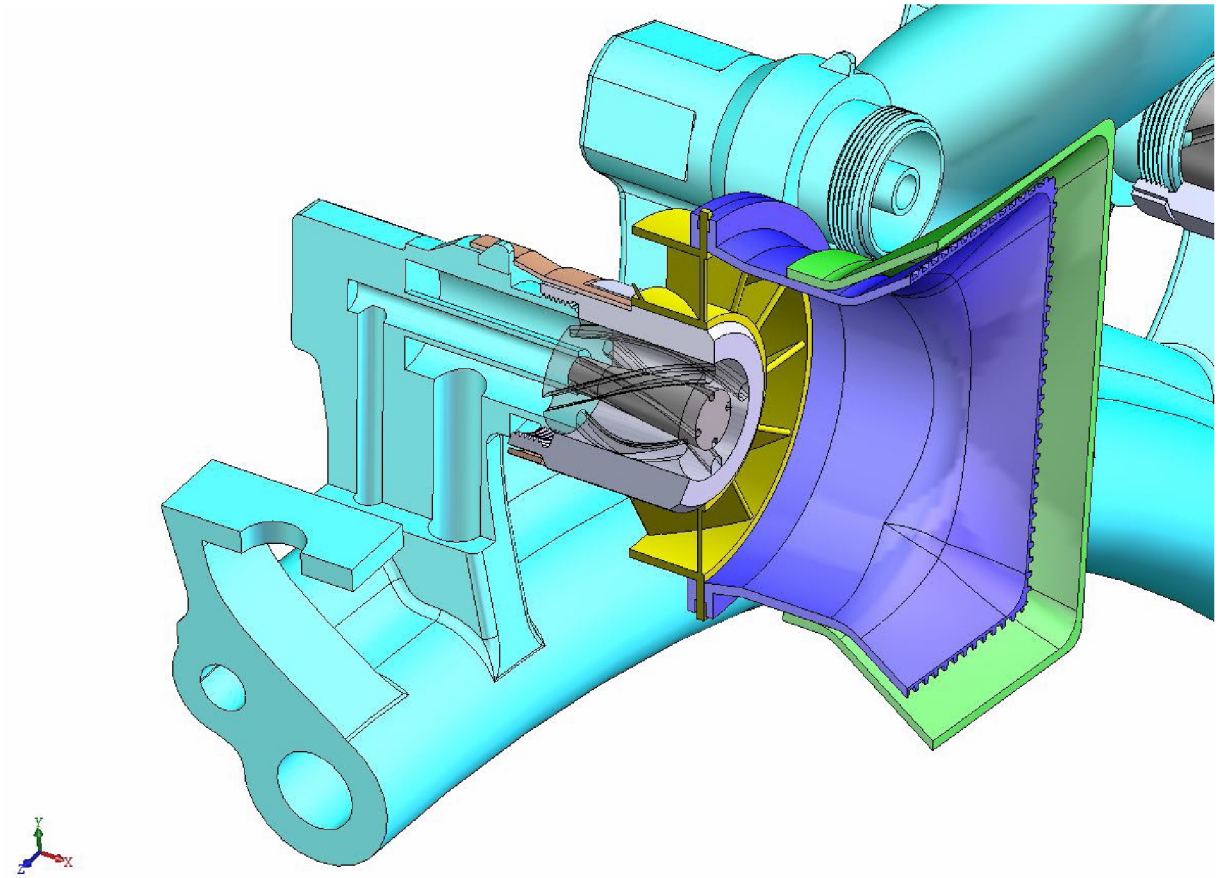


Рис. 3.14 Вихревая горелка (лист 1 из 2)

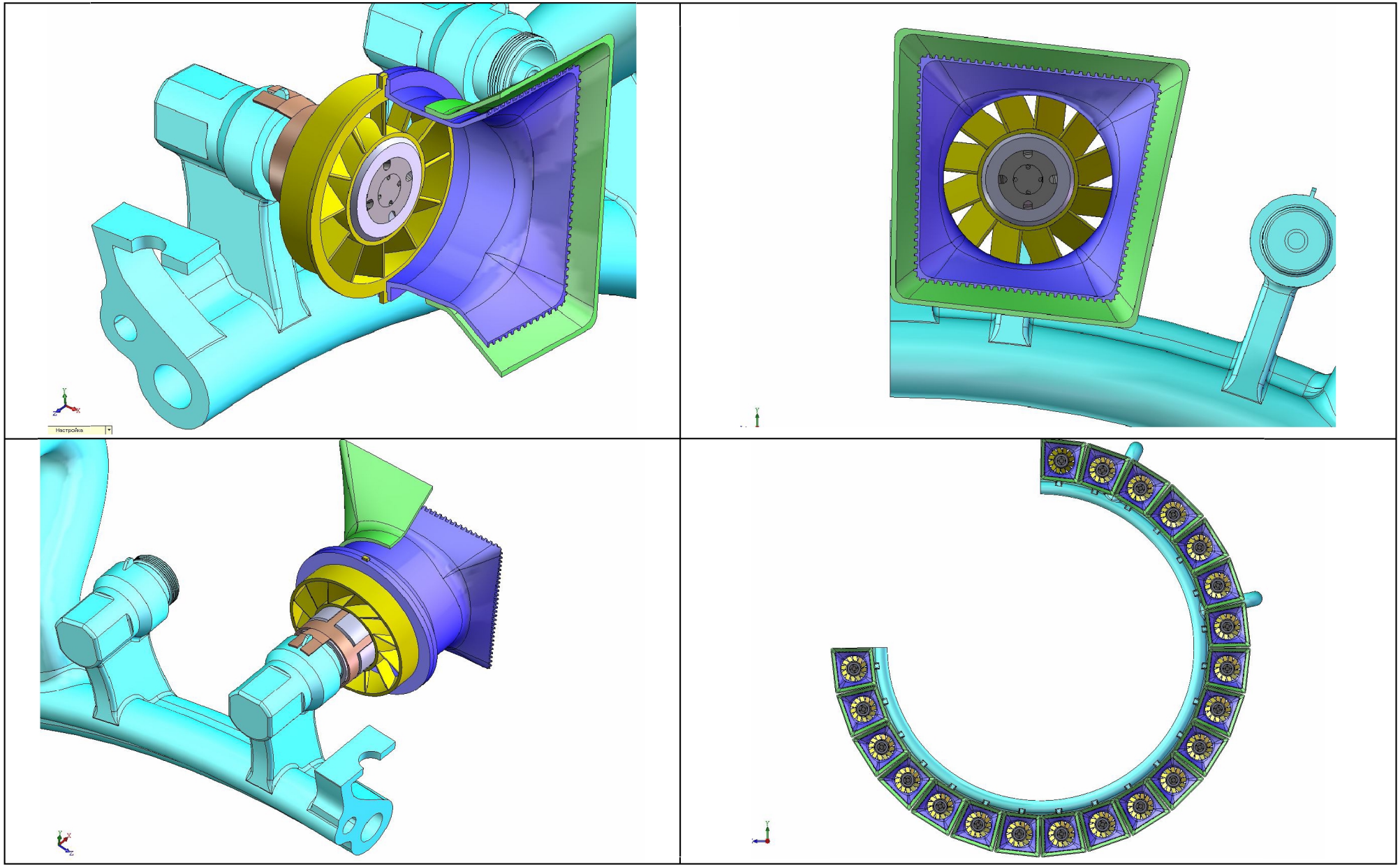


Рис. 3.14 Вихревая горелка (лист 2 из 2)

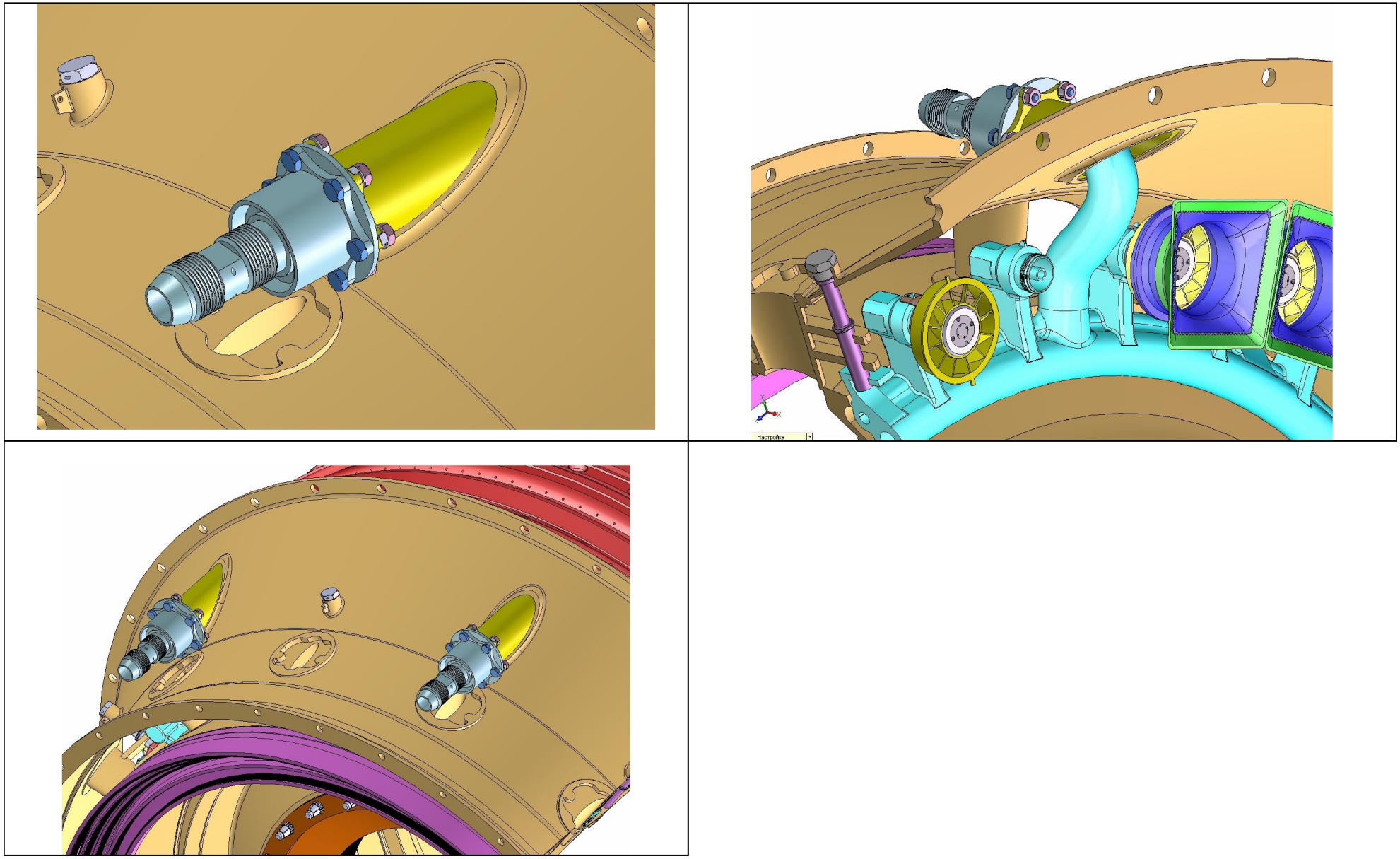


Рис. 3.15 Подвод топлива к топливному коллектору

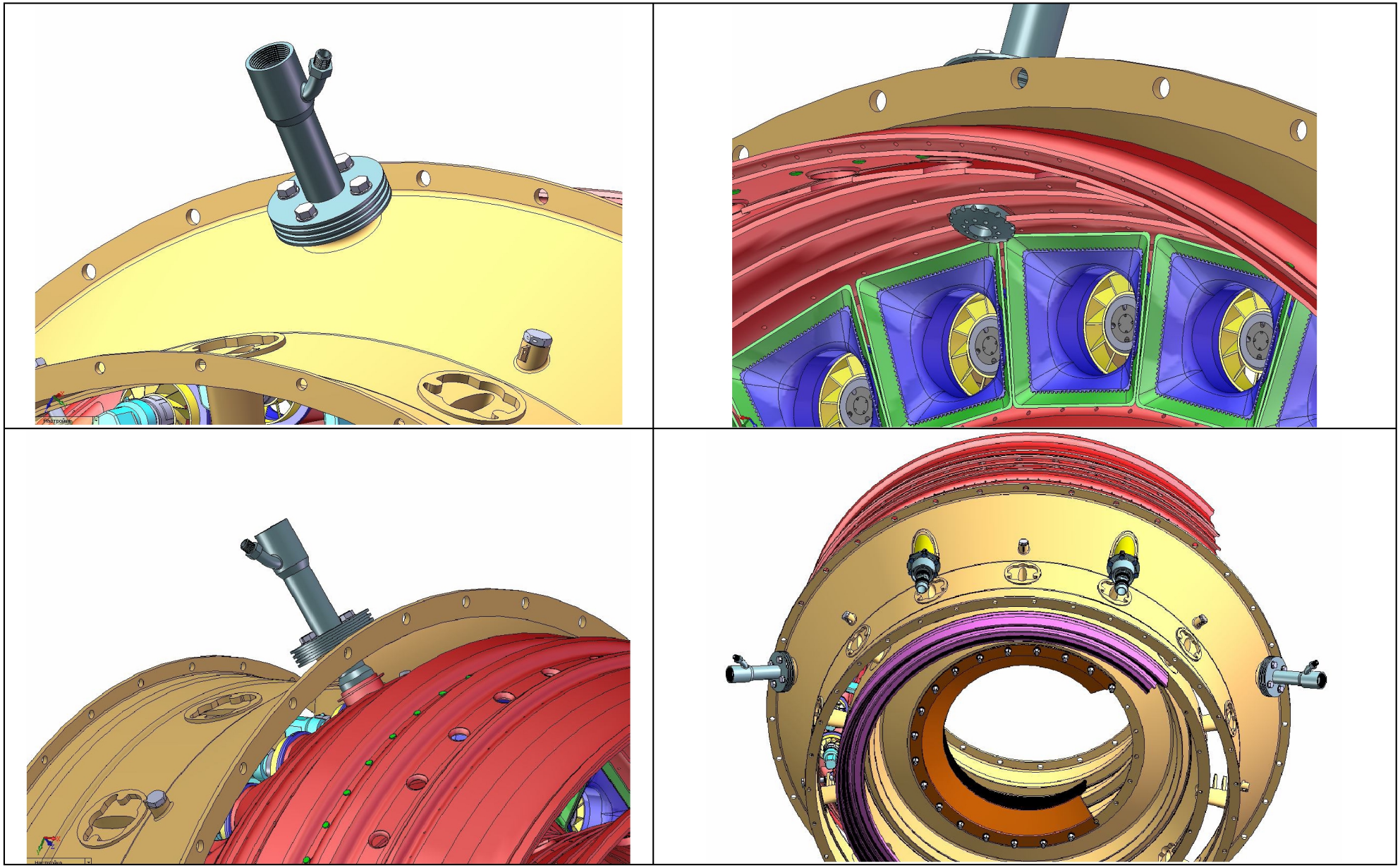


Рис. 3.16 Пусковые свечи

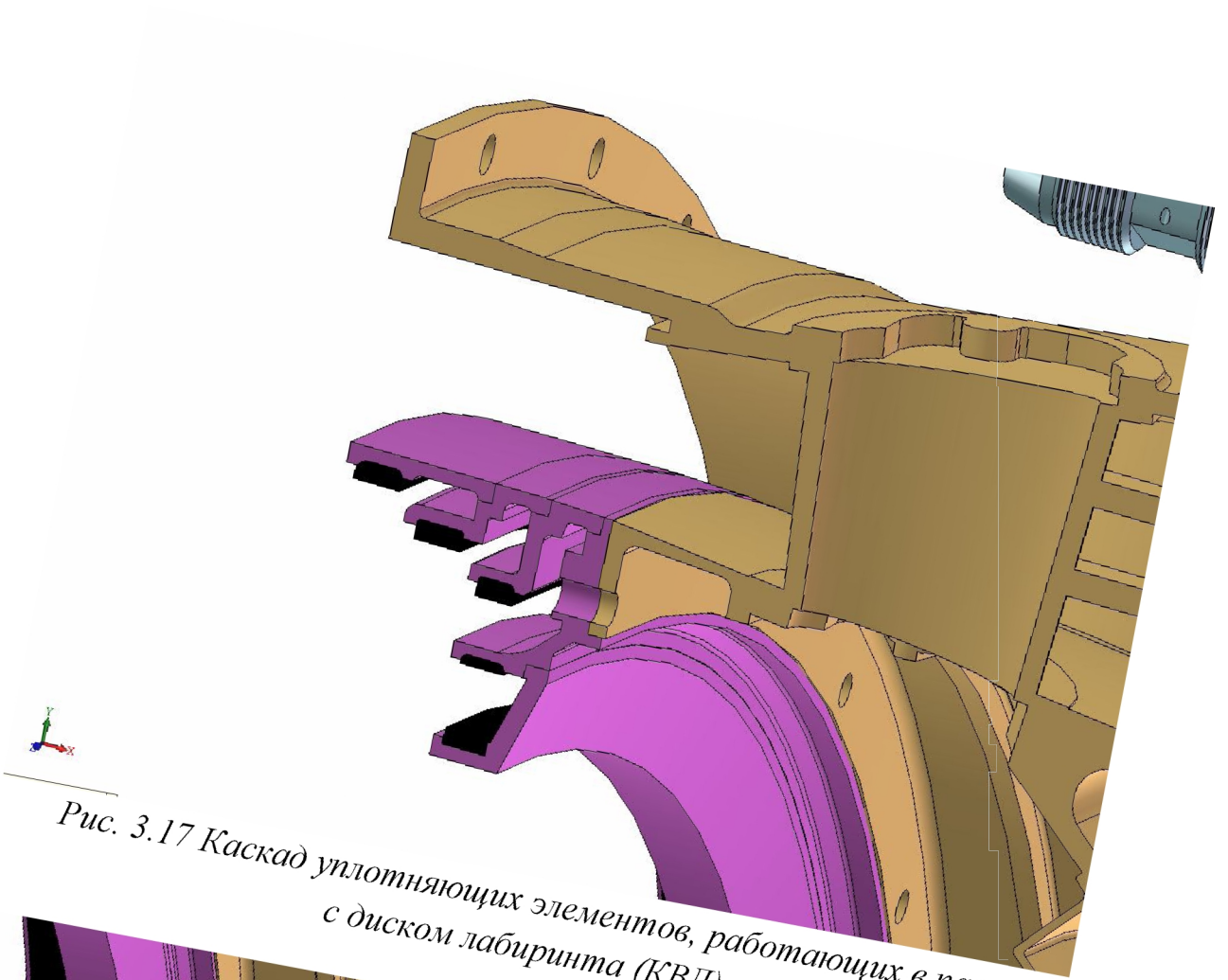


Рис. 3.17 Каскад уплотняющих элементов, работающих в паре с диском лабиринта (КВД)

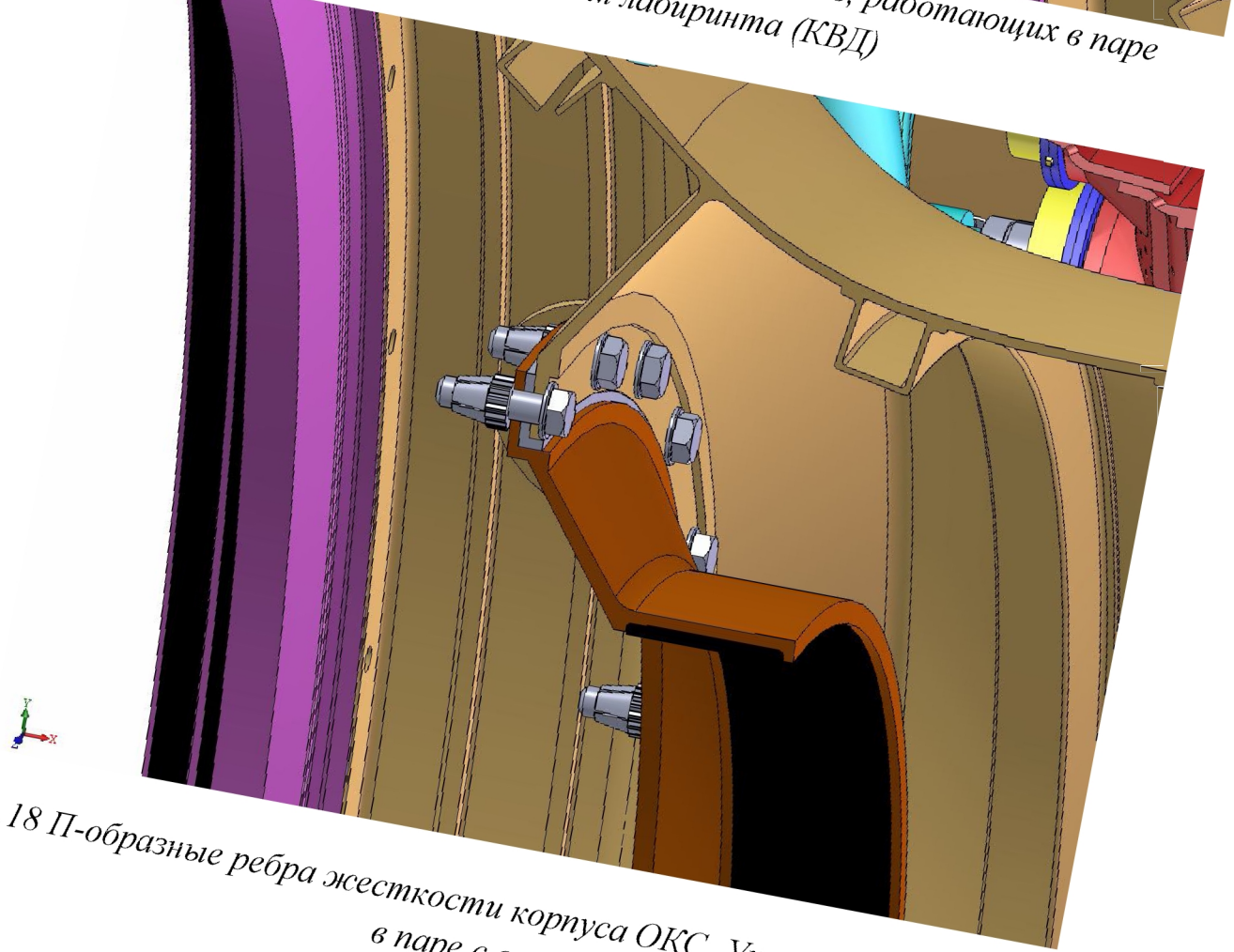


Рис. 3.18 П-образные ребра жесткости корпуса ОКС. Уплотнение, работающее в паре с валом ВД

4 ТУРБИНА

4.1Общая характеристика турбины

Турбина (рисунок 4.1) – осевая, двухступенчатая, состоит из одноступенчатой ТВД и одноступенчатой ТНД. Обе турбины имеют охлаждаемые воздухом сопловые и рабочие лопатки. На пониженных дроссельных режимах работы с целью повышения экономичности двигателя выполнено частичное отключение охлаждения турбины.

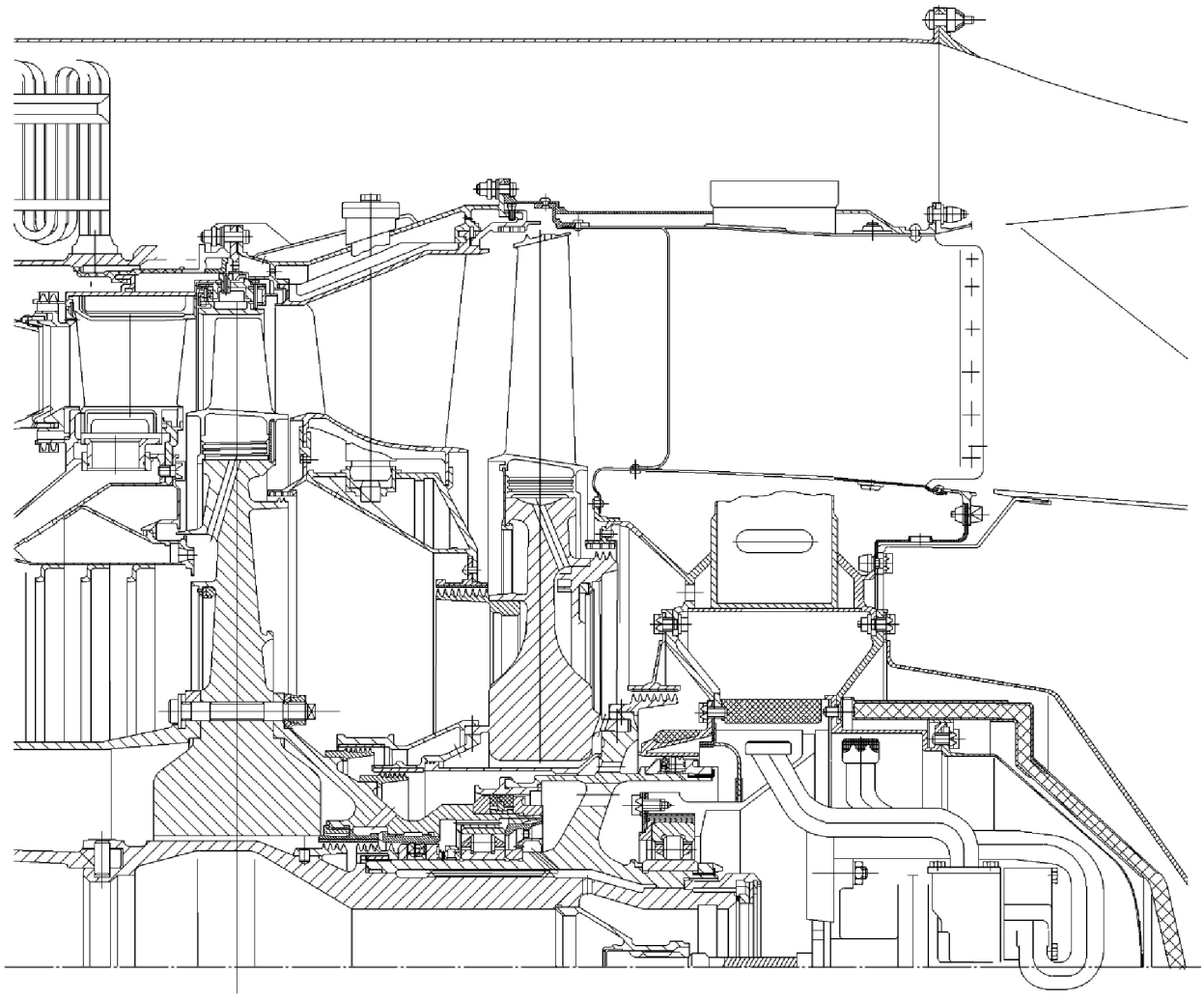


Рис. 4.1 Турбина АЛ-31Ф (лист 1 из 2)

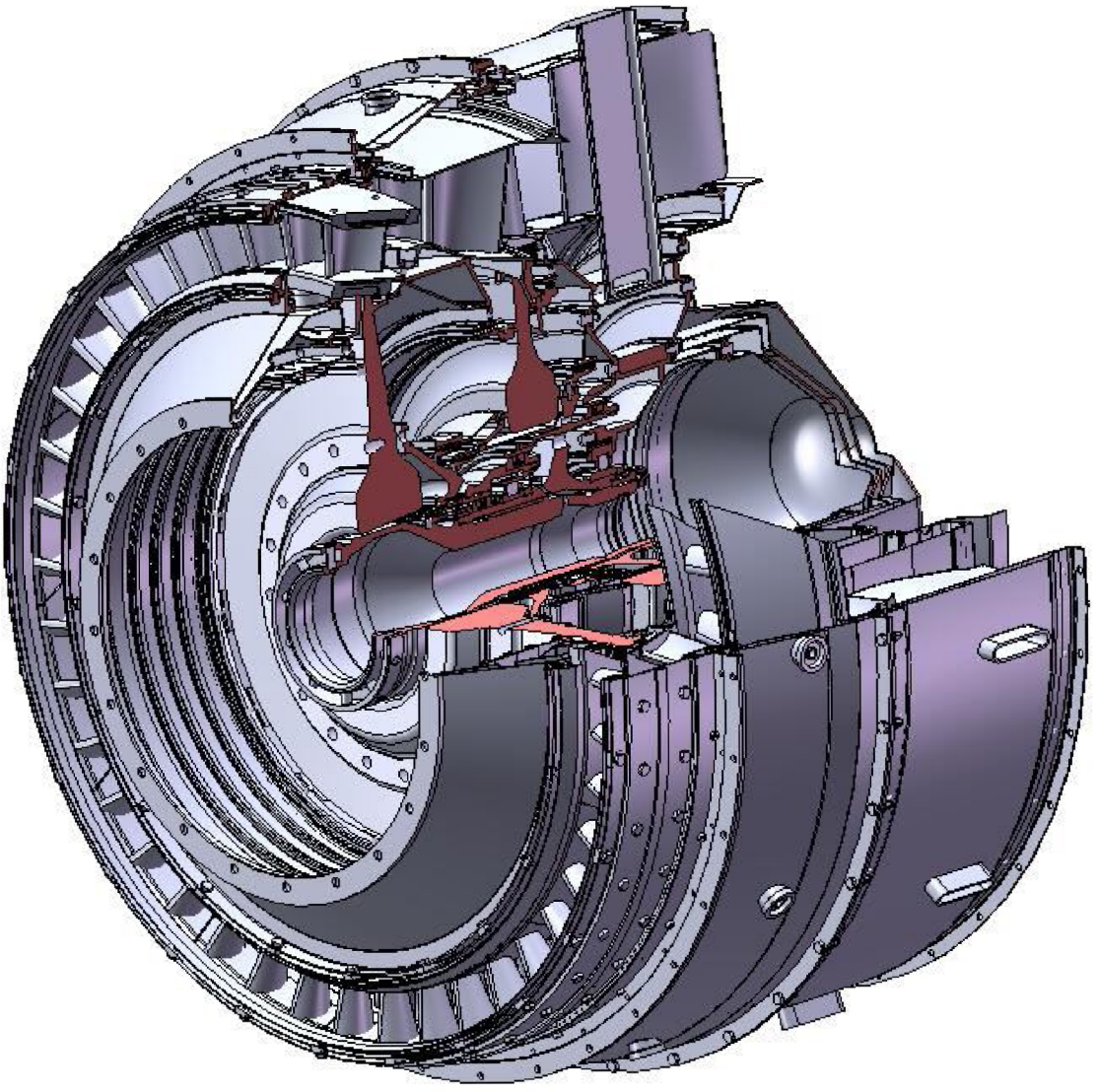


Рис. 4.1 Турбина АЛ-31Ф (лист 2 из 2)

Основные параметры и материалы деталей турбины приведены, соответственно, в таблицах 4.1 и 4.2.

Таблица 4.1

Основные данные турбины

Параметр	Значение	
	ТВД	ТНД
Степень понижения полного давления газа	2,9	2,3
КПД турбины по параметрам заторможенного потока	0,87	0,86
Окружная скорость, м/с	510	432
Частота вращения ротора, об/мин	13300	10200
Втулочное отношение	0,81	0,76
Температура газа на входе в турбину	1665	1297
$G_г$, кг/с	70	72
U/C_1	0,46	0,45

Таблица 4.2

Материалы деталей турбины

Деталь	Марка материала	
	ТВД	ТНД
Рабочие лопатки	ЖС-26	ЖС-6У
Сопловые лопатки	ЖС-6У	ЖС-6У
Диск	ЭП-742-ИД	ЭП-742-ИД
Вал	ЭП-868-Ш	ЭП-868-Ш
Корпус	ЭП-708-ВД	ЭП-708-ВД

4.2 Конструкция турбины высокого давления

Турбина высокого давления предназначена для привода компрессора высокого давления и агрегатов, установленных на коробках приводов двигательных и самолетных агрегатов. Турбина состоит из ротора и статора.

4.2.1 Ротор турбины высокого давления

Ротор турбины (рисунок 4.2) состоит из рабочих лопаток 1, диска 2, цапфы 3 и вала 4.

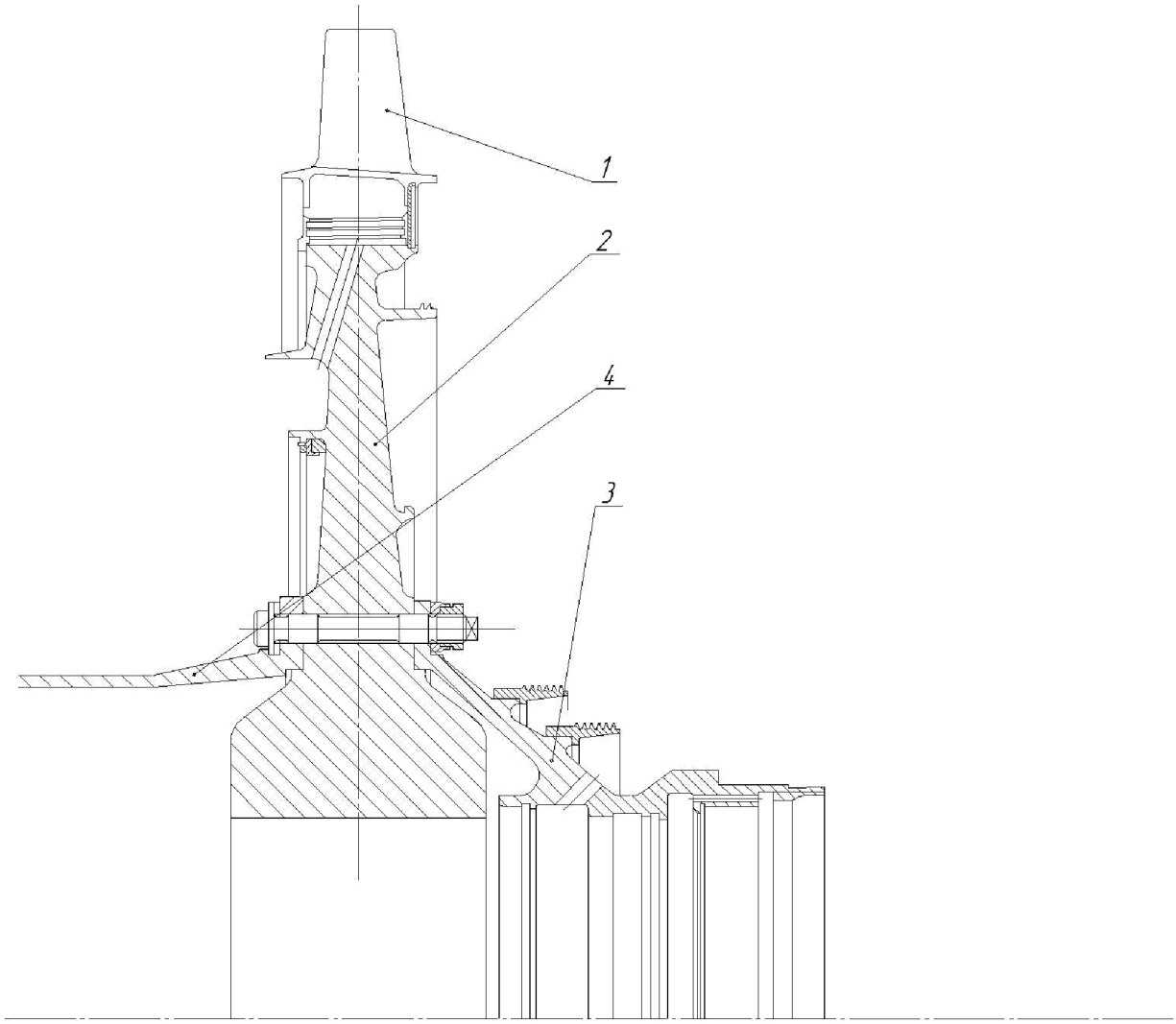


Рис. 4.2 Ротор турбины (лист 1 из 2)

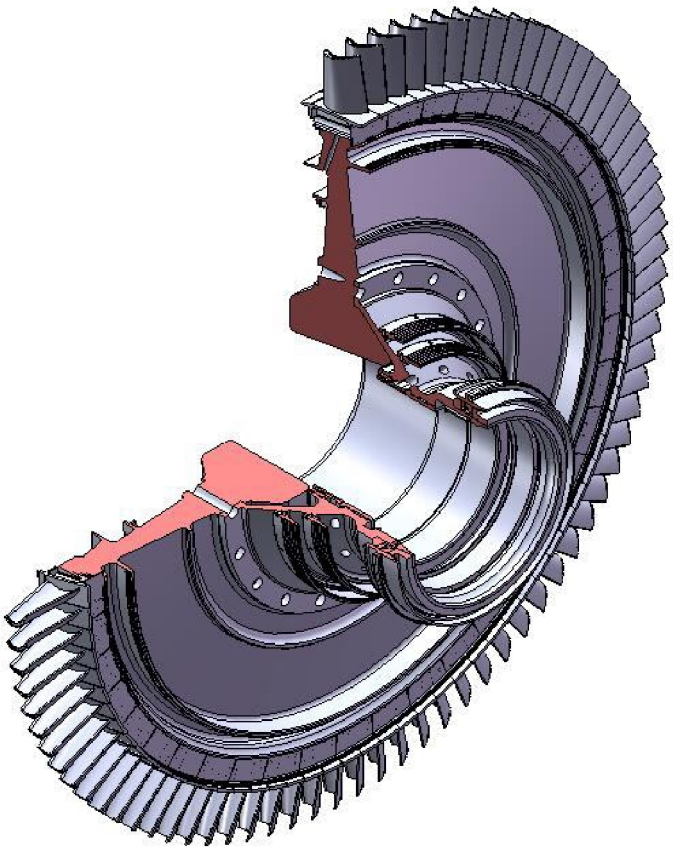


Рис. 4.2 Ротор турбины (лист 2 из 2)

Рабочая лопатка (рисунок 4.3) – литая, полая с циклонно-вихревой схемой охлаждения. Во внутренней полости, с целью организации течения охлаждающего воздуха, предусмотрены ребра, перегородки и турбулизаторы.

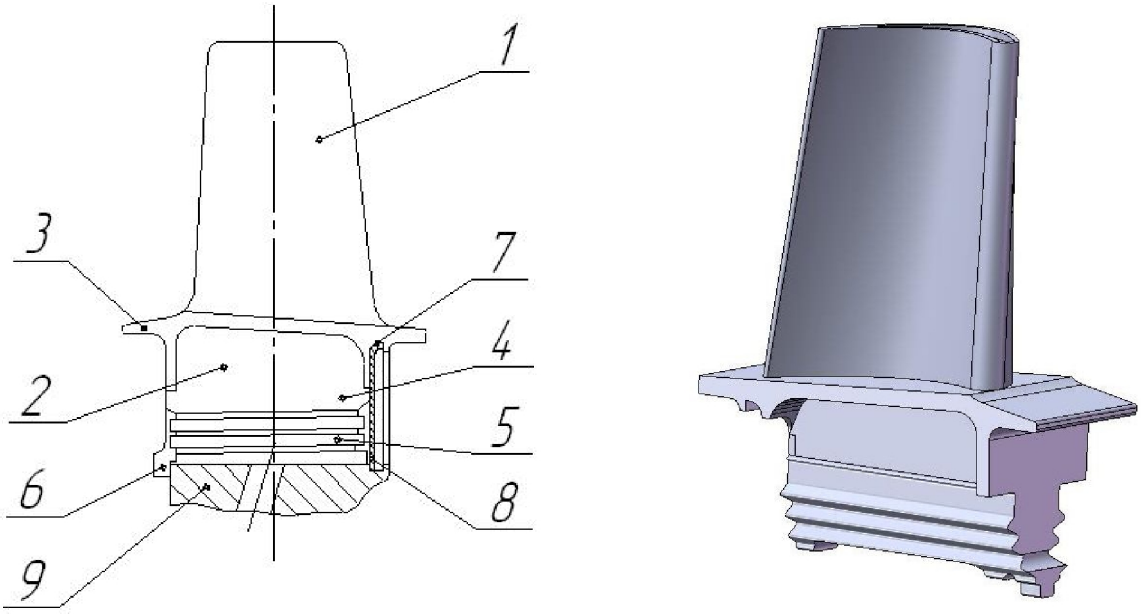


Рис. 4.3 Рабочая лопатка ТВД

Профильная часть лопатки 1 отделена от замка 2 полкой 3 и удлиненной ножкой 4. Полки лопаток, стыкуясь, образуют коническую оболочку, защищающую замковую часть лопатки от перегрева. Удлиненная ножка, обладая относительно низкой изгибной жесткостью, обеспечивает снижение уровня вибрационных напряжений в профильной части лопатки. Трехзубый замок 5 «елочного» типа обеспечивает передачу радиальных нагрузок с лопаток на диск. Зуб 6, выполненный в левой части замка, фиксирует лопатку от перемещения ее по потоку, а паз 7 совместно с элементами фиксации обеспечивает удержание лопатки от перемещения против потока (рисунок 4.4).

Осевая фиксация рабочей лопатки осуществляется зубом и пластинчатым замком. Пластинчатый замок (один на две лопатки) 8 вставляется в пазы лопаток в трех местах диска 9, где сделаны вырезы, и разгоняется по всей окружности лопаточного венца. Пластинчатые замки, устанавливаемые в месте расположения вырезов в диске, имеют особую форму. Эти замки монтируются в деформированном состоянии, а после выпрямления входят в пазы лопаток. При выпрямлении пластинчатого замка лопатки поддерживают с противоположных торцов.

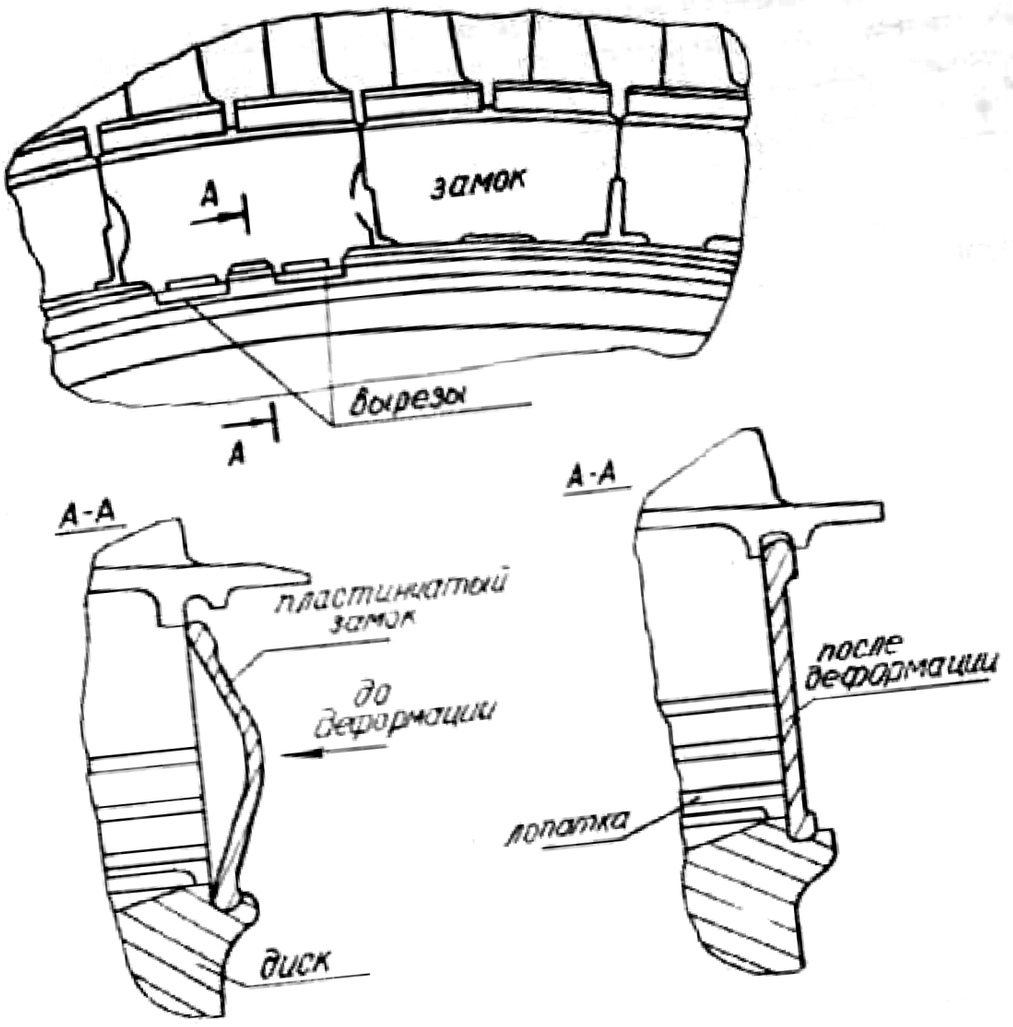


Рис. 4.4 Осевая фиксация рабочих лопаток ТВД (лист 1 из 2)

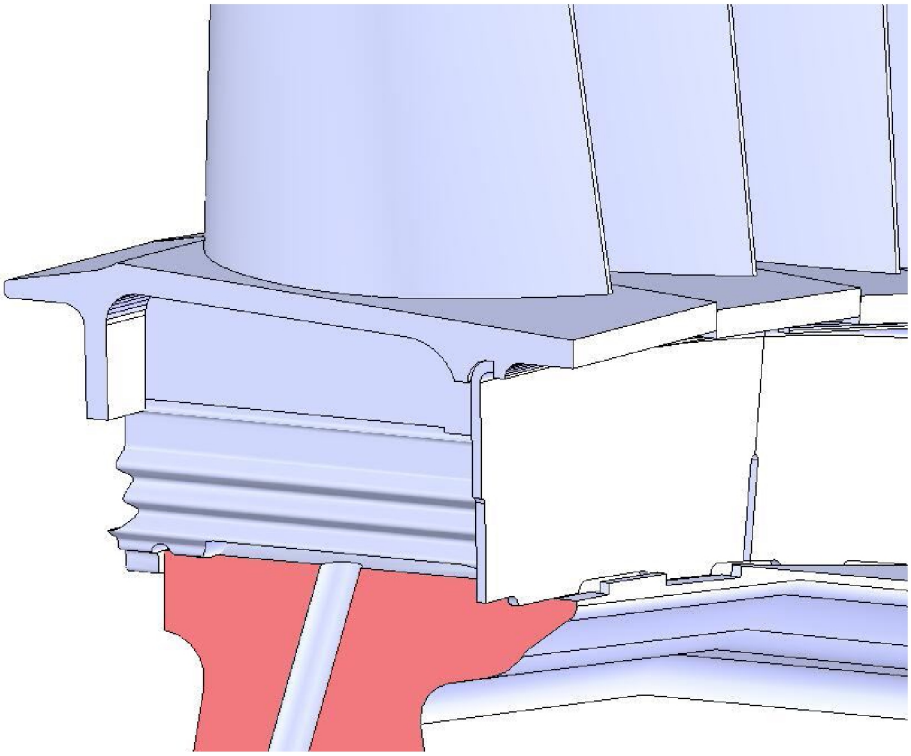


Рис. 4.4 Осевая фиксация рабочих лопаток ТВД (лист 2 из 2)

Для снижения уровня вибрационных напряжений в рабочих лопатках между ними под полками размещают демпферы, имеющие коробчатую конструкцию (рисунок 4.5). При вращении ротора под действием центробежных сил демпферы прижимаются к внутренним поверхностям полок вибрирующих лопаток. За счет трения в местах контакта двух соседних полок об один демпфер энергия колебаний лопаток будет рассеиваться, что и обеспечит снижение уровня вибрационных напряжений в лопатках.

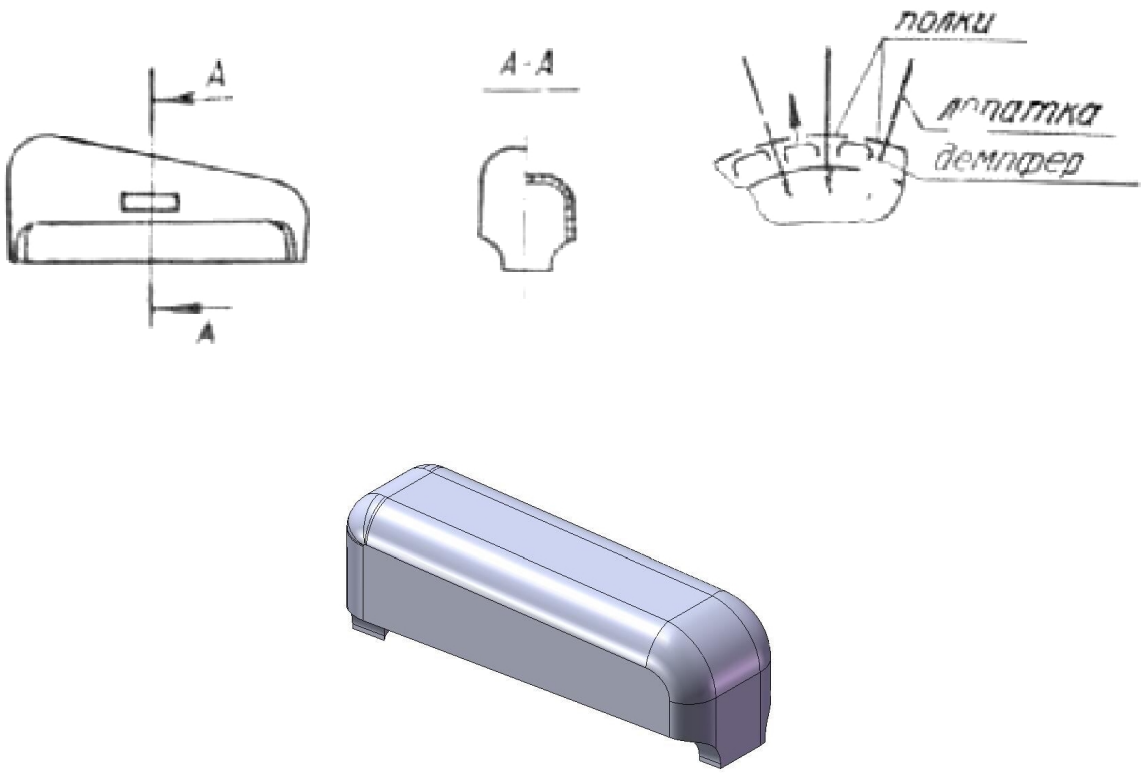


Рис. 4.5 Демпфер

Диск (рисунок 4.6) турбины штампованный, с последующей механической обработкой. В периферийной части диска выполнены пазы «елочного» типа для крепления 90 рабочих лопаток, канавки 1 для размещения пластинчатых замков осевой фиксации лопаток и наклонные отверстия 2 подвода воздуха, охлаждающего рабочие лопатки. Воздух отбирается из ресивера, образованного двумя буртиками, левой боковой поверхностью диска и аппаратом закрутки. На правой плоскости полотна диска выполнены буртик 3 лабиринтного уплотнения и буртик 4, используемый при демонтаже диска. В ступичной плоской части диска выполнены цилиндрические отверстия 5 под призонные болты, соединяющие вал, диск и цапфу ротора турбины.

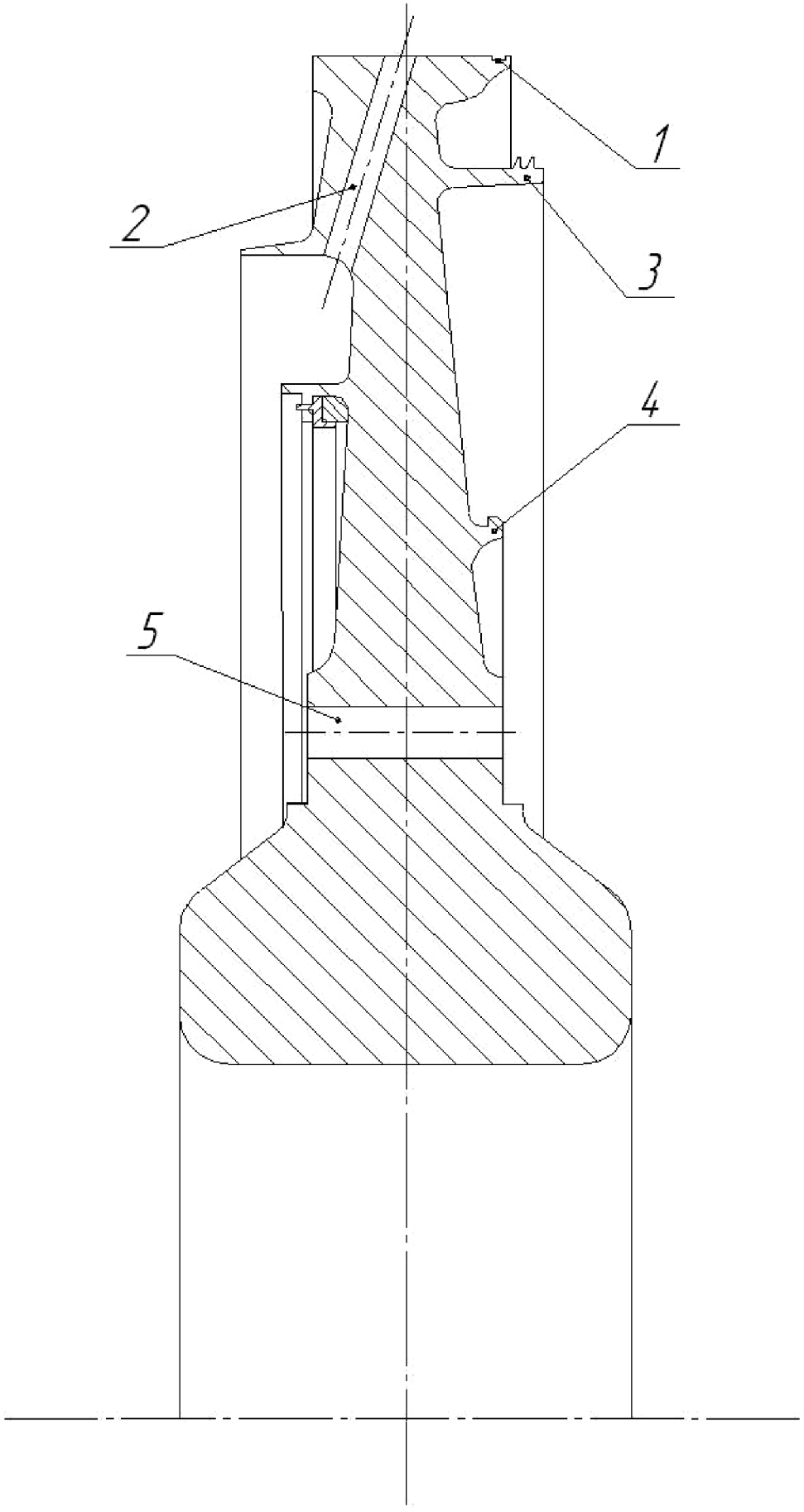


Рис. 4.6 Диск ТВД (лист 1 из 2)

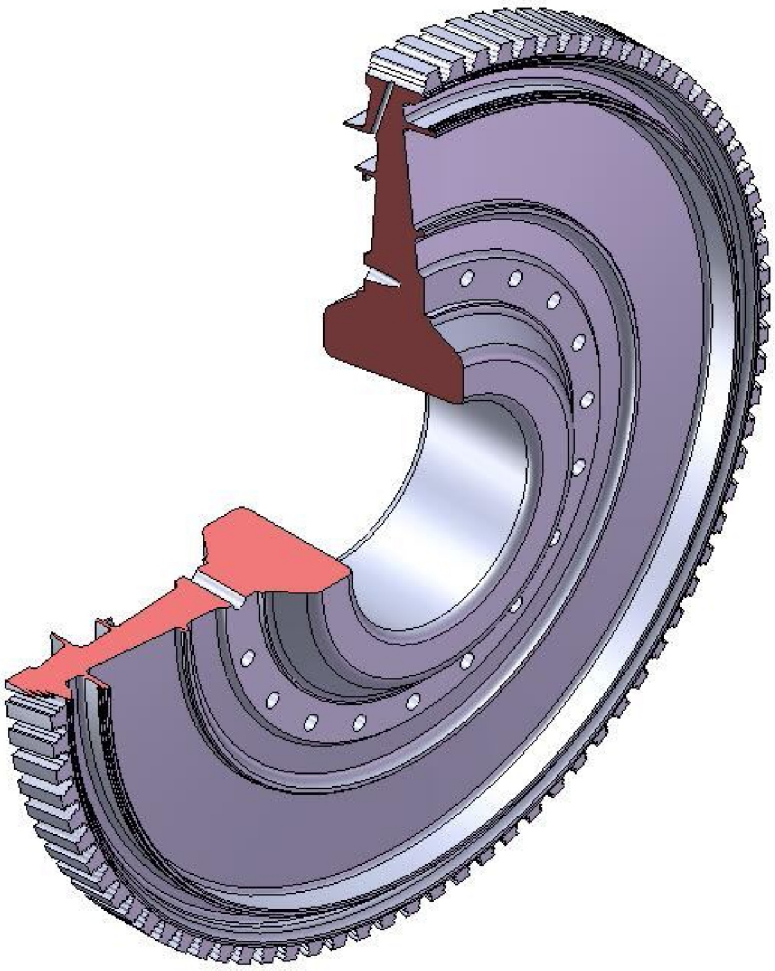


Рис. 4.6 Диск ТВД (лист 2 из 2)

Балансировка ротора осуществляется грузиками (рисунок 4.7), закрепляемыми в проточке буртика диска и зафиксированными замком. Хвостовик замка загибается на балансировочный грузик.

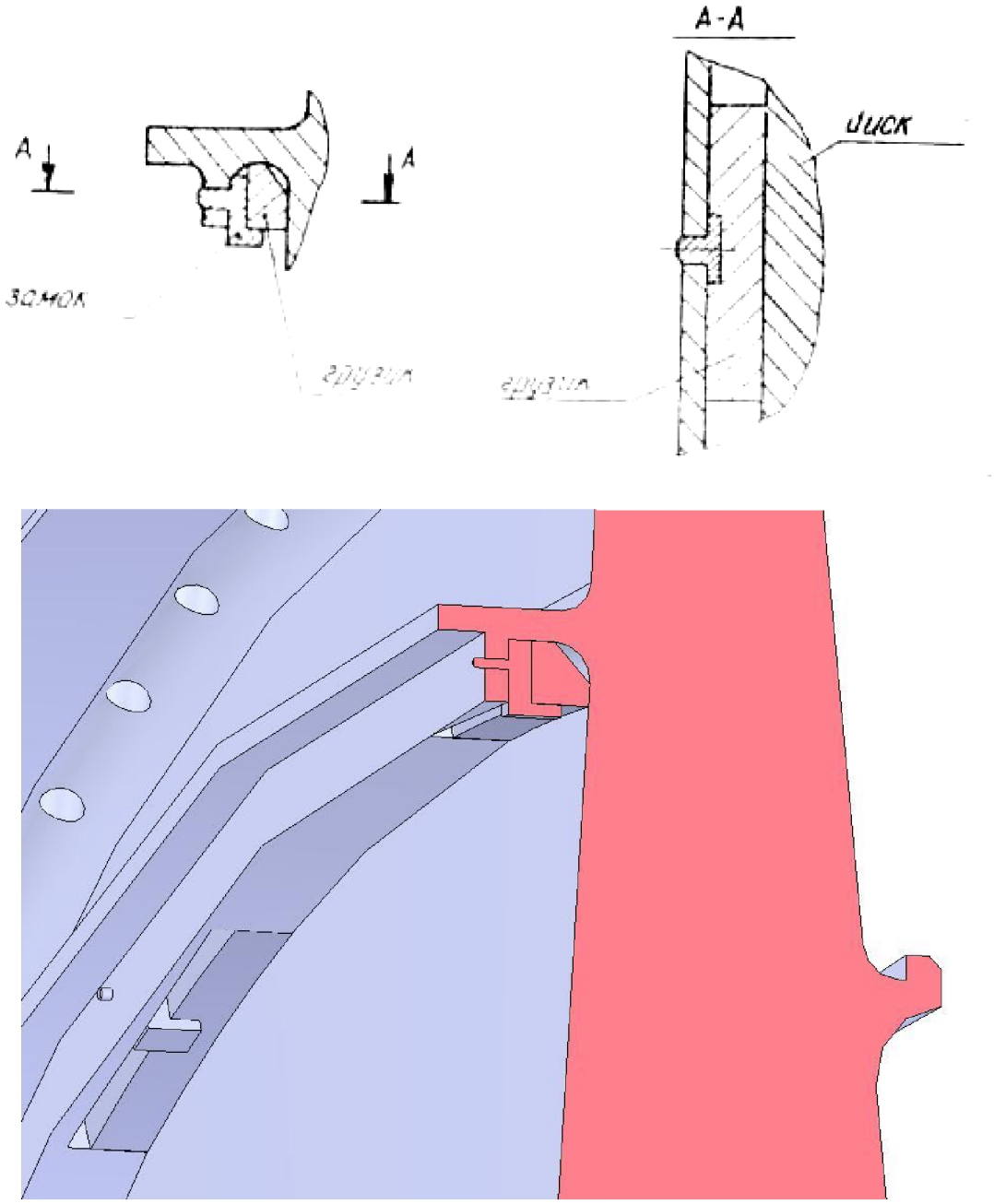


Рис. 4.7 Узел крепления балансировочного груза ротора

Цапфа 1 (рисунок 4.8) обеспечивает опирание ротора о роликовый подшипник. Левым фланцем цапфа центрируется и соединяется с диском турбины. На наружных цилиндрических проточках цапфы размещены втулки 2 лабиринтных уплотнений. Осевая и окружная фиксация втулок осуществляется радиальными штифтами 3. Для предотвращения выпадания штифтов под воздействием центробежных сил после их запрессовки отверстия во втулках завальцовываются.

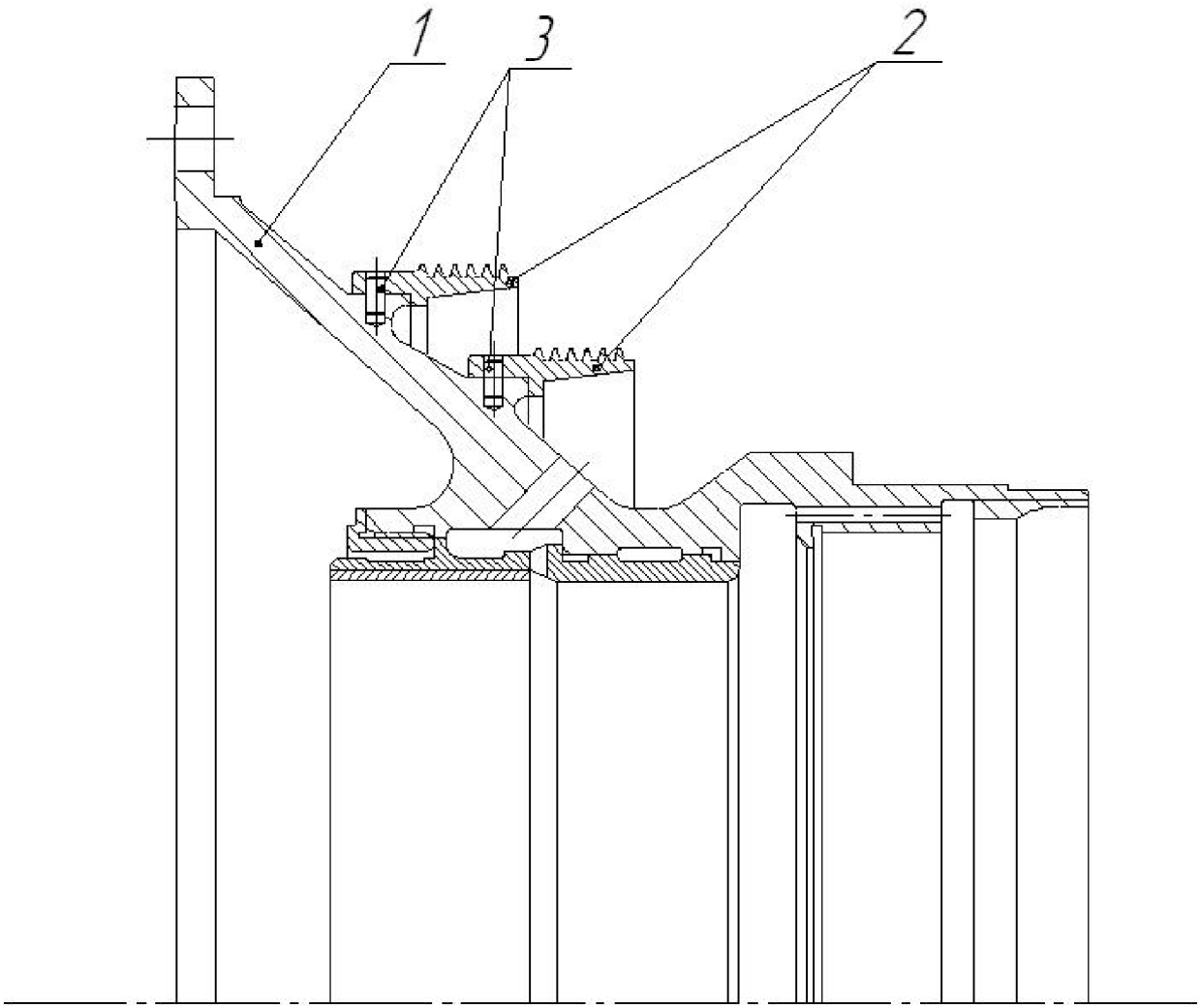


Рис. 4.8 Цапфа ТВД (лист 1 из 2)

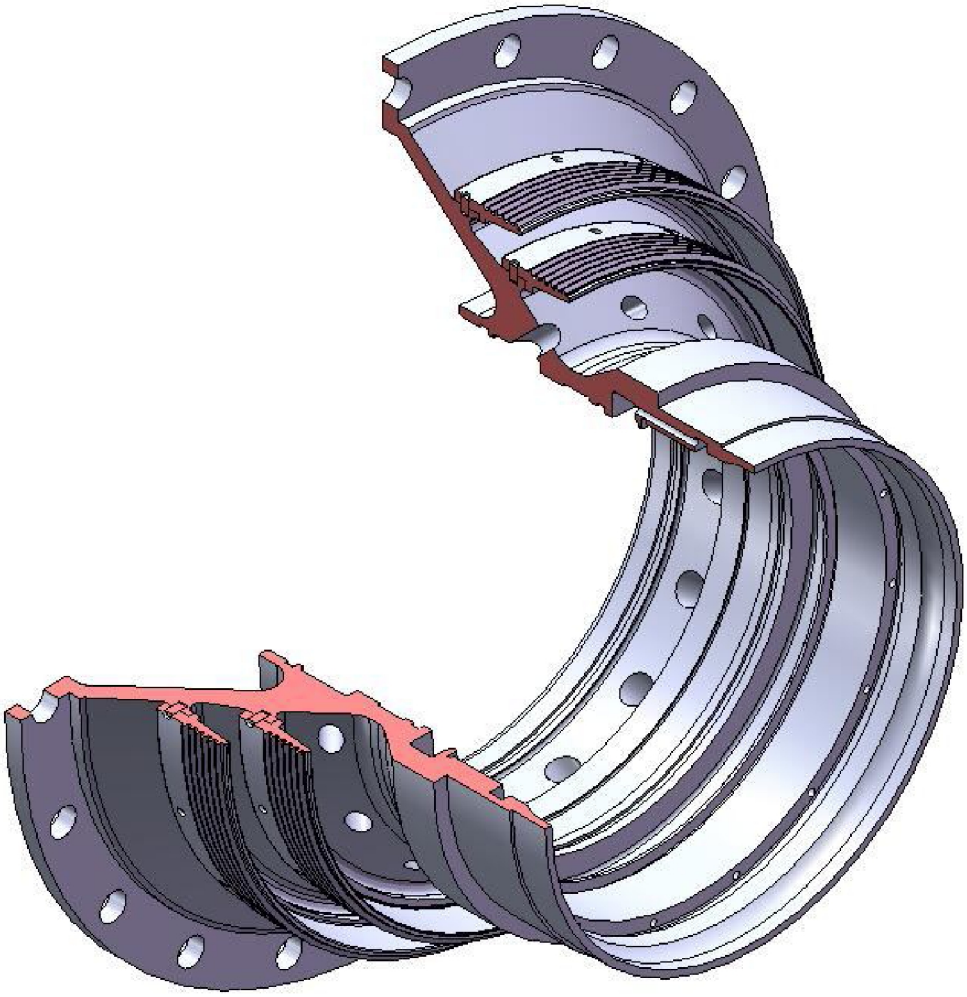


Рис. 4.8 Цапфа ТВД (лист 2 из 2)

На наружной части хвостовика цапфы, ниже втулок лабиринтного уплотнения, размещено контактное уплотнение (рисунок 4.9), зафиксированное корончатой гайкой. Гайка законтрена пластинчатым замком.

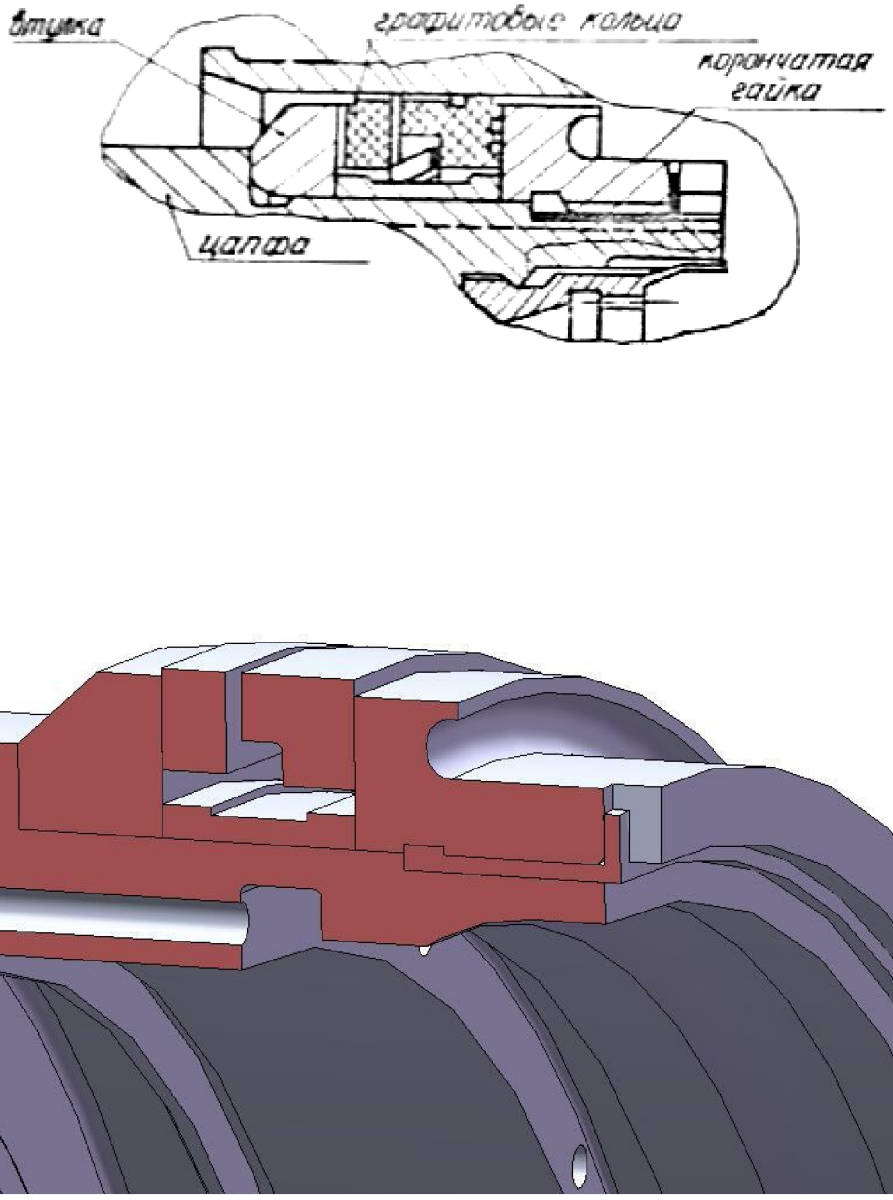


Рис. 4.9 Узел контактного уплотнения

Внутри цапфы в цилиндрических поясках центрируются втулки контактного и лабиринтного уплотнений. Втулки удерживаются корончатой гайкой, ввернутой в резьбу цапфы. Гайка законтривается отгибом усиков коронки в торцевые прорези цапфы. Контактное уплотнение показано на рисунок 4.10.

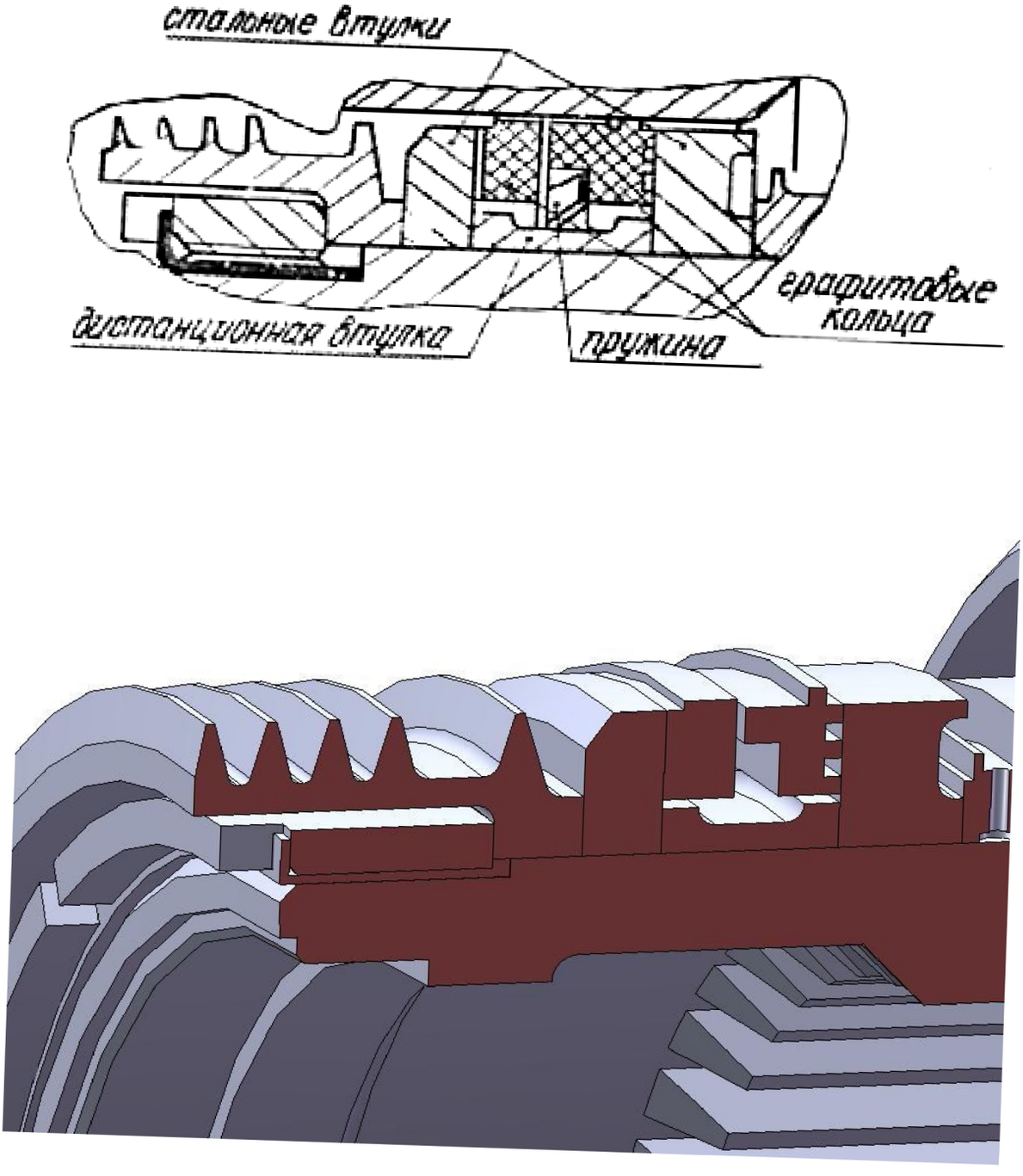


Рис. 4.10 Узел контактного уплотнения

4.2.2 Статор турбины высокого давления

Статор турбины высокого давления состоит (рисунок 4.11) из наружного кольца 1, блока сопловых лопаток 2, внутреннего кольца 3, аппарата закрутки 4, устройства стабилизации радиального зазора 5, клапанного аппарата и воздухо-воздушного теплообменника 6.

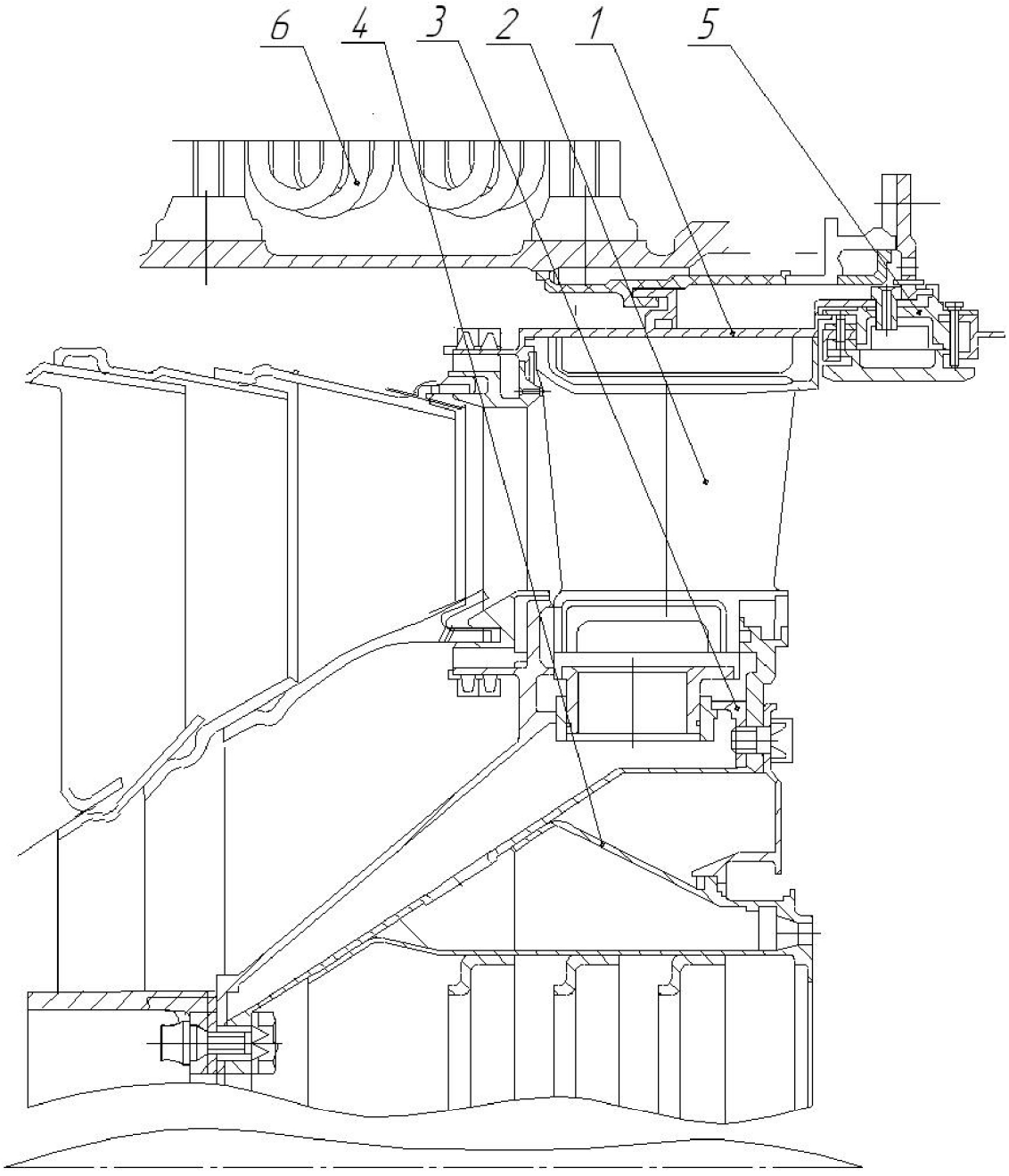


Рис. 4.11 Статор ТВД (лист 2 из 2)

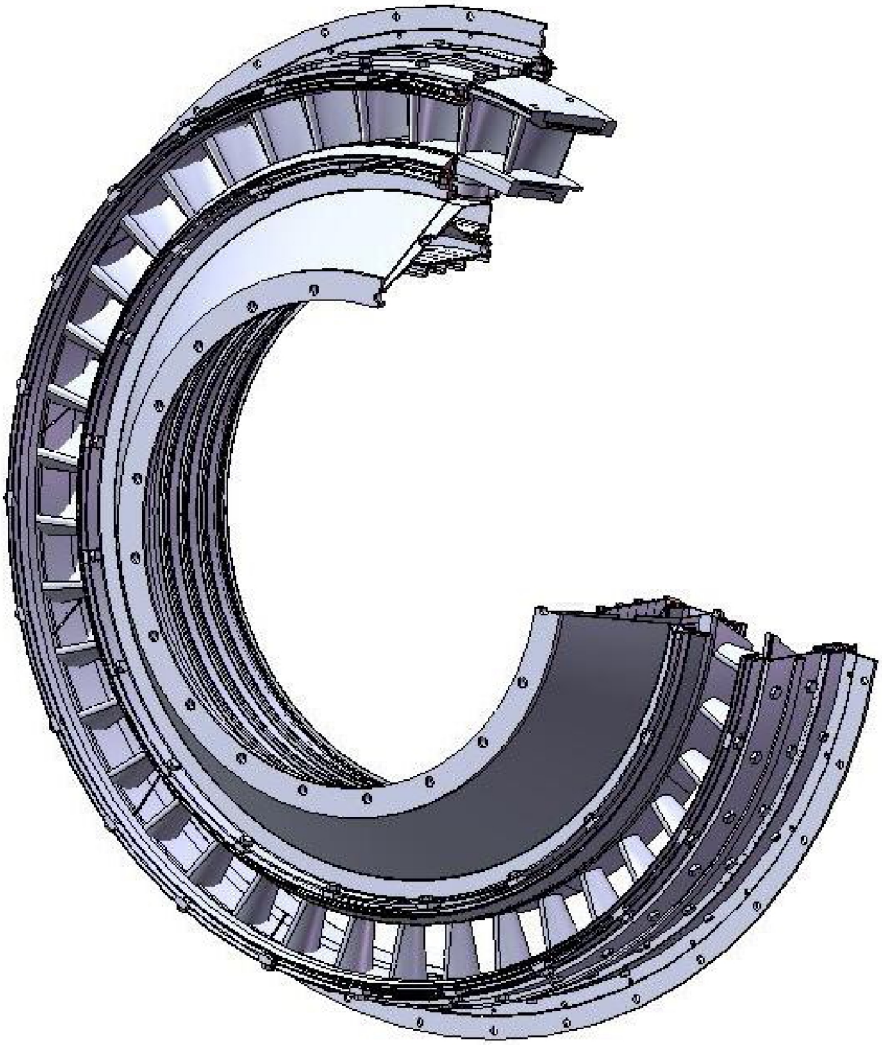


Рис. 4.11 Статор ТВД (лист 2 из 2)

Наружное кольцо (рисунок 4.12) – цилиндрическая оболочка с фланцем, расположенным между корпусом камеры сгорания и корпусом турбины. В левой части кольца на винтах 1 присоединены оболочки 2, являющиеся опорами жаровой трубы 3 камеры сгорания и обеспечивающие подвод охлаждающего воздуха на наружные полки лопаток соплового аппарата. В правой части кольца подвешено устройство 4 обеспечения радиального зазора.

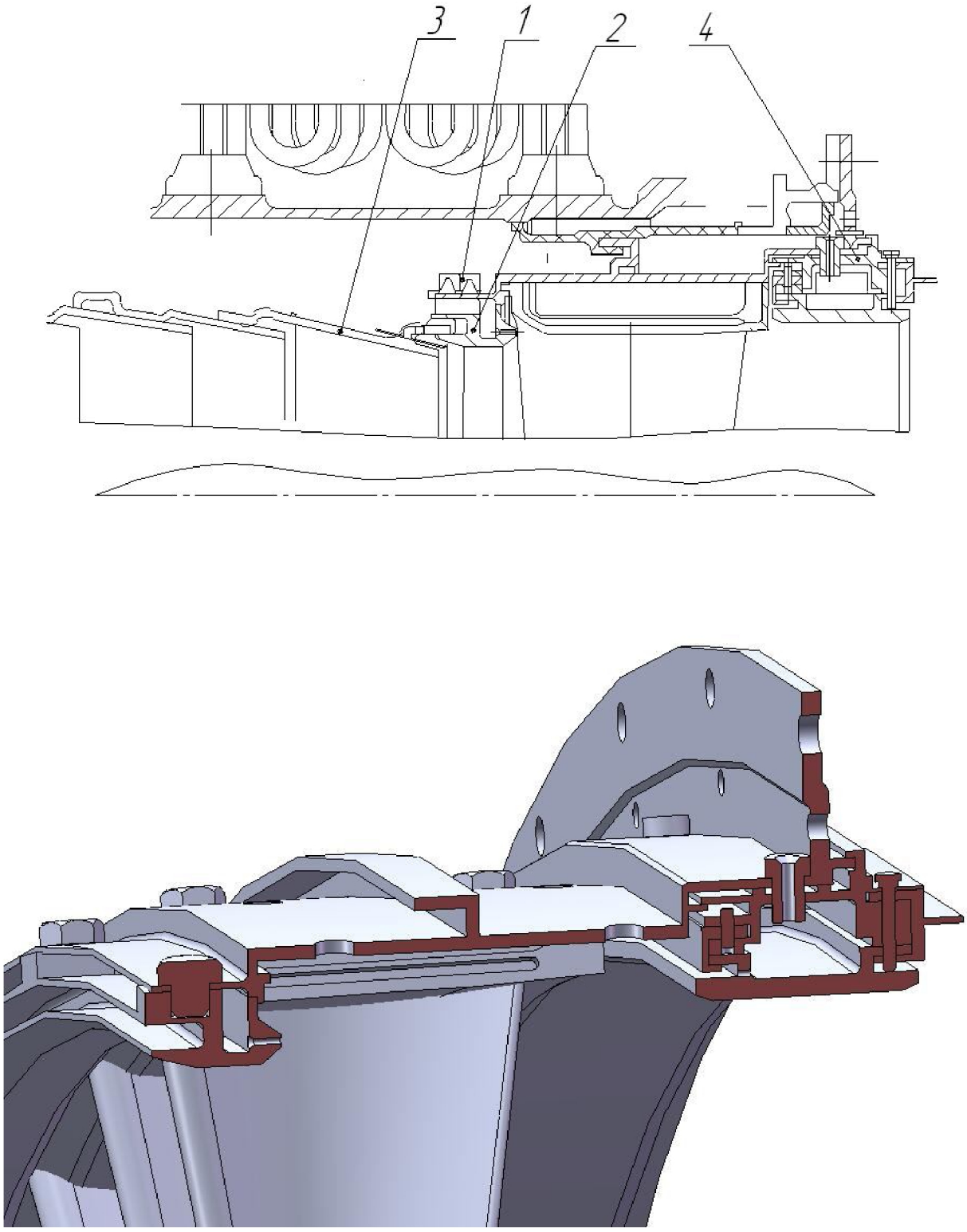


Рис. 4.12 Наружное кольцо статора ТВД

Лопатки соплового аппарата объединены в 14 трехлопаточных блоков (рисунок 4.13). Наружные полки блоков лопаток установлены в пазах наружного

кольца и закреплены винтами. Лопаточные блоки литые, с вставными и припаянными в двух местах дефлекторами, с припаянной нижней полкой-цапфой. Для предотвращения перетечек газа стыки между блоками сопловых лопаток уплотнены металлическими пластинами, установленными в прорезях на торцах полок первой и третьей лопаток каждого блока.

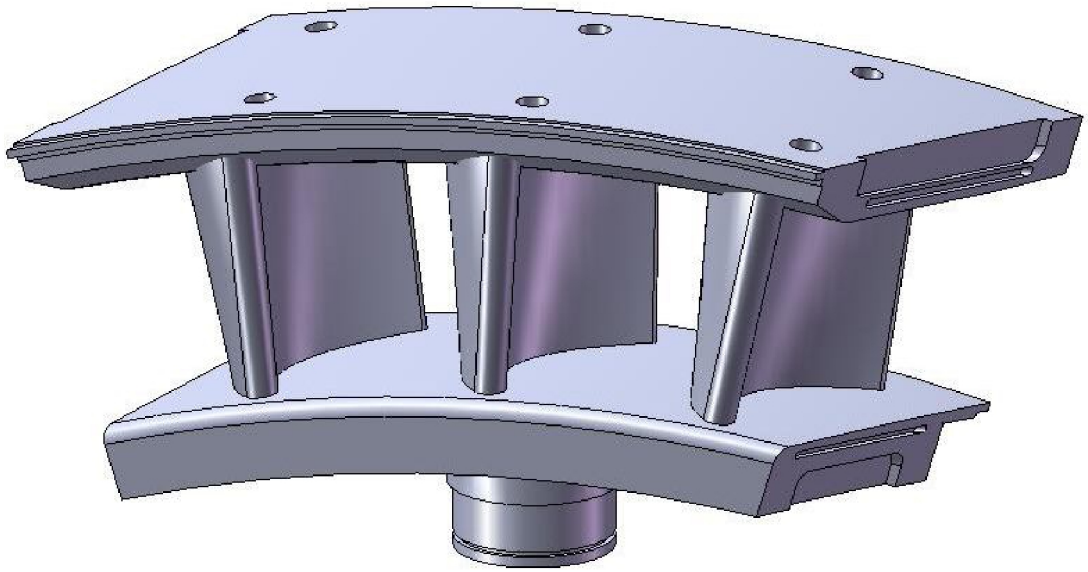


Рис. 4.13 Блок лопаток соплового аппарата ТВД

Внутреннее кольцо (рисунок 4.14) выполнено в виде оболочки с втулками и фланцами, к которым приварена коническая диафрагма. На внешней стороне кольца 1 расположены четырнадцать втулок 2 для центрирования его на цапфах 3 блоков сопловых лопаток. Крышка 4 служит для образования полости охлаждающего воздуха. На левом фланце внутреннего кольца 1 винтами 5 присоединены оболочки 6, на которые опирается жаровая труба 7. Они же обеспечивают подвод вторичного воздуха от ОКС, охлаждающего внутренние полки лопаток соплового аппарата. На правом фланце 4 приварен аппарат 8 закрутки (рисунок 4.15), представляющий собой сварную оболочковую конструкцию. Аппарат закрутки предназначен для подачи и охлаждения воздуха, идущего к рабочим лопаткам за счет разгона и закрутки по направлению вращения турбины. Для по-

вышения жесткости внутренней оболочки к ней приварены три подкрепляющих профиля 9. Разгон и закрутка охлаждающего воздуха происходит в сужающейся части аппарата закрутки.

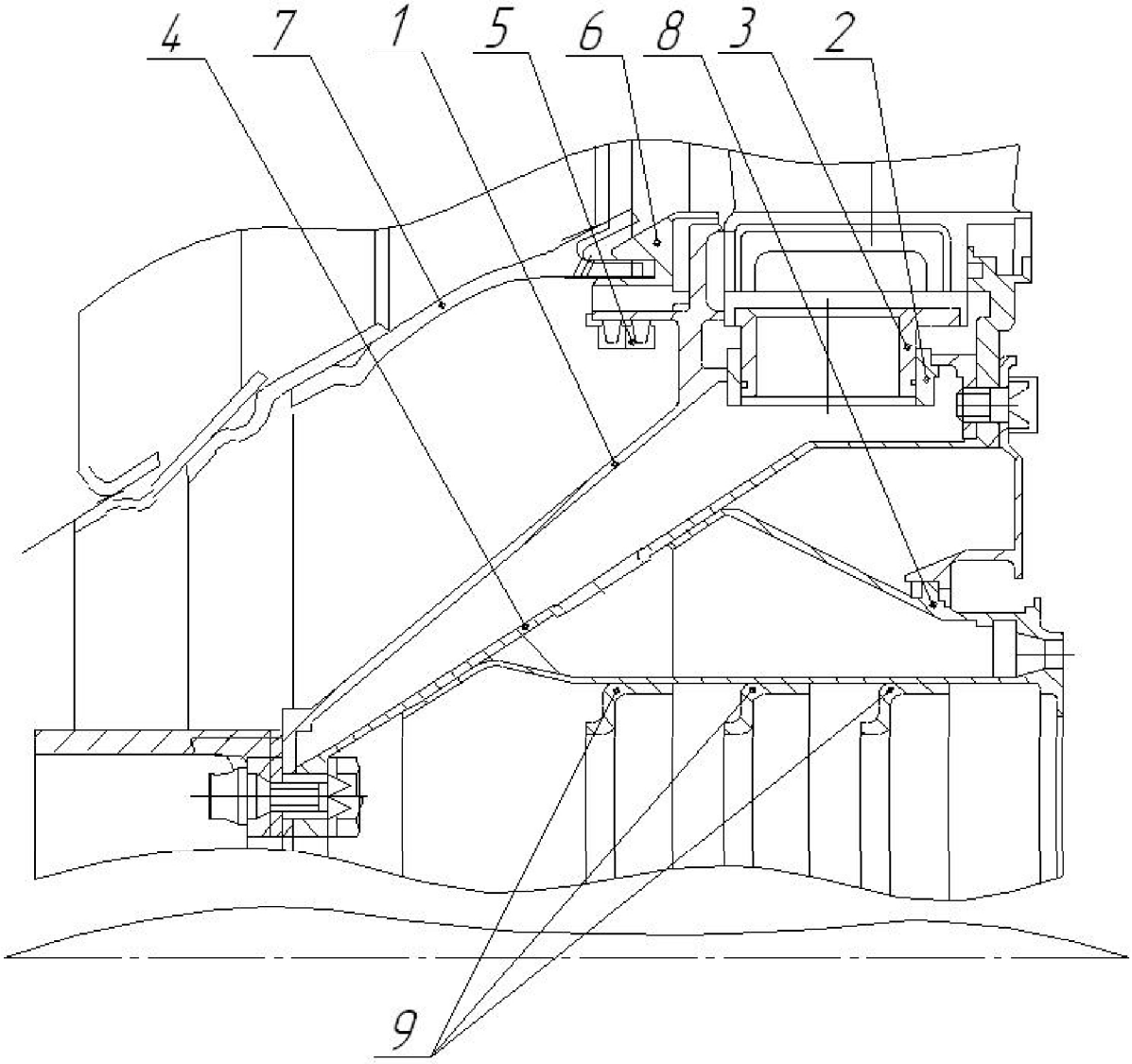


Рис. 4.14 Внутреннее кольцо статора ТВД (лист 1 из 2)

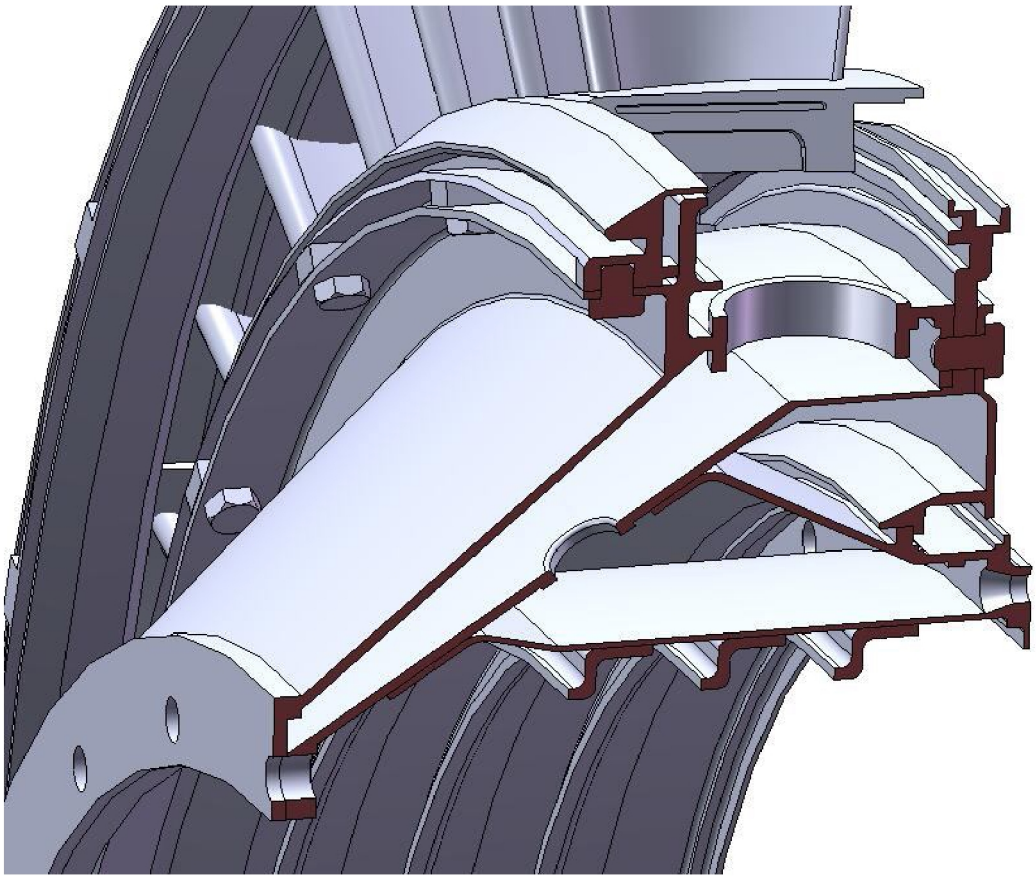


Рис. 4.14 Внутреннее кольцо статора ТВД (лист 2 из 2)

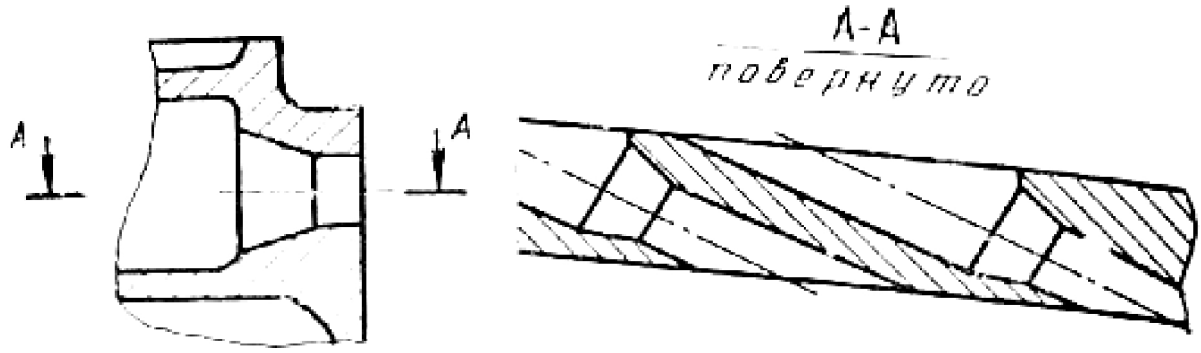


Рис. 4.15 Сопловой аппарат устройства закрутки воздуха ТВД (лист 1 из 2)

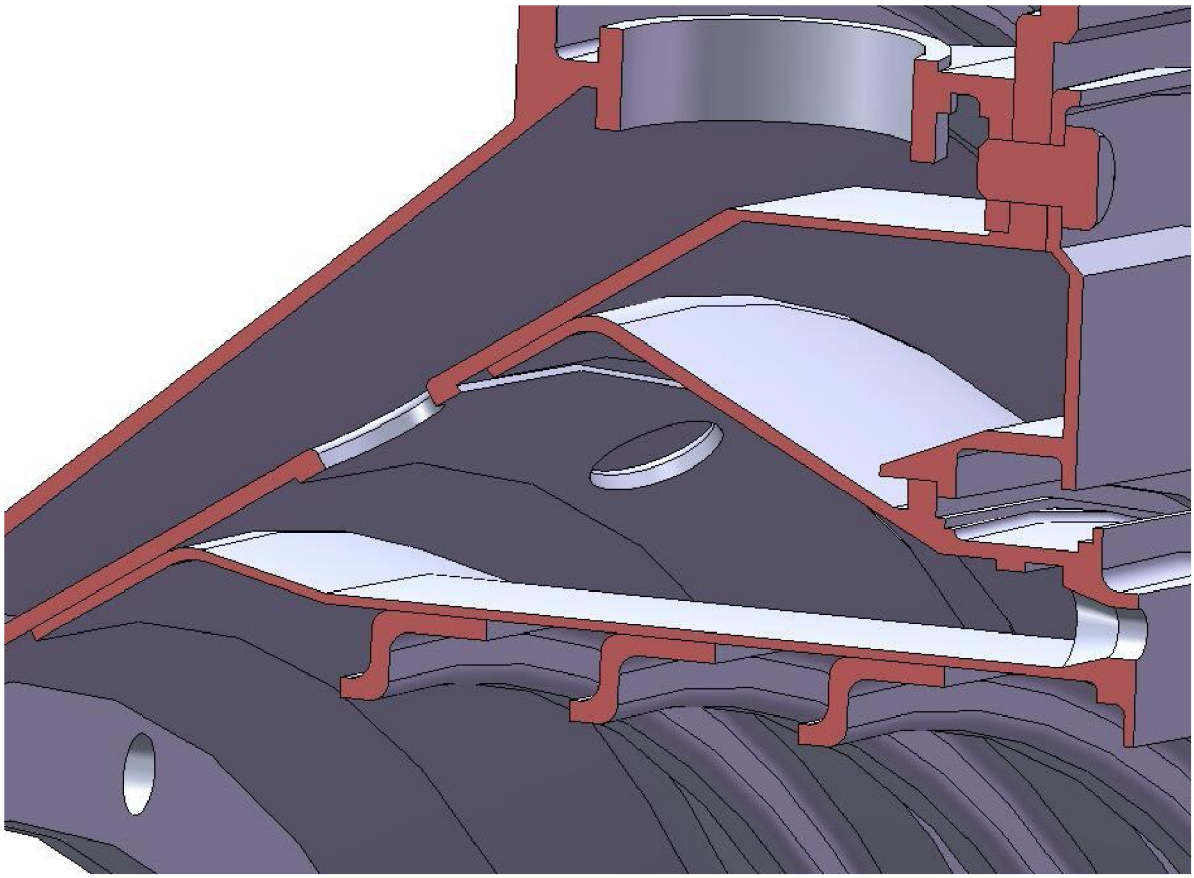


Рис. 4.15 Сопловой аппарат устройства закрутки воздуха ТВД (лист 2 из 2)

Устройство стабилизации радиального зазора (рисунок 4.16) предназначено для повышения КПД турбины на повышенных режимах. Оно представляет собой кольцо, тепловое состояние которого, а следовательно, и диаметр стабилизирован охлаждением. При увеличении режима, когда диаметр ротора увеличивается за счет разогрева лопаток и диска и их растяжения под действием центробежных сил, величина радиального зазора уменьшается, что приводит к снижению перетекания через зазор и повышению КПД турбины. На кольце "С"-образными секторами закреплены вставки с сотами, выполненными электроэрозией. В окружном направлении вставки зафиксированы радиальными штифтами. При касании лопаток о вставки происходит взаимный износ, что и предотвращает разрушение лопаток.

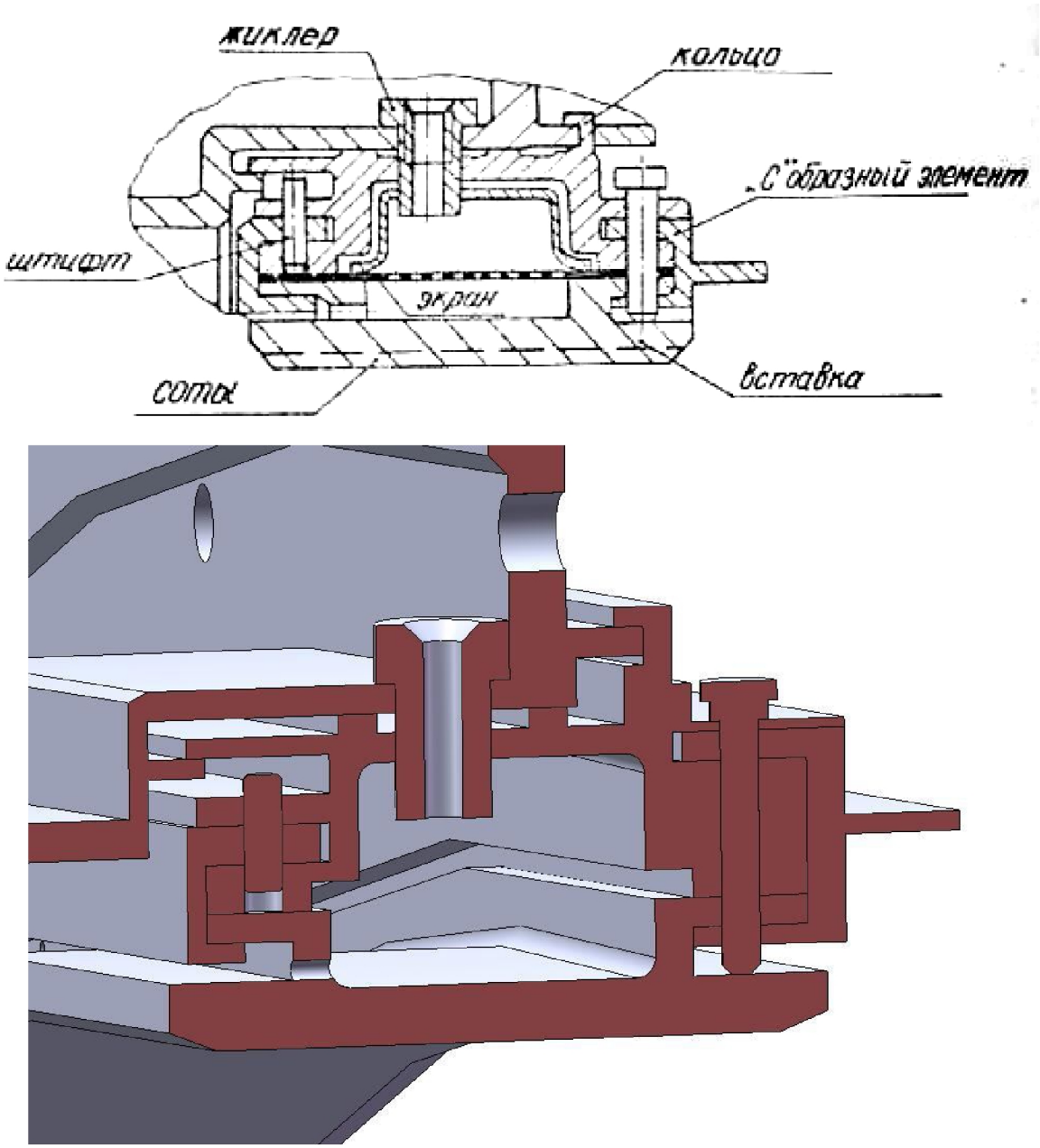


Рис. 4.16 Узел устройства, регулирующего радиальный зазор в ТВД

В полость через жиклер входит охлаждающий воздух. Этот воздух, проходя через отверстия экрана, охлаждает вставку и выходит в газовый тракт через зазоры и отверстия.

4.3 Конструкция турбины низкого давления

Турбина низкого давления предназначена для привода вентилятора и агрегатов. Турбина состоит из ротора и статора.

4.3.1 Ротор турбины низкого давления

Ротор турбины низкого давления (рисунок 4.17) состоит из лопаток 1, закрепленных на диске 2, напорного диска 3, цапфы 4 и вала 5.

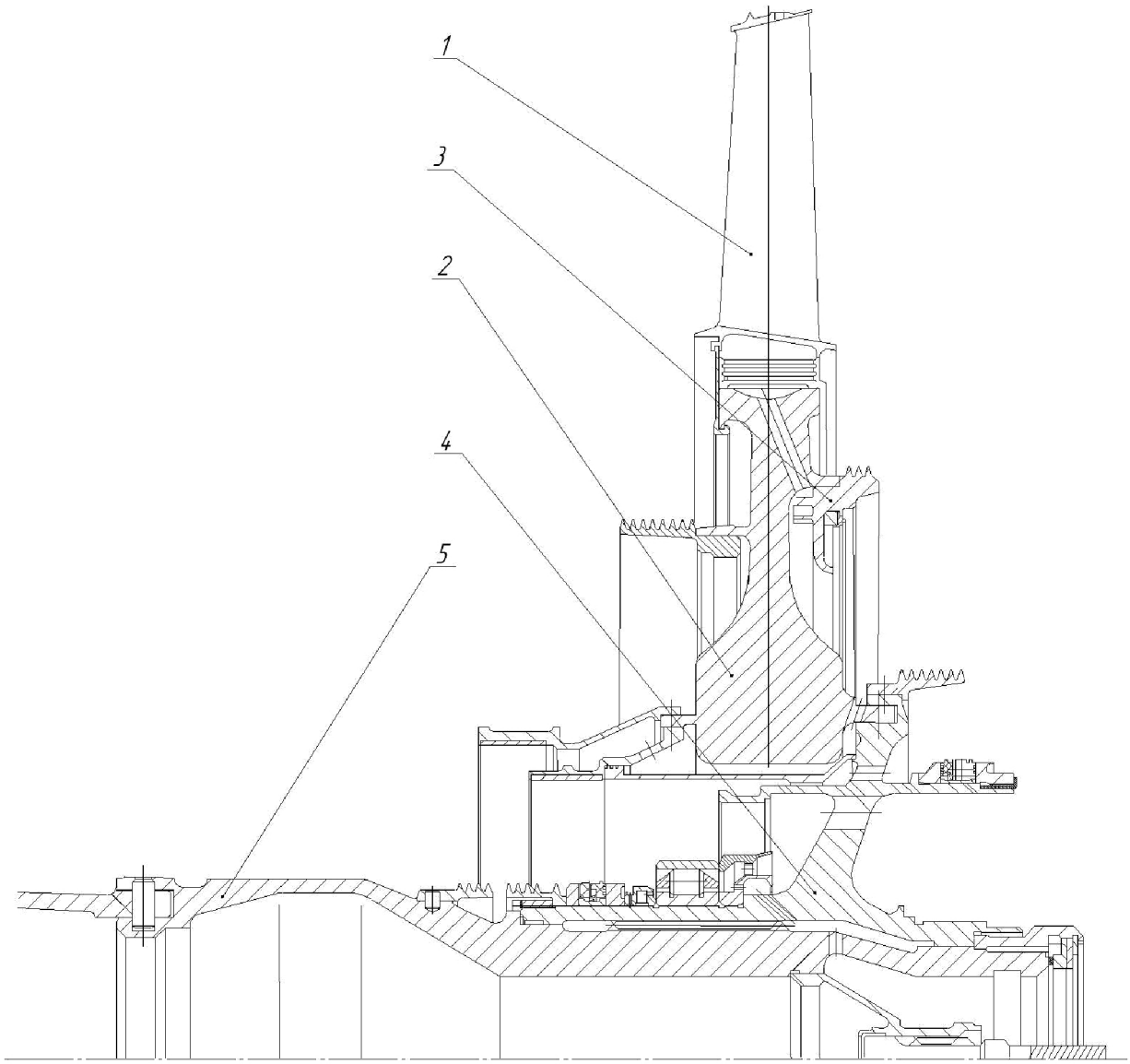


Рис. 4.17 Ротор ТНД (лист 1 из 2)

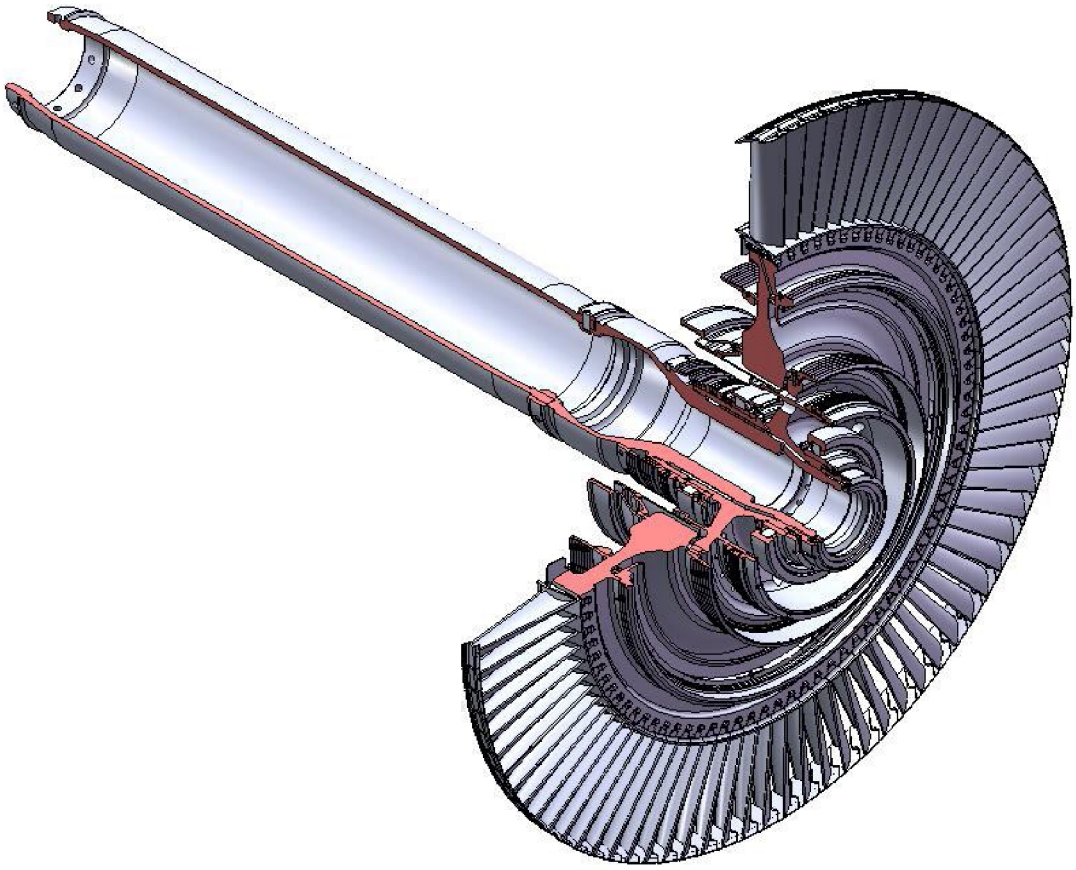


Рис. 4.17 Ротор ТНД (лист 2 из 2)

Рабочая лопатка (рисунок 4.18) – литая, охлаждаемая с радиальным течением охлаждающего воздуха. Периферийная бандажная полка 1 с гребешком лабиринтного уплотнения обеспечивает уменьшение радиального зазора, что ведет к повышению КПД турбины и снижению уровня вибрационных напряжений в рабочих лопатках. Лопатка имеет замок 2 «елочного» типа. Для осевой фиксации лопатки от перемещения против потока на ней выполнен зуб 3 , упирающийся в обод диска. Кроме того, в замковой части лопатки в районе полки 4, выполнен паз 5, в который входит разрезное кольцо 6 с вставкой, удерживаемое от осевого перемещения буртиком диска 7 (рисунок 4.19). При монтаже кольцо, за счет наличия выреза, обжимается и вводится в пазы лопаток, а бурт диска входит в паз кольца. Закрепление разрезного кольца в рабочем состоянии выполнено фиксаторами, отгибаемыми на кольцо и проходящими через отверстия в кольце и прорези в буртике диска.

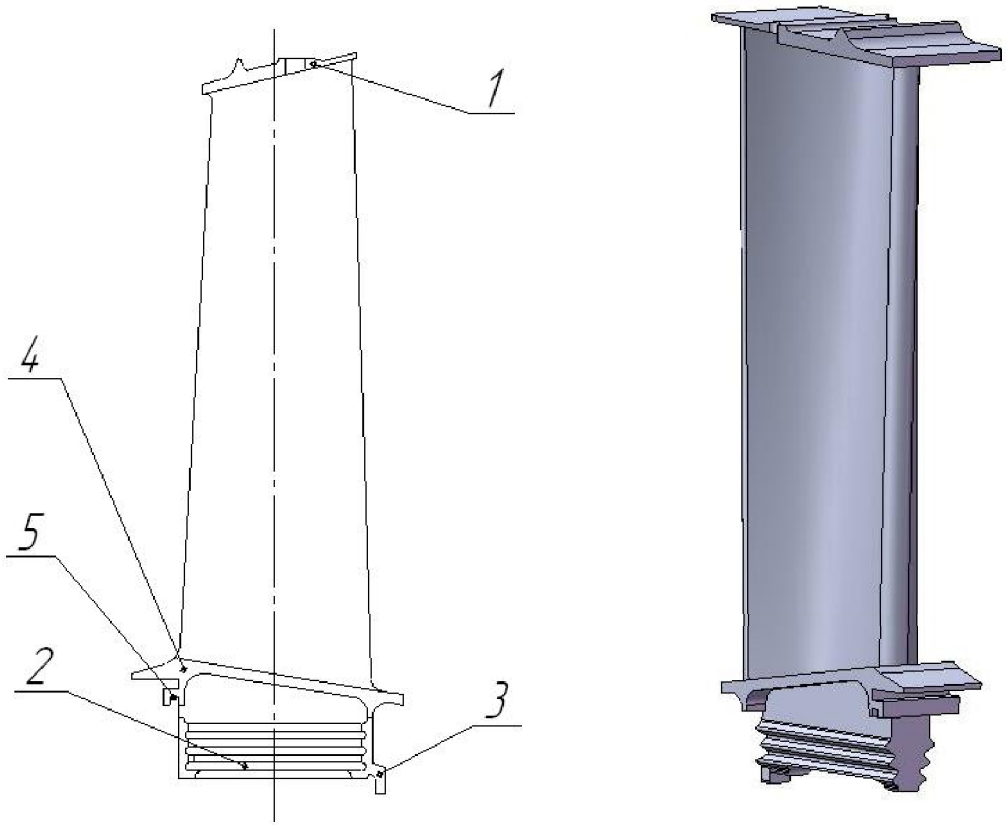


Рис. 4.18 Рабочая лопатка ТНД

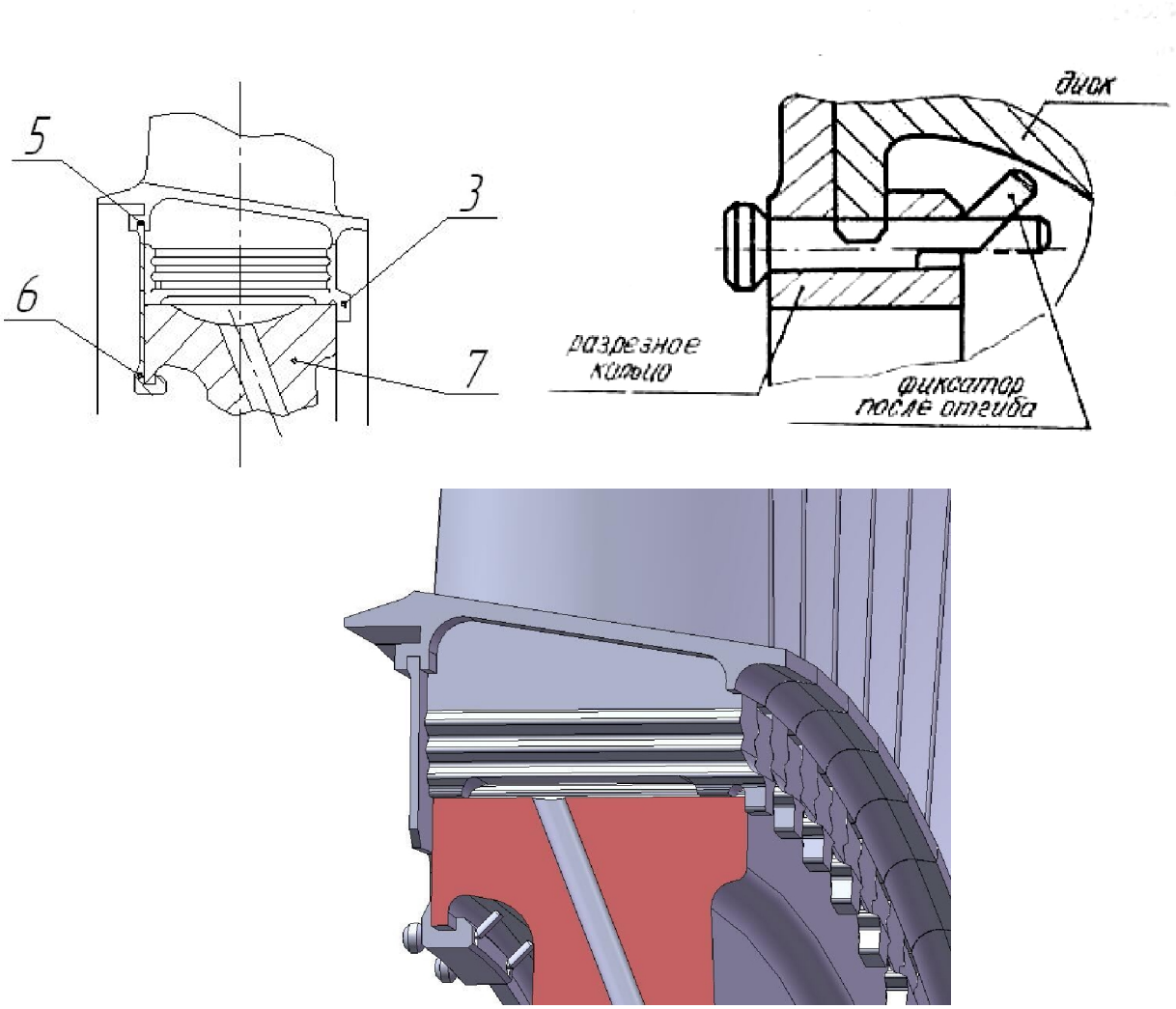


Рис. 4.19 Осевая фиксация рабочих лопаток ТНД

Диск (рисунок 4.20) турбины – штампованный, с последующей механической обработкой. В периферийной зоне для размещения лопаток выполнены пазы «елочного» типа и наклонные отверстия 1 подвода охлаждающего воздуха. На полотне диска выполнены кольцевые буртики, на которых размещены втулки 2 лабиринтного уплотнения и напорный диск – лабиринт 3. Фиксация этих деталей осуществлена штифтами 4. Для предотвращения выпадения штифтов отверстия развальцовываются. Напорный диск, имеющий лопатки, нужен для поджатия воздуха, поступающего на охлаждение лопаток турбины.

Для балансировки ротора на напорном диске (рисунок 4.21) закреплены пластинчатыми фиксаторами 5 балансировочные грузы 6.

На ступице диска выполнены кольцевые буртики. На левом буртике размещены втулки 7 сотовых уплотнений. Правый бурт 8 совместно с радиальными штифтами обеспечивает центрирование диска и передачу с него нагрузок на цапфу.

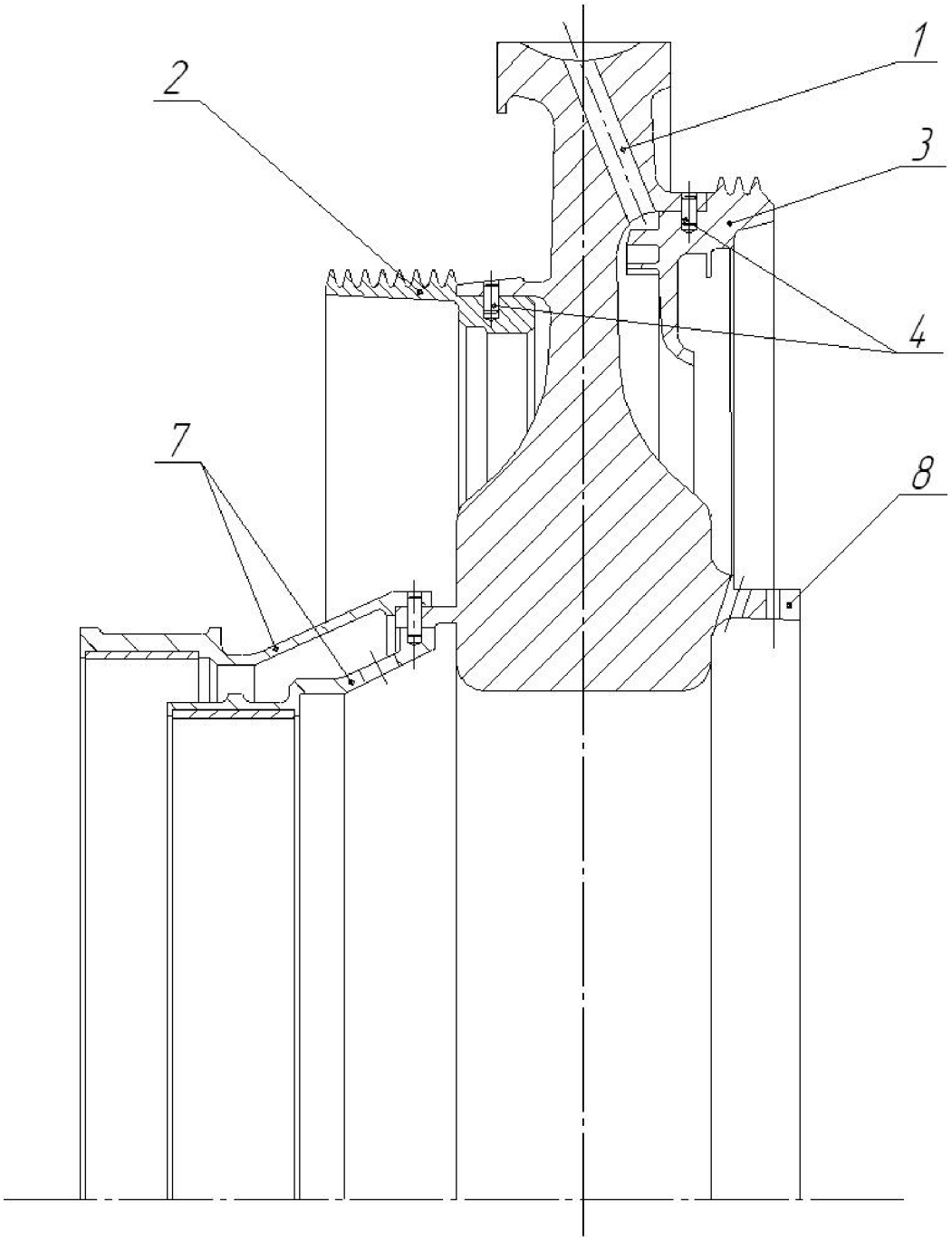


Рис. 4.20 Диск ТНД (лист 1 из 2)

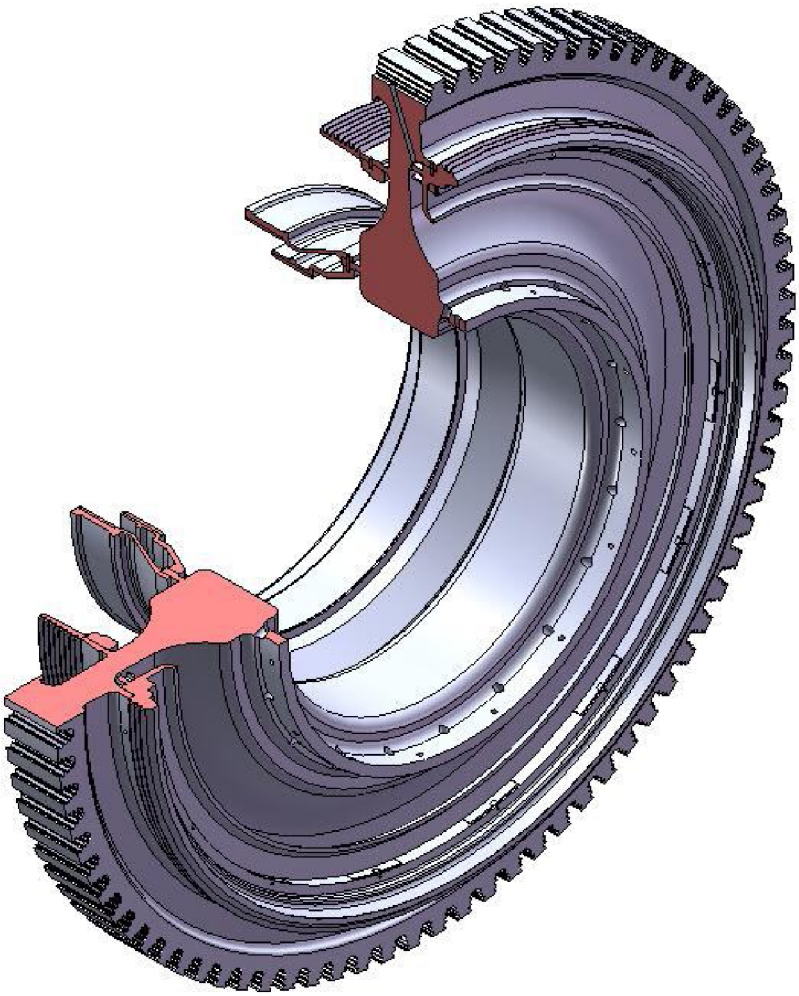


Рис. 4.20 Диск ТНД (лист 2 из 2)

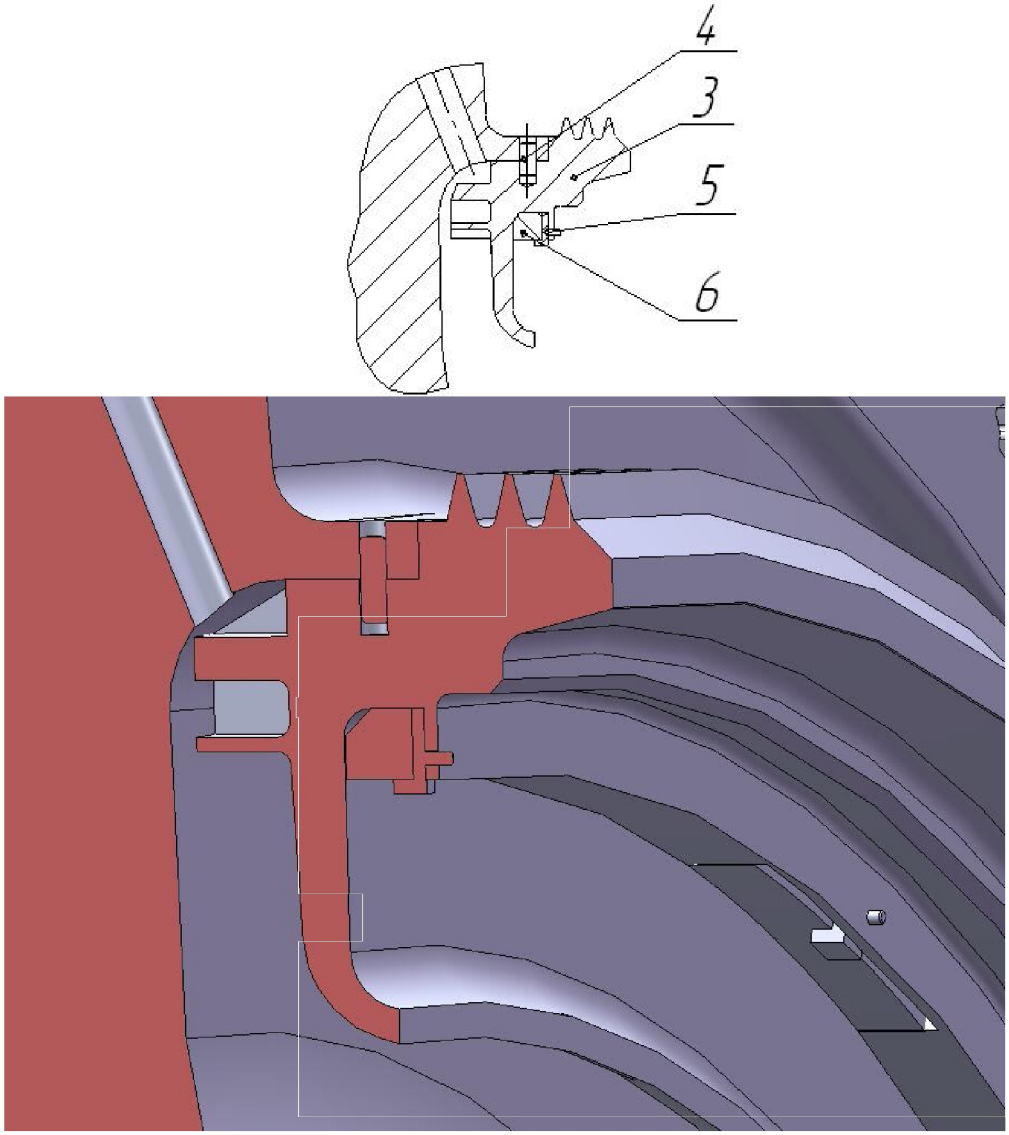


Рис. 4.21 Напорный диск с балансировочным грузом

Цапфа (рисунок 4.22) предназначена для опирания ротора низкого давления на роликовый подшипник и передачи крутящего момента от диска на вал. Для соединения диска с цапфой на ней в периферийной части выполнен вильчатый фланец 1, по которому осуществляется центрирование. Кроме того, центрирование и передача нагрузок идут по радиальным штифтам 2, удерживаемым от выпадения втулкой 3 лабиринтного уплотнения (рисунок 4.23). Втулка относительно цапфы зафиксирована штифтами 4, края отверстий под штифты развальцованы.

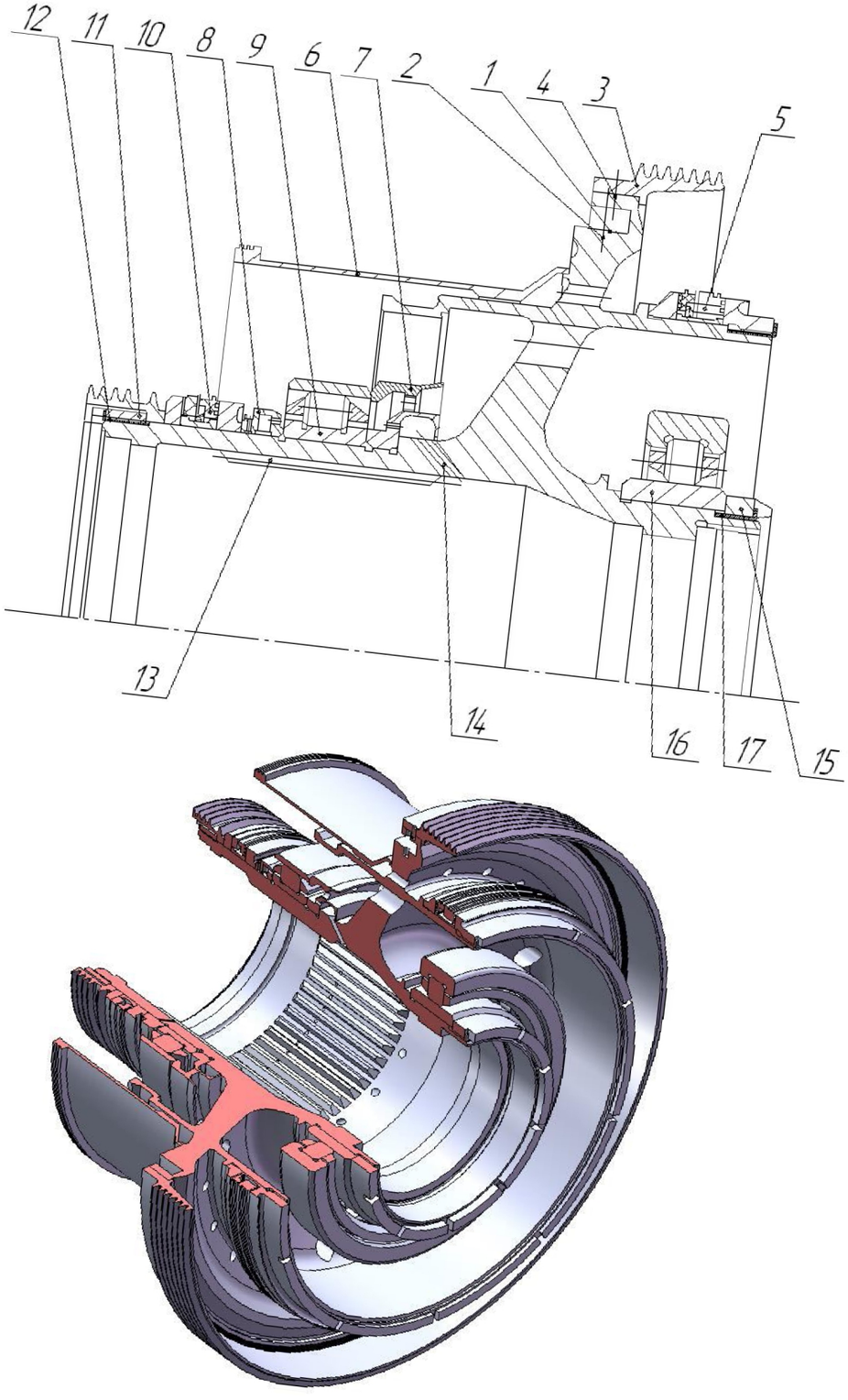


Рис. 4.22 Цапфа ТНД

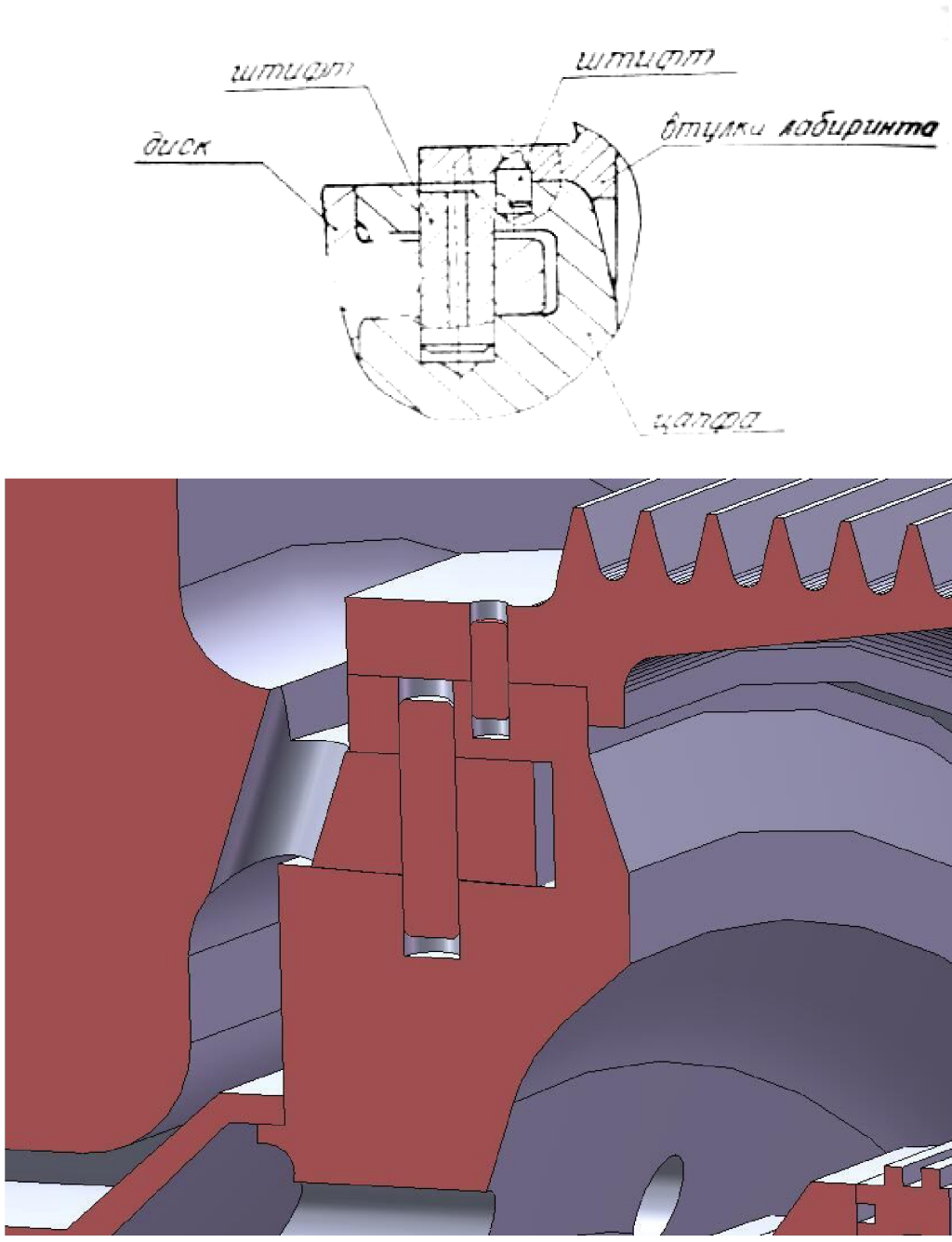


Рис. 4.23 Узел соединения диска с цапфой

На периферийной цилиндрической части цапфы справа размещено торцевое контактное уплотнение 5 (рисунок 4.24), а слева – втулка 6 межтурбинного радиально-торцевого контактного уплотнения. Втулка отцентрирована по цилиндрической части цапфы в осевом направлении, зафиксирована гребешком, завальцованным на цапфу, в окружном направлении втулка зафиксирована осевыми штифтами.

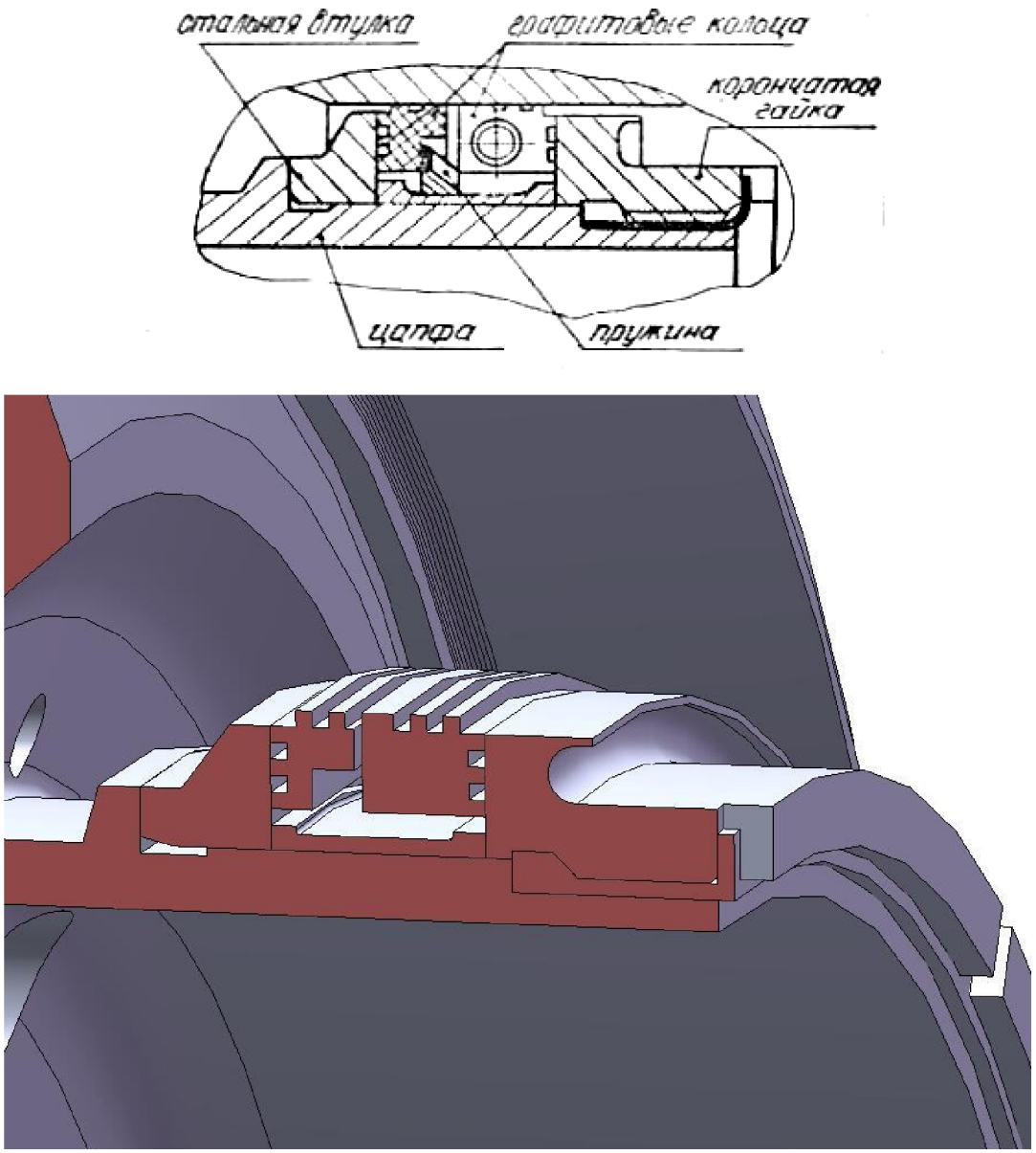


Рис. 4.24 Контактное уплотнение

На периферии цапфы, слева по буртику, отцентрирован и радиальными штифтами зафиксирован цилиндр 7, ограничивающий канал подвода воздуха, охлаждающего опору турбины.

В левой части цапфы на цилиндрической поверхности, размещены втулки 8 подвода масла к подшипнику, внутреннее кольцо 9 подшипника и детали уплотнений 10. Пакет этих деталей стянут корончатой гайкой 11, законтренной пластинчатым замком 12. На внутренней поверхности цапфы выполнены шли-

цы 13, обеспечивающие передачу крутящего момента от цапфы на вал. В теле цапфы выполнены отверстия 14 подвода масла к подшипникам.

В правой части цапфы, на внешней проточке, гайкой 15 закреплено внутреннее кольцо 16 роликового подшипника. Корончатая гайка законтрена пластинчатым замком 17.

Вал (рисунок 4.25) турбины низкого давления состоит из 3-х частей, соединенных друг с другом радиальными штифтами 1. Правая часть вала своими шлицами 2 входит в ответные шлицы цапфы, получая от нее крутящий момент. Осевые силы с цапфы на вал передаются гайкой 3 (рисунок 4.26), навернутой на резьбовой хвостовик вала. Гайка законтрена от отворачивания шлицевой втулкой 4. Торцевые шлицы втулки входят в торцевые прорези вала, а шлицы на цилиндрической части втулки входят в продольные прорези гайки. В осевом направлении шлицевая втулка зафиксирована регулировочным 5 и разрезным 6 кольцами. На наружной поверхности правой части вала радиальными штифтами 7 закреплена втулка 8 лабиринтного уплотнения.

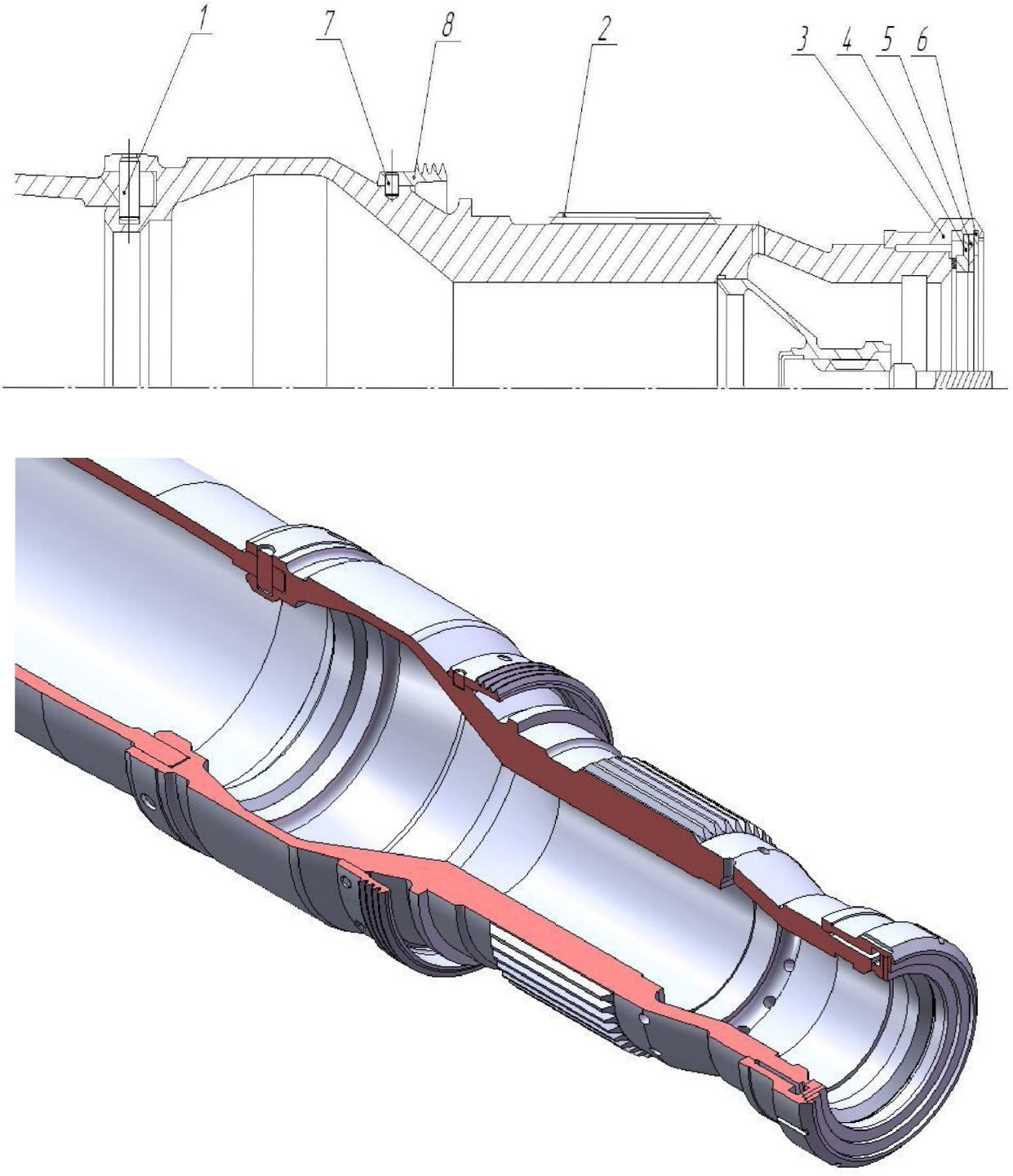


Рис. 4.25 Вал ТНД

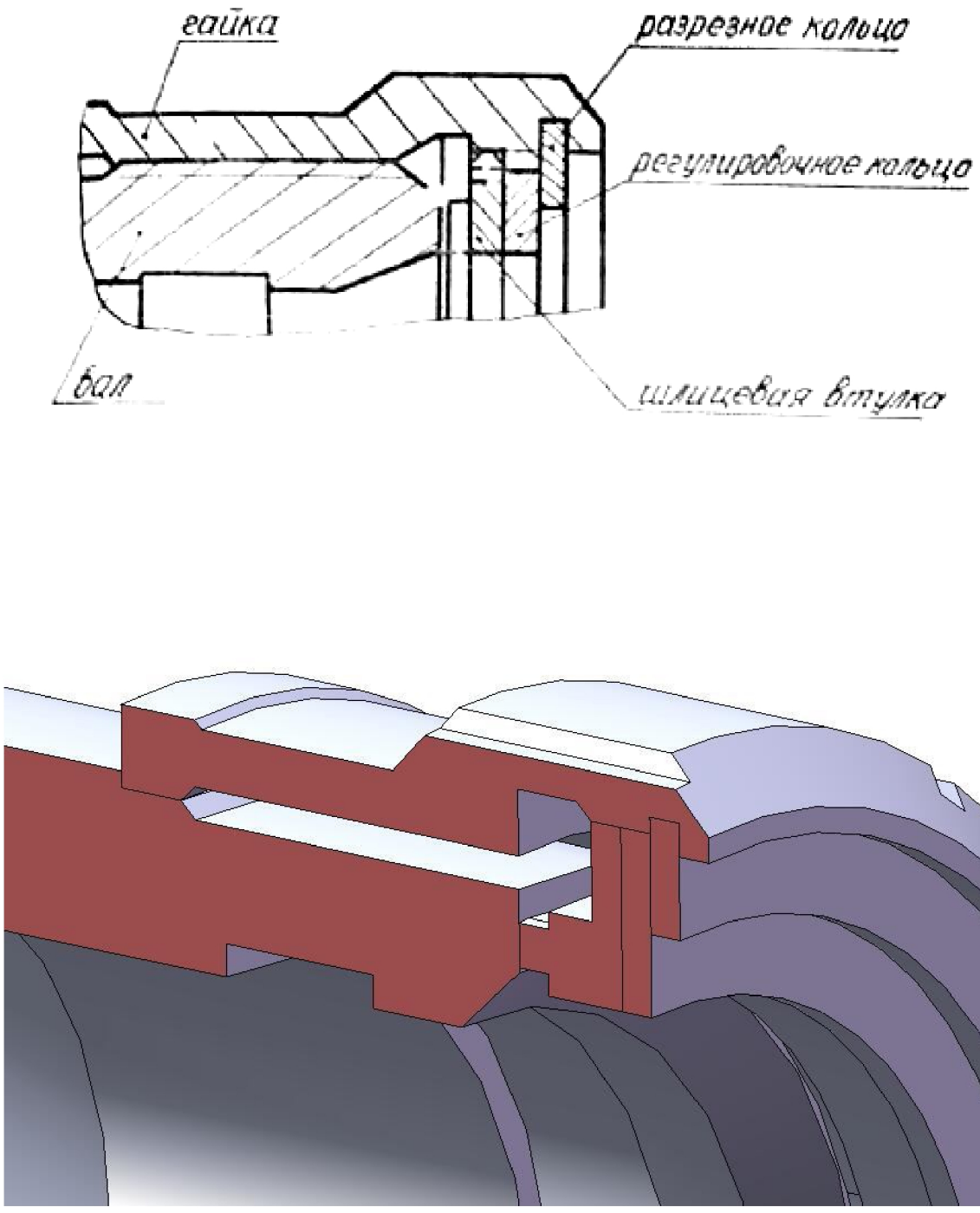


Рис. 4.26 Элементы контровки гайки

4.3.2 Статор турбины низкого давления

Статор (рисунок 4.27) состоит из наружного корпуса 1, блоков лопаток соплового аппарата 2, внутреннего корпуса 3.

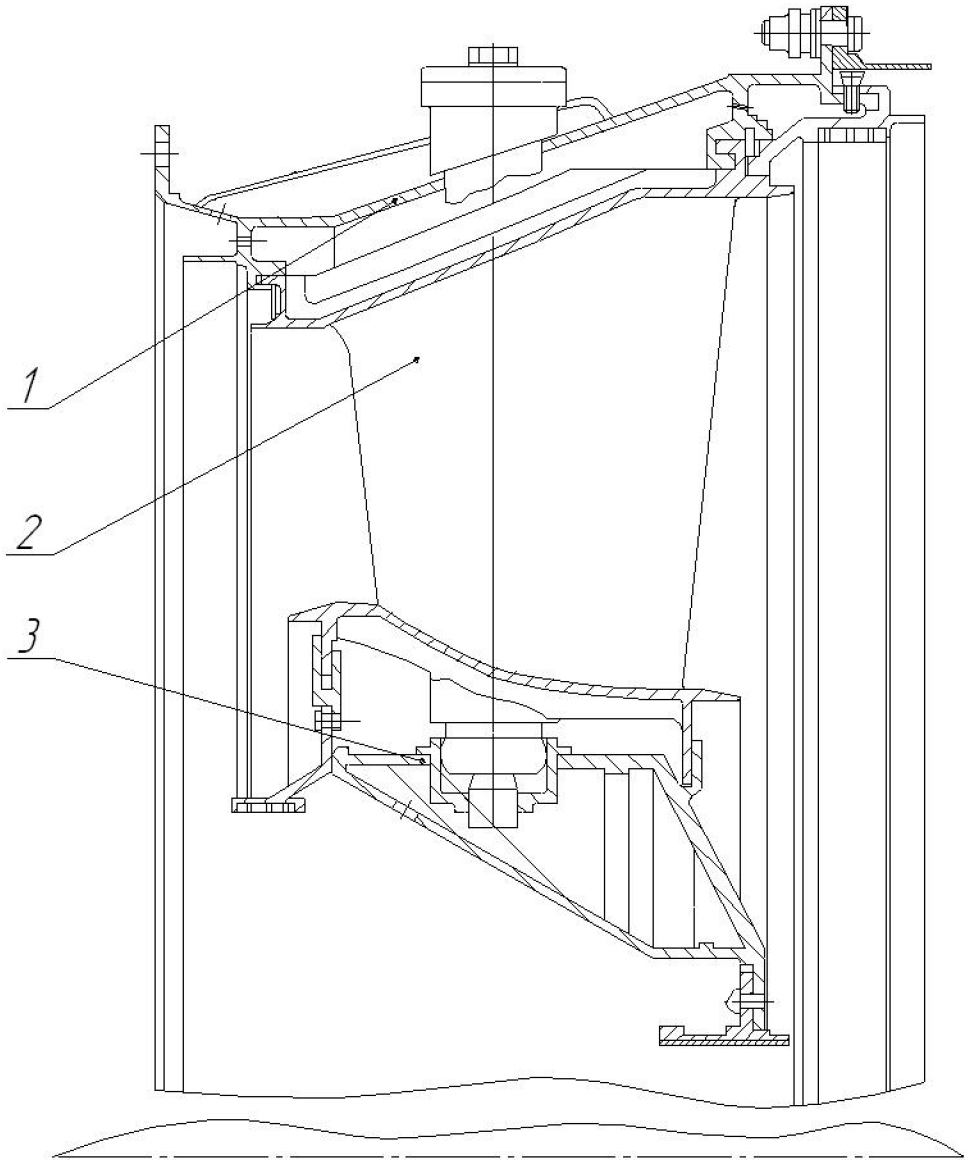


Рис. 4.27 Статор ТНД (лист 1 из 2)

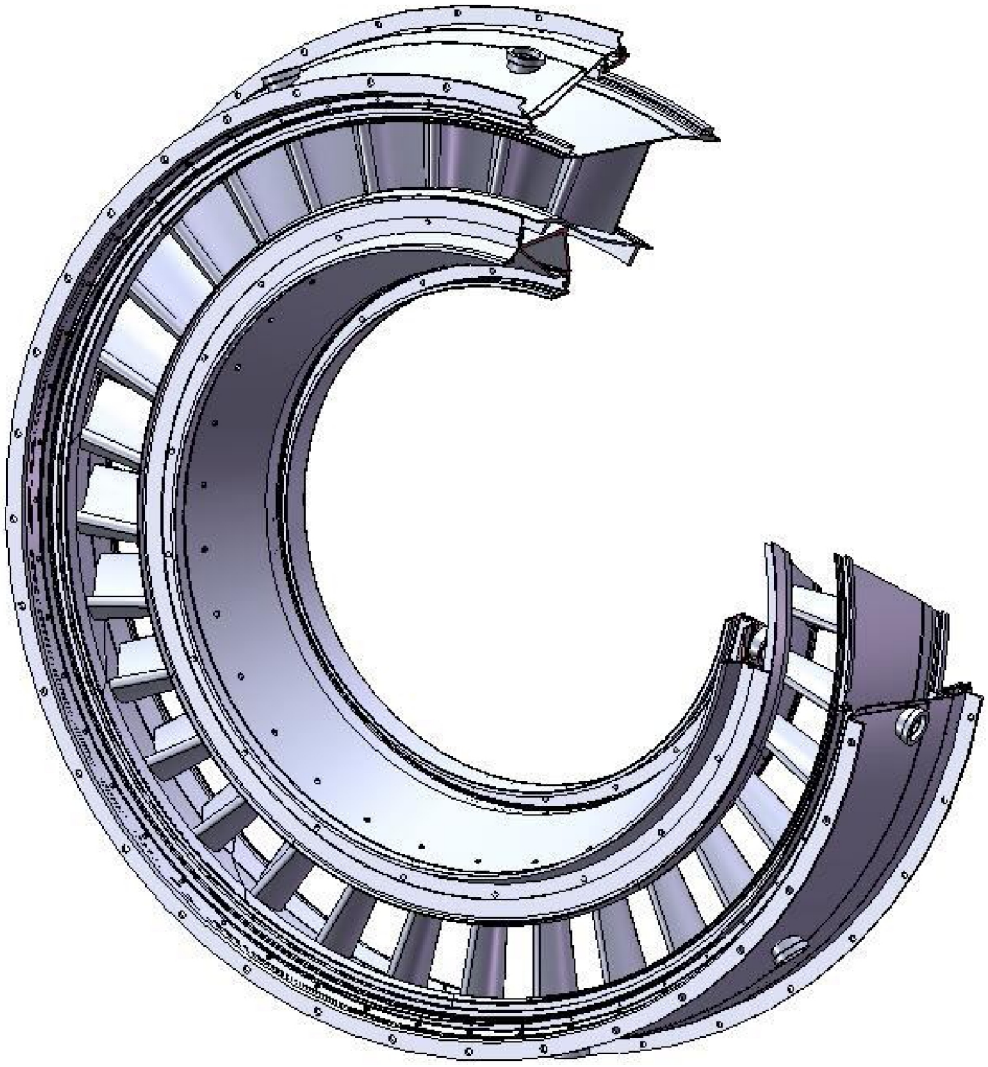


Рис. 4.27 Статор ТНД (лист 2 из 2)

Наружный корпус (рисунок 4.28)– сварная конструкция, состоящая из конической оболочки 1 и фланцев 2, по которым корпус стыкуется с корпусом турбины высокого давления и корпусом опоры. Снаружи к корпусу приварен экран 3, образующий канал подвода охлаждающего воздуха. Внутри выполнены буртики 4, по которым центрируется сопловой аппарат. В районе правого фланца выполнен буртик, по которому отцентрировано и радиальными штифтами зафиксировано кольцо 5, несущее сотовые вставки 6.

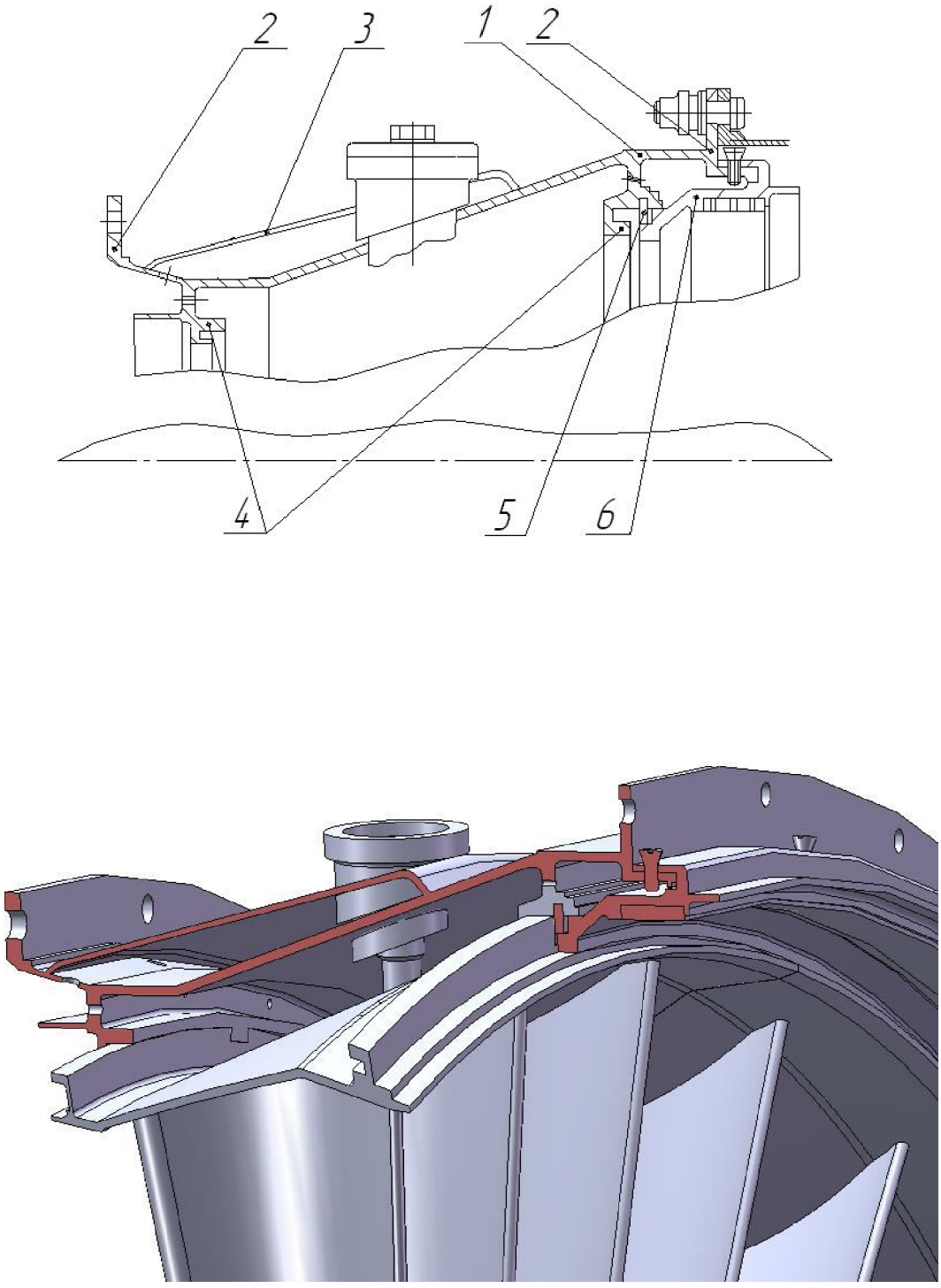


Рис. 4.28 Наружный корпус статора ТНД

Лопатки соплового аппарата (рисунок 4.29) с целью повышения жесткости спаяны в одиннадцать трехлопаточных блоков. Каждая лопатка – литая, пустотелая, охлаждаемая. Перо, наружная и внутренняя полки образуют проточную часть. Наружные полки лопатки имеют буртики, которыми они центрируются

по проточкам наружного корпуса. Осевая фиксация блоков сопловых лопаток осуществляется разрезным кольцом. Окружная фиксация лопаток осуществляется выступами корпуса, входящими в прорези, выполненные в наружных полках. Для предотвращения перетечек газа стыки между блоками лопаток уплотнены металлическими пластинами, установленными на торцах полок первой и третьей лопаток каждого блока.

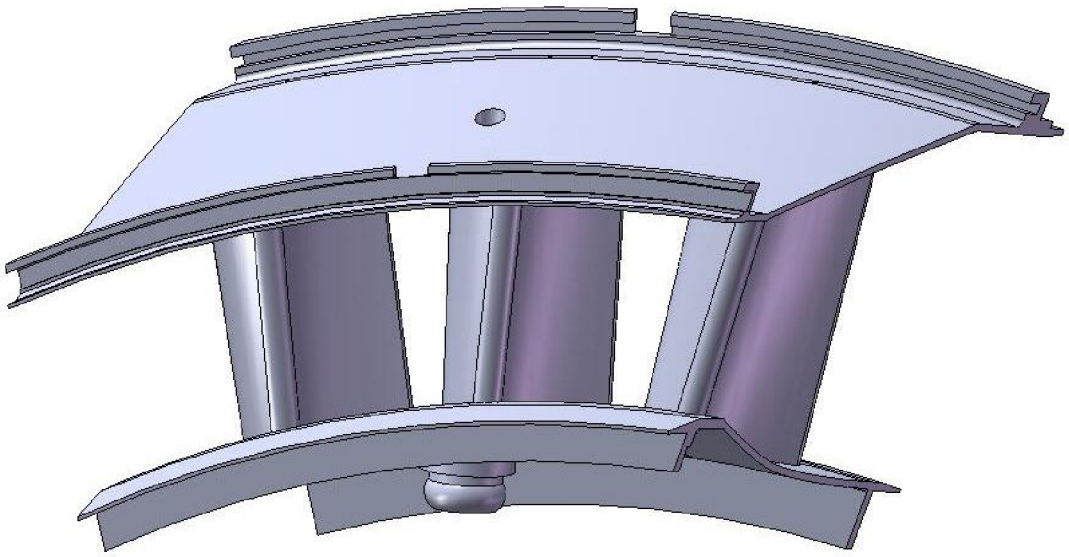


Рис. 4.29 Блок сопловых аппаратов ТНД

Внутренние полки 1 лопаток оканчиваются сферическими цапфами 2, по которым центрируется внутренний корпус (рисунок 4.30), представляющий сварную конструкцию. В ребрах внутреннего корпуса выполнены проточки 3, в которые с радиальным зазором входят гребешки внутренних полок сопловых лопаток. Этот радиальный зазор обеспечивает свободу теплового расширения лопаток. Слева на внутреннем корпусе, на заклепках, закреплено кольцо 4 сотового лабиринтного уплотнения.

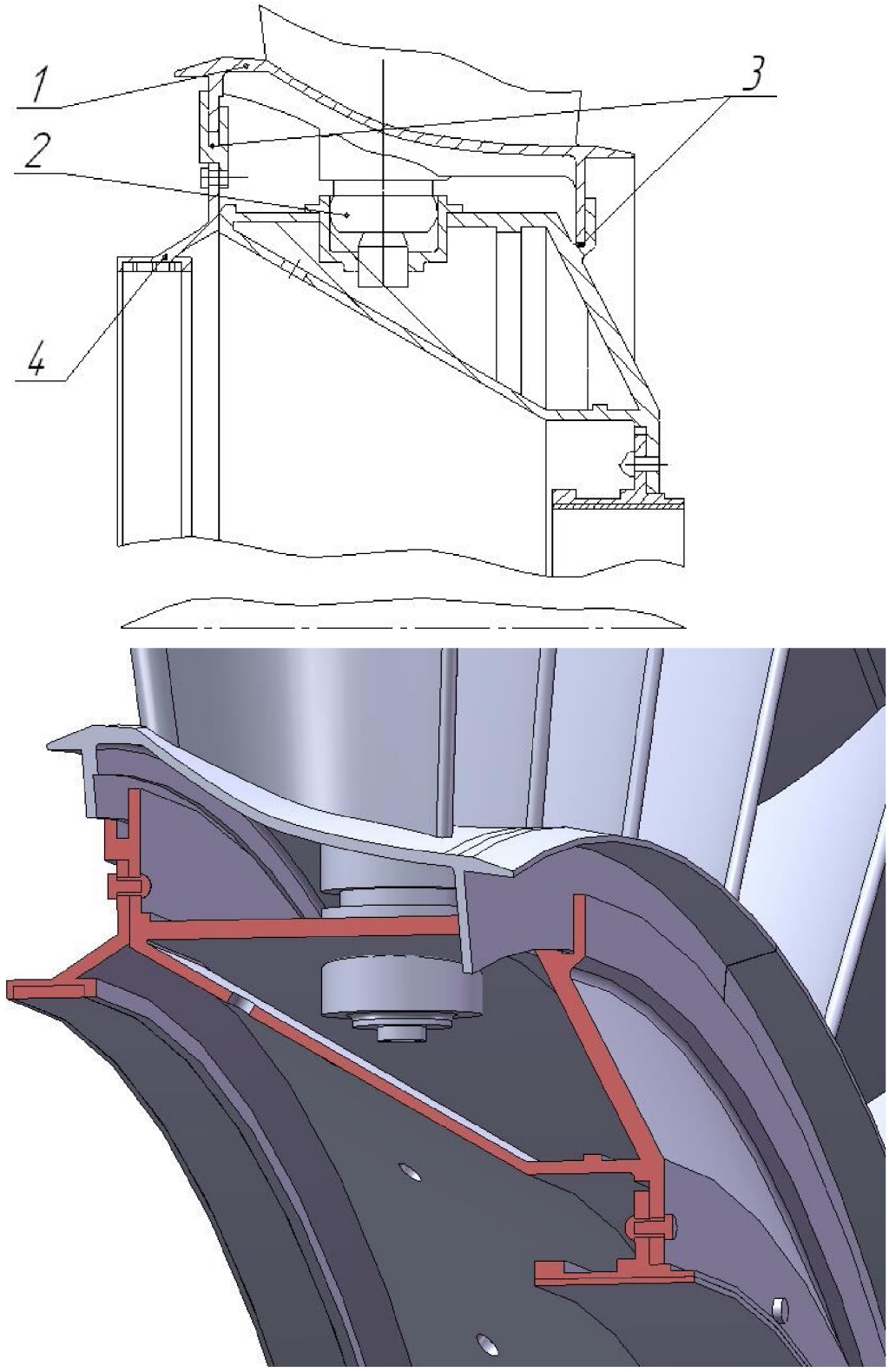


Рис. 4.30 Внутренний корпус статора ТНД

4.4 Опора турбины

Опора турбины состоит (рисунок 4.31) из корпуса опоры и корпуса подшипника. Корпус опоры представляет собой сварную конструкцию, состоящую из оболочек, соединенных стойками. Стойки и оболочки защищены от газового потока клепаными экранами. На фланцах внутренней оболочки опоры закреплены конические диафрагмы 1, поддерживающие корпус подшипника 2. На этих фланцах, слева, закреплена втулка 3 лабиринтного уплотнения, а справа – экран, защищающий опору от газового потока. На фланцах корпуса подшипника 2, слева, закреплена втулка 4 контактного уплотнения и экран 5, ограничивающий масляную полость. Справа винтами закреплена оболочка 6, на которой шпильками 7 закреплен кожух 8 и теплозащитный экран 9.

Во внутренней расточке корпуса размещен роликовый подшипник 10. Между корпусом 2 и наружным кольцом 11 подшипника размещены демпферное кольцо 12 и втулки 13. В кольце выполнены радиальные отверстия, через которые при колебаниях ротора прокачивается масло, на что рассеивается энергия.

Осевая фиксация колец осуществляется крышкой 14, притянутой к опоре подшипника винтами 15.Через полости стоек 16 подводится воздух на охлаждение ТНД и отводится воздух из предмасляной полости. Стойки 16 закрыты снаружи обтекателями 17. Экран 18 с обтекателями 17 образует проточную часть газовоздушного тракта за ТНД.

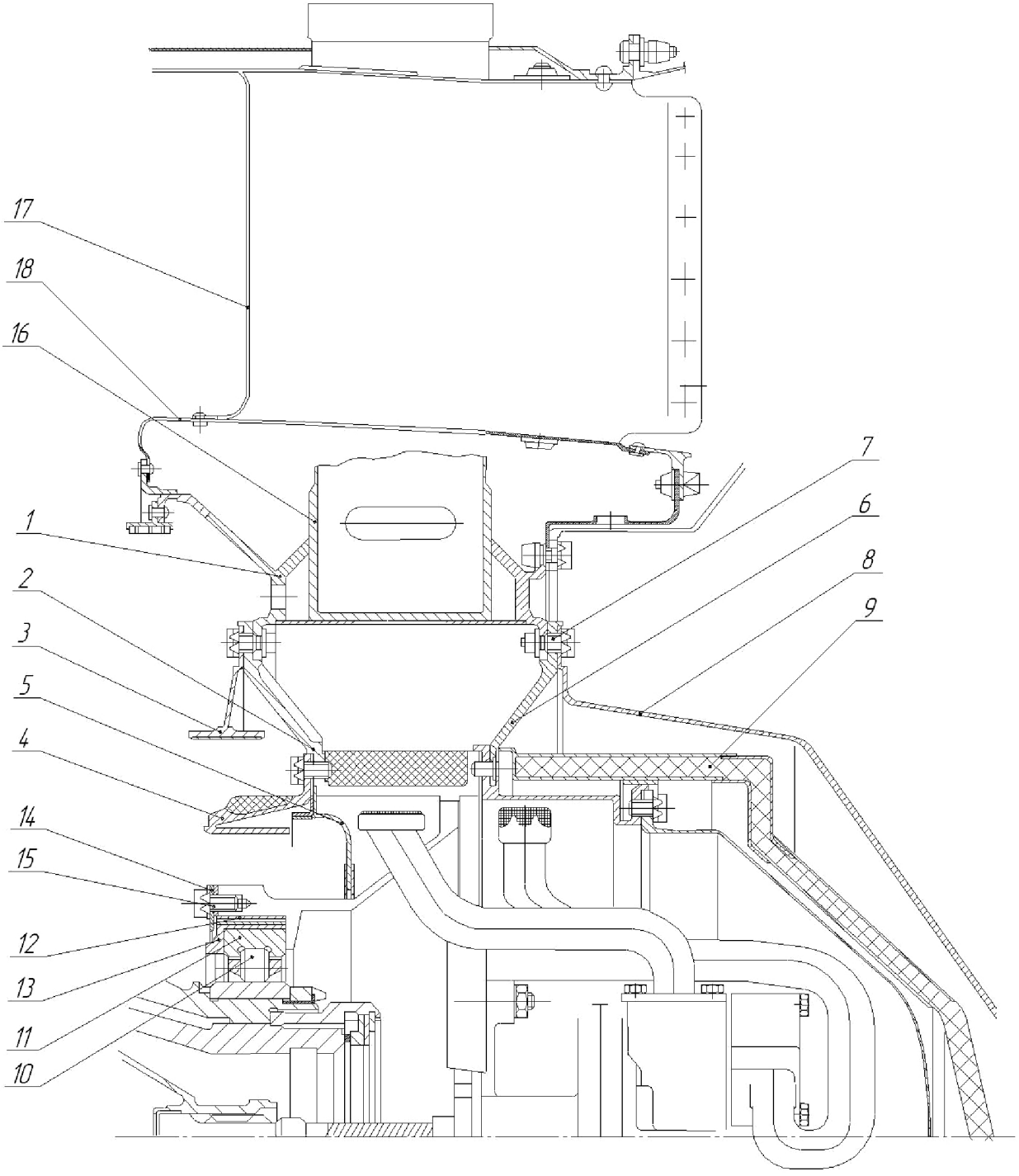


Рис. 4.31 Опора турбины (лист 1 из 2)

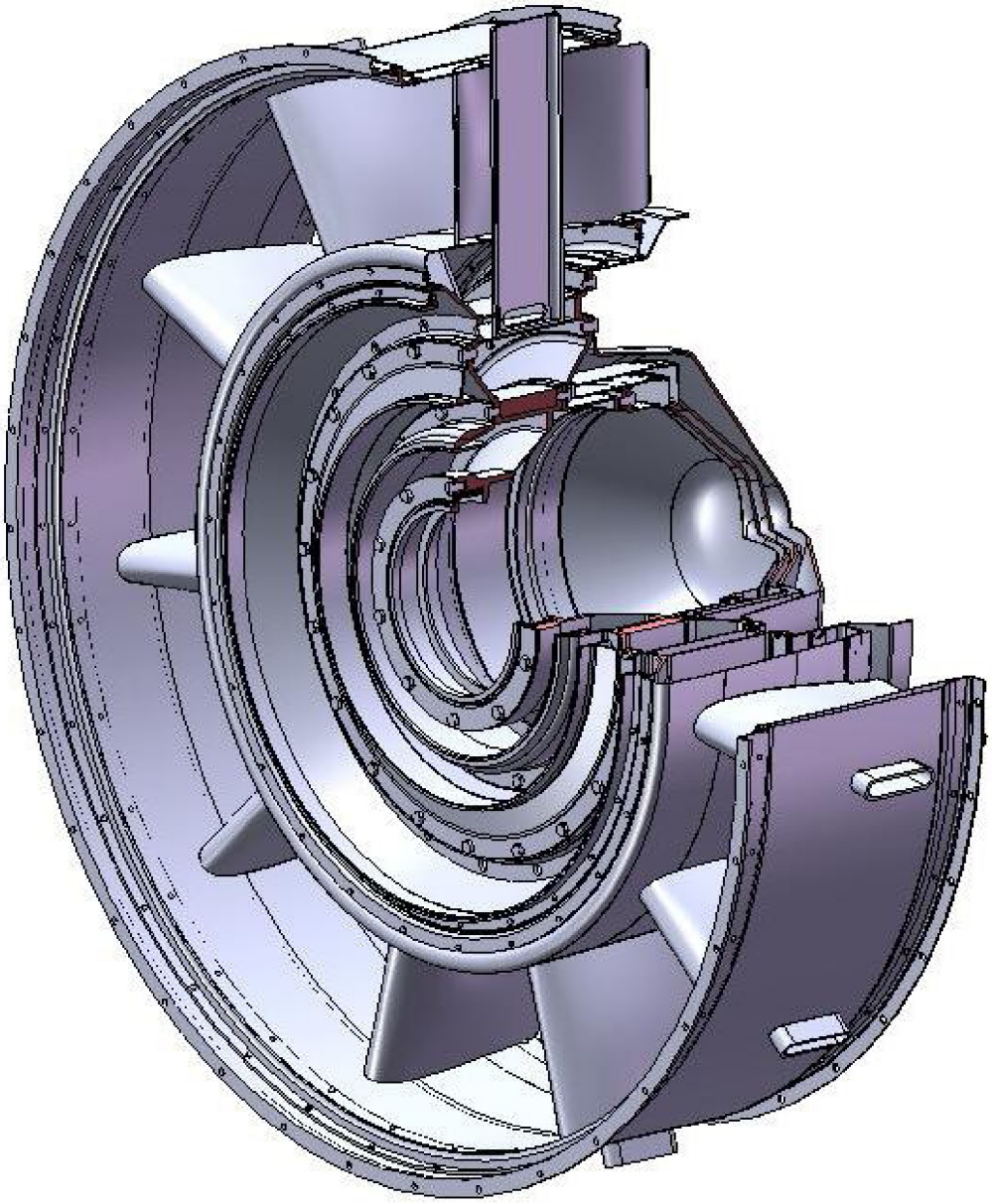


Рис. 4.31 Опора турбины (лист 2 из 2)

4.5 Охлаждение турбины

Для обеспечения надежности деталей турбины предусмотрено их охлаждение.

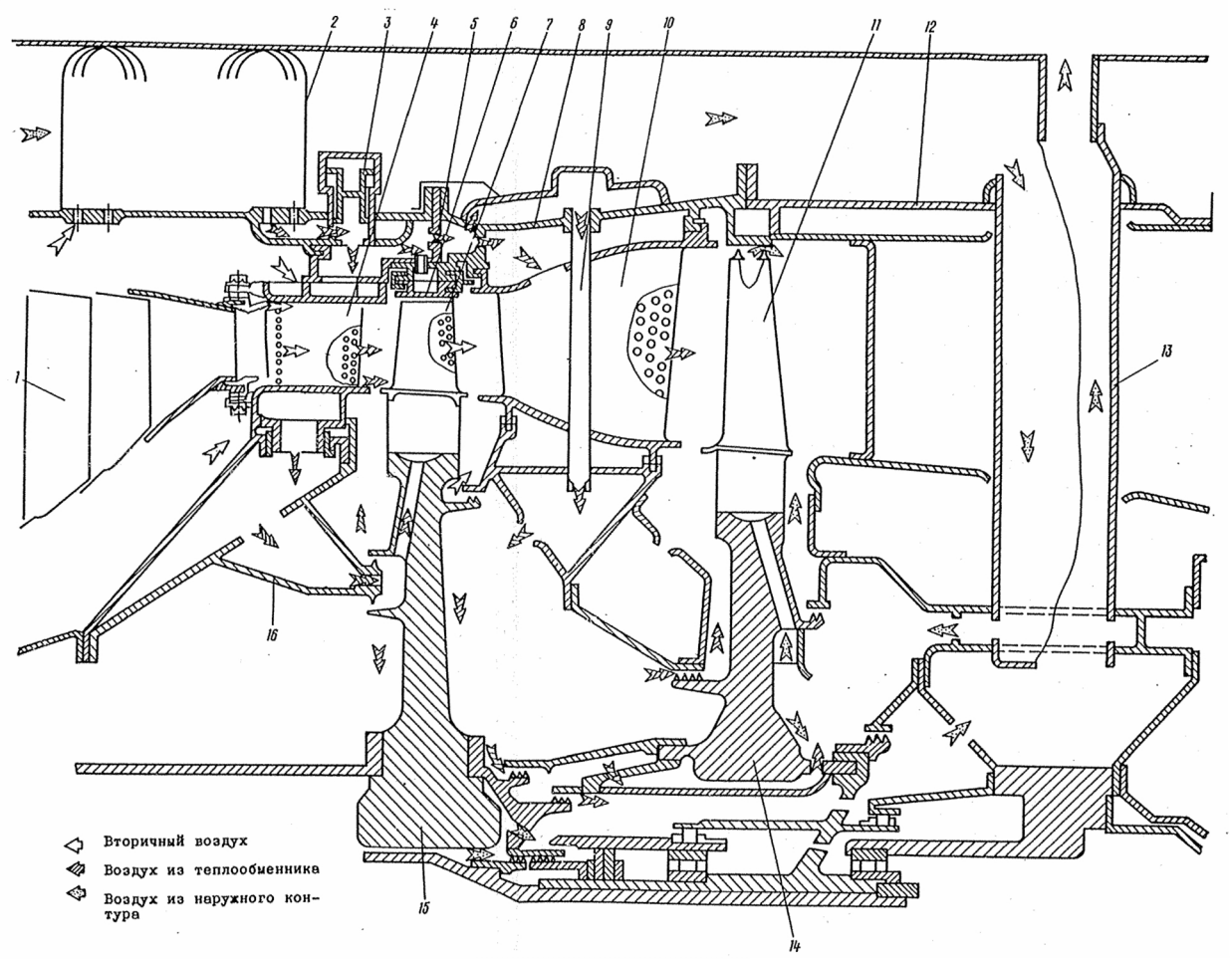
Система охлаждения турбины – воздушная, открытая, регулируемая за счет дискретного изменения расхода воздуха, идущего через воздухо-воздушный теплообменник. Схема системы приведена на рисунок 4.32.

Входные кромки лопаток соплового аппарата турбины высокого давления имеют конвективно-пленочное охлаждение вторичным воздухом. Вторичным же воздухом охлаждаются полки этого соплового аппарата.

Задние полости лопаток соплового аппарата, диск и рабочие лопатки турбины, компрессора, корпуса турбин, лопатки соплового аппарата турбины вентилятора и ее диск с левой стороны охлаждаются воздухом через отверстия в корпусе камеры сгорания поступают в теплообменник, там охлаждается на 150 – 220 К и через клапанный аппарат идет на охлаждение деталей турбин. Воздух второго контура через стойки опоры и отверстия подводится к напорному диску, который, увеличивая давление, обеспечивает подачу его в рабочие лопатки турбины низкого давления.

Корпус турбины снаружи охлаждается воздухом второго контура, а изнутри – воздухом из-за воздухо-воздушного теплообменника (ВВТ).

Охлаждение турбины осуществляется на всех режимах работы двигателя. Воздух, подводимый через воздухо-воздушный теплообменник, может поступать в различном количестве. При 100 % расходе воздуха режим работы соответствует режиму "охлаждение турбины включено". При дискретном снижении расхода охлаждающего воздуха ~ до 50 % реализуется режим работы "охлаждение турбины выключено".



1 – камера сгорания; 2 –воздухо-воздушный теплообменник; 3 – клапанный аппарат; 4 – лопатка соплового аппарата ТВД; 5 – наружное кольцо; 6 – сотовые вставки; 7 – лопатка рабочего колеса ТВД; 8 – обод; 9 – перепускная трубка; 10 – лопатка соплового аппарата ТНД; 11 – лопатка рабочего колеса ТНД; 12 – корпус опоры турбины; 13 – силовая стойка; 14 – рабочее колесо ТНД; 15 – рабочее колесо ТВД; 16 – аппарат закрутки.

Рис. 4.32 Схема системы охлаждения турбины

При включенном охлаждении количество воздуха, подаваемого на охлаждение турбины, увеличивается в 2,5…3 раза. Включение охлаждения происходит от РУД при $\alpha_{руд} > 62°$ или по команде КРД при $n_2 \geq 91{,}5$ % или $t_T^* > 590 \pm 10°C$. Выключение охлаждения осуществляется при снятии всех трех команд. Отключение охлаждения турбины повышает экономичность двигателя на режимах малых расходов топлива при дальних перегонах самолета.

В систему (рисунок 4.33) входят: агрегат управления охлаждением 4 с микровыключателем 6, ВВТ с клапанным аппаратом отключения 2, воздушный

фильтр 3.

В системе управления охлаждением часть функций выполняют следующие системы и агрегаты, не входящие в её состав:

- РСФ с электромагнитным клапаном 5 (рисунок 4.34);
- КРД;
- приборы контроля двигателя.

Агрегат управления охлаждением (рисунок 4.35) предназначен для подачи воздуха в управляющую полость клапанного аппарата отключения. Тип агрегата – пневмогидравлический. Перепад давления, необходимый для перемещения поршня – 0,8 МПа.

Агрегат состоит из корпуса 7, поршня с клапаном 475, микровыключателя 3. В корпус вварены: штуцер подвода управляющего давления к агрегату управления охлаждением 8, штуцер подвода воздуха к коллектору управляющего воздуха 1, штуцер слива топлива на вход ДЦН 2. Через сетку 6 воздушная полость агрегата сообщается с отсеком двигателя.

Агрегат управления охлаждением расположен на заднем корпусе наружного контура двигателя.

Клапанный аппарат отключения (рисунок 4.36) предназначен для дросселирования отверстий, через которые воздух поступает на охлаждение турбины. Клапанный аппарат отключения встроен в полость воздушного коллектора 1 за ВВТ, образованную корпусом ВВТ и обечайкой коллектора и состоит из 32 размещенных по окружности двухпозиционных клапанов. Каждый клапан состоит из корпуса 5, гильзы 8 и поршня 7 с уплотнительньми кольцами 3, 4 и 14. Полость 6 клапанов сообщена каналом 9 с коллектором управляющего воздуха 10. Полость 12 сообщается с наружным контуром двигателя через отверстия 11. В поршне 7 имеются дозирующие отверстия 13.

Электромагнитный клапан предназначен для закрытия и открытия канала, соединяющего РСФ с агрегатом управления охлаждением. Электропитание клапана – постоянный ток напряжением 27 В ± 10 %. Клапан установлен в агре-

гат РСФ.

Микровыключатель 3 (рисунок 4.35) предназначен для передачи сигнала КРД о моменте включения и отключения охлаждения. Микровыключатель заключен в керамический корпус и расположен на корпусе агрегата управления охлаждением.

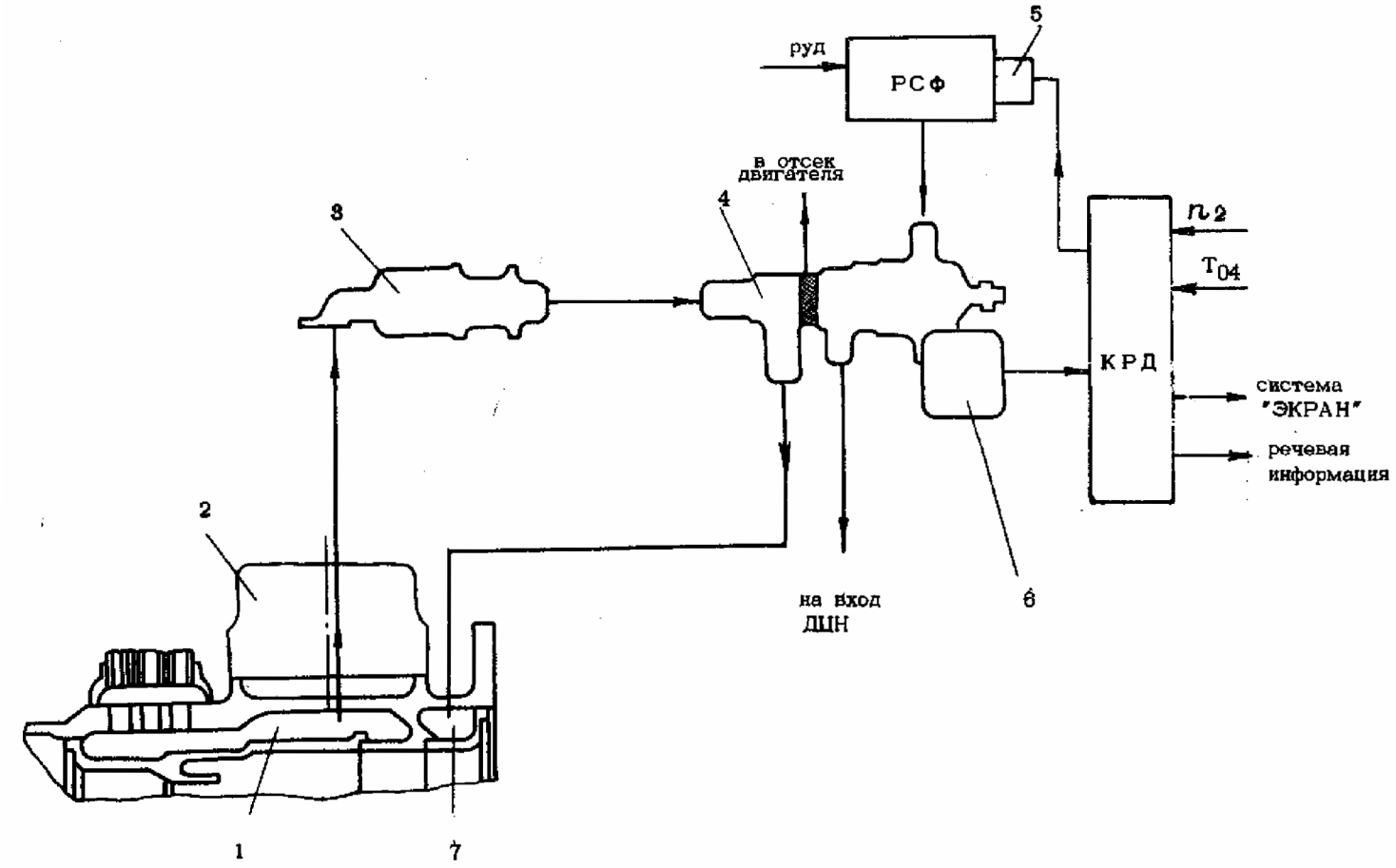
Воздушный фильтр (рисунок 4.37) предназначен для очистки воздуха, поступающего из коллектора ВВТ в агрегат управления охлаждением (рисунок 4.35). Фильтр установлен на заднем корпусе наружного контура двигателя.

Работа системы охлаждения. При выходе двигателя на режим $n_2 = 91{,}5$ % или $t_T^* = 590 \pm 10$°С или при $\alpha_{руд} > 62°$ КРД выдает сигнал, по которому обесточивается электромагнитный клапан 5 (рисунок 4.33) узла управления охлаждением РСФ. При этом топливо с командным давлением подается от РСФ в агрегат управления охлаждением 4. В агрегате под действием командного давления поршень 475 (рисунок 4.35) перемещается вниз и прекращает подачу воздуха в коллектор управляющего воздуха 7 (рисунок 4.33) и сообщает его через агрегат управления охлаждением с отсеком двигателя. При этом поршни 7 (рисунок 4.36) перемещаются вверх и полностью открывают отверстия 15 в гильзах 8 клапанов. При достижении поршнем 475 (рисунок 4.35) крайнего нижнего положения («охлаждение включено») срабатывает микровыключатель 474. От него в КРД поступает команда на перестройку канала РТГ КРД на t_T^*.

На режиме работы двигателя $n_2 < 91{,}5$ % или $t_T^* > 590 \pm 10$°С или при $\alpha_{руд} < 62°$ КРД выдает сигнал, по которому запитывается электромагнитный клапан 5 (рисунок 4.33) узла управления охлаждением РСФ. При этом прекращается подача топлива с командным давлением от РСФ в агрегат управления охлаждением 4 и часть воздуха из коллектора ВВТ 1 (рисунок 4.36) поступает через агрегат управления охлаждением в коллектор управляющего воздуха 10 клапанного аппарата отключения, откуда по каналам 9 попадает в полость 6 над поршнями 7. Поршни перемещаются вниз и перекрывают отверстия 15 в гильзах 8. Воздух

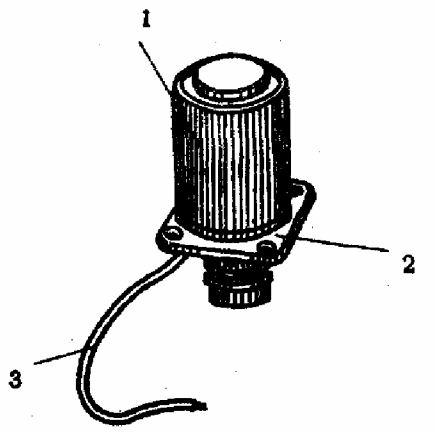
на охлаждение турбины начинает поступать через отверстия 13 в поршнях 7. При достижении поршнем 475 (рисунок 4.35) крайнего верхнего положения («охлаждение выключено») от микровыкпючателя 474 в КРД поступает команда, по которой канал РТГ перестраивается на пониженные значения t_T^*.

В случае отказа системы управления охлаждением от микровыключателя в КРД поступает команда, по которой канал РТГ КРД перестраивается на пониженные значения t_T^*. КРД выдает сигнал «нет охлаждения» в блок речевой информации и в систему "экран" и блокирует возможность увеличения $n_2 > 91{,}5$ % или $t_T^* > 590 \pm 10°C$ перемещением РУД. При этом проходит речевая команда «обороты не выше 90 %» и на экране высвечивается надпись «ОБОРОТЫ НИЖЕ 90 %».



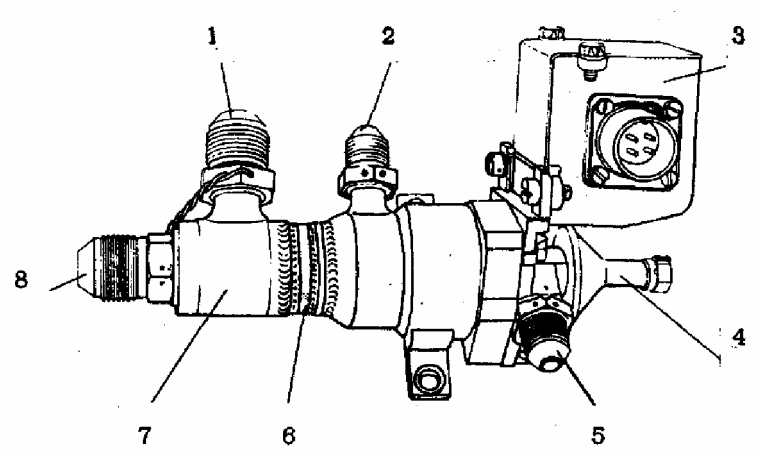
1 – коллектор ВВТ; 2 – клапанный аппарат отключения; 3 – фильтр; 4 – агрегат управления охлаждением; 5 – электромагнитный клапан; 6 – микровыключатель;7 – коллектор управляющего воздуха.

Рис. 4.33 Схема управления охлаждением



1 – корпус; 2 – фланец; 3 – электрожгут.

Рис. 4.34 Электромагнитный клапан



1 – штуцер подвода воздуха к коллектору управляющего воздуха; 2 – штуцер слива топлива на вход ДЦН; 3 – микровыключатель; 4 – шток поршня; 5 – штуцер подвода командного давления от РСФ; 6 – сетка; 7 – корпус; 8 – штуцер подвода воздуха с управляющим давлением от коллектора ВВТ.

Рис. 4.35 Агрегат управления охлаждением (лист 1 из 2)

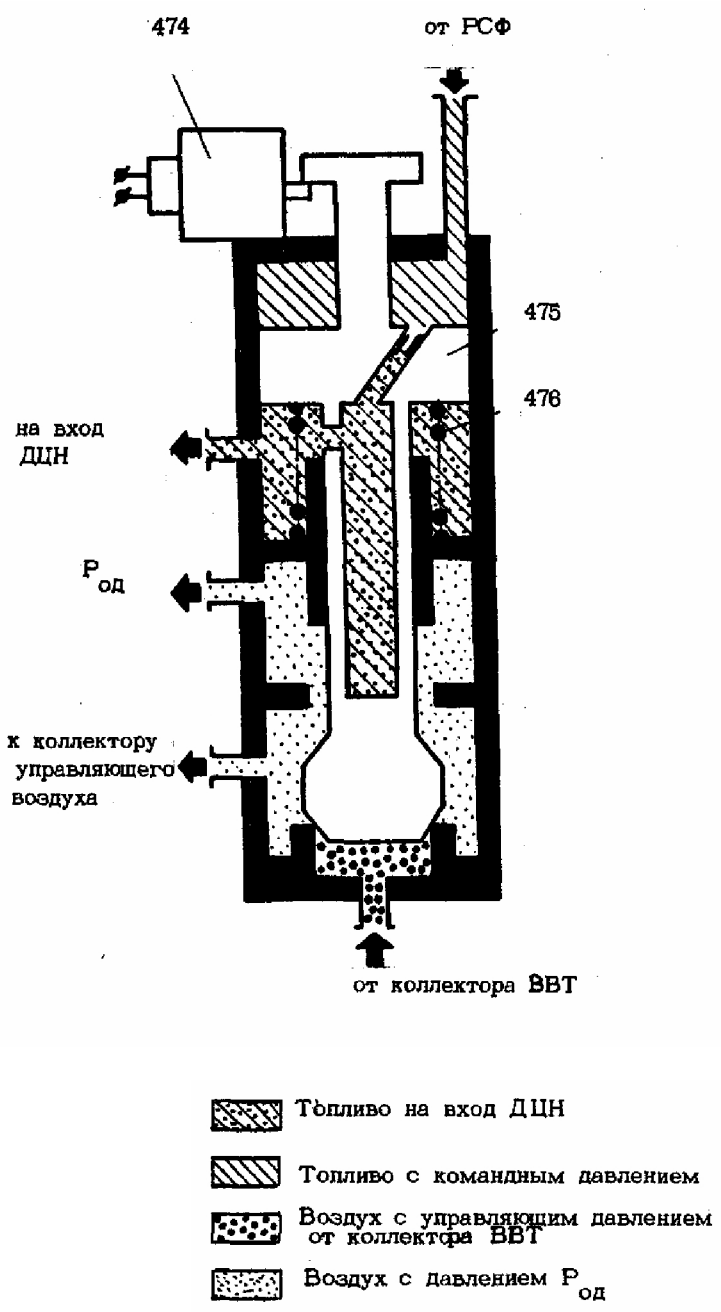
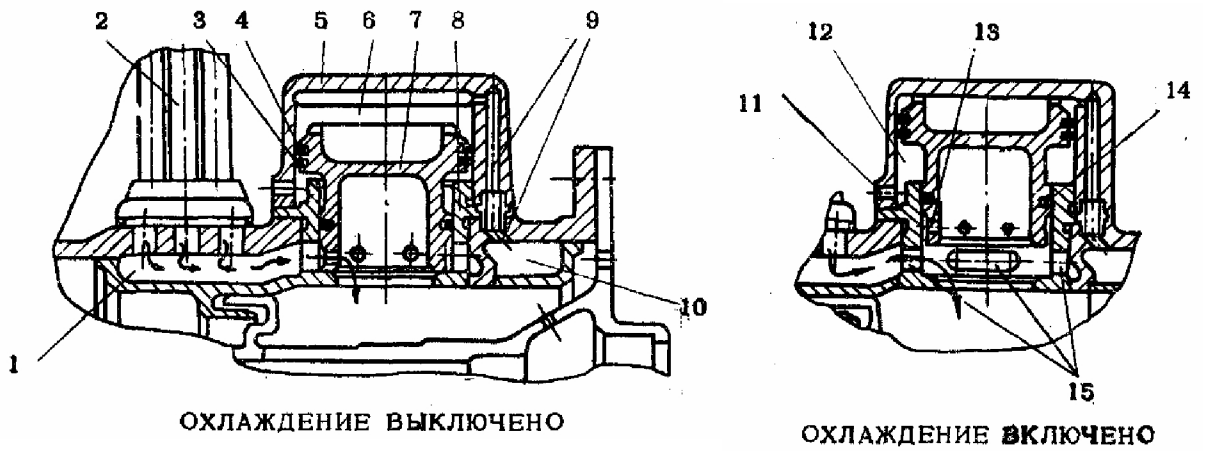
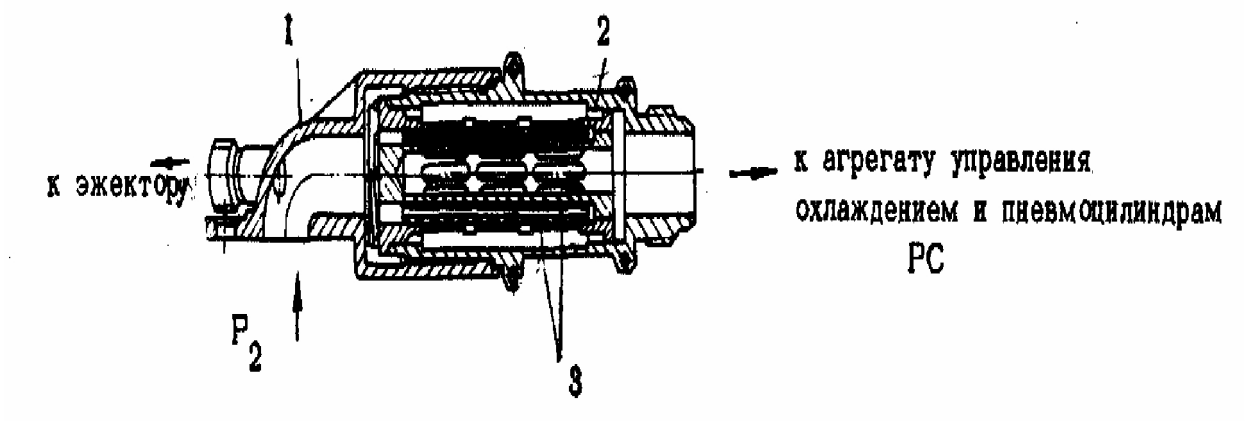


Рис. 4.35 Агрегат управления охлаждением (лист 2 из 2)



1 – коллектор ВВТ; 2 – трубчатые модули ВВТ; 3, 4, 14 – уплотнительные кольца; 5 – корпус клапана клапанного аппарата отключения; 6 – полость клапана; 7 – поршень; 8 – гильза; 9 – каналы; 10 – коллектор управляющего воздуха; 11 – дренажное отверстие; 12 – дренажная полость; 13 – дозирующие отверстия; 15 – отверстия для прохода охлаждающего воздуха.

Рис. 4.36 Клапанный аппарат отключения



1 – угольник; 2 – корпус; 3 – фильтр.

Рис. 4.37 Воздушный фильтр

5 ФОРСАЖНАЯ КАМЕРА

5.1 Общая характеристика форсажной камеры

Форсажная камера (ФК) – общая для наружного и внутреннего контуров, с предварительным смешением потоков в смесителе и состоит из (рисунок 5.1) смесителя 1, фронтового устройства 2 и жаровой трубы 3. Топливо в ФК подается через струйные форсунки из пяти топливных коллекторов. Последовательным подключением или отключением коллекторов при перемещении РУД обеспечивается управление степенью форсирования тяги.

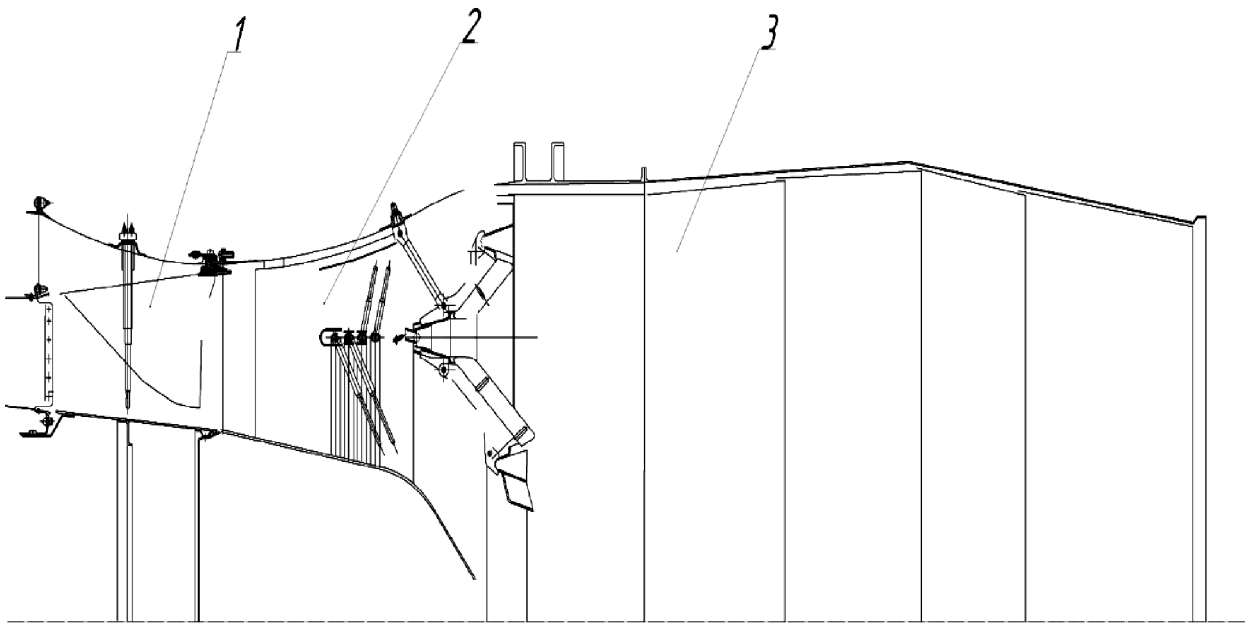


Рис. 5.1 Форсажная камера (лист 1 из 2)

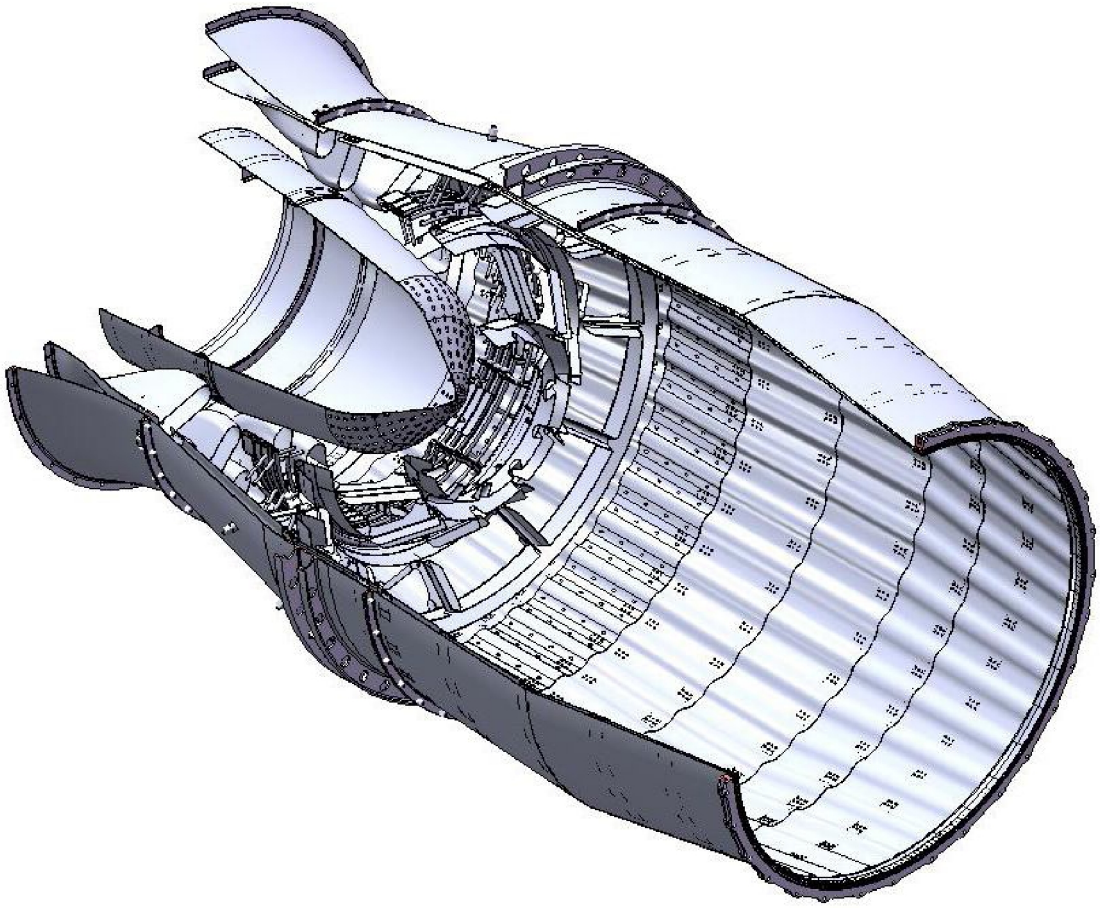


Рис. 5.1 Форсажная камера (лист 2 из 2)

Запуск ФК осуществляется методом "огневой дорожки". Топливо, впрыскиваемое струйной форсункой в основную КС, переносится в виде факела пламени за турбину и в районе смесителя ФК воспламеняет топливо, подаваемое центробежной форсункой. Подхваченный факел пламени воспламеняет топливо, подаваемое в ФК через топливный коллектор.

Основные параметры ФК и материалы ее деталей приведены, соответственно, в таблицах 5.1 и 5.2.

Таблица 5.1

Основные газодинамические и конструктивные параметры ФК

Наименование параметра	Величина
Коэффициент избытка воздуха	1,1
Коэффициент полноты сгорания	0,91
Коэффициент потери полного давления, %	5,1
Температура газа на выходе из ФК, К	2000
Количество топливных коллекторов	5
Диаметр миделевого сечения ФК, м	1,08
Длина ФК, м	1,59

Таблица 3.4

Основные материалы и температуры деталей ФК (Н=0, М=0, «ПФ»)

Наименование детали	Материал	T_M, °С
Наружный корпус смесителя и диффузора	ВТ-20	230
Смеситель	ВТ-20	450
Кок-обтекатель	ВТ-20	550
Стабилизатор пламени	ВЖЛ-98	700
Корпус жаровой трубы	ВТ-20	450
Экраны жаровой трубы	ЭП-99	750

5.2 Конструкция форсажной камеры

5.2.1 Смеситель ФК

Смеситель ФК (рисунок 5.2) предназначен для перемешивания потоков наружного и внутреннего контуров двигателя и включен в силовую систему двигателя, осуществляя связь корпусов внутреннего и наружного контуров двигателя. Смеситель состоит из наружного корпуса 1, собственно смесителя 2 и кока-обтекателя 3.

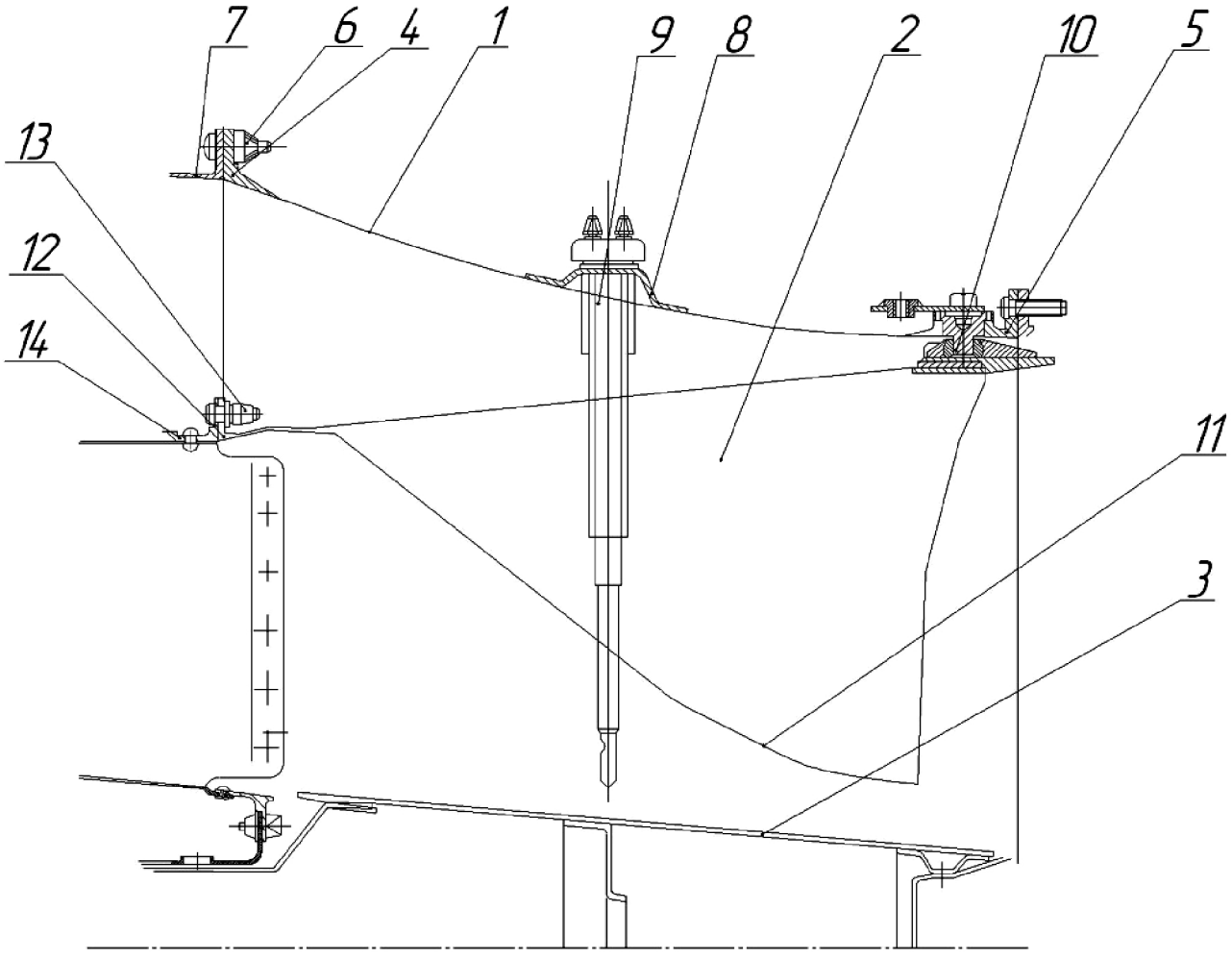


Рис. 5.2 Смеситель ФК (лист 1 из 2)

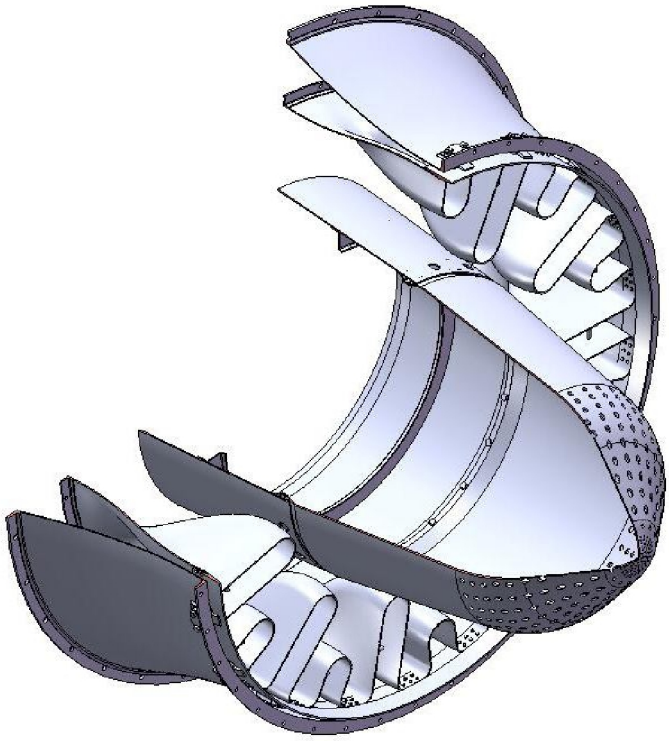


Рис. 5.2 Смеситель ФК (лист 2 из 2)

Наружный корпус смесителя представляет собой оболочку с передним 4 и задним 5 фланцами. Передним фланцем он с помощью призонных болтов 6 прикреплен к фланцу 7 корпуса наружного контура, к заднему фланцу крепится корпус фронтового устройства. С наружной стороны к корпусу приварен профилированный шпангоут 8, на котором установлены: восемь термопар 9, центробежная форсунка системы запуска ФК, приемник полного давления газа за турбиной и трубопровод слива топлива из сливного бачка двигателя в проточную часть ФК. Схема расположения перечисленных агрегатов приведена на рисунок 5.3. Перед задним фланцем на корпусе смесителя имеются приливы с отверстиями, в которые установлены регулируемые опорные кронштейны 10 заднего пояса связи корпусов внутреннего и наружного контуров.

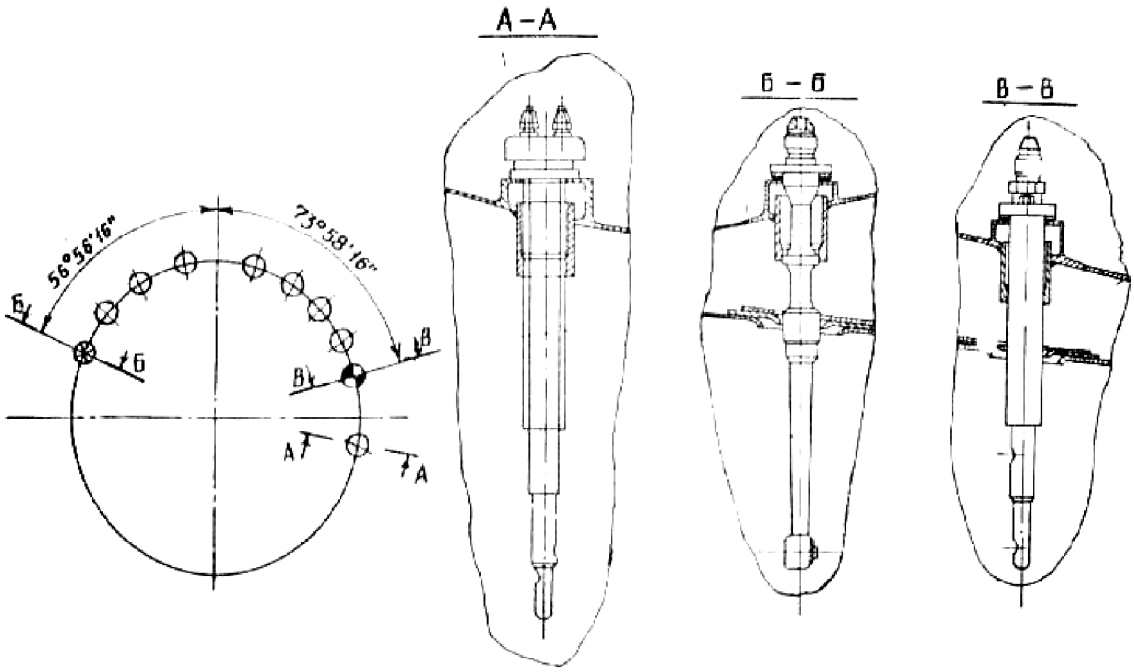
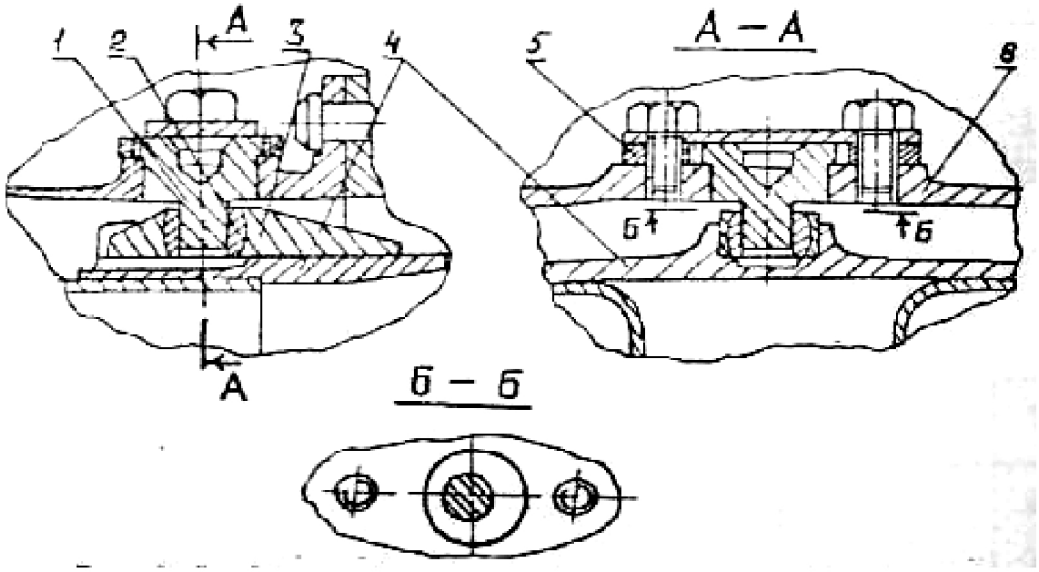


Рис. 5.3 Схема расположения термопар, центробежной форсунки запуска ФК, приемника полного давления за турбиной

Смеситель выполнен в виде конической оболочки с двадцатью двумя карманами 11, обеспечивающими подвод воздуха из наружного контура в поток газа внутреннего контура, с фланцем и силовым кольцом в задней части. Для повышения жесткости стенки карманов в средней части соединены с помощью сварки стержнями. Передним фланцем 12 смеситель призонными болтами 13 крепится к корпусу 14 опор турбины, а силовым кольцом опирается на корпус через опорные регулируемые кронштейны 10.

Конструкция данного узла представлена на рисунок 5.4. Он включает в себя эксцентрик 1 с рифленой головкой, сферическую шайбу 2 и сухарь 3, входящий в пазы кольца 4 на смесителе. Положение эксцентрика 1 фиксируется в приливах 6 корпуса контровочной шайбой 5 с внутренними зубцами, входящими в пазы головки эксцентрика. Необходимость эксцентрика обосновывается технологией сборки. Данный узел обеспечивает передачу радиальных и окружных усилий с корпуса внутреннего контура на наружный и свободу их взаимных перемещений в осевом направлении.



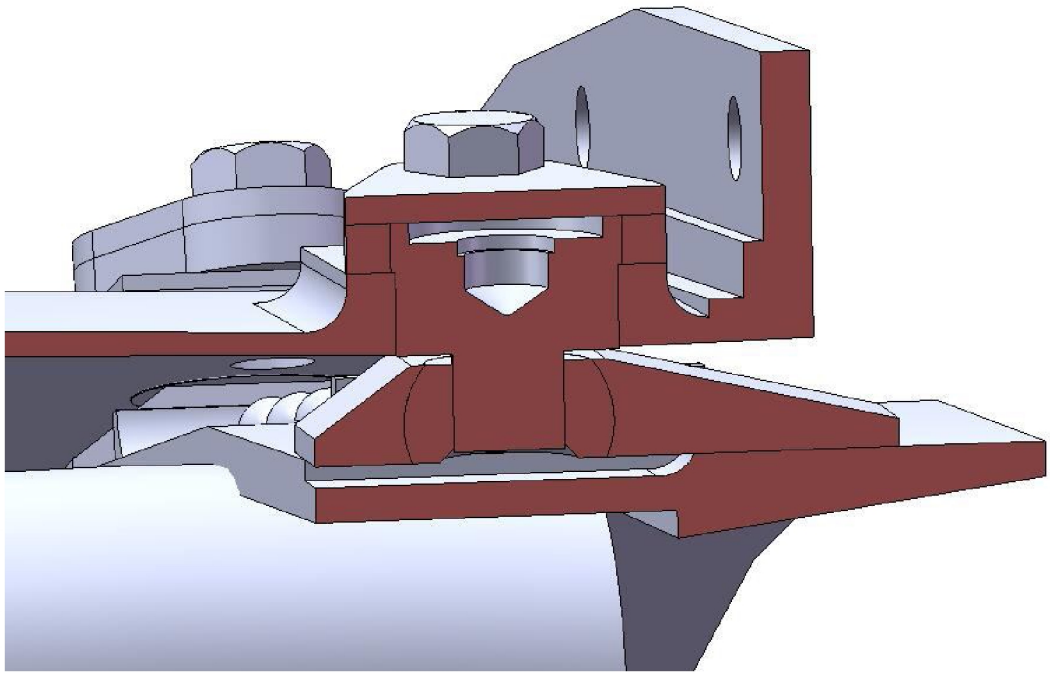


Рис. 5.4 Задний узел связи корпусов внутреннего и наружного контуров

Силовое кольцо 4 совместно с корпусом 6 образует щель для организации защитной пелены воздуха вдоль корпуса ФК.

Кок-обтекатель предназначены для уменьшения потерь энергии при выходе газа из турбины и обеспечения необходимого профиля проточной части в районе диффузора. Для предотвращения вибрационного горения стенки кока перфорированы. Кок с помощью фланца крепится к корпусу опор турбины.

5.2.2 Фронтовое устройство ФК

Фронтовое устройство предназначено для образования топливо-воздушной смеси и обеспечения надежного запуска ФК и устойчивого горения по всему сечению жаровой трубы и состоит (рисунок 5.5) из диффузора 1, системы 2 стабилизации пламени и топливных коллекторов 3 с форсунками.

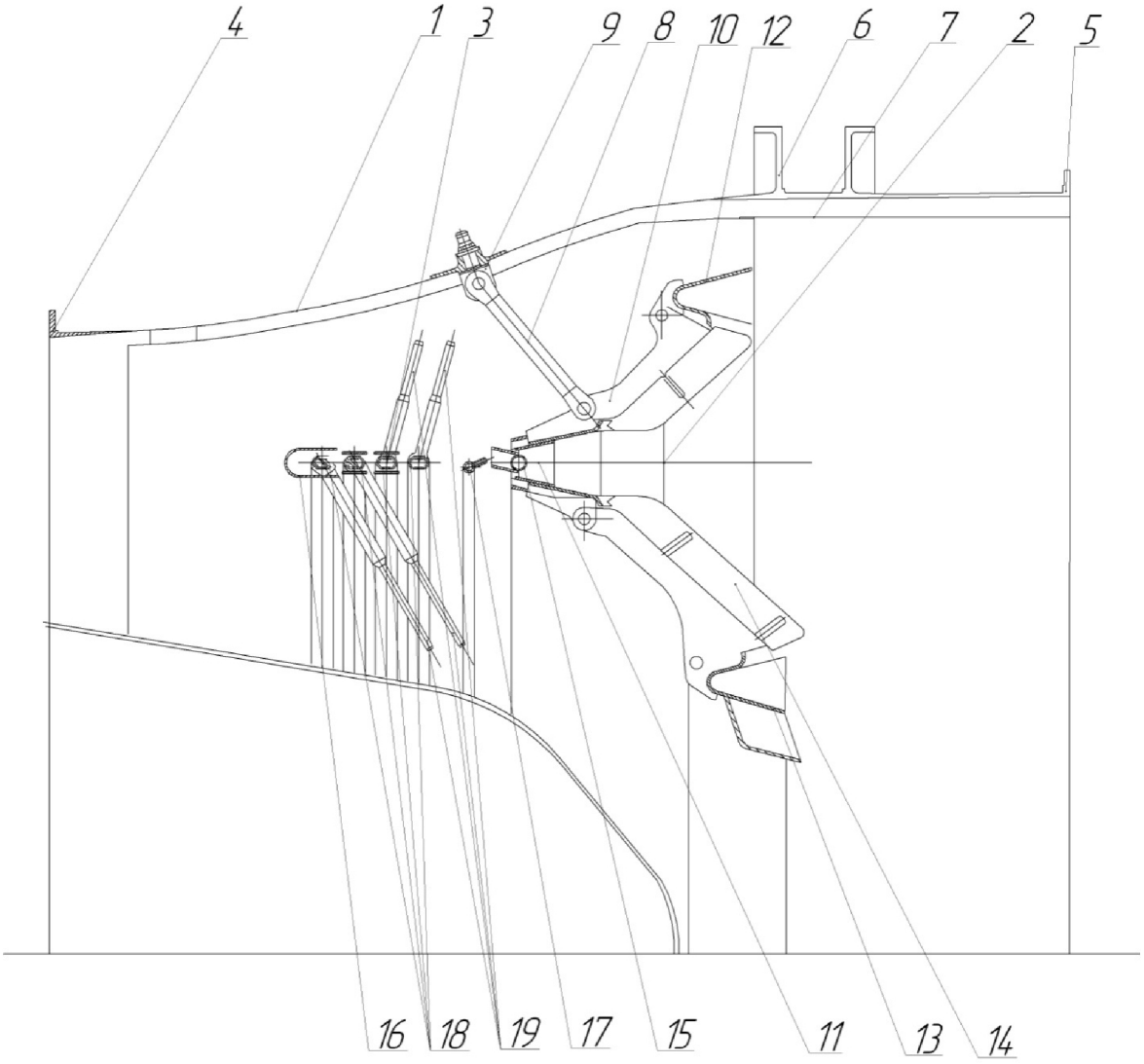


Рис. 5.5 Фронтовое устройство (лист 1 из 2)

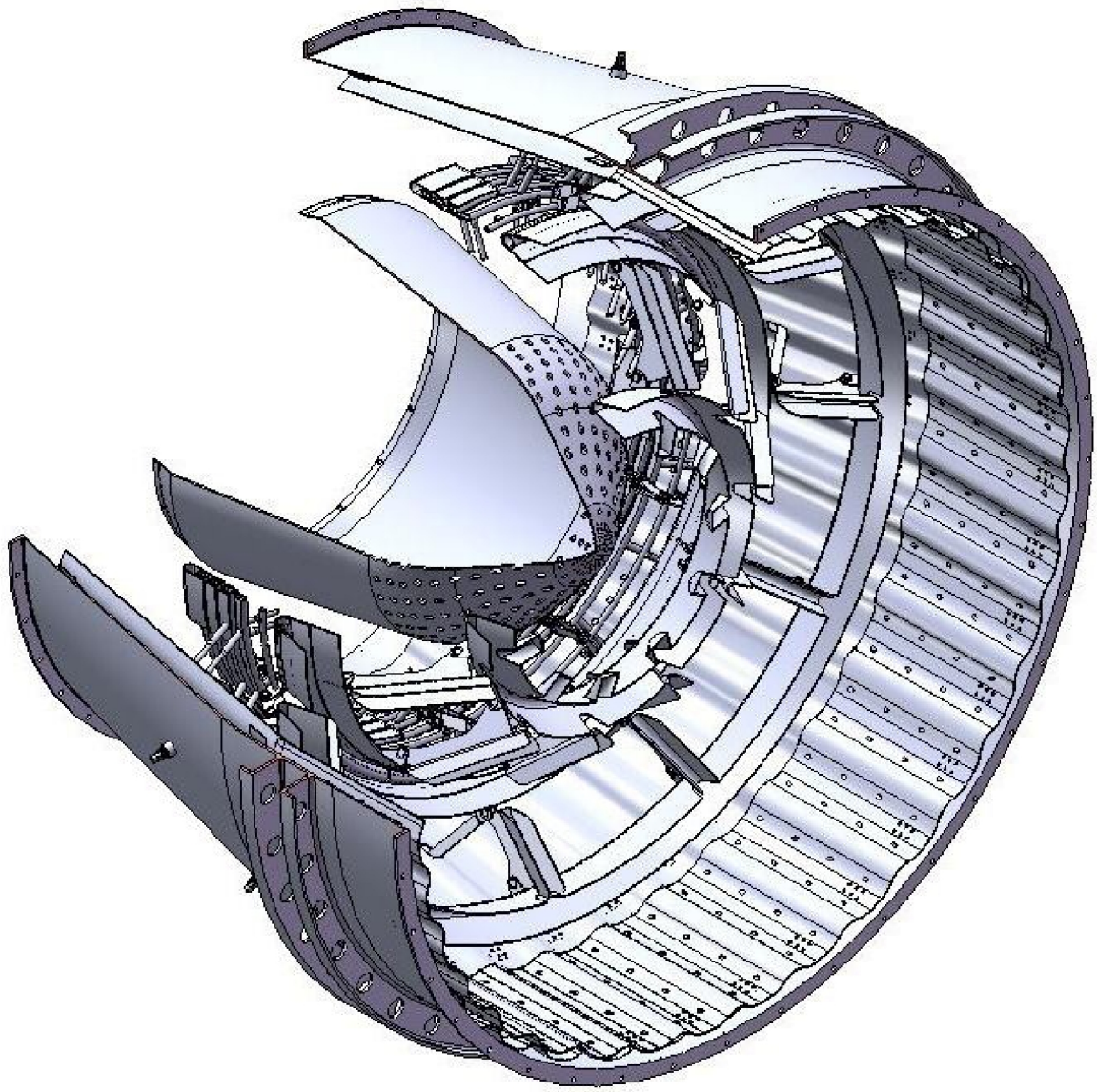


Рис. 5.5 Фронтовое устройство (лист 2 из 2)

Передним фланцем 4 корпус фронтового устройства крепится к корпусу смесителя, а к заднему его фланцу 5 крепится жаровая труба ФК.

Диффузор ФК предназначен для уменьшения скорости потока газов и представляет собой расширяющийся канал, образованный конической формы корпусом и коком-обтекателем. К наружной поверхности корпуса приварен силовой шпангоут 6 с узлами крепления двигателя к самолету. К внутренней поверхности корпуса диффузора присоединен двухсекционный гофрированный и перфорированный экран 7. Экран с корпусом образую кольцевой канал подвода

воздуха из наружного контура на охлаждение ФК. Вторая секция одновременно является антивибрационным экраном.

В задней части диффузора с помощью тяг 8 и кронштейнов 9 крепится блок 10 стабилизаторов пламени. Блок стабилизаторов пламени состоит из кольцевой форкамеры 11 и двух V-образных кольцевых стабилизаторов – наружного 12 и внутреннего 13, соединенных с форкамерой одиннадцатью V-образными стойками 14. Форкамера представляет собой V-образный кольцевой стабилизатор, внутри которого расположен "карбюратор", образованный одиннадцатью заглушенными по торцам трубками 15 с отверстиями-форсунками и с заборниками на входе. В каждую трубку через заборник поступает топливо из коллектора и газ из проточной части. Топливо и газ смешиваются в "карбюраторе" и через отверстия в трубке поступают во внутреннюю полость форкамеры. Форкамера закреплена на корпусе одиннадцатью тягами 8. Шарнирное крепление тяг и стоек обеспечивает свободу взаимных перемещений стабилизаторов относительно форкамеры и форкамеры относительно корпуса при изменении температурных режимов в ФК.

Топливные коллекторы 3 расположены перед форкамерой 11 и закреплены на ней серьгами, которые обеспечивают свободу температурных расширений коллекторов. Первые три коллектора имеют теплозащитные экраны 16.

Коллекторы относятся соответственно к первому и второму каскадам подачи топлива. Внутренняя полость этих коллекторов в противоположной стороне от места подвода топлива в них разделена на две части заглушками. Ближайший к форкамере коллектор 17 является пусковым и обеспечивает минимальную степень форсирования двигателя. При этом расход топлива через пусковой коллектор составляет около 10 % от суммарного расхода топлива в ФК.

Каждый из коллекторов 18 имеет по двадцать две форсунки 19, приваренные к наружным и внутренним поверхностям коллекторов. Каждая форсунка коллекторов имеет соответственно 6, 5, 8 и 8 отверстий, через которые подается

топливо в проточную часть фронтового устройства перпендикулярно потоку газа.

Пусковой коллектор 17 имеет одиннадцать струйных форсунок, подающих топливо в заборник "карбюратора" и тридцать три отверстия, направляющих топливо на отражатели.

5.2.3 Жаровая труба ФК

Жаровая труба (рисунок 5.6) представляет собой сварную конструкцию с передним и задним фланцами и состоит из корпуса 1 и четырех секций тепло-защитных экранов 2, последовательно расположенных вдоль оси ФК.

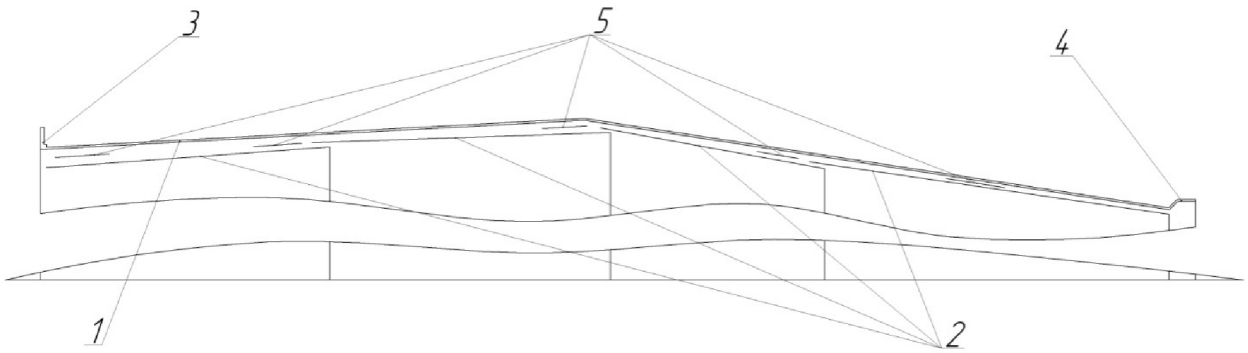


Рис. 5.6 Жаровая труба ФК (лист 1 из 2)

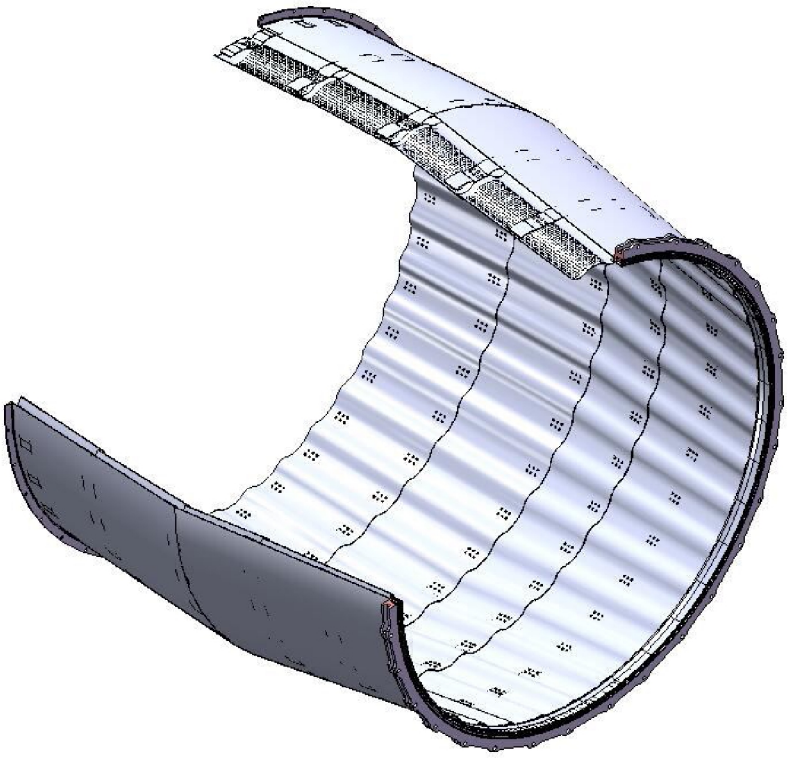


Рис. 5.6 Жаровая труба ФК (лист 2 из 2)

Передним фланцем 3 корпус стыкуется с фланцем корпуса фронтового устройства. К заднему фланцу 4 и шпангоуту, расположенному на конической части корпуса, крепятся элементы реактивного сопла. В нижней части корпуса установлен дренажный клапан для слива топлива. На внутренней поверхности корпуса имеются упругие пояса 5 для крепления гофрированных и перфорированных теплозащитных экранов. В зазор между корпусом и экранами поступает охлаждающий воздух. Через перфорацию в экранах воздух поступает к внутренней поверхности экранов и создает защитную пелену.

5.3 Работа форсажной камеры

Поток газа и воздуха из смесителя поступает в полость фронтового устройства. Часть воздуха попадает в полость, образованную экранами и стенками корпусов фронтового устройства и жаровой трубы, и охлаждает корпуса и реактивное сопло.

В системе стабилизации пламени фронтового устройства создается обширная зона обратных токов, что обеспечивает полноту сгорания топлива, надежный запуск и устойчивость работы ФК в широком диапазоне режимов.

Включение ФК осуществляется системой запуска при перемещении РУД в диапазон форсированных режимов.

Пламя "огневой дорожки", достигнув зоны обратных токов форкамеры, воспламеняет топливовоздушную смесь, подготовленную форкамерой и пусковым коллектором. После воспламенения топлива в ФК по сигналу ионизационных датчиков пламени снимается блокировка в регуляторе сопла и форсажа, соответствующая его работе на минимальном форсированном режиме.

Топливо через форсунки топливных коллекторов первого и второго каскадов (или только первого) подается в проточную часть фронтового устройства и вместе с потоком газа поступает в зону горения ФК. Количество подаваемого топлива определяется регулятором сопла и форсажа в зависимости от степени форсирования двигателя.

5.3 Система воспламенения топлива ФК

В систему входят следующие узлы и агрегаты (рисунок 5.7):

- дозатор;
- струйная форсунка (ФС);
- центробежная форсунка (ФЦ);
- блок управления воспламенением топлива ФК;
- блокировочное устройство по n_2;

- светосигнализатор «ФОРСАЖ»;
- электромагнитный клапан форсажа;
- сигнализатор давления топлива;
- два датчика пламени ионизационные (ДПИ).

Дозатор

Марка……агрегат 4033

Тип агрегата……электрогидравлический

Режим работы……циклический

Продолжительность одного впрыска……0,2-0,4 с

Интервал между последовательными включениями……...0,3-0,5 с

Дозатор предназначен для подачи топлива, поступающего от качающего узла НР определенными дозами к форсункам. Дозатор расположен в верхней левой части заднего корпуса наружного контура.

Струйная форсунка

Струйная форсунка подает топливо от дозатора в основную камеру сгорания под углом 45° к продольной оси двигателя в направлении потока газа и создает факел пламени. ФС устанавливается в верхней части корпуса ВВТ, соединена с дозатором топливным трубопроводом.

Центробежная форсунка

ФЦ подает топливо от дозатора в газовый поток за ТНД для усиления факела, созданного ФС. ФЦ устанавливается на поясе термопар смесителя ФК, с левой стороны. ФЦ установлена с учетом закрутки газового потока. Сопло ФЦ расположено против движения газового потока. ФЦ соединена с дозатором топливным трубопроводом.

Датчик пламени ионизационный

Тип – ДПИ-1500-5. Электрическое сопротивление изоляции датчика не менее 1 мОм. ДПИ предназначены для регистрации наличия пламени в ФК и выдачи сигнала о включении ФК. ДПИ установлены в нижней части фронтового устройства. В системе использованы два параллельно включенных датчика, которые обеспечивают надежность выдачи сигналов на различных режимах включения ФК. На правом фланце установлен датчик, сигнализирующий о наличии пламени в зоне ФК. На левом фланце установлен датчик, сигнализирующий о наличии пламени на наружном стабилизаторе ФК.

Электромагнитный клапан во включенном положении устанавливает элементы РСФ в положение, соответствующее минимальному форсажу.

Сигнализатор давления топлива РСФ выдает сигнал в КРД о наличии топлива в пусковом коллекторе ФК.

Блокировочное устройство по n_2 блокирует воспламенение топлива ФК при $n_2 \leq 85$ %.

Блок управления воспламенением топлива ФК управляет дозатором.

Светосигнализатор «ФОРСАЖ» в кабине самолета обеспечивает визуальный контроль воспламенения топлива ФК по сигналу ДПИ.

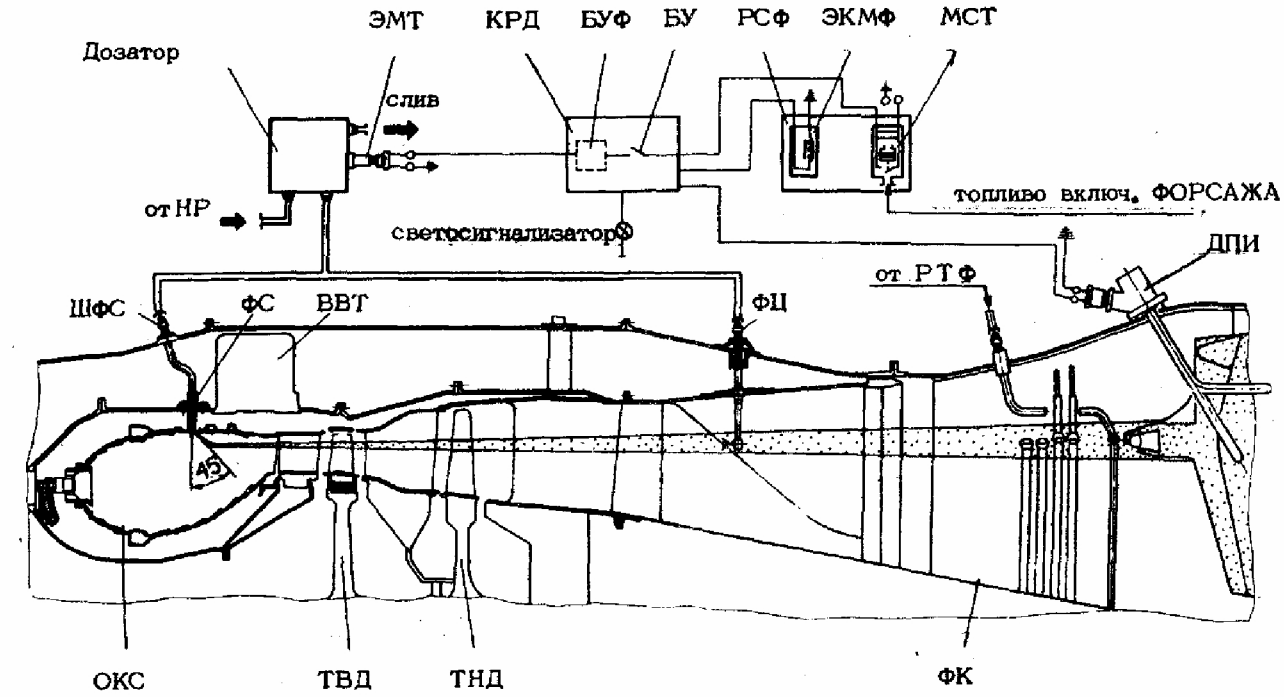
Включение системы воспламенения топлива ФК осуществляется РСФ при снятой блокировке по n_2 и сигнале о наличии давления топлива перед пусковым коллектором ФК.

Работа системы воспламенения топлива ФКС

При переводе РУД в диапазон форсированных режимов к сигнализатору давления топлива МСТ РСФ поступает командное топливо, управляющее пусковым коллектором. Под воздействием этого давления замыкаются контакты сигнализатора. При $n_2 \geq 85$ % в КРД проходит электросигнал 27В на включение ФК. Команда на включение ФК поступает на электромагнитный клапан ЭКМФ минимального форсажа РСФ, и КРД по заданной циклограмме подает электрические сигналы на электромагнит ЭМТ дозатора. Топливо для системы воспламенения ФК поступает в дозатор от качающего узла НР; давление этого топлива зависит от режима работы двигателя. Работой дозатора управляет электромагнит по сигналам КРД. Доза топлива, поступившая в ФС, впрыскивается в ОКС, воспламеняется и переносится газовым потоком за ТНД, где факел пламени от ФС усиливается дозой топлива, впрыснутой ФЦ. Образовавшийся факел пламени в ФК воспламеняет топливо, подаваемое пусковым форсажным коллектором. Через 0,2-0,3 с электромагнит обесточится по команде КРД; если форсаж не включился, то спустя 0,3-0,5 с электромагнит по команде КРД включится для подачи второй дозы топлива. За полный цикл работы системы в ФК подается три дозы топлива; после ФК сигнал с клапана минимального форсажа снимается. При воспламенении топлива ФК электропроводимость газа увеличивается, и ток в электрической цепи ДПИ резко возрастает. От ДПИ сигнал поступает в КРД для включения светосигнализатора «ФОРСАЖ», выключения дозатора и клапана минимального форсажа. При самопроизвольном выключении ФК (подача сигнала от ДПИ в КРД прекратилась) или не воспламенении топлива в ФК КРД выдает дискретный сигнал (с частотой 4-6 Гц) на светосигнализатор «ФОРСАЖ».



ФС – струйная форсунка; ФЦ – центробежная форсунка; ШФС – штуцер подвода топлива к ФК; ЭМТ – электромагнит дозатора;



БУ – блокировочное устройство по n_2; ЭКМФ – электромагнитный клапан минимального форсажа; МСТ – малогабаритный сигнализатор давления топлива МСТ-10А; ДПИ – датчик пламени ионизационный; ВВТ – воздуховоздушный теплообменник.

Рис. 5.7 Система воспламенения топлива ФК «огневая дорожка»

6 РЕГУЛИРУЕМОЕ РЕАКТИВНОЕ СОПЛО

Выходное устройство осесиметричное, регулируемое, всережимное, сверхзвуковое, створчатой конструкции. Выходное устройство крепиться к задней части форсажной камеры.

Общее управление критическим сечением (суживающаяся часть ВУ) и сечение среза сопла (расширяющаяся часть ВУ) осуществляется с помощью 16-ти гидроцилиндров. Рабочим телом служит топливо. Оптимизация площади среза сопла осуществляется автоматически под действием газовых и сжимающих сил 16-ти пневмоцилиндров, расположенных вокруг створок и проставок сверхзвуковой части сопла и действующих на них.

В конструкцию выходного устройства входят (рисунок 6.1, 6.2):

- три ряда створок и проставок: первый ряд 14 (Дозвуковая суживающаяся часть ВУ), второй ряд 13 (сверхзвуковая расширяющаяся часть ВУ), третий ряд 11 (внешняя часть ВУ);
- гидроцилиндр 4 с ложементом 5;
- качалки 6,8;
- механический упор 7, тяги 9,15;
- пневмоцилиндр 10 (крепиться на створке 11);
- силовое кольцо 17 с закрепленными на нем упругими элементами в форме пластин 2, которые с помощью вильчатых тяг 3 соединяются с ложементом 5;
- задняя часть корпуса форсажной камеры 1 (выполняет роль корпуса ВУ) с силовыми элементами;

Первый ряд створок 14 шарнирно крепиться к заднему фланцу форсажной камеры 1 и через тягу 15, качалку 6 соединяется со штоком гидроцилиндра 18.

Гидроцилиндр шарнирно крепиться к ложементу 5. створка 13 шарнирно крепится к створке 14 и опирается на ролики 19 (рисунок 6.3), которые закреплены на створке 11.

Створка 11 крепится к ложементу 5 с помощью шарнирного узла 20 (рисунок 6.4) и только относительно этого узла она может поворачиваться при изменении как площади критического сечения, так и площади среза сопла. Кроме этого, створка 11 соединятся с ложементом 5 через тягу 9, качалку 8, механический упор 7 и шарнирный узел.

Одновременно створка 11 через тягу 9, качалки 8,6, тягу 15 соединяется со створкой дозвуковой части ВУ 14 и через ролики 19 (рисунок 6.3) со створкой сверхзвуковой части ВУ 13.

Механический упор 7 ограничивает изменение площади среза сопла как на режиме «полный форсаж» (шток механического упора максимально вдвинут в цилиндр), так и на режиме «максимал» (шток упора максимально выдвинут).

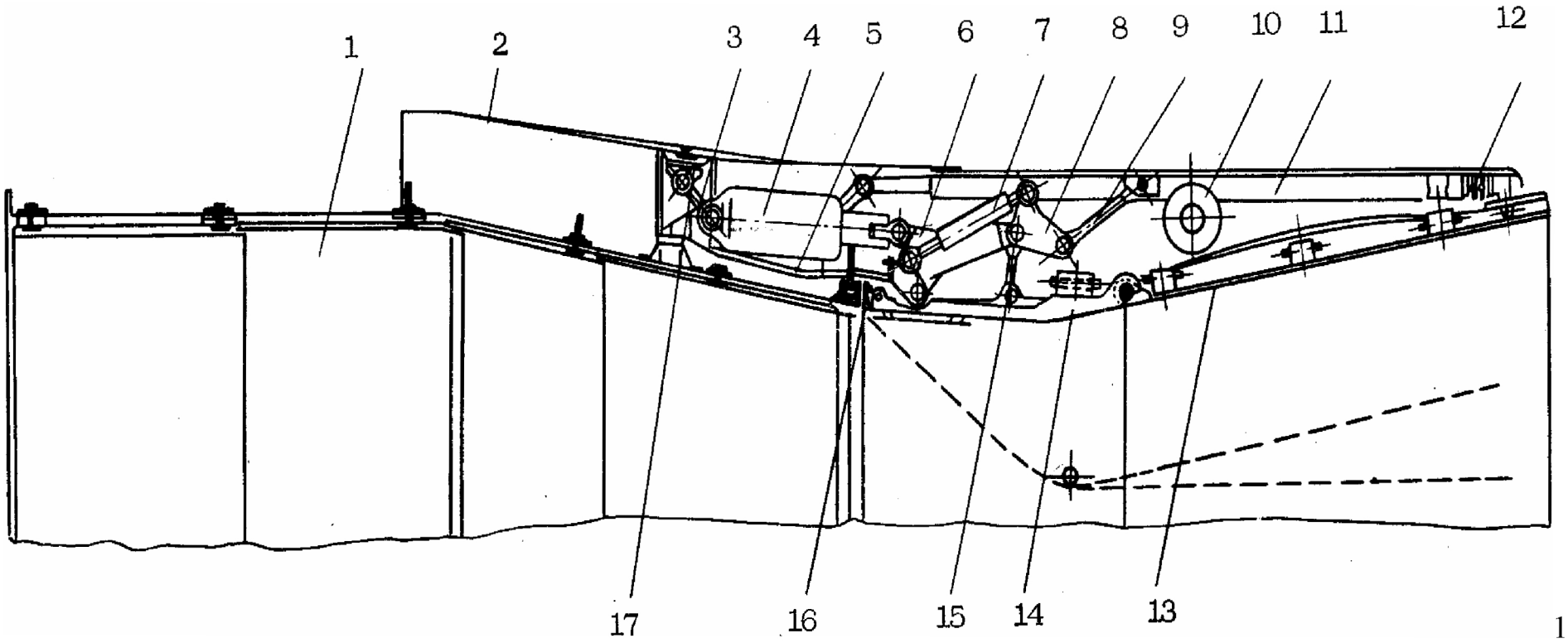
Такая схема кинематики ВУ позволяет реализовать следующие принципы его работы:

а) Оптимизировать площадь среза сопла из условия полного расширения газа в нем при неподвижном штоке гидроцилиндра 18 (рисунок 6.2). При этом, кинематически связанные с ним качалки 6, тяги 15 и створки сужающейся части ВУ 14 также неподвижны.

Оптимизация площади среза сопла осуществляется за счет изменения положения створок 11 и 14 под действием сил со стороны внешнего потока воздуха, газа на выходе из ВУ и пневмоцилиндров 10.

б) Изменять одновременно площади критического сечения и сечения среза сопла при перемещении штока гидроцилиндра 18. В этом случае усилие со штока 18 передается качалке 6, которая, поворачиваясь относительно оси 21 (рисунок 6.5), через тягу 15 поворачивает створку 14.

С изменением положения створки 14 изменяется площадь критического сечения ВУ. Одновременно с поворотом качалки 6 изменяется положение качалки 8, тяги 9, створок 11 и сворок 13. Поворот створки 14 через узел 9 изменяет положение створки 13. С изменением положения створки 13 изменяется площадь среза сопла.



1 –

1 - корпус форсажной камеры, 2 - упругие элементы, 3 – вильчатые тяги, 4 – гидроцилиндр, 5 – ложемент, 6 – качалка, 7 – механический упор, 8 – качалка, 9 – тяга, 10 – пневмоцилиндр, 11 - внешняя створка, 12 – ограничитель, 13 – надстворка, 14 – створки, 15 – тяга, 16 - корпус шарнира, 17 - кольцо

Рис. 6.1 Регулируемое реактивное сопло

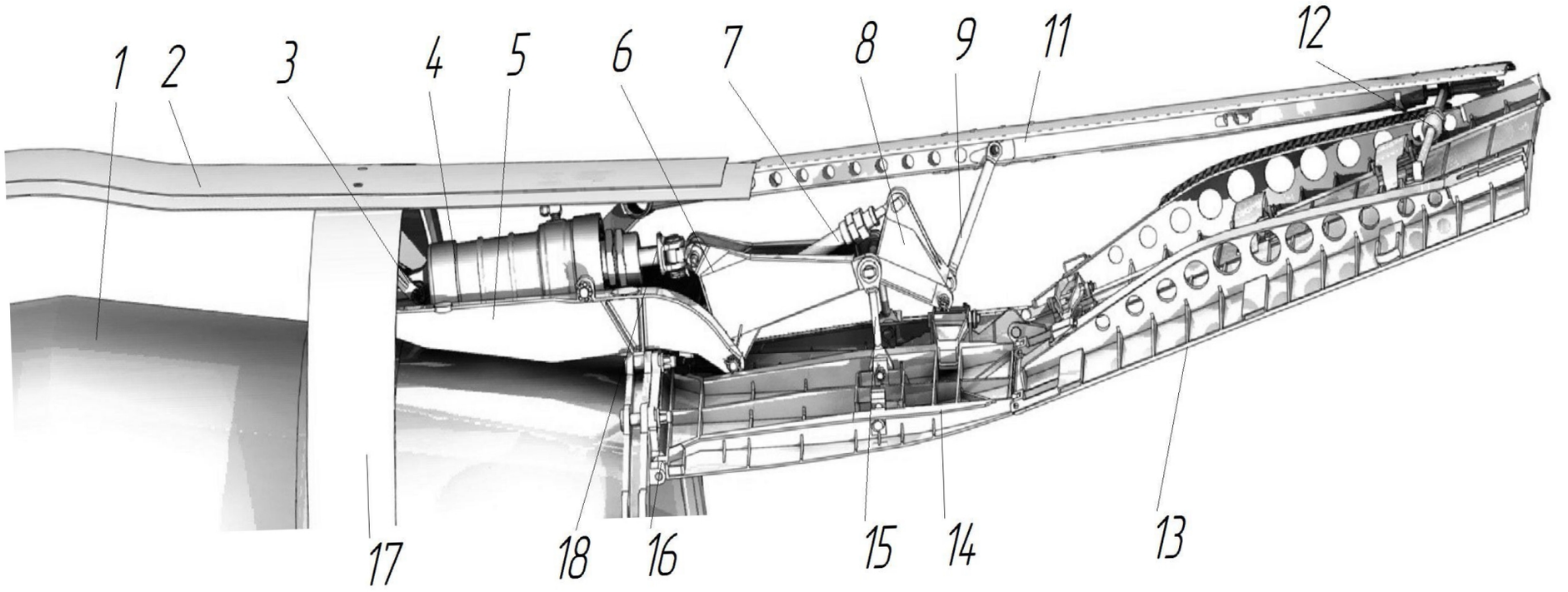


Рис. 6.2 Объемная модель регулируемого реактивного сопла

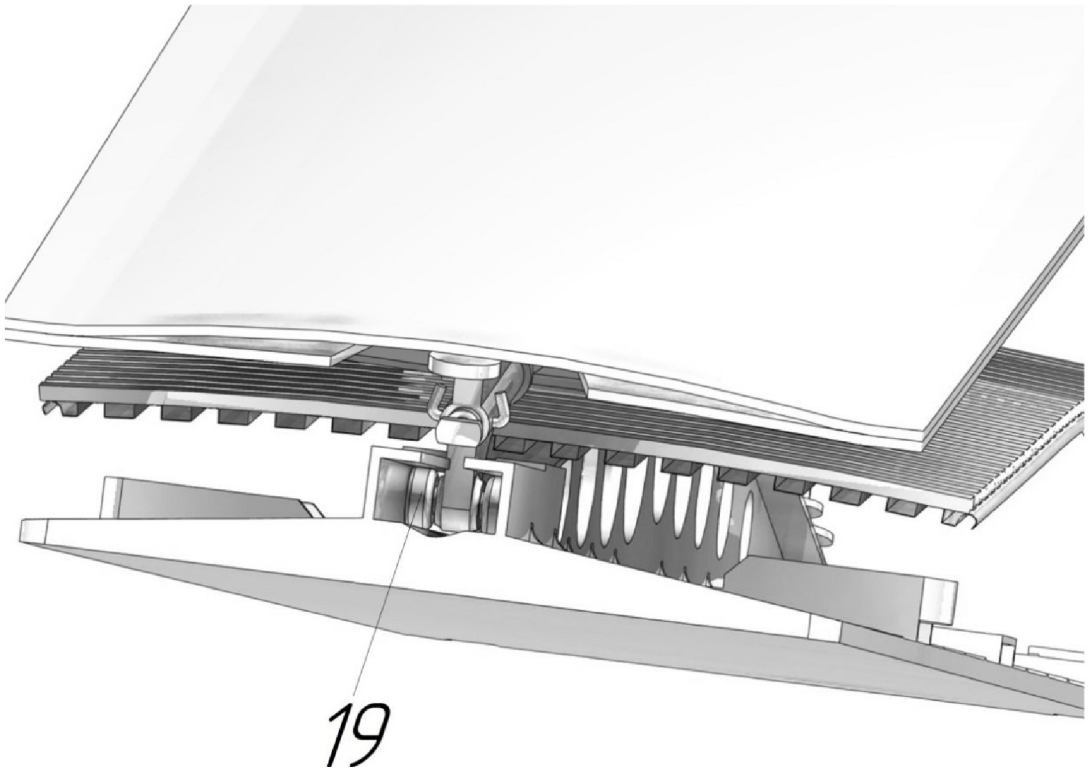


Рис. 6.3 Ролики внешней створки

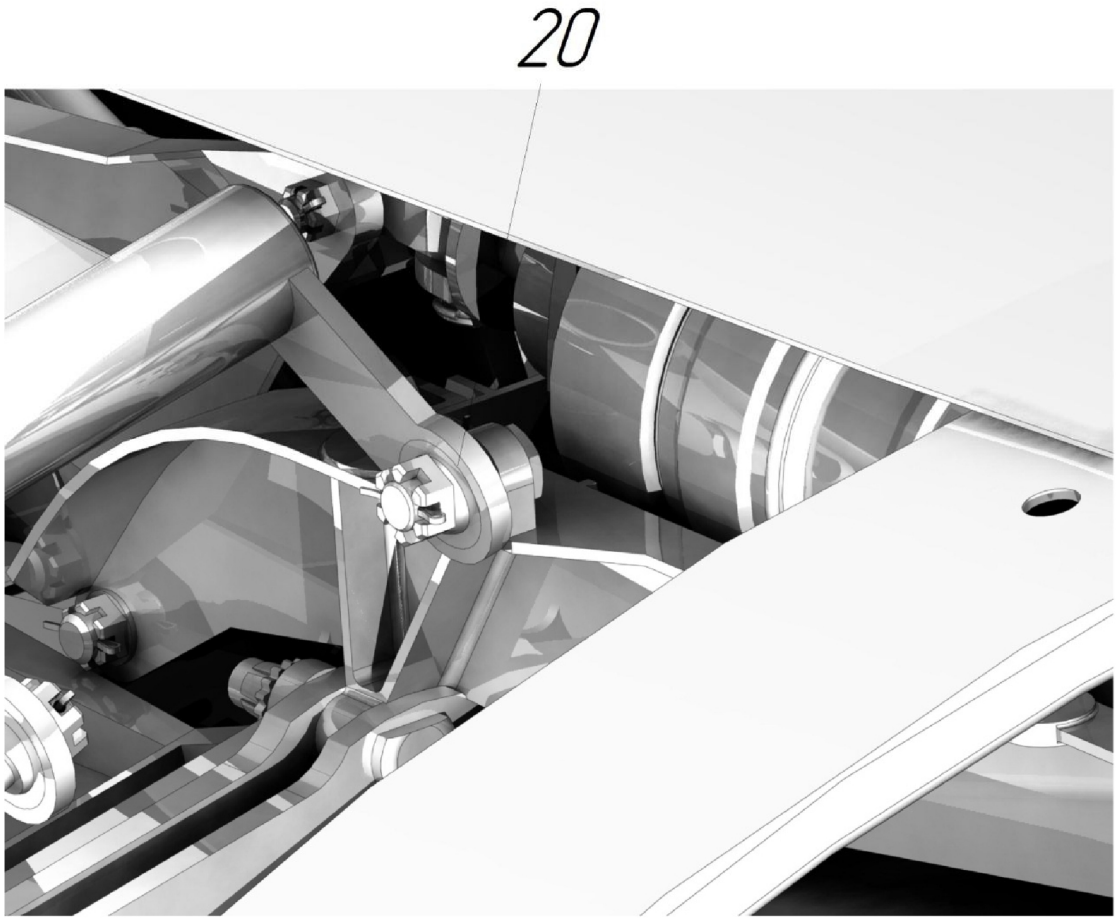


Рис. 6.4 Шарнирный узел

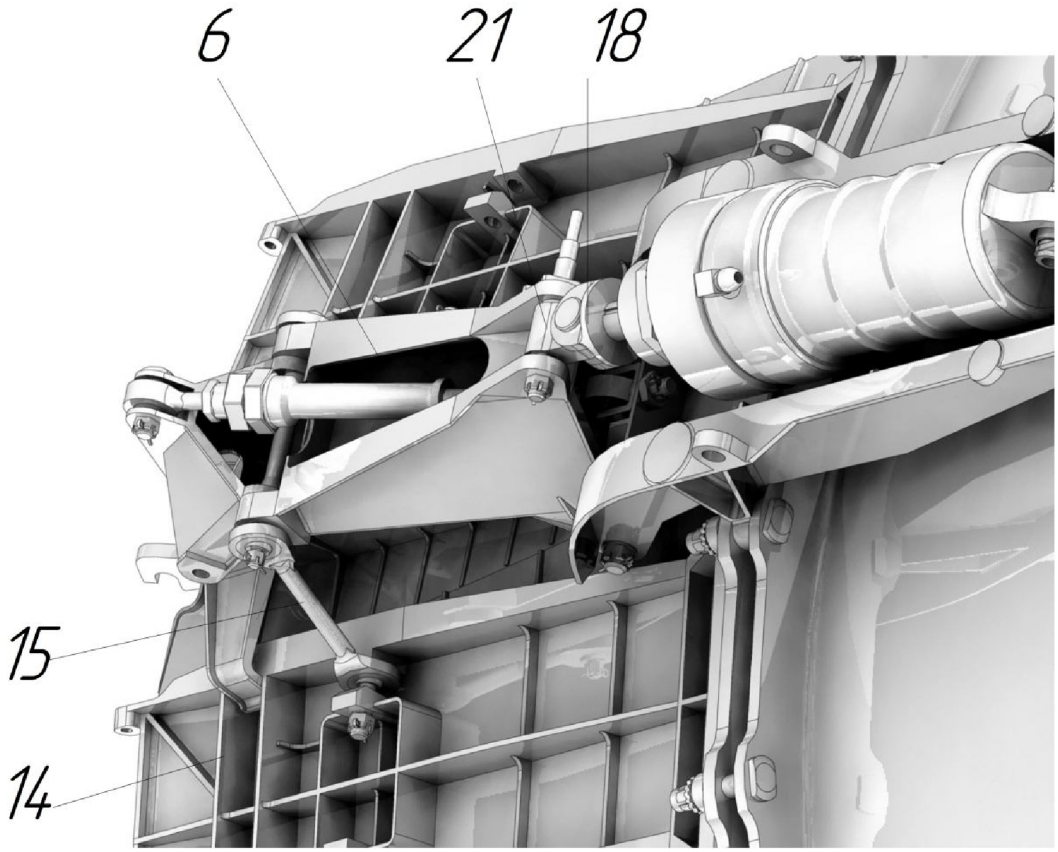


Рис. 6.5 Передача усилия к створке дозвуковой части сопла

Суживающаяся (дозвуковая) часть ВУ состоит из 16-ти створок и проставок, механизма их синхронизации и управления. Створка (рисунок 6.6) отлита в форме равнобедренной трапеции, имеет на внешней поверхности два высоких продольных 1 и ряд мелких поперечных ребер жесткости 4. два крайних силовых продольных ребра 1 переходят в проушины 2 на передней и 5 задней кромках створки. На силовых ребрах створки выполнены литые бобышки 6 с отверстиями под болты.

Тепловой экран 3 крепится к створке заклепками . Тепловой экран защищает створки от высокой температуры газа в критическом сечении сопла. Охлаждающий воздух в пространство между тепловым экраном и створкой поступает из-под теплового экрана форсажной камеры через специальные вкладыши.

Каждая створка с помощью передних проушин 7 и осей 9 крепится к специальной детали 8 (рисунок 6.7). При этом ось 9 свободно вводится в проуши-

ны створки 4 и впрессовывается в тело детали 8. Деталь 8 имеет фланец с отверстиями для крепления ее и створок к фланцу корпуса форсажной камеры болтами. При этом деталь 8 фиксирует специальные вкладыши для подвода воздуха под тепловой экран створки. Для центрирования фланца детали 8 и вкладыша с фланцем форсажной камеры на нем и на вкладыше выполнены кольцевые буртики.

Пластина предотвращает перетекание газа в узле соединения детали 1 и створки. С помощью задних проушин 5 створка соединяется со створкой сверхзвуковой части сопла.

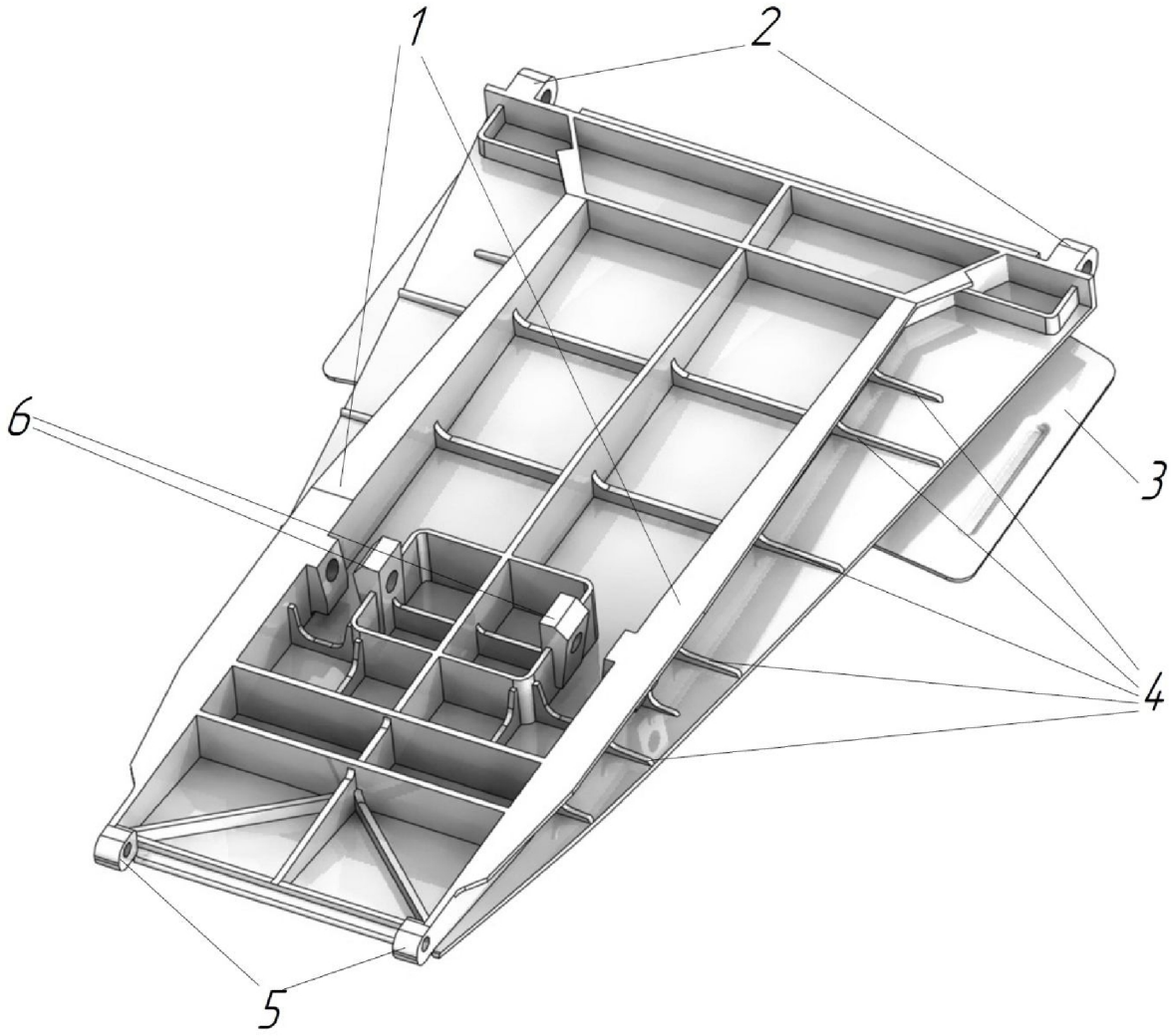


Рис. 6.6 Дозвуковая створка

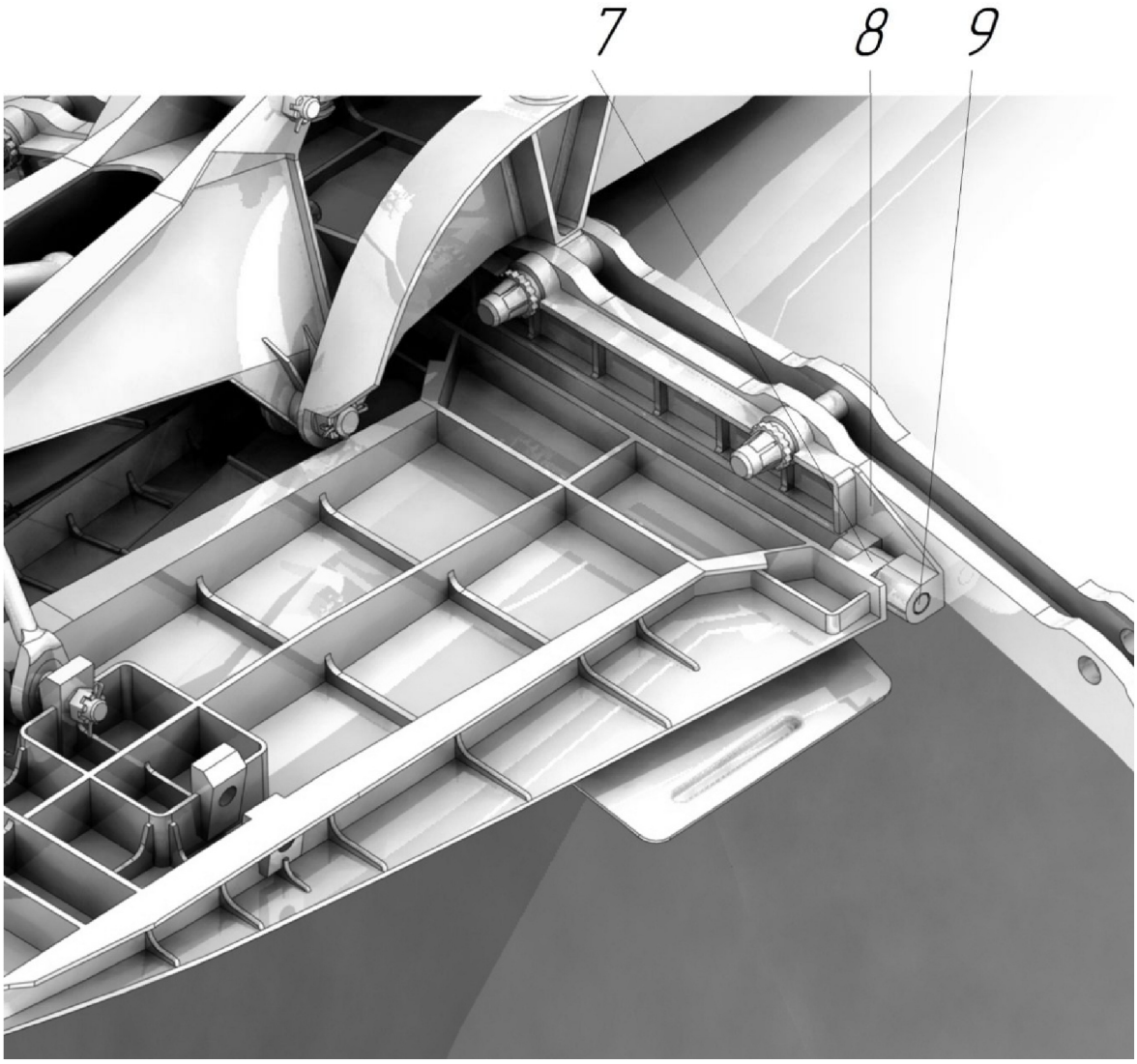


Рис. 6.7 Крепление створки к корпусу жаровой трубы

Вкладыши (рисунок 6.8) выполнены литыми и предназначены для подвода охлаждающего воздуха из-под теплового экрана форсажной камеры через семь каналов 5 в пространство между створкой и ее тепловым экраном. Жесткая конструкция вкладыша обеспечивает на различных режимах работы двигателя постоянное сечение каналов. Прорези 2 делят переднюю кромку на три части: 1, 3, 4. Через прорези 2 проходит тепловой экран форсажной камеры. Края частей 1, 3, 4 загибаются так, чтобы тепловой экран мог пройти через прорези 2. Центрирование вкладыша 1 с фланцем корпуса форсажной камеры 8 осуществляется с помощью поясков 8. Внутренняя поверхность 6 пояска 7 служит для центрирования с пояском детали 1.

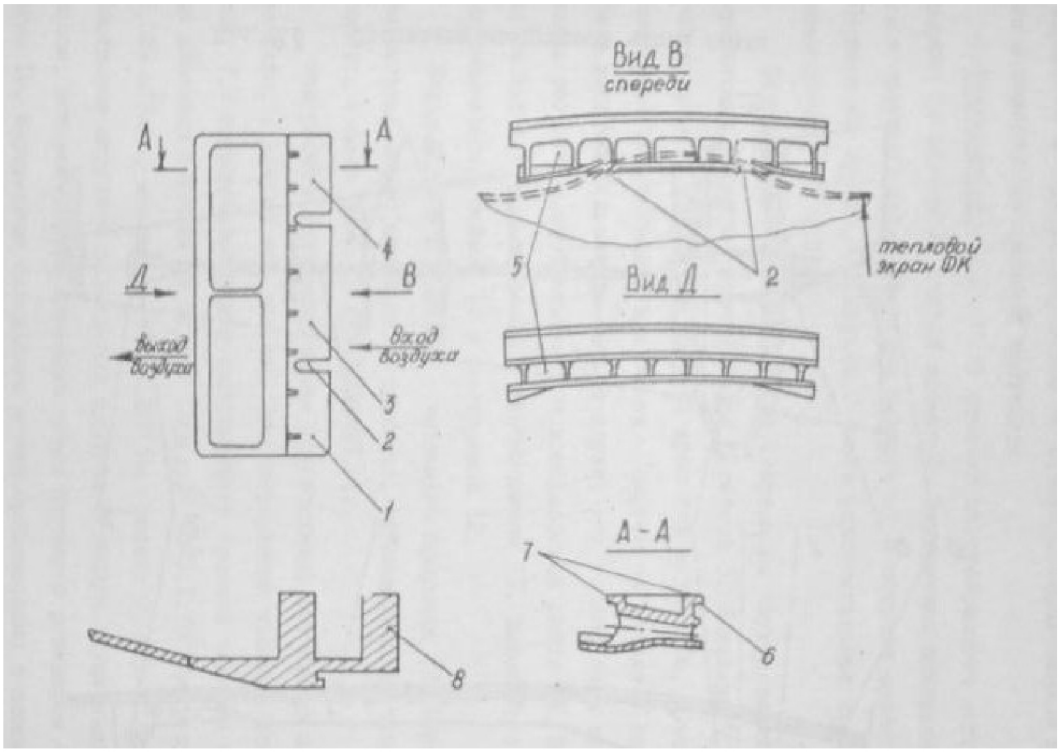


Рис. 6.8 Вкладыш

Проставка суживающийся (дозвуковой) (рисунок 6.9, 6.10) части сопла выполнена литьем. Имеет форму трапеции и на наружной поверхности ребра жесткости 3,10. Основное ребро жесткости проходит по середине проставки и заканчивается впереди проставки проушиной. В проушине с помощью небольшого штифта 1 закреплен опорный штифт 2. В задней части проставки ребро переходит в крюк 8 для соединения с проставкой сверхзвуковой части сопла. Здесь же на ребре выполнены проушины 6 для крепления к нему коромысла 4 с помощью штифта 5, шайб 7 и контровки 9. Боковые края проставки входят под створки. Штифтом 2 и коромыслом 4 проставка опирается на две створки в верхней части сопла, а в нижней части сопла (от выпадания) она фиксируется опорой боковых краев проставки на края створок. Осевая фиксация проставки и препятствие выходу створок и проставок из взаимного перекрытия осуществляется коромыслом 4. при этом каждый край коромысла входит в углубление на створке, образованное продольными и поперечными ребрами жесткости.

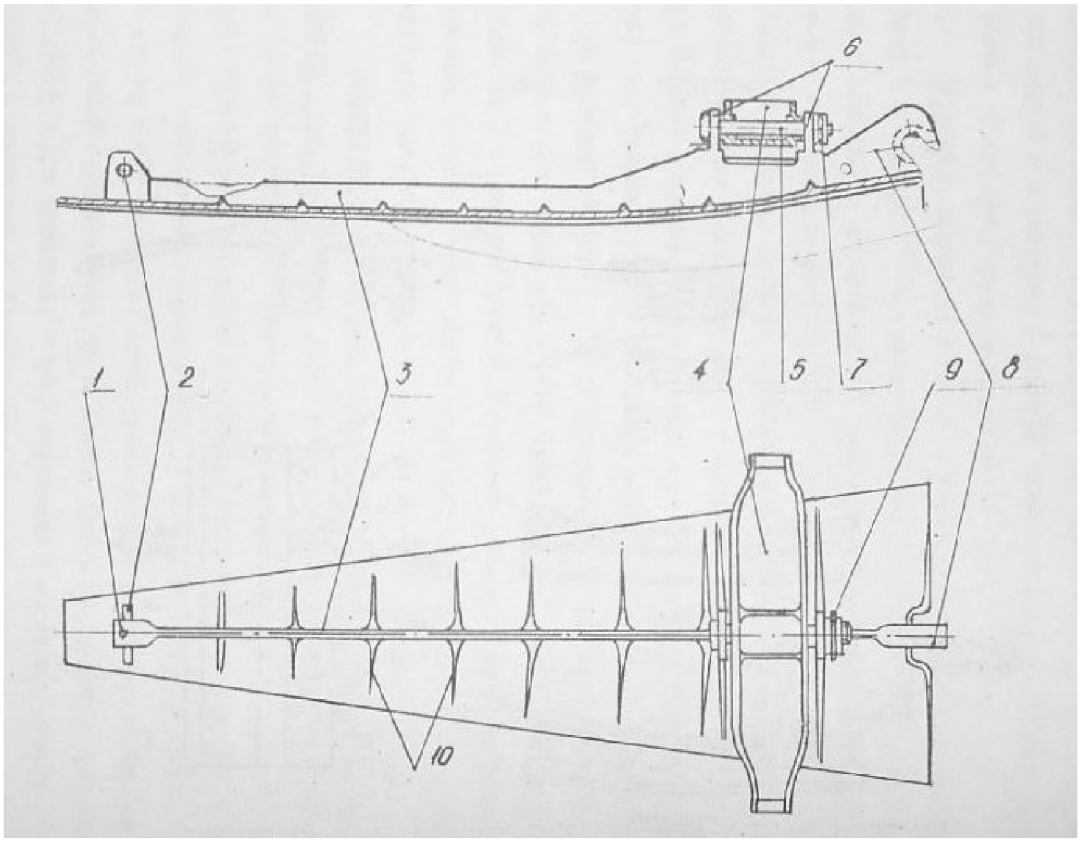


Рис. 6.9 Проставка дозвуковой части ВУ

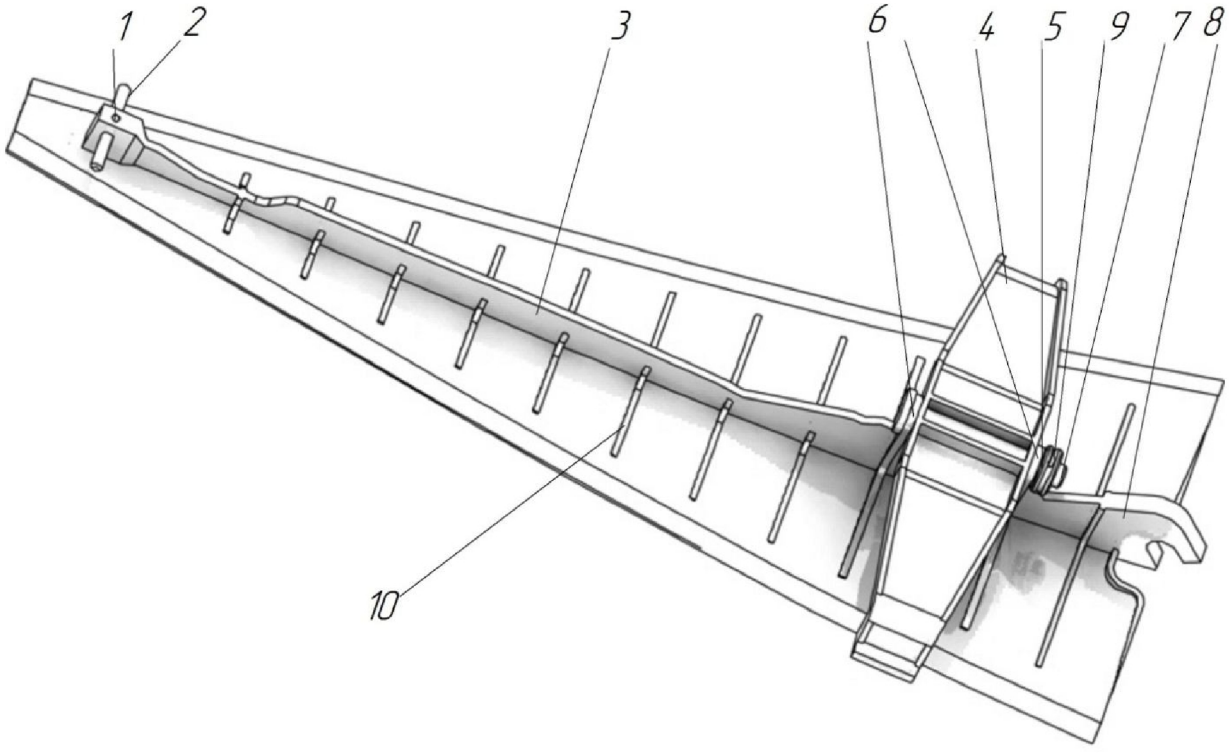


Рис. 6.10 Объемная модель проставки дозвуковой части ВУ

Гидроцилиндр (рисунок 6.11, 6.12) состоит из оребренного корпуса 3, поршня со штоком 2, задней крышки 5. Внутренняя поверхность корпуса и наружная штока и поршня полируется и покрыта слоем хрома. Поршень 2, крышка 5 и втулка 7 имеют уплотнительные кольца и манжеты по типу 17 и 21.

Задняя крышка гидроцилиндра сварена из двух деталей 5и 7 и крепится к корпусу гидроцилиндра 3 гайкой 6. К детали 7 с внутренней стороны с помощью штифта 15 крепится втулка 16, которая выполняет роль направляющей для штока. Снаружи на детали 7 нарезана резьба и выполнена канавка 8. Резьба служит для установки в нужное положение регулировочной втулки 9 и контровочной гайки 14. Во внутрь штока ввернут хвостовик 10 с наконечником 11. Фиксация хвостовика осуществляется гайкой 13 и контровкой 12.

Заодно целое с цилиндром выполнена проушина 23. внутрь проушины смонтирован сферический подшипник, на поверхность которого наносится смазка ПФМС-4С.

При работе двигателе через гидроцилиндр постоянно циркулирует топливо, охлаждая его детали. Частично наружное охлаждение корпуса осуществляется топливом, которое поступает внутрь цилиндра через штуцер с ресивером 4 и отверстия 18. внутренне охлаждение штока организовано с помощью распределительной втулки 19, сетчатых жиклеров постоянного сечения 22, уплотнительного кольца с центральным отверстием 20. регулировочные кольца 1 и стопорное кольцо определяют фиксированное положение деталей внутри штока.

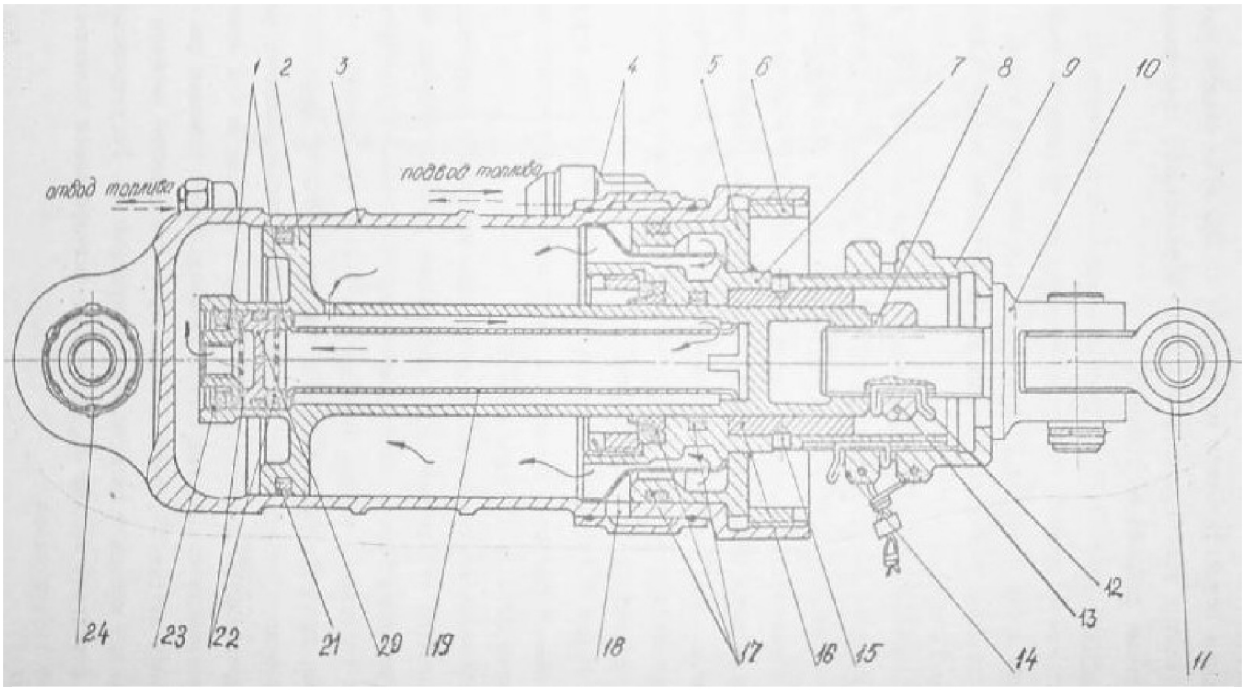


Рис. 6.11 Гидроцилиндр

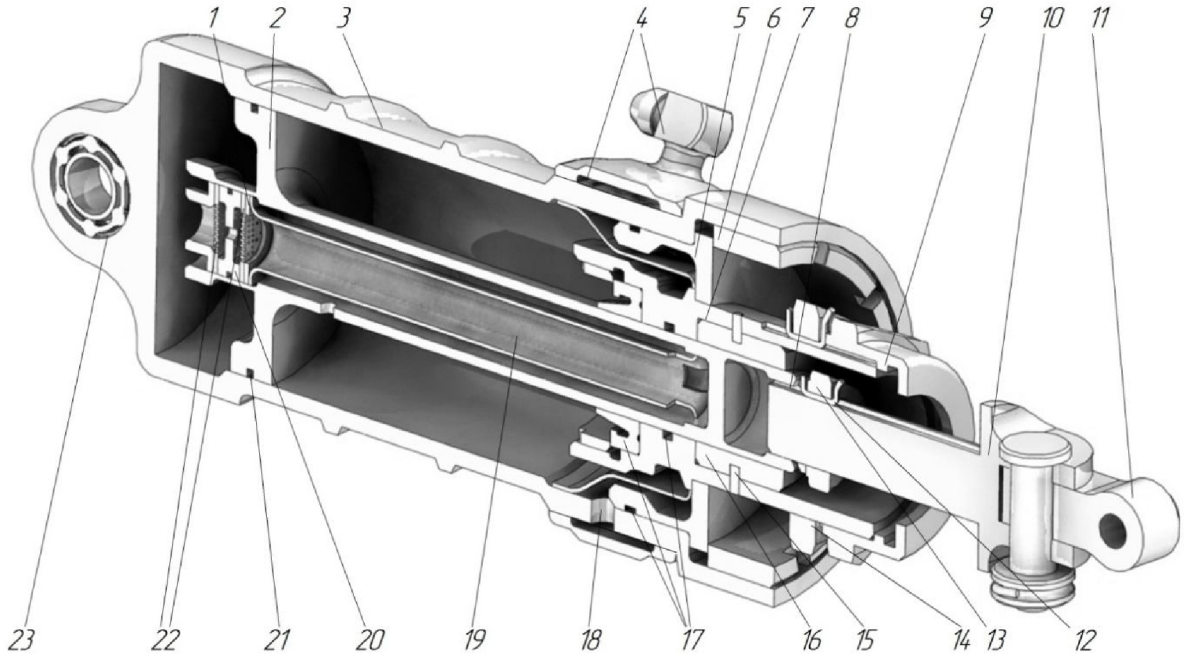


Рис. 6.12 Объемная модель гидроцилиндра

Регулировка максимальной площади критического сечения сопла осуществляется с помощью втулки 9. зафиксированное положение втулки 9 определяет крайнее левое положение штока поршня 2. В этом случае торцевая по-

верхность хвостовика 10 упирается во втулку 9. Заворачивание втулки 9 приводит к увеличению площади критического сечения сопла. Отворачивание к уменьшению площади критического сечения сопла. После регулировки втулка 9 фиксируется гайкой 14 и контровочной проволокой.

Регулировка минимальной площади критического сечения сопла осуществляется в крайнем правом положении штока с поршнем 2. при этом он упирается в торцевую поверхность детали 7. Вращение штока с поршнем 2 за грани 6 приводит к вворачиванию внутрь либо к выворачиванию изнутри штока хвостовика 10. Вворачивание хвостовика 10 внутрь штока приводит к увеличению минимальной площади критического сечения сопла и наоборот. После регулировки хвостовик штока 10 фиксируется гайкой 13 и контровочной пластиной 12.

Механизм синхронизации и управления створками и проставками дозвуковой части сопла (рисунок 6.13) предназначен для одновременного и синхронного поворота всех створок, проставок дозвуковой суживающейся части сопла при перемещении хвостовиков штоков 2 гидроцилиндров 3. Механизм управления и синхронизации состоит из: качалок 7, тяг 9,15, створок 10,13 и гидроцилиндров 3. Гидроцилиндр 3 через шарнир 4 (рисунок 6.14) крепится к жесткому ложементу 1. Ложемент 1 крепится в двух поясах к корпусу форсажной камеры заклепками 5. Второй пояс крепления представляет собой фланцевое соединение. Фланец ложемента 22 (рисунок 6.15) соединяется с фланцем форсажной камеры 8 болтами. Крепление ложемента к силовым поясам форсажной камеры обеспечивает свободу температурных деформаций.

Качалка 7 соединяется с ложементом 1 и с хвостовиком штока 2 с помощью шарниров, соответственно, 6 и 9. К качалке 7 с одной стороны с помощью шарнирных узлов 10,12 тяги 11 крепится створка 13. С другой стороны к качалке с помощью аналогичных узлов 18,20 и тяги 19 крепится створка 17. Таким образом, образуется единый кольцевой контур синхронизации всех створок и гидроцилиндров между собой. При выходе штока 2 из цилиндра 3 (в процессе

управления ВУ) усилие со штока передается на качалку 7, узлы 9,11,18,20, тяги 10,19 на створки 13,17, заставляя их вращаться вокруг своих осей, закрепленных на фланце 8. при этом изменяется площадь критического сечения сопла (при выходе штока – уменьшаеться, а при втягивании – увеличивается). Синхронность перемещения проставки 15 обеспечивается за счет ее связи со створками 13 и 17 через коромысло 14, и штифт .

На качалке 7 с помощью шарнирных узлов 9,18 крепится качалка внешней створки 16, которая через телескопический упор 21 соединяется с ложементом 1.

Расширяющаяся (сверхзвуковая) и внешняя части ВУ состоят из: створок и проставок сверхзвуковой (внутренней) части ВУ, створок и проставок внешней части ВУ, силовой фермы с упругими элементами, механизма синхронизации внешних и внутренних створок и проставок ВУ, пневмоцилиндров.

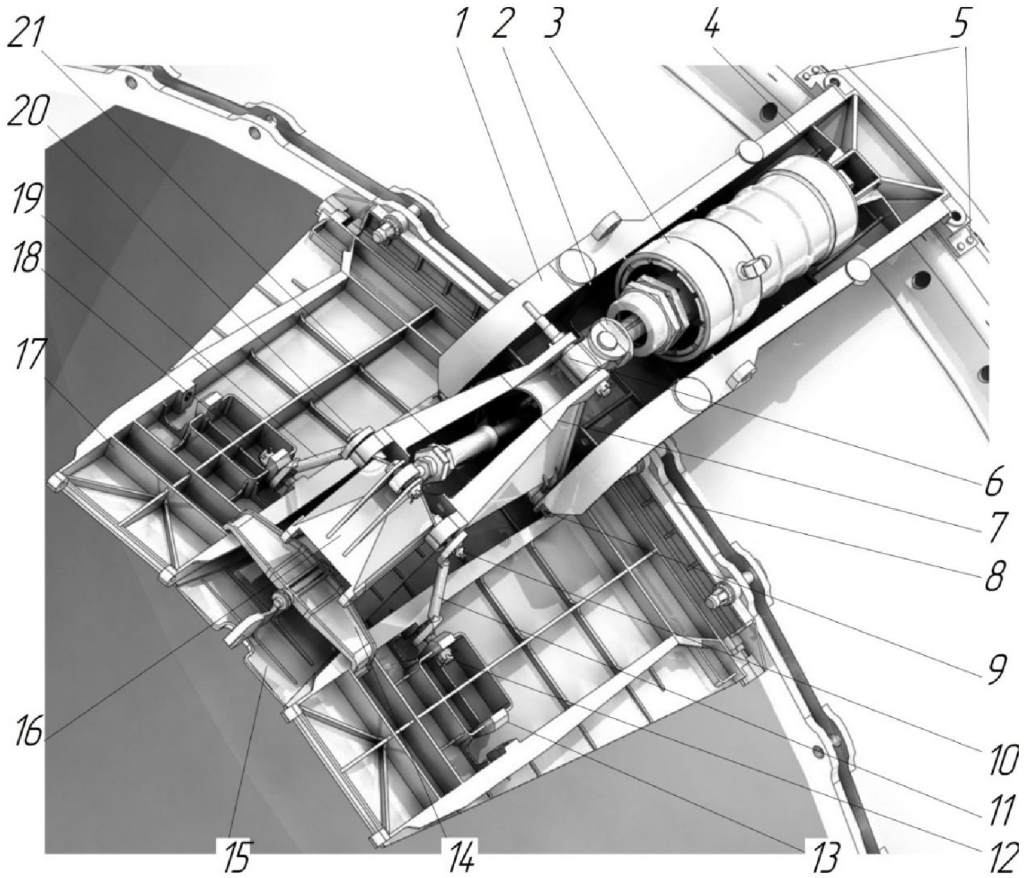


Рис. 6.13 Механизм синхронизации и управления створками и проставками дозвуковой части сопла

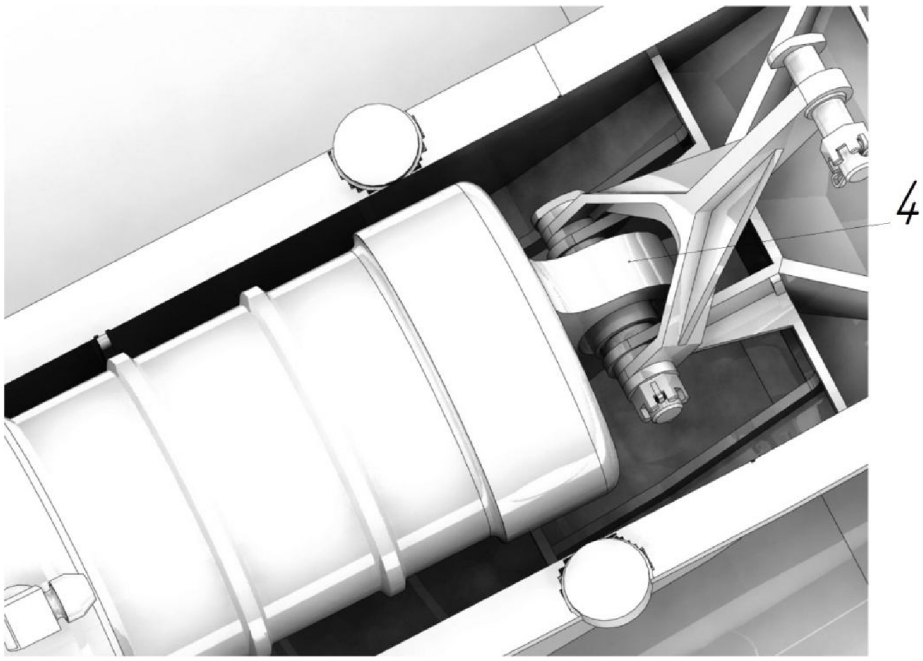


Рис. 6.14 Крепление гидроцилиндра к ложементу

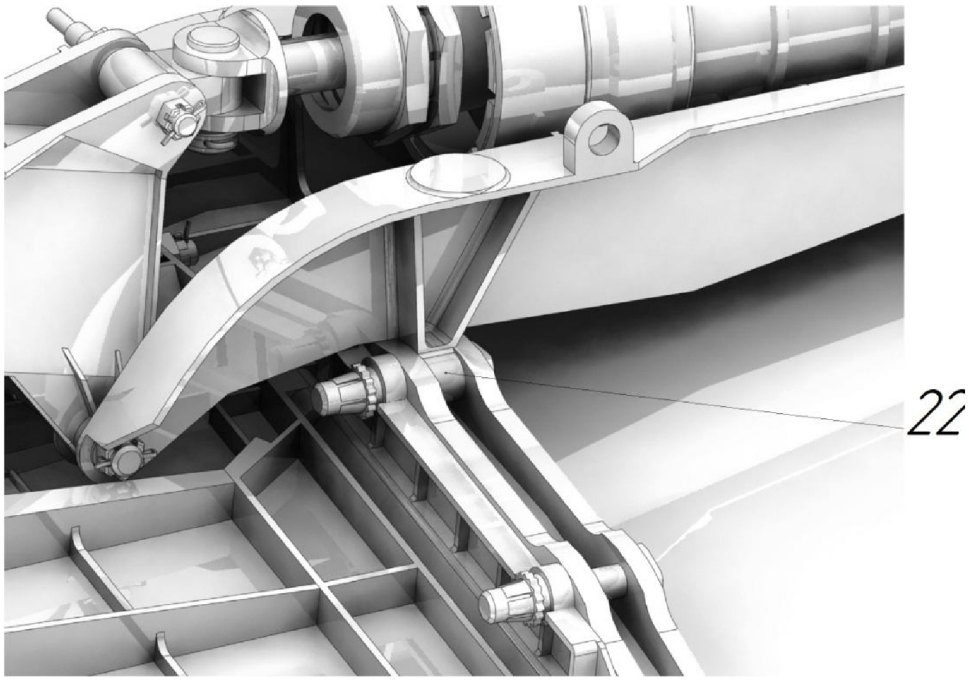


Рис. 6.15 Фланец ложемента

Створка сверхзвуковой части ВУ (рисунок 6.16) литой конструкции имеет мелкий набор поперечных ребер жесткости и очень мощный, по середине створки, двутаврового сечения профиль 2 с отверстиями. Спереди створка имеет сдвоенные проушины 4 для крепления со створкой дозвуковой части сопла.

На внешней поверхности створки выполнены опорные поверхности 5,6,7 для коромысел проставки. С двух сторон от профиля 2 в опорной поверхности 7 выполнено углубление с целью размещения в нем края коромысла проставки для осевой фиксации проставки и предотвращения выхода ее и створки из взаимного перекрытия. К профилю створки 2 с помощью заклепок крепятся соответственно траверса 3 и тепловой экран 1. Траверса 3 служит опорой при передаче усилий от кольца пневмоцилиндров к створке. В задней части створки профиль 2 имеет развитый участок с направляющим каналом, который служит для размещения и перемещения роликов 1 (рисунок 6.17), насаженных на силовую ось 2, расположенную на внешней створке 3. К внешней створке 3 силовой профиль крепится заклепками. Таким образом, внешняя створка подвижно соединяется со створкой сверхзвуковой части сопла.

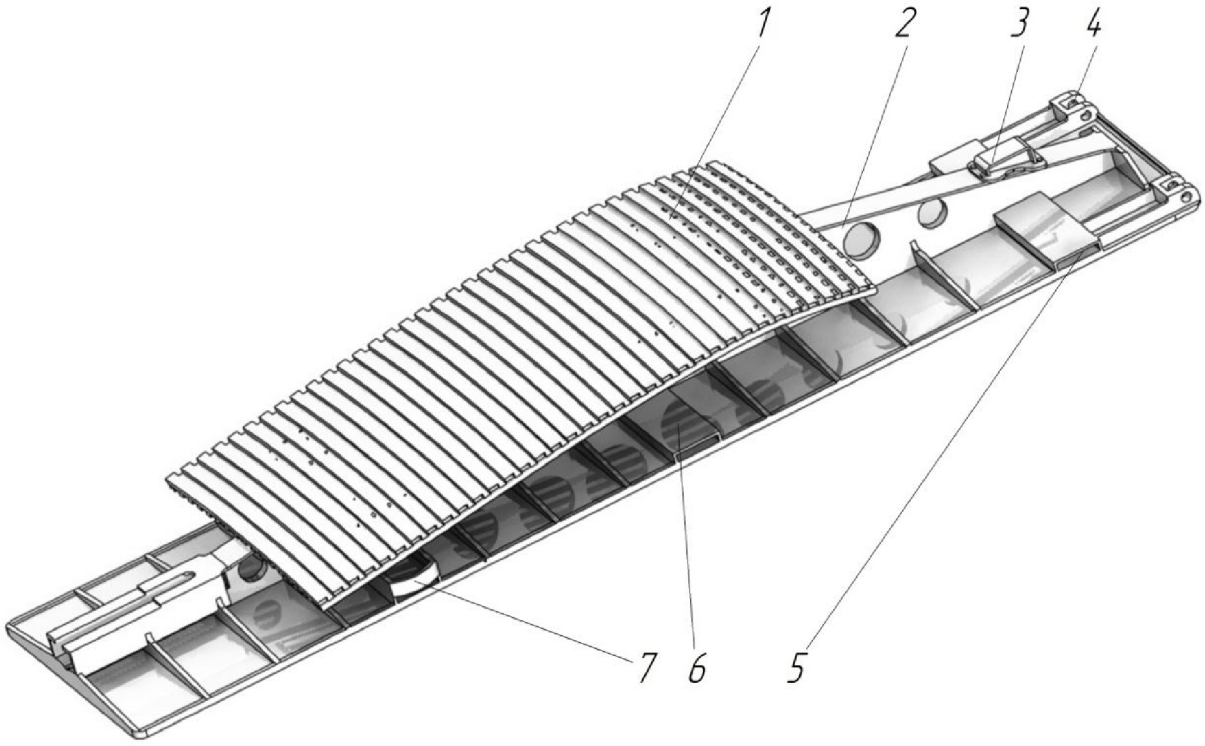


Рис. 6.16 Сверхзвуковая створка

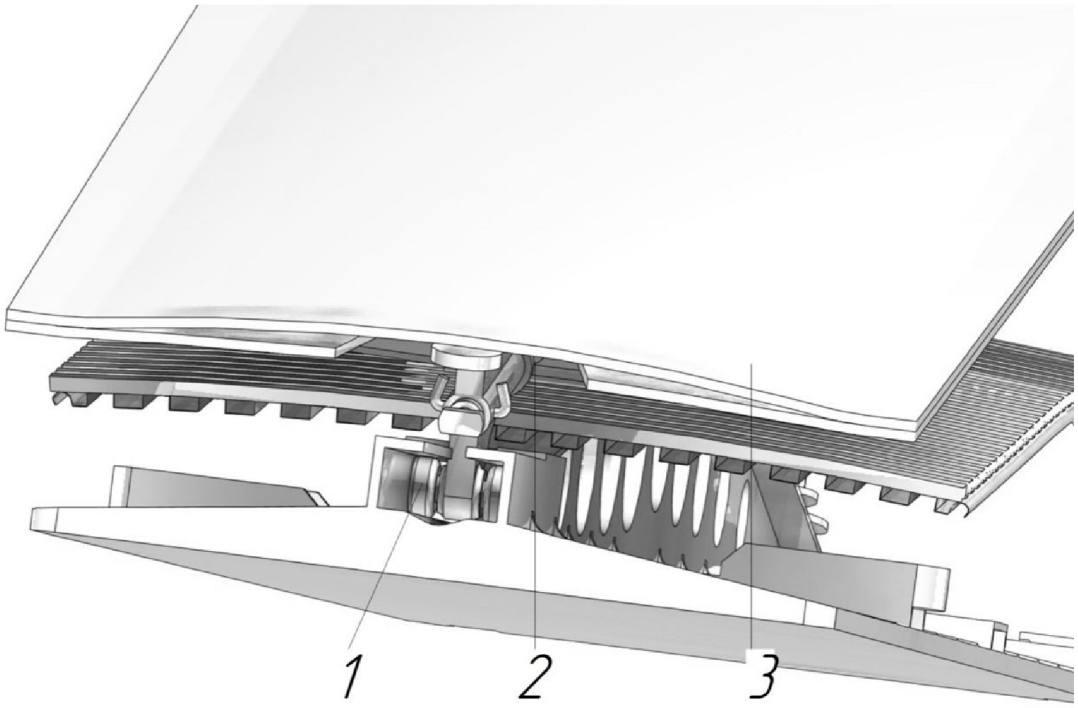


Рис. 6.17 Связь внешней створки и створки сверхзвуковой части сопла

Проставка сверхзвуковой части ВУ (рисунок 6.18) литая, прямоугольной формы с поперечными мелкими ребрами жесткости. В переднее части она заодно целое выполнена с проушинами 4. В отверстие 4 запрессована ось 5 для соединения с крюком проставки дозвуковой части сопла. На проставке с помощью заклепок 6 крепятся три проушины с коромыслом 1,2,3. Каждое коромысло закреплено деталями однотипной конструкции (рисунок 6.19): штифтом 6, шайбой 7 и контровкой 8. Коромысла 1,2,3 являются опорными. Коромысло 1 предотвращает выход створки и проставки из взаимного перекрытия и фиксирует проставку в осевом направлении относительно створки. Проставка не имеет непосредственной силовой связи с внешней проставкой и створкой.

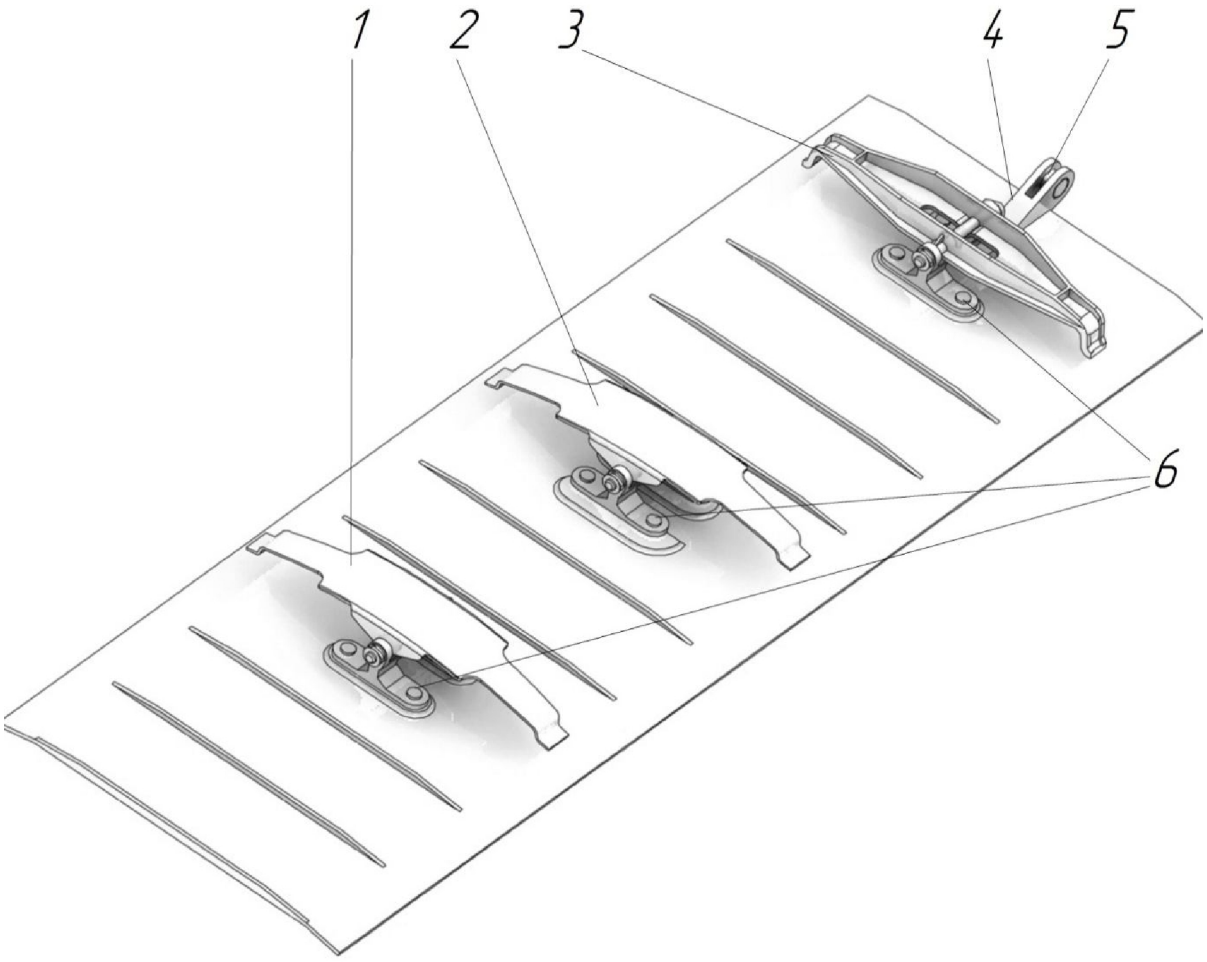


Рис. 6.18 Сверхзвуковая проставка

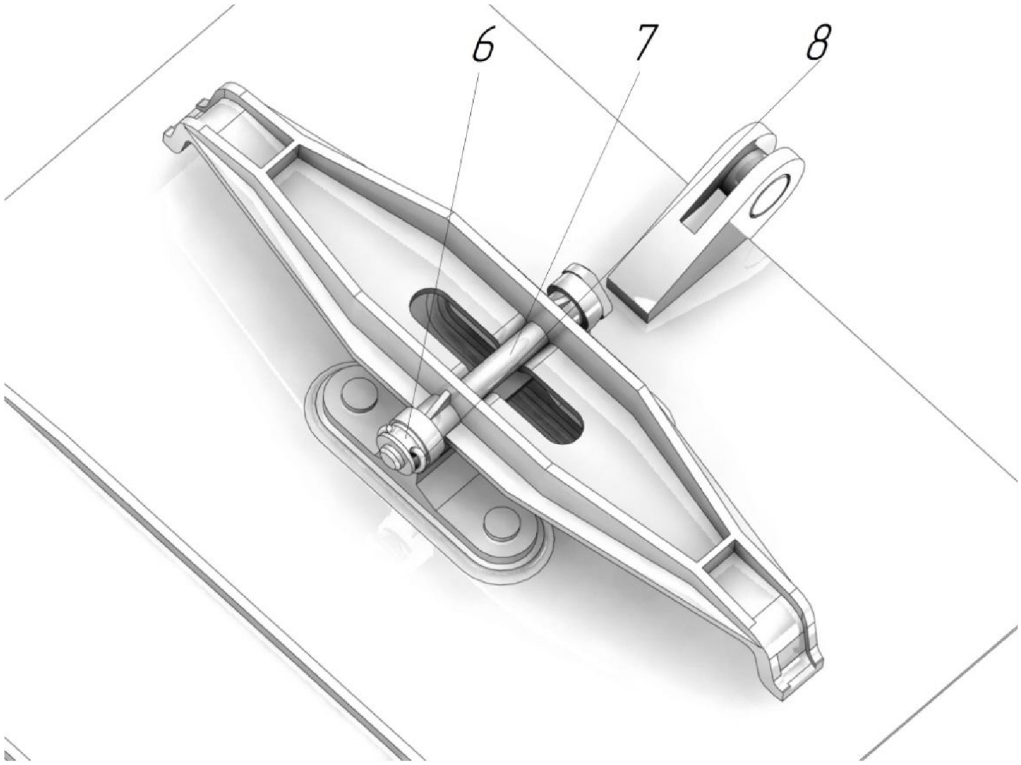


Рис. 6.19 Крепление коромысла

Внешняя створка (рисунок 6.20, 6.21) коробчатой конструкции, выполнена из литого материала, сваренного между собой. К створке с помощью заклепок крепится: в передней части – литая проушина со сферическими подшипниками 1; в средней части – кронштейн 2 для крепления «кольца» пневмоцилиндров и тяг; в задней части – силовой профиль 3 для соединения со створкой сверхзвуковой части ВУ. Створка имеет проушины 4 для крепления к ним с помощью болтового соединения проставок. В районе силового профиля 3 на створке имеется кронштейн для крепления регулируемого «кольца» ограничителей максимальной площади среза сопла (рисунок 6.22, 6.23), состоящих из гильзы 1, штока с поршнем 3, контровочной гайки 2 и регулируемой втулки 4. Упором поршня 3 во внутреннюю поверхность втулки 4 ограничивается максимальное раскрытие среза сопла. К внешней створке 7 с помощью болтового соединения 6 крепится пластинчатой конструкции ограничитель 5, предотвращающий выход из взаимного перекрытия проставки 8.

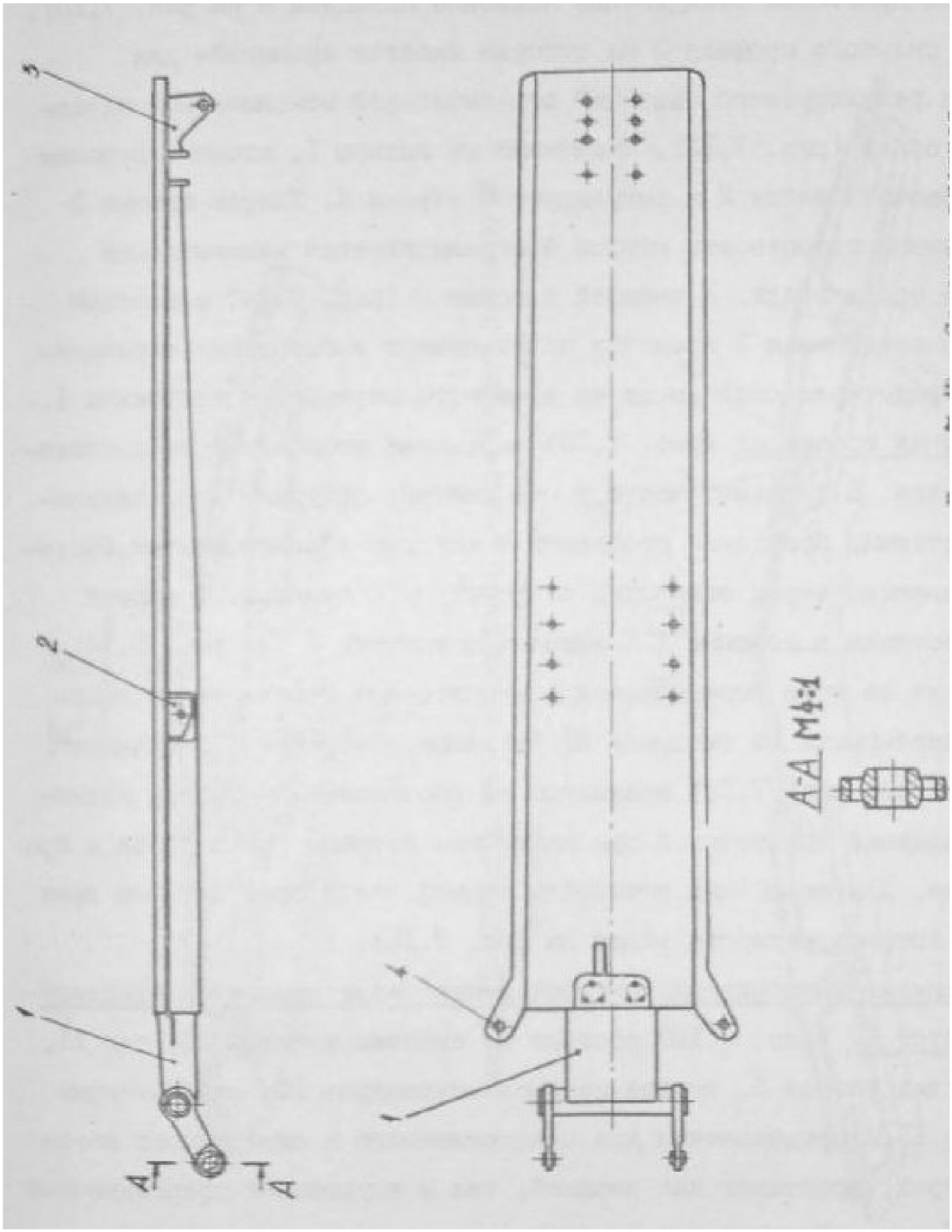


Рис. 6.20 Внешняя створка

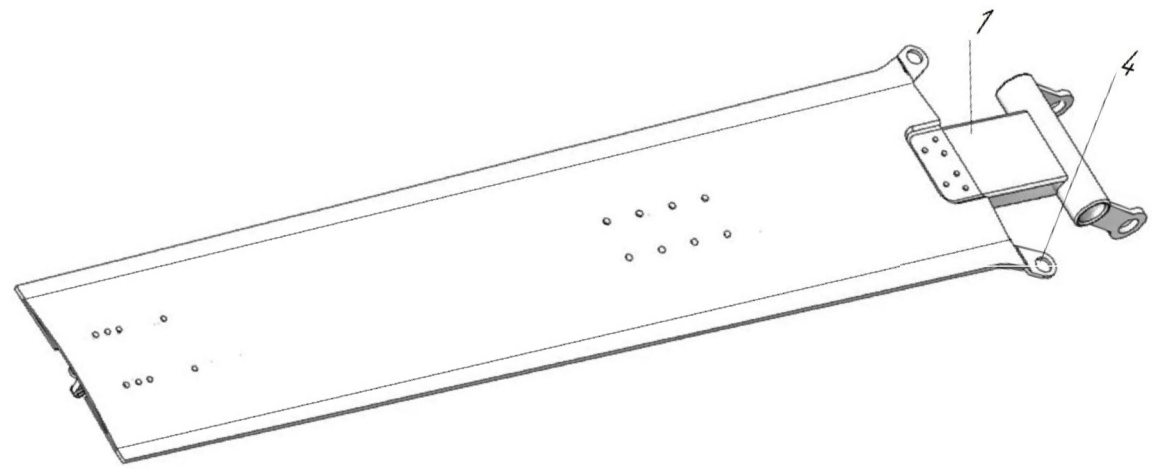


Рис. 6.21 Объемная модель внешней створки

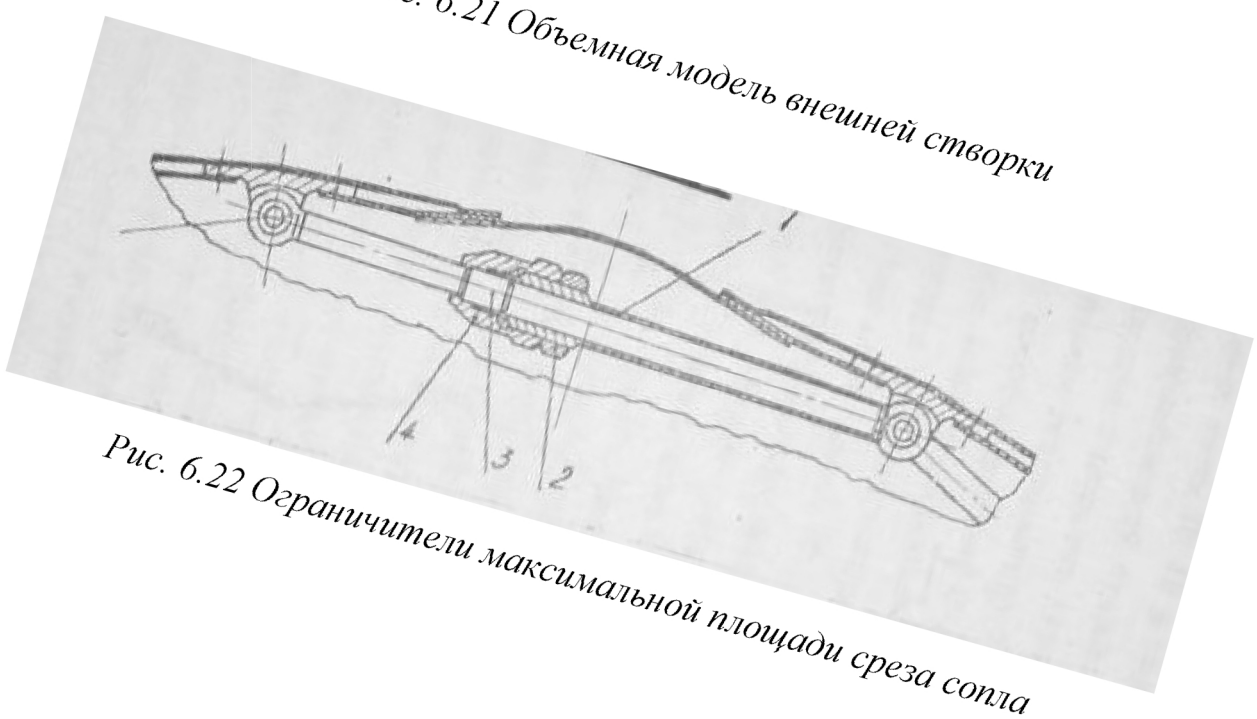


Рис. 6.22 Ограничители максимальной площади среза сопла

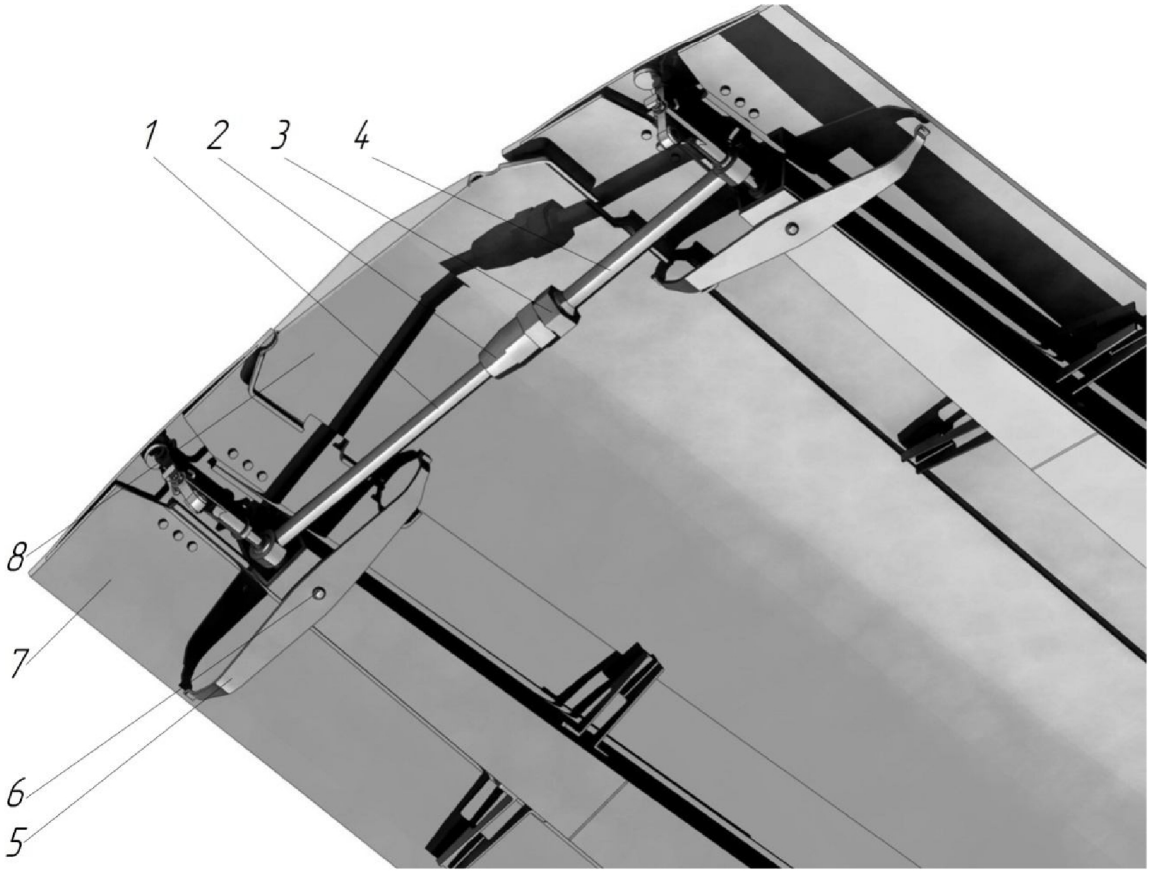
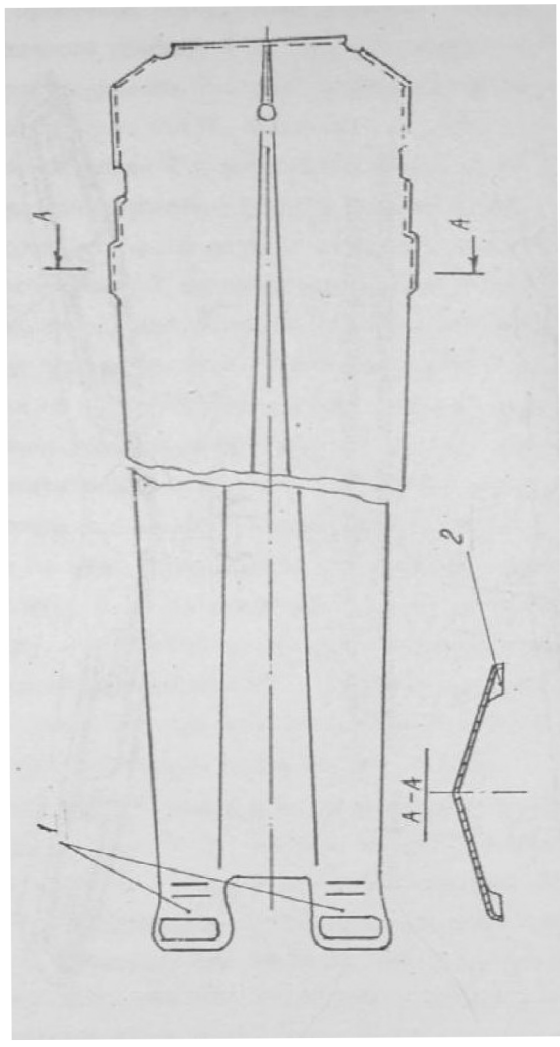


Рис. 6.23 Ограничители максимальной площади среза сопла

Внешняя проставка (рисунок 6.24) выполнена штамповкой из листового материала. В передней части у нее имеются проушины 1 с овальными отверстиями. Крепление проставки к створке (рисунок 6.25) обеспечивается болтовым соединением через отверстия в проушинах и створке. В задней части проставки выполнены выступы 2. Овальные отверстия в проушинах 1 проставки позволяют ей обеспечивать свободу взаимных перемещений со створкой при изменении площади среза сопла и при их нагреве. Для повышения жесткости задней части проставки ее края отогнуты.



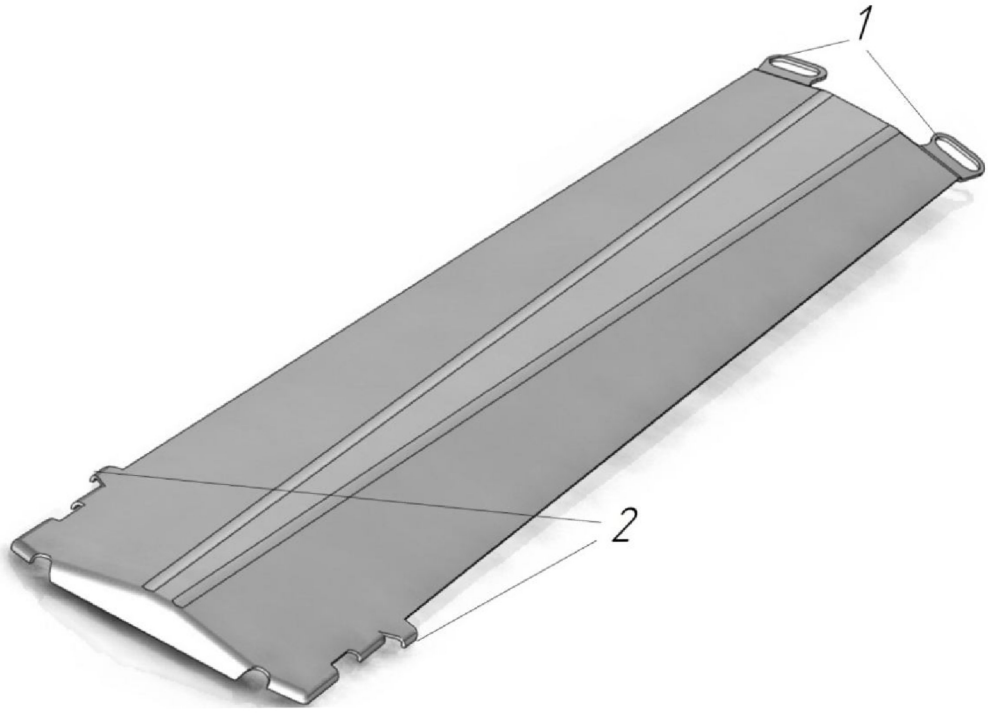


Рис. 6.24 Внешняя проставка

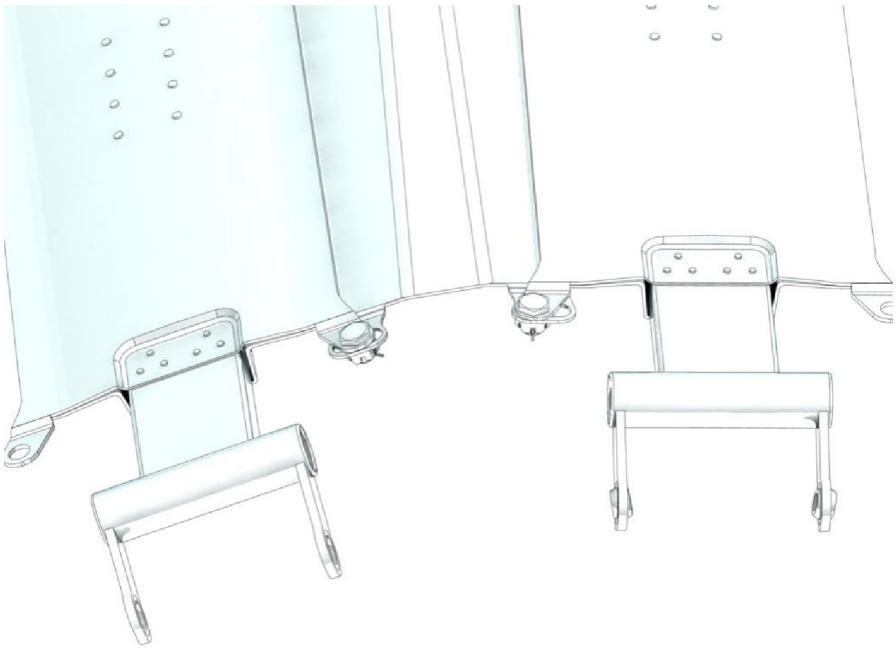


Рис. 6.25 Крепление внешней створки и проставки

Механизм синхронизации створок и проставок внешней и сверхзвуковой частей ВУ (рисунок 6.26) состоит из системы качалок, тяг, механических упоров, кольца из пневмоцилиндров, направляющих элементов и предназначен для одновременного и синхронного поворота створок, проставок как внешней, так и внутренней сверхзвуковой частей ВУ под действием сил со стороны внешнего потока воздуха, газа, проходящего через сопло двигателя и пневмоцилиндров с целью обеспечения полного расширения газа на срезе сопла.

Каждая качалка 12 с помощью шарнирного соединения 7 крепится к качалке 8 ,а через две тяги 5 соединена с двумя внешними створками 4 и через подвижный механический упор 9 с ложементом 11. Литая проушина 2 створки 4 также шарнирно крепится к ложементу 11. Створка 2 сверхзвуковой части ВУ шарнирно крепится к створке дозвуковой части ВУ 3 и подвижно с помощью направляющего элемента 1 соединена с внешней створкой 4.

Качалка 8 шарнирно крепится к ложементу 11, соединяется со штоком гидроцилиндра 10 и через тягу 13 со створкой 3. Створка 3 с помощью проушины 14, осей 15 крепится к детали 16. Деталь 16 с помощью болтового со-

единения 17 крепится к фланцу форсажной камеры 18, фиксируя при этом вкладыш относительно положения теплового экрана форсажной камеры .

Таким образом, при не подвижной качалке 8 (а значит и штока гидроцилиндра 10 и створки дозвуковой части ВУ 3) внешние створки 4 могут синхронно вращаться на своих литых проушинах 14 относительно ложемента 11. Синхронность вращения внешних створок обеспечивается через тяги 5 и качалки 12. Неподвижность створок 3 дозвуковой части ВУ определяет строгое положение осей вращения створок сверхзвуковой части ВУ. В этом случае положение створок 2 (а значит и проставок) будет определяться положением внешних створок 4 за счет их взаимной связи через направляющий элемент 1. Кольцо пневмоцилиндров так же связывает и определяет положение всех внешних створок между собой через упругую связь – давление воздуха в пневмоцилиндрах.

Шестнадцать пневмоцилиндров 10 (рисунок 6.27) образуют механизм регулировки площади среза РС. Пневмоцилиндры попарно, крышка с крышкой, шток со штоком, подвижно закреплены в окружном направлении с внутренней стороны в средней части на кронштейнах каждой внешней створки и образуют "браслет".

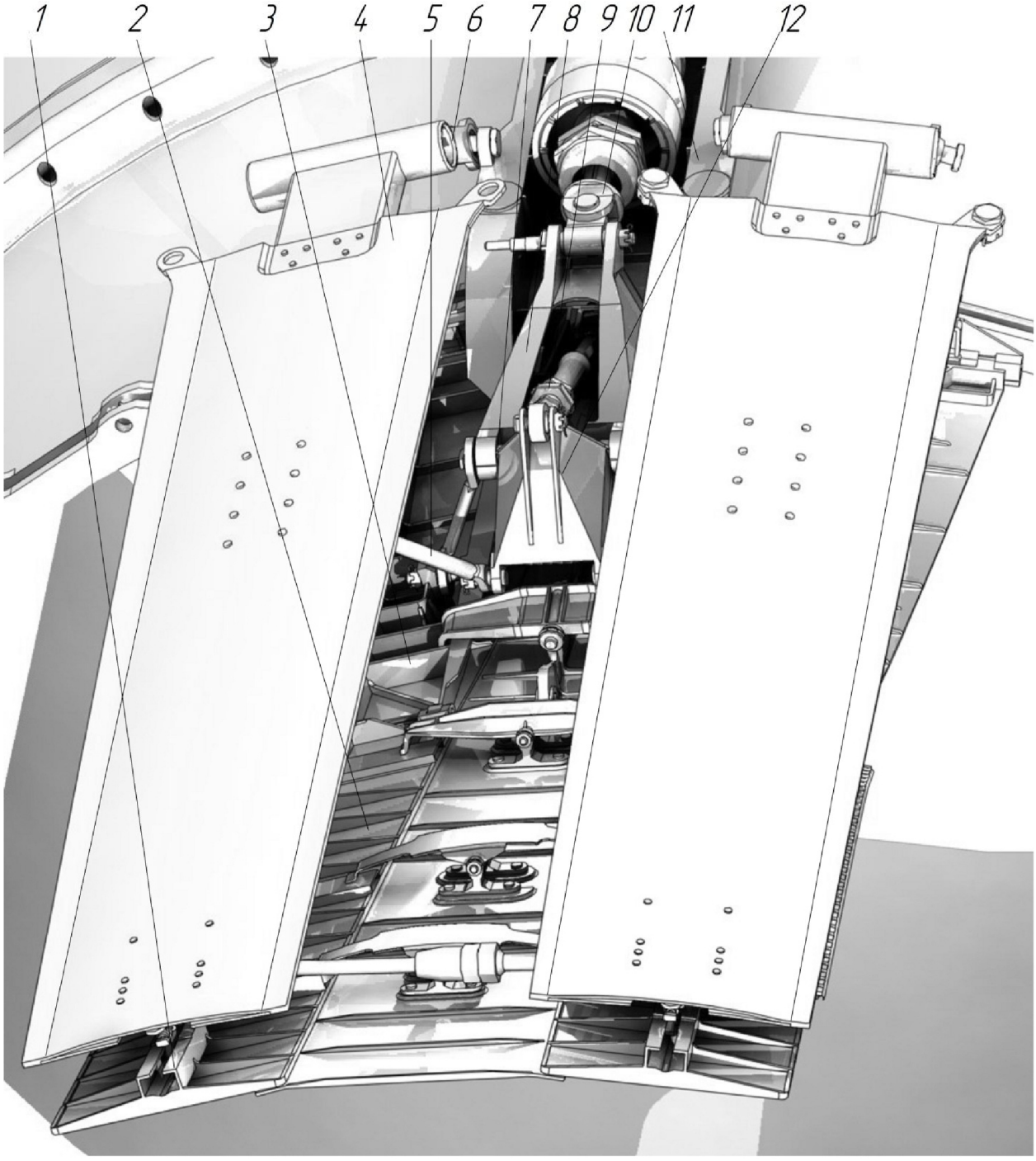


Рис. 6.26 Механизм синхронизации створок и проставок внешней и сверхзвуковой частей ВУ (Лист 1 из 2)

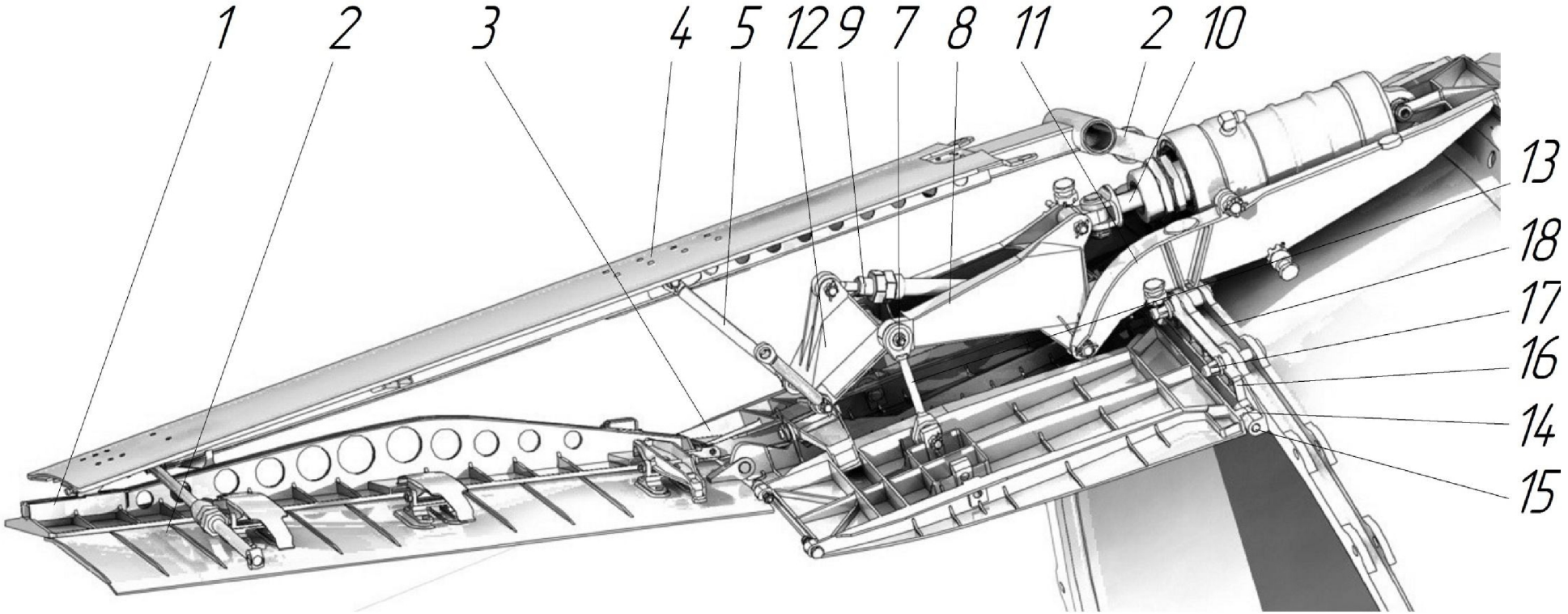
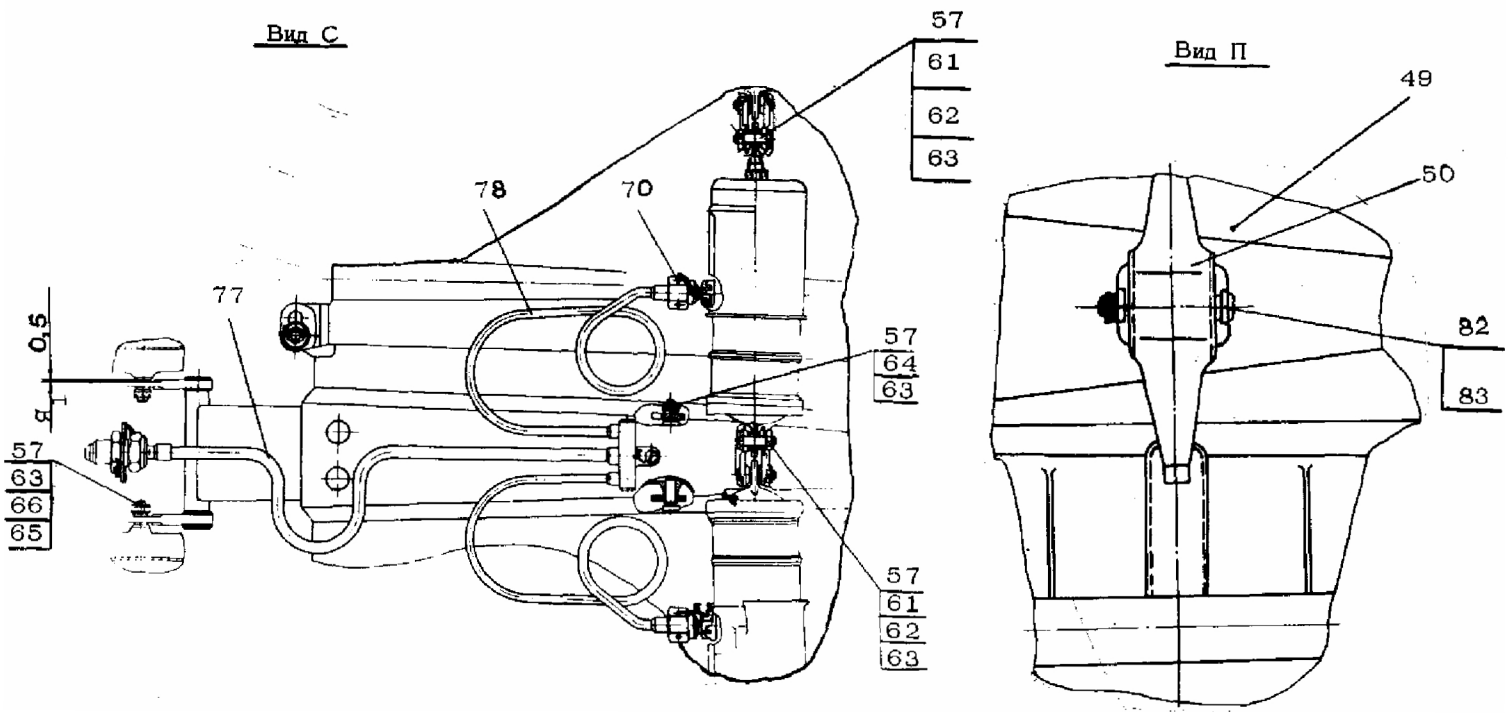


Рис. 6.26 Механизм синхронизации створок и проставок внешней и сверхзвуковой частей ВУ (Лист 2 из 2)



57 – гайка, 61 – ось, 62 – кольцо, 63 – шплинт, 64 – ось, 49 – проставка, 50 –ограничитель, 82 – ось, 65 – болт, 66 – шайба, 70 - гайка
77,78 –трубопроводы подвода воздуха.

Рис. 3.46 Пневмоцилиндры

7 НАРУЖНЫЙ КОНТУР

Наружный контур (рисунок 7.1) – внешняя оболочка двигателя, образует совместно с корпусами КВД, ОКС, ВВТ (воздухо-воздушный теплообменник) и турбины канал для перепуска части воздуха, сжатого в КНД, к смесителю ФК.

Наружный контур состоит из двух профилированных титановых корпусов – переднего 4 и заднего 8. Корпуса входят в силовую схему двигателя.

Передний корпус 4 имеет продольный разъем 1 для обеспечения доступа к КВД, ОКС и два поперечных силовых шпангоута 5.

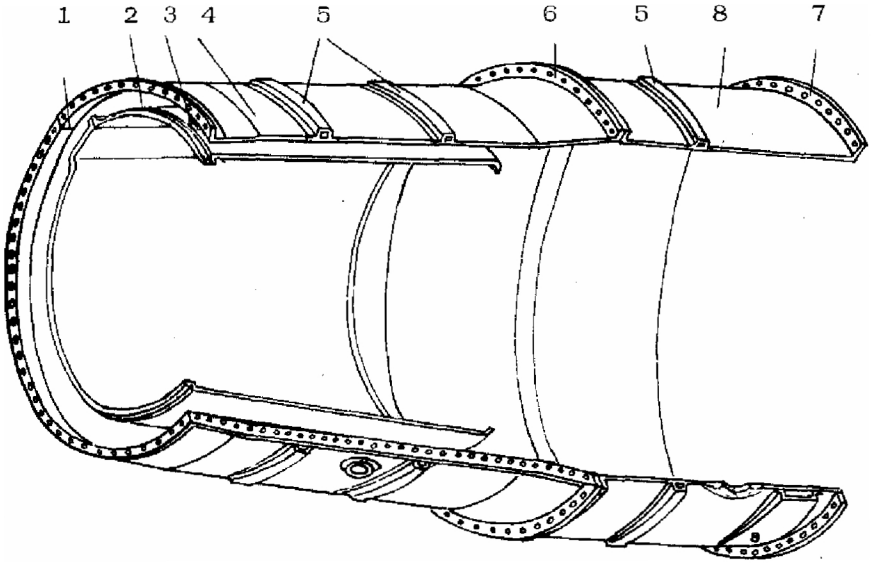
Задний корпус 8 наружного контура представляет собой цилиндрическую оболочку с фланцами 6 и 7 и поперечным силовым шпангоутом 5.

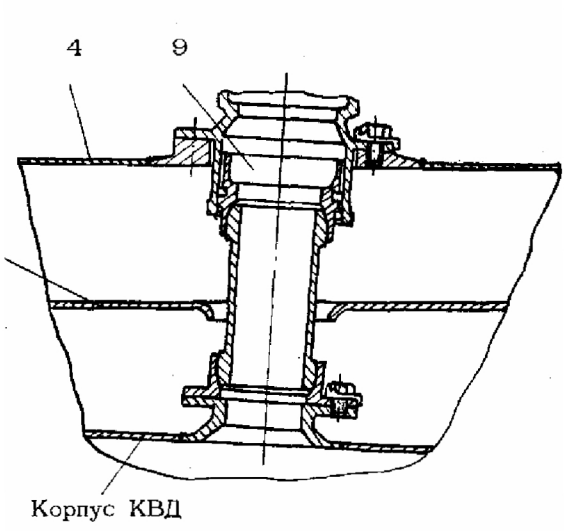
На корпусах наружного контура имеются фланцы систем отбора воздуха, крепления запальных устройств, окон осмотра двигателя, а также бобышки для крепления агрегатов и коммуникаций.

Фланцы систем отбора воздуха на корпусе 4 соединены с фланцами на корпусе КВД двухшарнирными элементами 9, обеспечивающими возможность взаимного перемещения корпусов.

Профилирование проточной части наружного контура обеспечено установкой в переднем корпусе внутреннего экрана 2, имеющего продольный разъем для обеспечения доступа к КВД. Экран центрируется в промежуточном корпусе и крепится на 20 кронштейнах, установленных на стыке корпусов ОКС и ВВТ.

Поток воздуха, протекающий через канал наружного контура, поступает в смеситель ФК. Часть воздуха наружного контура используется для охлаждения деталей ФК и реактивного сопла. В канале наружного контура охлаждаются трубчатые модули ВВТ.





1 – продольный разъем; 2 – внутренний экран; 3 – заборное устройство; 4 – передний корпус; 5 – силовые шпангоуты; 6 – фланец; 7 – фланец; 8 – задний корпус; 9 – двухшарнирный элемент.

Рис. 7.1Наружный контур двигателя

8 ДРЕНАЖНАЯ СИСТЕМА

Дренажная система (рисунок 8.1) предназначена для отвода из двигателя топлива и масла, проникающих через уплотнения агрегатов, и для слива остатков топлива из топливной системы и полостей двигателя после его выключения.

Дренажная система состоит из сливного бачка, клапанов слива, эжектора, трубопроводов.

Сливной бачок (рисунок 8.2) предназначен для слива в него топлива из коллекторов основной камеры сгорания. Бачок – сварной, емкостью 1,6 л, выполнен из титанового сплава. В стенки бачка вварены штуцера:

- 3 – слива топлива из регулятора топлива (РТ);
- 4 – слива топлива из бачка в эжектор;
- 1 – подвода воздуха (не используется).

К стенкам бачка приварены четыре втулки 5, проходящие через полость бачка. Бачок прикреплен болтами к корпусу наружного контура.

Клапаны слива:

Давление закрытия ..... 0,032 МПа;

Давление открытия ..... 0,008 МПа.

Количество ..... 3.

Клапаны предназначены для слива остатков топлива из полостей основной камеры сгорания, наружного контура и форсажной камеры сгорания при неработающем двигателе. Клапаны слива топлива из ОКС и наружного контура – одинаковой конструкции, состоят из корпуса 1 (рисунок 8.3), клапана 3, направляющей 2, пружины 4, пружинного кольца 6 и шайб 5.

Клапан слива топлива из ФК состоит из корпуса 1 (рисунок 8.4) с крышкой 7, клапана 2 с направляющей 5 и пружиной 3, штифта 6 крепления направляющей в корпусе и штуцера 4.

Клапаны слива из ОКС и наружного контура расположены в нижней части

наружного контура (рисунок 8.1); клапан слива из ФК – в нижней части форсажной камеры.

Эжектор (рисунок 8.5) предназначен для отсоса топлива из сливного бачка и выброса его на срез РС, выполнен из титанового сплава. Эжектор состоит из корпуса 4, к которому приварены штуцер 1 подвода воздуха с давлением P_2, штуцер 2 подвода топлива из сливного бачка, труба отвода топлива 5.

Работа дренажной системы

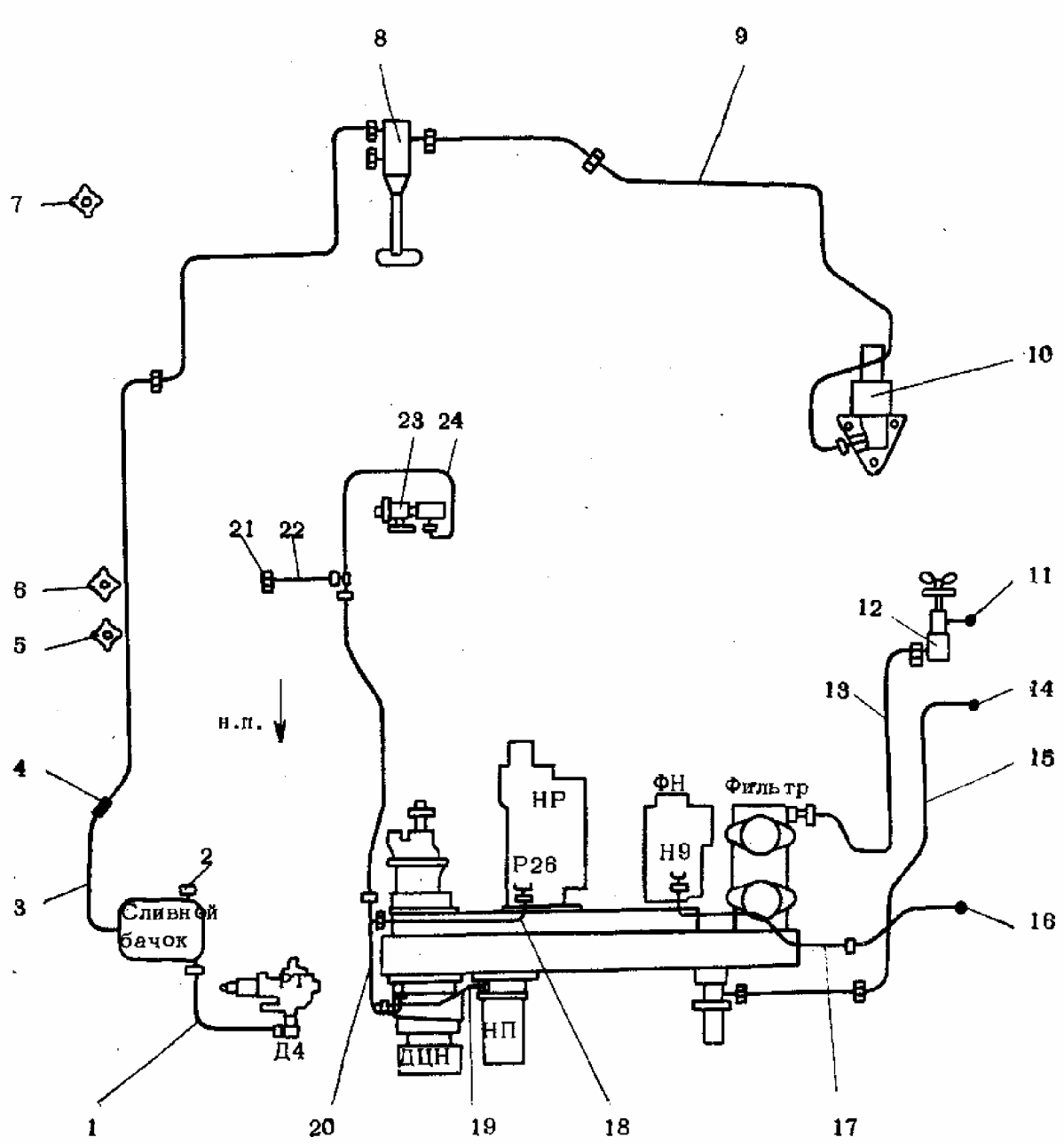
Топливо из дренажных полостей НР, ДЦН, НП, ФН и клапана переключения отводится по трубопроводам к штуцерам 16 и 21 (рисунок 8.1) и далее по самолетным трубопроводам. Дренаж гибкого вала осуществляется через штуцер 14.

При выключении двигателя топливо из коллекторов ОКС через РТ сливается в бачок.

При работающем двигателе в эжекторе 8 создается разрежение, происходит отсос топлива из бачка и выброс его через эжектор на срез РС. При необходимости топливо может быть слито через сливной кран 4 (рисунок 8.1).

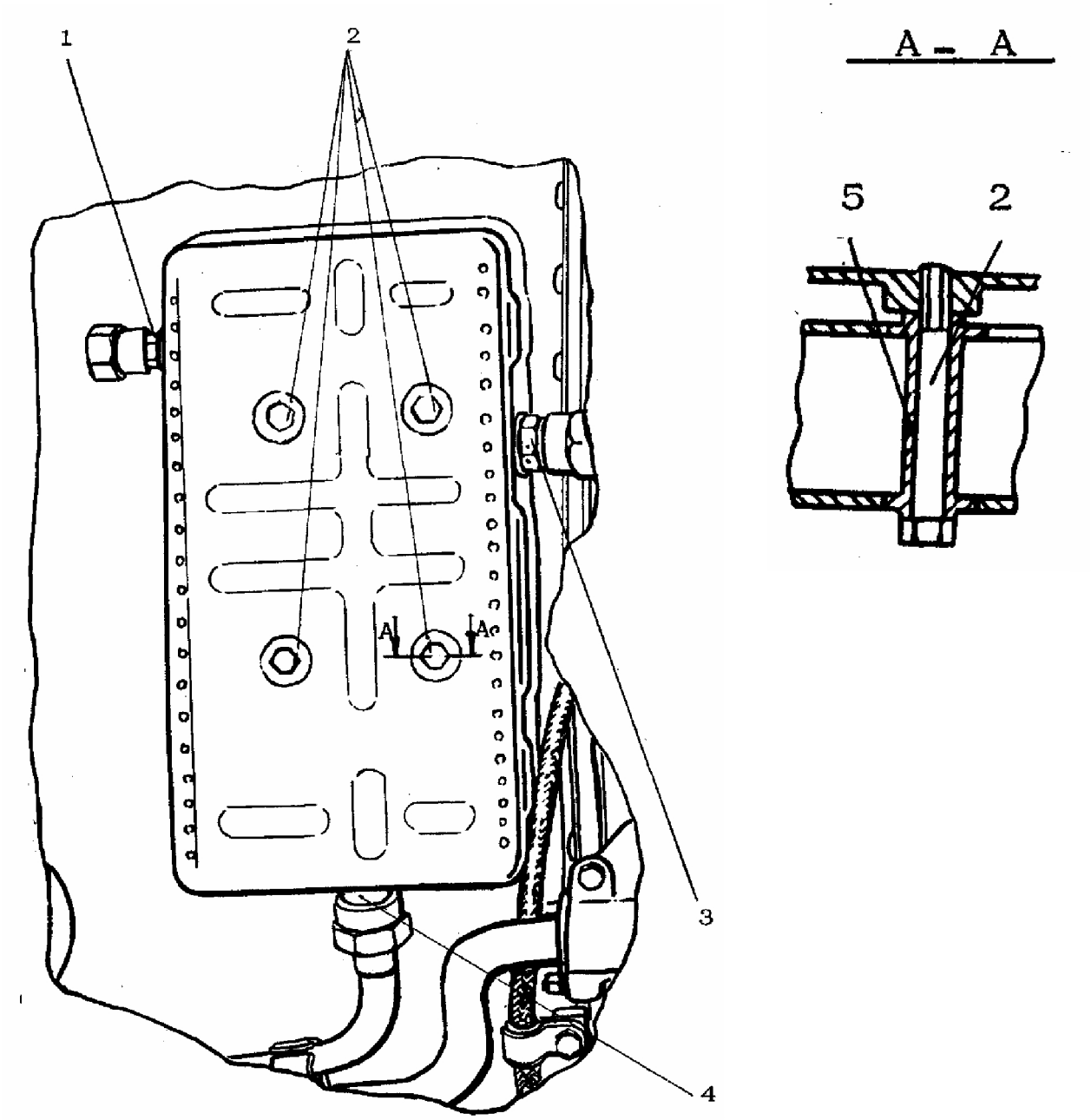
Топливо, скопившееся после выключения двигателя в ОКС, наружном контуре и ФК, сливается через открытые пружиной 4 (рисунок 8.3) или 3 (рисунок 8.4) дренажные клапаны по самолетным трубопроводам наружу.

При работе двигателя под воздействием давления воздуха (газов) клапаны закрываются, преодолевая усилие пружины.



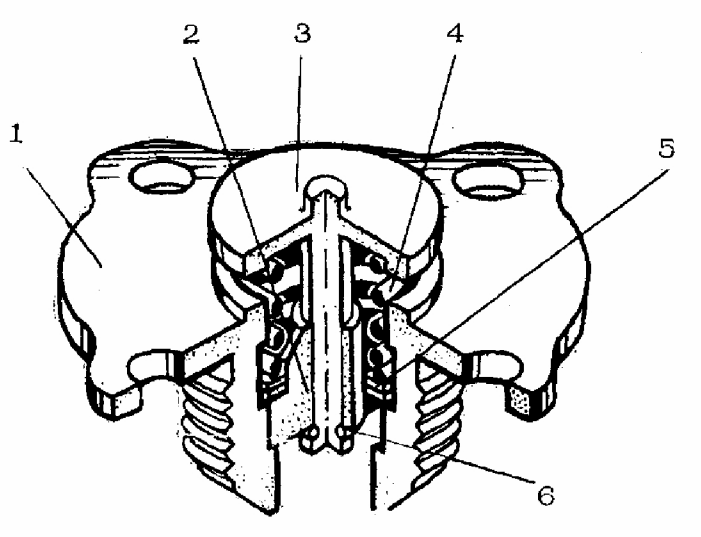
1 – трубопровод слива топлива из РТ; 2 – штуцер подвода воздуха к бачку; 3 – трубопровод слива топлива из бачка; 4 – сливной кран; 5 – дренажный клапан ОКС; 6 – дренажный клапан наружного контура; 7 – дренажный клапан ФК; 8 – эжектор; 9 – трубопровод подвода P_2 к эжектору; 10 – воздушный фильтр; 11 – штуцер слива из фильтра; 12 – сливной кран; 13 – трубопровод слива топлива из фильтра; 14, 16, 21 – штуцера отвода топлива в дренажную систему самолета; 15 – трубопровод дренажа гибкого вала; 17 – трубопровод дренажа ФН; 18 – трубопровод дренажа НР; 19 – трубопровод дренажа НП; 20, 22 – трубопроводы дренажа агрегатов; 23 – клапан переключения; 24 – трубопровод дренажа клапана переключения.

Рис. 8.1 Схема коммуникаций дренажной системы



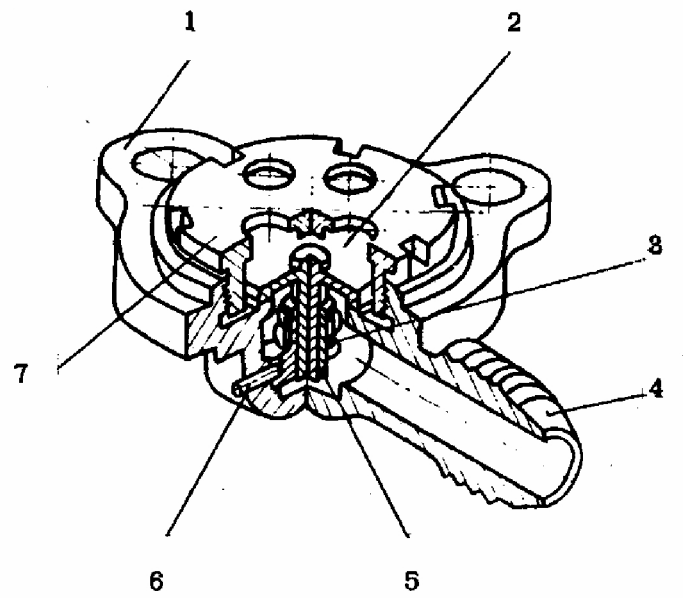
1 – штуцер подвода воздуха к бачку; 2 – болт; 3 – штуцер слива топлива из РТ;
4 – штуцер слива топлива из бачка в эжектор; 5 – втулка.

Рис. 8.2 Сливной бачок



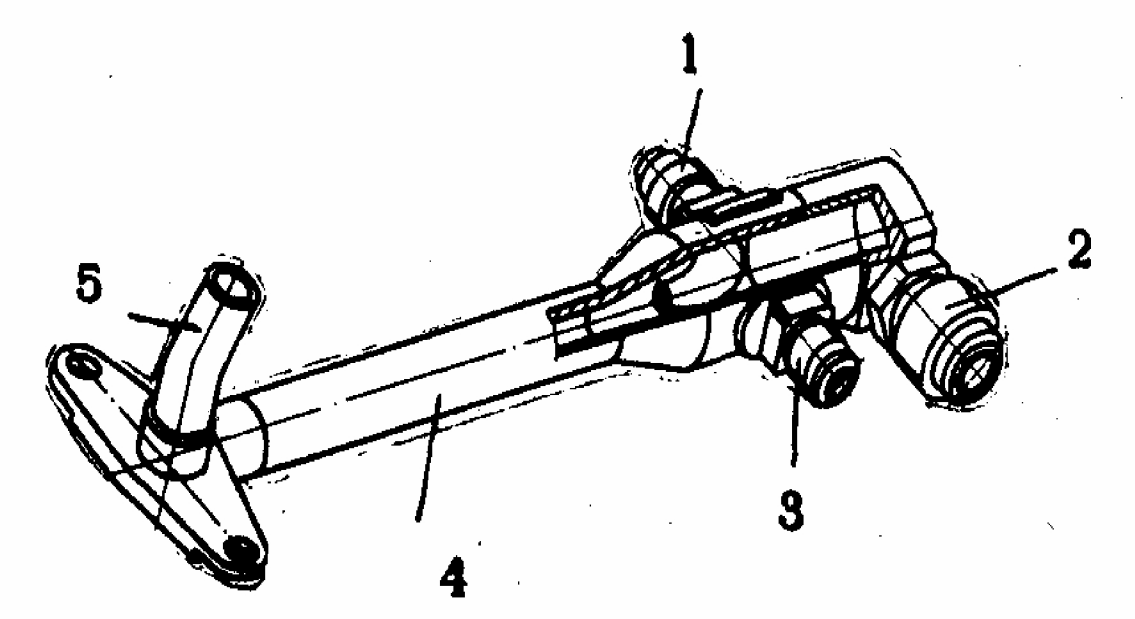
1 – корпус; 2 – направляющая; 3 – клапан; 4 – пружина; 5 – шайба; 6 – пружинное кольцо.

Рис. 8.3 Клапан слива топлива из ОКС и наружного контура



1 – корпус; 2 – клапан; 3 – пружина; 4 – штуцер; 5 – направляющая; 6 – штифт; 7 – крышка.

Рис. 8.4 Клапан слива топлива из ФК



1 – штуцер подвода воздуха с давлением P_2; 2 – штуцер подвода топлива из сливного бачка; 3 – штуцер (не используется); 4 – корпус; 5 – труба сброса топлива.

Рис. 8.5 Эжектор

9 МАСЛЯНАЯ СИСТЕМА

Масляная система предназначена для охлаждения и смазки подшипников и зубчатых передач двигателя, выноса продуктов износа трущихся деталей, суфлирования всех масляных полостей, а также для защиты от коррозии смазываемых деталей.

На двигателе применена автономная циркуляционная нормально замкнутая масляная система закрытого типа.

Основные данные системы:

• давление масла

а) на режиме малого газа n_2<85% - не менее 1,8 дан/см^2

б) на всех режимах при n_2≥85% - 2,5…3,2 дан/см^2

• срабатывание сигнализатора максимально допустимого давления масла – при 3,8±0,2 дан/см^2 на всех режимах;

• срабатывание сигнализатора минимально допустимого давления масла – 1,4±0,2 дан/см^2 на n_2<85% и 1,9+0,1 дан/см^2 на n_2≥85%;

• расход масла – не более 0,6 л/ч;

• количество масла, заливаемого в маслобак – 15+1 л;

• время нормальной работы двигателя при нулевых или отрицательных перегрузках – не более 15 с.

Описание маслосистемы

Маслосистема состоит из:

- системы нагнетания (рисунок 9.1 и 9.22);
- системы откачки (рисунок 9.1, 9.23);
- системы суфлирования и наддува опор (рисунок 9.1, 9.24).

Система нагнетания предназначена для смазки и охлаждения подшипников роторов двигателя, охлаждения уплотнений опор, смазки трущихся деталей КДА, ВКА, ЦКП, ФН, а также для обеспечения работы демпферов опор двига-

теля.

Основные элементы системы нагнетания (рисунок 9.1):

- маслобак 10;
- нагнетающий насос маслоагрегата;
- клапан-пробка;
- блок клапанов 5;
- клапан подачи смазки на ВКА;
- предохранительный клапан 21;
- перепускной клапан (рисунок 9.3);
- топливомасляный теплообменник 8;
- теплообменник 12, подключаемый на форсированных режимах;
- масляный фильтр 9;
- клапан переключения 11.

Обратный клапан (рисунок 9.1) служит для предотвращения возможности попадания масла из ВКА в систему нагнетания двигателя. Давление открытия клапана - не более 0,05 кгс/см. Обратный клапан установлен в блоке клапанов 5 и состоит из седла 3 (рисунок 9.7), клапана 1 и пружины 2.

Клапан переключения 11 (рисунок 9.1) предназначен для подключения теплообменника 12 на форсированных режимах по команде от РСФ.

Клапан установлен на фланце маслобака и состоит из сварного корпуса 3 (рисунок 3.54), крышки 6, седла 1, поршня 8, пружины 7 и клапана 2. Герметичность полостей клапана обеспечивается уплотнительными кольцами 4 и 5.

Система откачки предназначена для откачки масла в маслобак из опор двигателя, КДА и ВКА.

Система включает:

- откачивающий насос 2 передней опоры КНД (рисунок 9.1);
- откачивающий насос средней опоры 18;
- откачивающий нижний насос 17;
- откачивающий насос 14 задних опор РВД и ТНД;

- откачивающий насос маслоагрегата;
- откачивающие насосы ВКА;
- обратные клапаны;
- перепускной клапан;
- сигнализатор стружки в масле;
- магнитную пробку с клапаном;
- неприводной центробежный воздухоотделитель;
- трубопроводы (рисунок 9.23);
- дополнительный сливной бачок 13 (рисунок 9.27).

Откачивающий насос передней опоры КНД 2 (рисунок 9.1) предназначен для откачки масла из передней опоры КНД, установлен в полости передней опоры. Откачивающий насос - центробежно-шестеренного типа, состоит из корпуса 6 (рисунок 9.8) и крышки 5, отлитых из алюминиевого сплава; двух стальных шестерен 3 и 4 с крыльчатками и шнеками. Насос приводится во вращение валом ротора КНД через гибкий вал 1, снабжен двумя заборниками 2 и 7 с защитными сетками.

Откачивающий насос средней опоры 18 (рисунок 9.1) предназначен для откачки масла из полостей задней опоры КНД и передних опор РВД; установлен в промежуточном корпусе. Насос - центробежно-шестеренного типа, состоит из корпуса 3 (рисунок 9.9), среднего корпуса 2, крышки 1, отлитых из алюминиевого сплава; двух пар стальных шестерен с крыльчатками 4 и 5. Насос приводится во вращение через рессору от шестерни, связанной с ротором КВД. Насос снабжен тремя заборниками с защитными сетками.

Откачивающий нижний насос 17 (рисунок 9.1) предназначен для откачки масла из опор роторов двигателя и приводится во вращение от вала КВД через ЦКП и вертикальную рессору. Откачивающий насос – центробежно-шестеренного типа, установлен на фланце промежуточного корпуса. Насос состоит из нижнего корпуса 3 (рисунок 9.10) и верхнего корпуса 1, отлитых из алюминиевого сплава, шестерен 4, 5 с крыльчатками, откачивающими масло из

задних опор РВД и ТНД, шестерни 2, шестерни 6, откачивающих масло из задней опоры КНД и передних опор РВД и ТНД. Шестерни 2, 4, 5, 6 - стальные. На верхнем корпусе нижнего насоса имеется фланец для подвода масла из системы нагнетания для подпитки насоса маслом; на режимах, когда масло из опор откачивается, в основном, насосами, размещенными в них.

Откачивающий насос 14 (рисунок 9.1) предназначен для откачки масла из задних опор ТВД и ТНД, установлен в полости опор. Откачивающий насос задней опоры ТНД (рисунок 9.11) аналогичен по конструкции откачивающему насосу передней опоры КНД (рисунок 9.8). Насос приводится во вращение от вала ТНД через гибкий вал 1. Насос снабжен двумя заборниками с защитными сетками.

Откачивающий насос маслоагрегата предназначен для откачки масла из КДА. Тип - центробежно-шестеренный, размещен в одном корпусе - маслоагрегата с нагнетающим насосом и перепускным клапаном. Насос состоит из стальных шестерен 8, 9 (рисунок 9.2) с крыльчатками. Масло из КДА поступает в насос через канал, отлитый в корпусе КДА. Внутри канала установлен сетчатый фильтр грубой очистки.

Откачивающие насосы предназначены для откачки масла из ВКА. Они установлены на корпусе ВКА. Насосы - центробежно-шестеренного типа, аналогичной конструкции; каждый состоит из корпуса 2 (рисунок 9.12) и крышки 1, отлитых из алюминиевого сплава, двух стальных шестерен с крыльчатками 3, 4. Насосы приводятся во вращение от шестерни ВКА через рессору. Каждый насос снабжен одним заборником 5 с защитной сеткой.

Обратные клапаны установлены - в магистрали откачки масла из ГТДЭ и в магистрали откачки масла из двигателя. Клапан по конструкции аналогичен обратному клапану и входит в блок клапанов (рисунок 9.6, клапан 5).Обратный клапан в магистрали откачки масла из двигателя расположен на промежуточном корпусе и состоит из двух корпусов 1 (рисунок 9.7) и 3, седла 2 и клапана 4.

Перепускной клапан предназначен для перепуска масла, откачиваемого из ГТДЭ, при увеличении давления в линии откачки более допустимого. Перепуск масла через клапан предотвращает повышение давления в системе откачки из ГТДЭ. Перепускной клапан установлен в блоке клапанов и по конструкции аналогичен обратным клапанам в системе нагнетания и магистрали откачки масла из ГТДЭ.

Магнитная пробка предназначена для выявления разрушений и износов омываемых маслом деталей ВКА методом улавливания стальных (ферромагнитных) частиц. Магнитная пробка с клапаном установлена в магистрали откачки масла из ВКА. В ее состав входят: пробка 1 (рисунок 9.14) с уплотнительными кольцами 3, магнитом 4 и фиксирующим штифтом 2, корпус клапана 5 с клапаном 7 и пружиной 8. Пробка установлена в корпус клапана, фиксируется в нем замком байонетного типа и контрится проволокой. В корпусе клапана имеются три отверстия для подвода масла к магниту пробки. При извлечении пробки эти отверстия перекрываются клапаном, что препятствует вытеканию масла из магистрали. Для обеспечения герметичности соединений по цилиндрической поверхности пробки и под фланец корпуса клапана, установлены уплотнительные кольца. Корпус 5 клапана крепится к фланцу корпуса 10 двумя болтами. Осмотр магнитной пробки обеспечивает обнаружение дефектов деталей ВКА и облегчает поиск неисправности двигателя при срабатывании сигнализатора стружки в масле.

Клапан-пробка предотвращает вытекание масла из маслобака при замене ГТДЭ. Клапан-пробка установлен в магистрали подвода масла от маслобака к ГТДЭ. В состав клапана-пробки входят: корпус 3 (рисунок 9.26), клапан 1, упорная втулка 2, кольцо 4, пружина 5, уплотнительное кольцо 6.

Работа клапана-пробки: при соединении коммуникаций клапан-пробка открыт; при разъединении коммуникаций под действием пружины 5 клапан закрывает выход из трубопровода, не допуская вытекания масла из маслобака.

Неприводной центробежный воздухоотделитель предназначен для отделе-

ния масла, поступающего из магистралей системы откачки, от воздуха. Воздухоотделитель расположен в заливной горловине маслобака. Масловоздушная эмульсия в тангенциальном направлении подводится по трубопроводу к воздухоотделителю, в котором масло, отделяясь от воздуха, стекает в маслобак, а воздух через отверстия воздухоотделителя выходит в верхнюю часть маслобака.

Дополнительный сливной бачок 13 (рисунок 9.1) предназначен для слива масла из опоры турбины после выключения двигателя. При этом воздух вытесняется из сливного бачка маслом и поступает по трубопроводу 19 (рисунок 9.24) в трубопровод 9 суфлирования масляной полости задних опор РВД и ТНД. Масло из бачка 51 (рисунок 9.1) откачивает при запуске нижний откачивающий насос 34. (рисунок 9.1). Бачок емкостью 1,6 л - сварной, из титанового сплава. В стенки бачка вварены штуцера 5 (рисунок 9.27) - откачки масла, 2 - суфлирования, 4 - резервный. Бачок закреплен к корпусу наружного контура болтами 1, проходящими через втулки, вваренные в стенки бачка.

Система суфлирования масляных полостей предназначена для удаления газов, проникающих через масловоздушные уплотнения.

Система суфлирования масляных полостей включает:

- центробежный суфлер;
- обратный клапан ;
- предохранительный клапан 21;
- трубопроводы (рисунок 9.24).

Центробежный суфлер предназначен для суфлирования масляных полостей опор роторов. ВКА, КДА и масляного бака. Суфлер установлен на КДА и состоит из корпуса 4 (рисунок 9.16), корпуса клапанов 7, ступеней крыльчатки 1 и 3, полого вала 6, баростатического клапана 9 и обратного клапана 10. Крыльчатка, закрепленная на валу 6 шпонкой 2, приводится во вращение от ротора высокого давления через зубчатые передачи КДА. На валу 6 установлено лабиринтное уплотнение 5, предотвращающее поступление воздуха в суфлер из по-

лостей КДА. Через баростатический клапан 9, управляемый набором чувствительных элементов 8, осуществляется суфлирование до высоты полета 6-8 км. После закрытия баростатического клапана обратным клапаном 10 в системе поддерживается давление, избыточное над атмосферным (0,1-0,15 кгс/см), необходимое для работы маслонасоса в высотных условиях.

Обратный клапан обеспечивает разрежение в масляных полостях передней опоры КНД, задней опоры КНД и передних опор РВД, ТНД от начала раскрутки роторов до малого газа, что улучшает условия работы масляных уплотнений. Клапан предотвращает также возможность наддува масляных полостей указанных опор воздухом из задних опор ТНД и РВД. Клапан установлен на КДА и состоит из угольника 3 (рисунок 9.15), ниппеля 1, клапана 5 с кольцом, седла 2 и пружины 4.

Предохранительный клапан 21 (рисунок 9.1) двойного действия обеспечивает давление в масляной полости передней опоры КНД в заданных пределах. Предохранительный клапан (рисунок 9.25) состоит из корпуса клапана 1, седла 2, клапана 3, штуцера 4, клапана с уплотнением 5.

Система наддува опор роторов предназначена для защиты газовоздушного тракта двигателя от попадания масла из опор роторов.

Система наддува опор роторов (рисунок 9.17) включает:

- внутренние полости валов, стоек корпусов, частей роторов, используемых как воздушные каналы (полости наддува);
- предмасляные полости подшипников и полости наддува, находящиеся в узлах опор роторов;
- лабиринтные уплотнения;
- переключатель наддува 10 (рисунок 9.18);
- клапан суфлирования компрессора 22;
- клапан суфлирования турбины 20;
- трубопроводы (рисунок 9.24

Опоры выполнены по трехполостной схеме, в которую входят: масляная

полость, предмасляная полость, полость наддува.

Предмасляная полость отделена масляным контактным уплотнением от масляной полости и лабиринтным уплотнением от полости наддува. Работа трехполостной схемы заключается в следующем. Управляемые во всех трех полостях давления обеспечивают на всех режимах работы двигателя и полета самолета постоянно направленный перепад давления (от полости наддува к масляной полости) на масляных контактных уплотнениях, в результате чего исключено попадание масла и его паров в газовоздушный тракт двигателя.

Переключатель наддува (рисунок 9.18) - двухпозиционный, предназначен для переключения наддува опор двигателя. Переключатель состоит из корпуса 3, в котором размещен клапан 4 с поршневыми кольцами 2.и крестообразной направляющей 5. Пружиной 1 клапан прижат к правому седлу. Переключатель имеет два фланца подвода воздуха: от наружного контура и от седьмой ступени КВД. Выход воздуха осуществлен через фланец крепления переключателя. Переключатель установлен на промежуточном корпусе.

Клапан суфлирования компрессора (рисунок 9.19) поддерживает давление в предмасляных полостях передней опоры КНД, задней опоры КНД и передней опоры РВД и ТНД избыточным по отношению к давлению в масляных полостях. Клапан установлен на корпусе компрессора в магистрали выхода воздуха в атмосферу. Клапан состоит из корпуса 5, в котором размещены клапан 2, пружина сжатия 6, седло 1 и втулка 3. Усилие пружины регулируется шайбами 4. При повышении давления воздуха в предмасляных полостях до давления, превышающего усилие пружины, клапан отходит от седла и перепускает часть воздуха в атмосферу, поддерживая давление в предмасляных полостях на заданном уровне. При понижении давления пружина 6 возвращает клапан в исходное положение.

Клапан суфлирования турбины (рисунок 9.20) поддерживает давление в предмасляных полостях избыточным по отношению к давлению в масляных полостях. Клапан установлен на заднем корпусе наружного контура в магист-

рали выхода воздуха в атмосферу. Клапан суфлирования турбины состоит из корпуса 5, в котором размещены клапан 2 и седло 1, втулка 3 и пружины 6. Усилие пружины регулируется шайбами 4. Работа клапана суфлирования турбины аналогична работе клапана суфлирования компрессора.

Маслобак (рисунок 9.10) сварной конструкции, изготовлен из нержавеющей листовой стали, состоит из корпуса и нижней крышки. Корпус состоит из обечайки 1, передней 17 и задней 7 стенок.

На обечайке расположены:

- корпус поплавкового клапана;
- крышка заправочной горловины;
- мерная линейка;
- крышка маслофильтра;
- фланец слива масла из маслофильтра;
- фланец слива масла из маслобака;
- фланец подвода масла к маслофильтру;
- фланец подвода масла к ГТДЭ;
- фланец подвода масла к маслоагрегату;
- штуцер подвода эмульсии к сигнализатору стружки из системы откачки;
- фланец сигнализатора стружки в масле;
- фланец слива масла из центробежного суфлера.

На задней стенке расположены:

- корпус клапана суфлирования;
- фланец установки предохранительного клапана;
- корпус уровнемера;
- фланец установки клапана переключения.

Внутри бака расположены:

- узел суфлирования маслобака;
- трубопровод суфлирования маслобака при действии отрицательных пере-

грузок;

- трубопровод подвода масла к воздухоотделителю;
- воздухоотделитель с заливной горловиной;
- поплавковый отсечной клапан;
- корпус мерной линейки;
- трубопровод подвода масла к маслоагрегату;
- трубопровод подвода масла к маслофильтру;
- трубопровод отвода масла от маслофильтра в систему нагнетания;
- трубопровод слива масла из маслофильтра;
- корпус сигнализатора стружки в масле;
- корпус маслофильтра;
- предохранительный клапан.

Заправка маслобака может производиться через штуцер или, при отсутствии штатного заправщика, через заправочную горловину . Количество заправляемого в бак масла -15 л. Маслобак прикреплен к двигателю двумя металлическими лентами.

Работа

Работа маслосистемы при запуске и в режиме «Энергоузел» осуществляется следующим образом: масло из маслобака через клапан-пробку поступает в маслосистему ГТДЭ на смазку подшипников и зубчатых передач. Масло, откачиваемое из ГТДЭ, поступает на смазку ВКА через блок клапанов 5. Смазка ВКА при запуске и в режиме «Энергоузел» осуществляется через клапан блока клапанов. Давление в линии откачки ГТДЭ не должно превышать величины, определяемой условиями работы масляных уплотнений опор ГТДЭ. При увеличении давления выше допустимого часть масла перепускается через перепускной клапан 4 (рисунок 9.6). При работе двигателя открывается обратный клапан 15, а клапан 16 закрывается, не допуская подачи масла от двигателя в маслосистему ГТДЭ. Из ВКА двумя насосами, размещенными в ВКА, масло отка-

чивается и, пройдя сигнализатор стружки, поступает в маслобак.

С момента начала раскрутки ротора высокого давления двигателя нагнетающий насос маслоагрегата 7 подает масло в опоры. Для предотвращения переполнения маслом полостей опор до начала раскрутки РНД и вступления в работу откачивающих насосов масло перепускается клапаном (рисунок 9.3) на вход в насос. По мере увеличения частоты вращения РВД повышается давление масла и вступает в работу перепускной клапан маслоагрегата, который поддерживает давление масла на рабочих режимах работы двигателя в заданных пределах. После нагнетающего насоса масло поступает в топливомасляный теплообменник 8 (рисунок 9.1), затем в масляный фильтр 9, через клапан переключения 11 - в теплообменник 12, подключаемый на форсированных режимах. Масло, охлажденное топливом в теплообменниках, поступает на смазку и охлаждение подшипников роторов двигателя, на охлаждение уплотнений опор, на смазку трущихся деталей КДА, ВКА, ЦКП, ФН, а также обеспечения работы демпферов опор двигателя. Количество масла, поступающего к смазываемым узлам двигателя, определяется сечениями жиклеров в форсунках подачи масла.

Примечание: Смазка редуктора датчиков РНД осуществляется маслом, залитым в корпус редуктора. Для контроля уровня масла предусмотрена масломерная линейка.

Все масло из магистралей откачки собирается в общий трубопровод и поступает в сигнализатор стружки. При попадании в зазоры между контактными шайбами сигнализатора металлических частиц электрическая цепь его замыкается и в блоке документирования бортовой системы регистрируется сигнал «Стружка в масле». Далее масловоздушная смесь поступает в центробежный неприводной воздухоотделитель, где масло отделяется от воздуха и сливается в маслобак, а накопившийся воздух через узел суфлирования маслобака отводится в систему суфлирования.

Для предотвращения выброса масла при действии отрицательных перегрузок или в перевернутом полете через узел суфлирования служит шариковый

клапан, отсекающий узел суфлирования маслобака от системы суфлирования.

Для снятия сифонного эффекта в трубе и узле суфлирования маслобака выполнены три отверстия.

В случае повышения давления в маслобаке выше допустимого или в случае увеличения обратного перепада давления между маслобаком и отсеком двигателя срабатывает предохранительный клапан, защищающий маслобак от разрушения.

При повышении сопротивления в топливной полости *теплообменника* (рисунок 9.5) открывается клапан 8 и часть топлива поступает в двигатель, минуя теплообменник. Горячее масло из нагнетающего насоса через входное телескопическое соединение поступает в межтрубную полость теплообменника и оттуда через выходное телескопическое соединение поступает в двигатель.

При повышении сопротивления в межтрубной полости теплообменника открывается клапан 3, и часть масла поступает в двигатель, минуя теплообменник. Топливомасляные теплообменники размещены в верхней части корпуса наружного контура.

Отбор воздуха в систему наддува опор двигателя (рисунок 9.17) производится: от седьмой ступени КВД, из кольцевого канала наружного контура из полости 11 за воздухо-воздушным теплообменником. Управление отбором воздуха производится переключателем наддува 10 автоматически. При перепаде между давлениями в наружном контуре и атмосферным менее 0,5±0,05 кгс/см^2 воздух в систему поступает от седьмой ступени КВД, при больших перепадах - из кольцевого канала наружного контура. От переключателя наддува воздух, пройдя через внутренние полости стоек № 8 и 9 (рисунок 9.17) промежуточного корпуса, поступает по двум трубопроводам 9 в полость 7 наддува задней опоры КНД. Из полости 7 воздух поступает в полости: 6 - вала КНД, 13 - вала ТНД, 12 - ротора высокого давления, а также в разгрузочную полость 7 КНД через лабиринтное уплотнение полости наддува задней опоры КНД. Из полости 6 вала КНД воздух поступает в полость 4 наддува передней опоры КНД, из которой

направляется в предмасляную полость 3 передней опоры КНД и в полость 5, сообщающуюся с проточной частью двигателя. Воздух из полости 13 вала ТНД через полость 12 поступает с одной стороны через лабиринтные уплотнения в предмасляную полость 17 передней опоры РВД и предмасляную полость межвального уплотнения, а с другой стороны через отверстия в цапфе ТВД и лабиринтные уплотнения — в предмасляную полость 14 опоры турбины.

Воздух из воздухо-воздушного теплообменника поступает в полость за диском ТВД, из которой часть воздуха направляется в предмасляную полость. 14 опоры турбины через лабиринтные уплотнения.

Суфлирование предмасляной полости 3 передней опоры ротора КНД производится через два канала 2, стойки №14,17 и 19 переднего корпуса КНД (рисунок 9.17) и клапан суфлирования компрессора 1. Суфлирование полости кока осуществляется через те же каналы 2 и клапан 1. Суфлирование предмасляной полости задней опоры КНД осуществляется через трубопровод 19, стойки №2 и 12 промежуточного корпуса и клапан 1. Суфлирование предмасляной полости передней опоры КВД осуществляется через кольцевой канал 18, стойки №2 и 12 и клапан 1. Суфлирование предмасляных полостей 14 опоры турбины осуществляется через кольцевую полость 15, стойки №7, 8, 9 и 10 и клапан суфлирования турбины 16.

На переходных режимах в предмасляные полости может попадать из масляных полостей незначительное количество масла, которое отводится за борт через клапаны суфлирования компрессора и турбины.

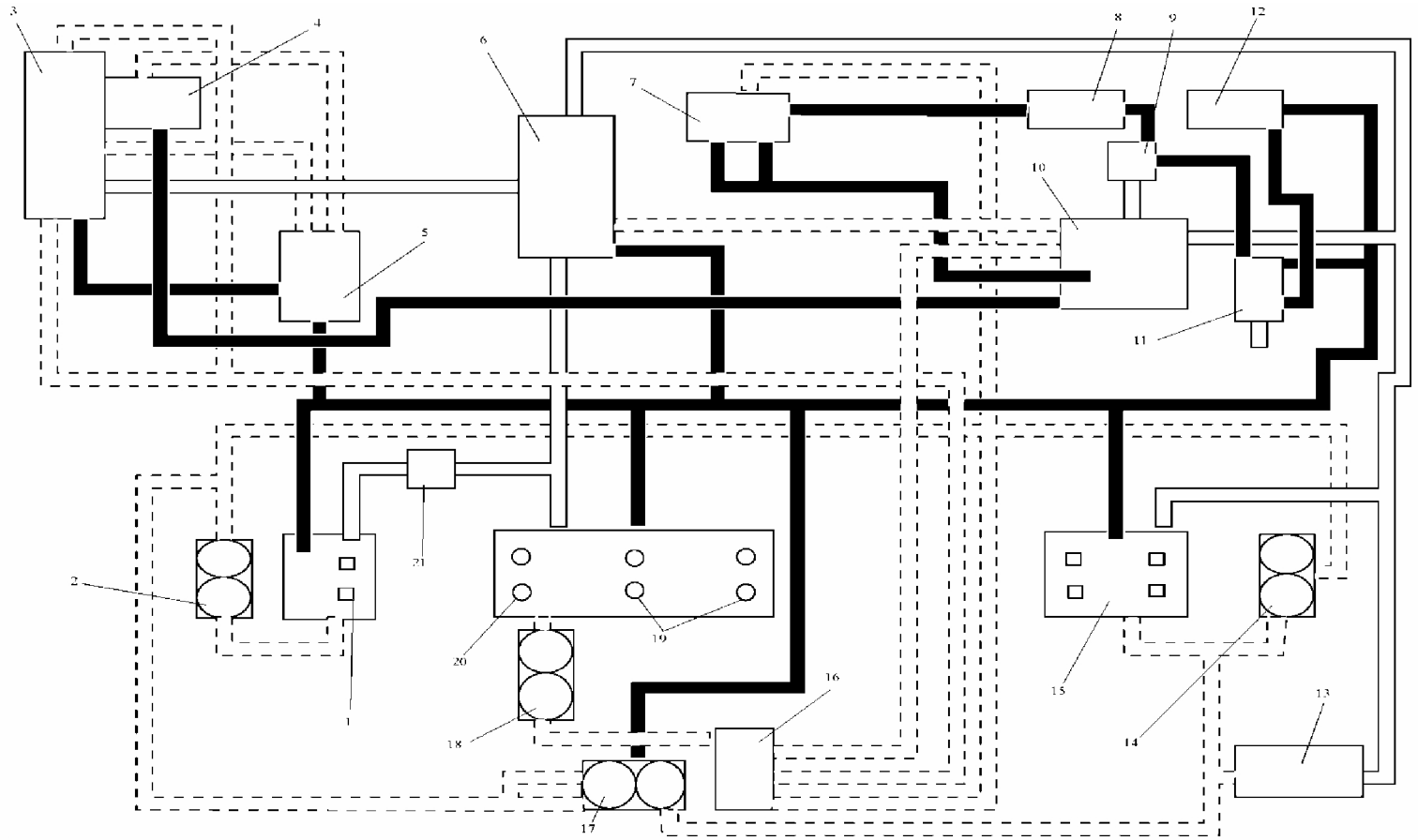
Опоры роторов выполнены по трехполостной схеме, в которую входят масляная полость, предмасляная полость и полости наддува. Предмасляная полость отделена от масляной безрасходными контактными уплотнениями, от полости наддува – лабиринтными уплотнениями. На контактных уплотнениях поддерживается оптимальный постоянный перепад давления для передней и средней опор – клапаном суфлирования компрессора, а для турбинных опор – клапаном суфлирования турбины. Если в полости наддува просочится масло,

оно вместе с воздухом через клапаны суфлирования компрессора и турбины, соответственно, будет отведено за борт объекта. Все уплотнения опор снаружи наддуваются с той целью, чтобы получить перепад давления на уплотнениях между предмасляной полостью и воздушной полостью наддува, направленный в сторону предмаслянной полости. Отбор воздуха в систему наддува опор производится от седьмой ступени КВД или из кольцевого канала наружного контура за КНД. Управление отбором воздуха производится переключателем наддува автоматически. Основные эксплуатационные данные маслосистемы приведены в таблице 9.1

Таблица 3.1

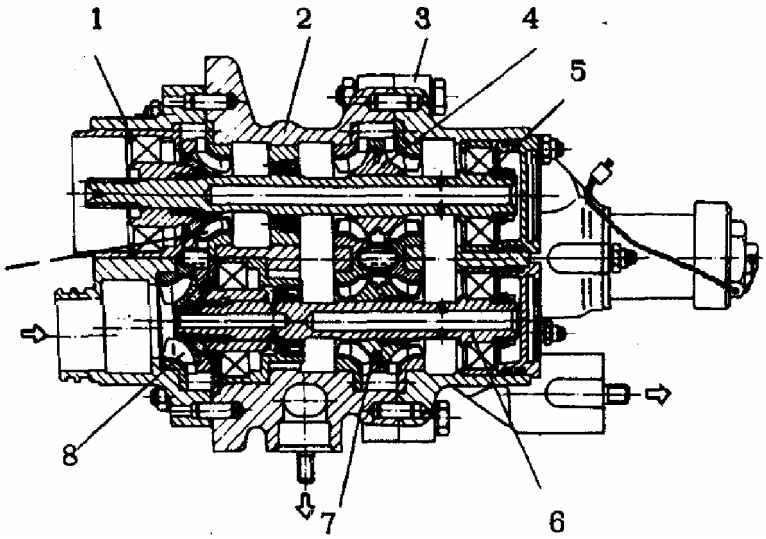
Основные эксплуатационные данные маслосистемы

№ п/п	Наименование параметра	Величина
1.	Тип системы	Закрытого типа, автономная, объединенная с маслосистемой ВКА
2.	Сорт масла: основное	ИПМ-10 ТУ 3800180-75
	Резервное	ВНИИ НП-50-1-4Ф ГОСТ
3.	Расход масла	не более 0,6 л/ч
4.	Давление масла:	
	- на режимах малого газа n_2<85%	не менее 1,8 кгс/см^2
	- на нефорсированных режимах при n_2≥85%	2,7 - 3,2 кгс/см^2
	- на форсированных режимах	2,5 - 3,1 кгс/см^2
	В полете допускается повышение давление масла	до 4 кгс/см^2
	Срабатывание сигнализатора минимально допустимого давления масла:	<1,4 ± 0,2 кгс/см^2 на n_2≤85% и <1,9 + 0,1 кгс/см^2 на n_2>85%
	Срабатывание сигнализатора максимально допустимого давления масла:	при 3,8±0,2 кгс/см на всех режимах
5.	Количество масла, заливаемого в маслобак	
	Минимальная заправка маслобака перед полетом продолжительностью не более 8 часов	12 л
	Срабатывание сигнализатора минимального уровня масла в баке	13 ± 0,5 л
6.	Двигатель обеспечивает нормальную работу при кратковременных перерывах в подаче масла (действие нулевых и отрицательных перегрузок).	не более 10с.
7.	Давление воздуха в масляных полостях двигателя в условиях H=0, M=0 (по замеру перед центробежным суфлером).	не более 0,3 кгс/см^2
8.	Чистота заправляемого в двигатель масла	13 класс по ГОСТ 17216-71



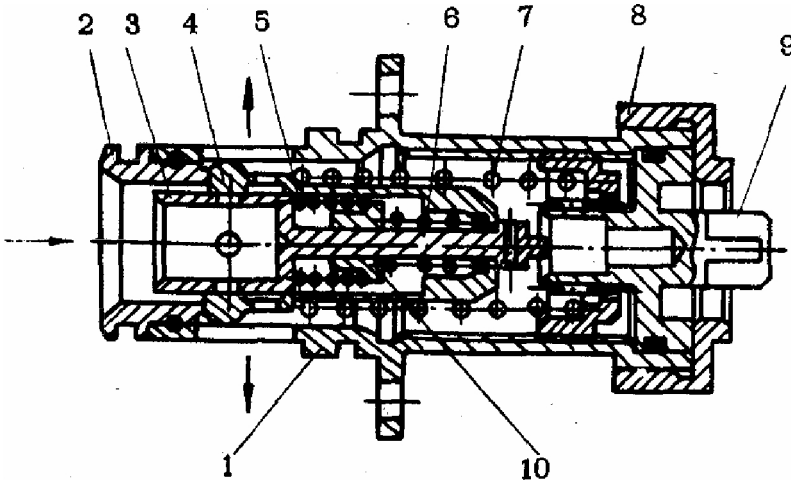
1 – передняя опора КНД, 2 – откачивающий насос передней опоры, 3 – ВКА,4 – ГТДЭ-И7-1, 5 – блок клапанов, 6 – КДА, 7 – маслоагрегат, 8 – топливно-масляный теплообменник, 9 – масляный фильтр, 10 – маслобак, 11 – клапан переключения, 12 - топливно-масляный теплообменник форсажа, 13 – дополнительный сливной бачок, 14 – откачивающий масляный насос задней опоры, 15 – задняя опора (РВД и ТНД), 16 – обратный клапан в напорной магистрали системы откачки, 17 – нижний откачивающий масляный насос, 18 – откачивающий масляный насос средней опоры, 19 – передняя опора (ТНД и РВД), 20 – задняя опора КНД, 21 – предохранительный клапан

Рис. 9.1 Маслосистема



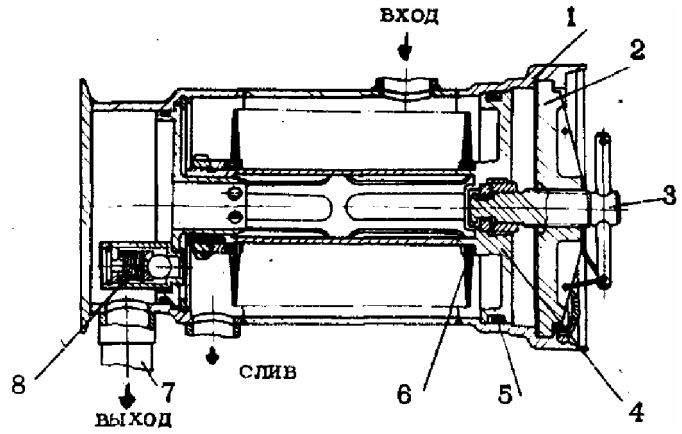
1 - передний корпус
2 - средний корпус
3 - задний корпус
4,7,8,9 - шестерни с крыльчаткой
5,6 - валы

Рис. 9.2 Маслоагрегат



1- корпус
2 - седло
3 - клапан режима запуска
4 - клапан основного режима работы
5,6,7 - пружины
8 - гайки
9 - упор
10 - опора

Рис. 9.3 Перепускной клапан



1 - корпус
2 - траверса
3 - винт
4 - каркас с крышкой
5 - кольцо уплотнительное
6 - фильтрующая секция
7 - трубопровод сливной
8 - перепускной клапан

Рис. 9.4 Масляный фильтр

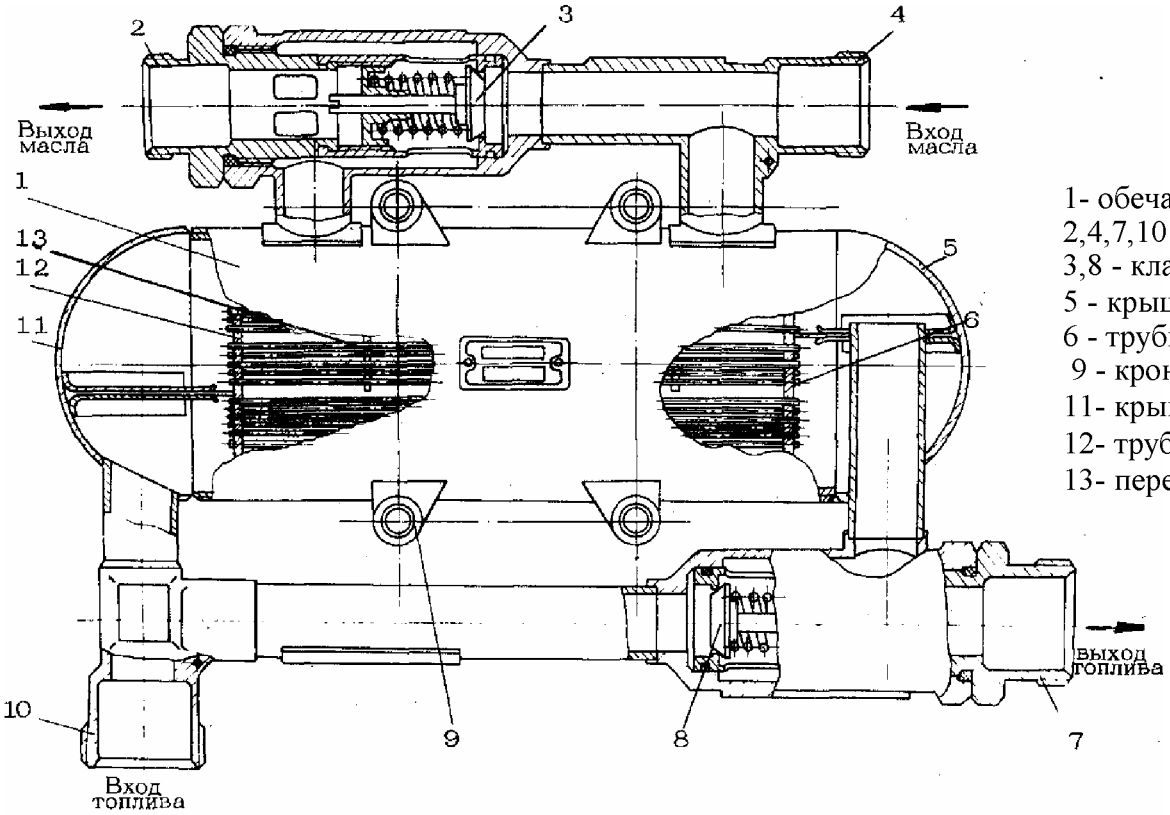


Рис. 9.5 Топливный маслообменник

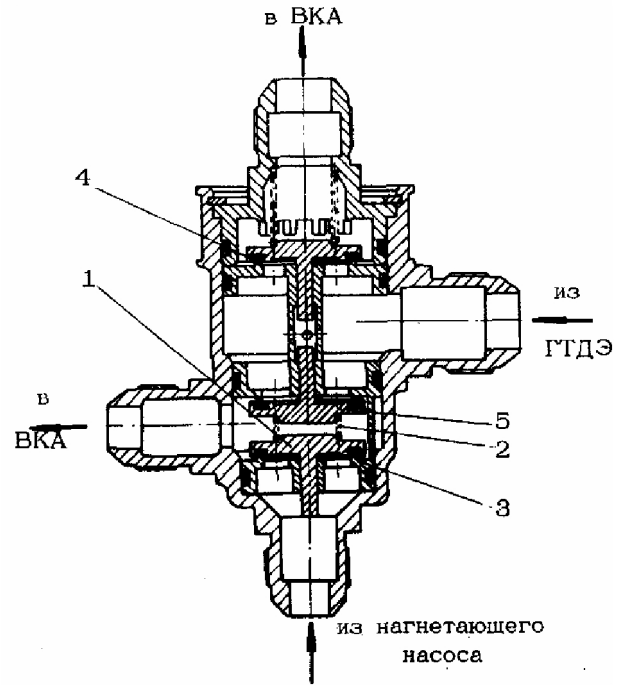
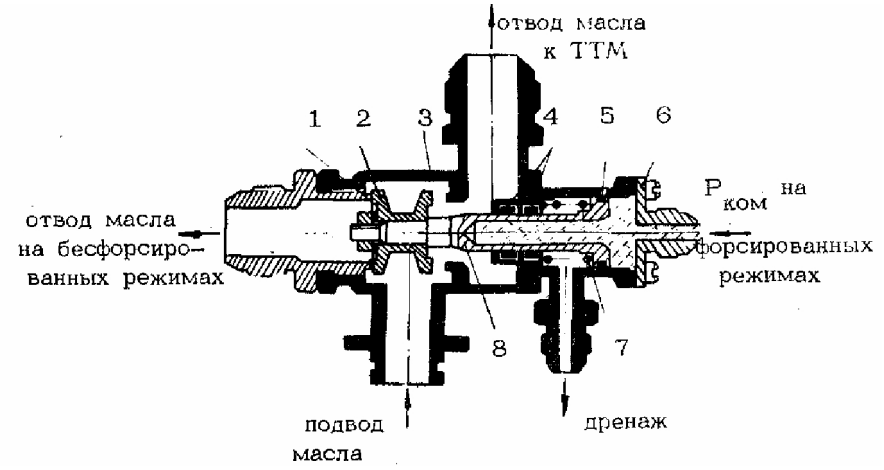
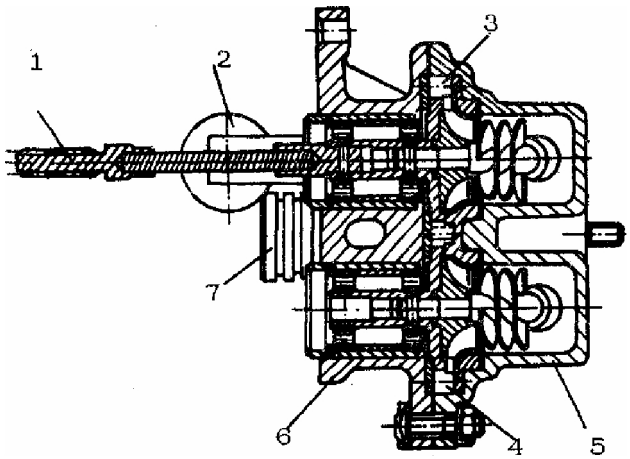


Рис. 9.6 Блок клапанов



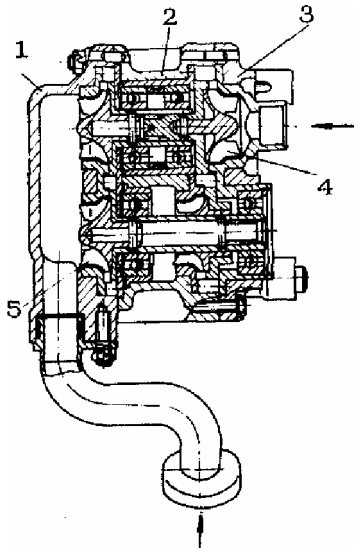
1 - седло
2 - клапан
3 - корпус
4,5 - уплотнительное кольцо
6 - крышка
7 - пружина
8 - поршень

Рис. 9.7 Клапан переключения



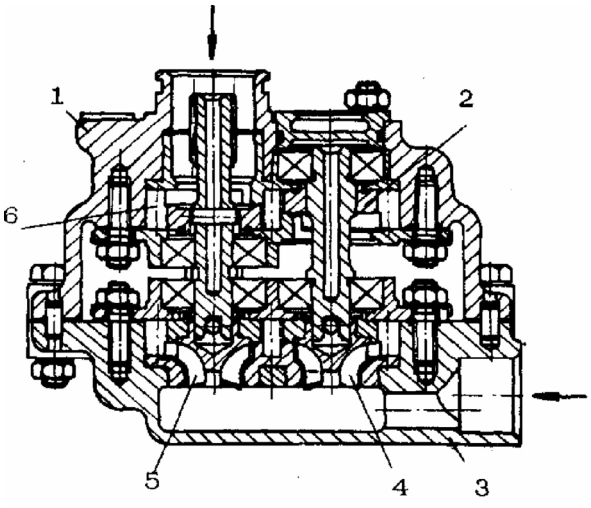
1 - гибкий вал
2 - заборник
3,4 - шестерни с крыльчаткой и шнеком
5 - крышка
6 - корпус
7 - заборник

Рис. 9.8 Откачивающий насос передней опоры



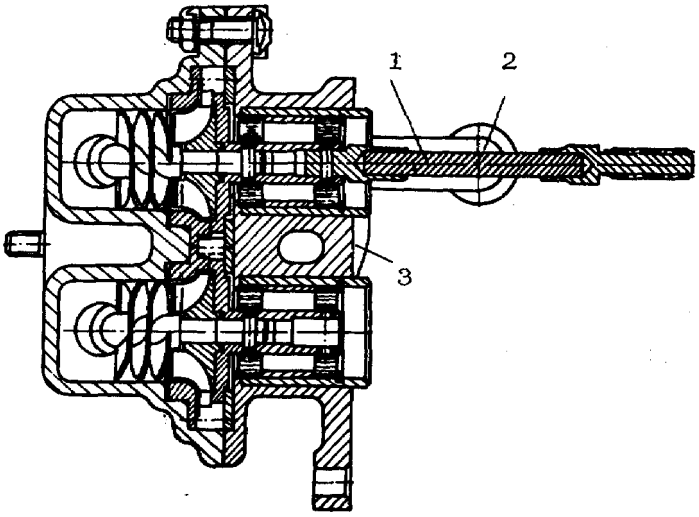
1 - крышка
2 - средний корпус
3 – корпус
4,5 - шестерня с крыльчаткой

Рис. 9.9 Откачивающий насос задней опоры КНД и передних опор РВД и ТНД



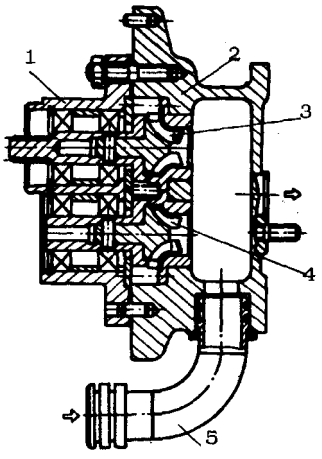
1 - верхний корпус
2 - шестерня
3 - нижний корпус
4,5 - шестерни с крыльчаткой
6 - шестерни

Рис. 9.10 Откачивающий нижний насос



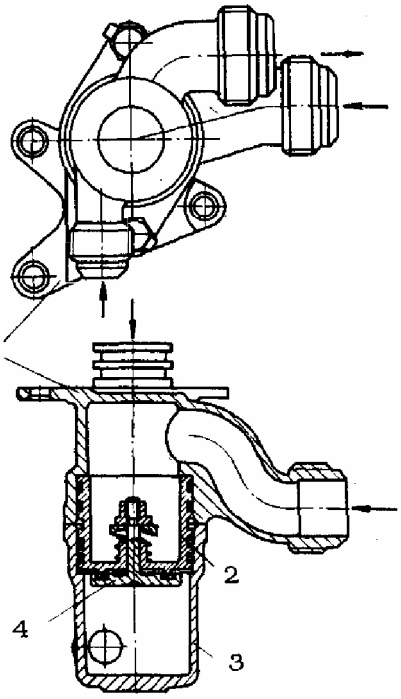
1 - гибкий вал
2,3 - заборники

Рис. 9.11 Откачивающий насос задних опор РВД и ТНД



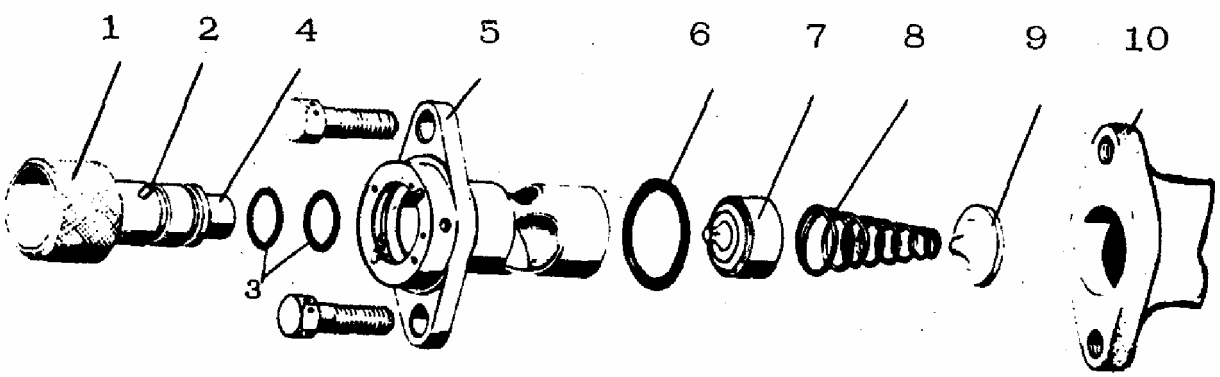
1 - крышка
2 - корпус
3 ,4- шестерня с крыльчаткой
5 - заборник

Рис. 9.12 Откачивающий насос ВКА



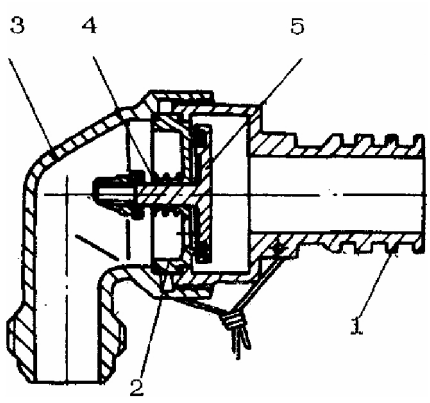
1,3 - корпус
2 - седло
4 - клапан

Рис. 9.13 Обратный клапан в системе откачки масла из двигателей



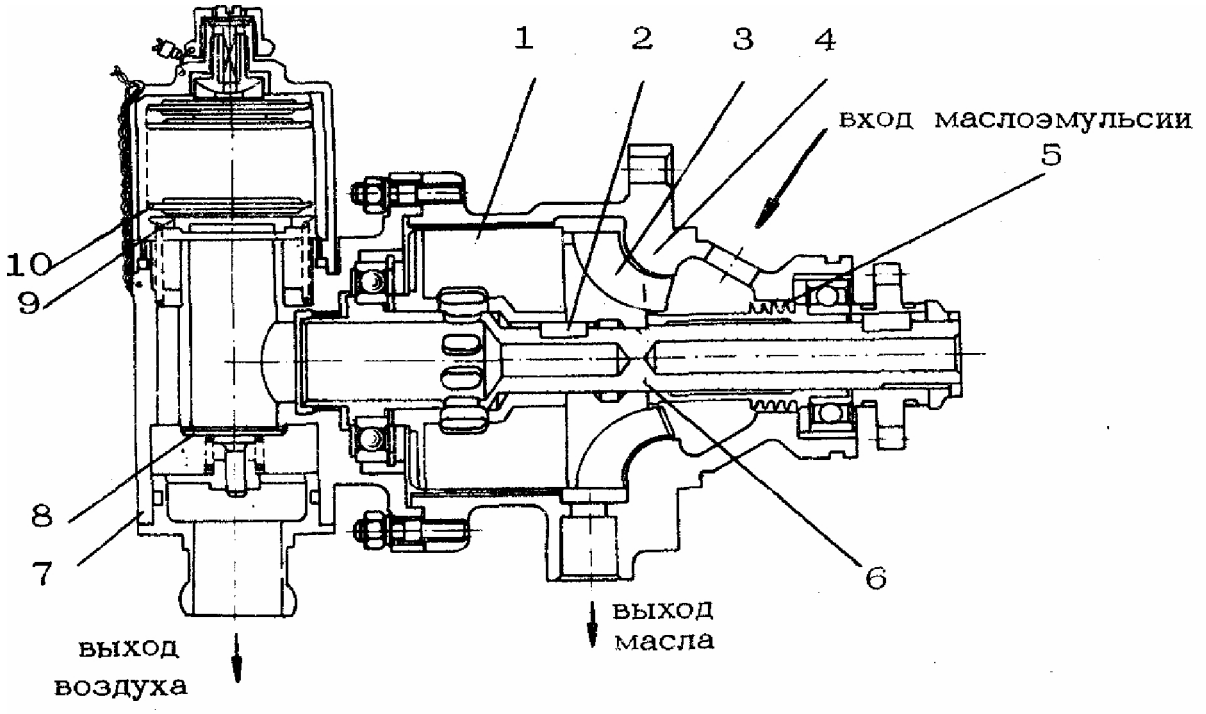
1- пробка
2 – штифт
3- уплотнительные кольца
4 - магнит
5 - корпус клапана
6 - уплотнительное кольцо
7 - клапан
8 - пружина
9 - опора
10 - корпус

Рис. 9.14 Магнитная пробка



1 - ниппель
2 - седло
3 - угольник
4 - пружина
5 - клапан с кольцом

Рис. 9.15 Обратный клапан системы суфлирования



1 - крыльчатка
2 - шпонка
3 - крыльчатка
4 - корпус
5 - лабиринтное уплотнение
6 - вал
7 - корпус клапанов
8 - анероид
9 - барастатический клапан
10 - обратный клапан

Рис. 9.16 Центробежный суфлер

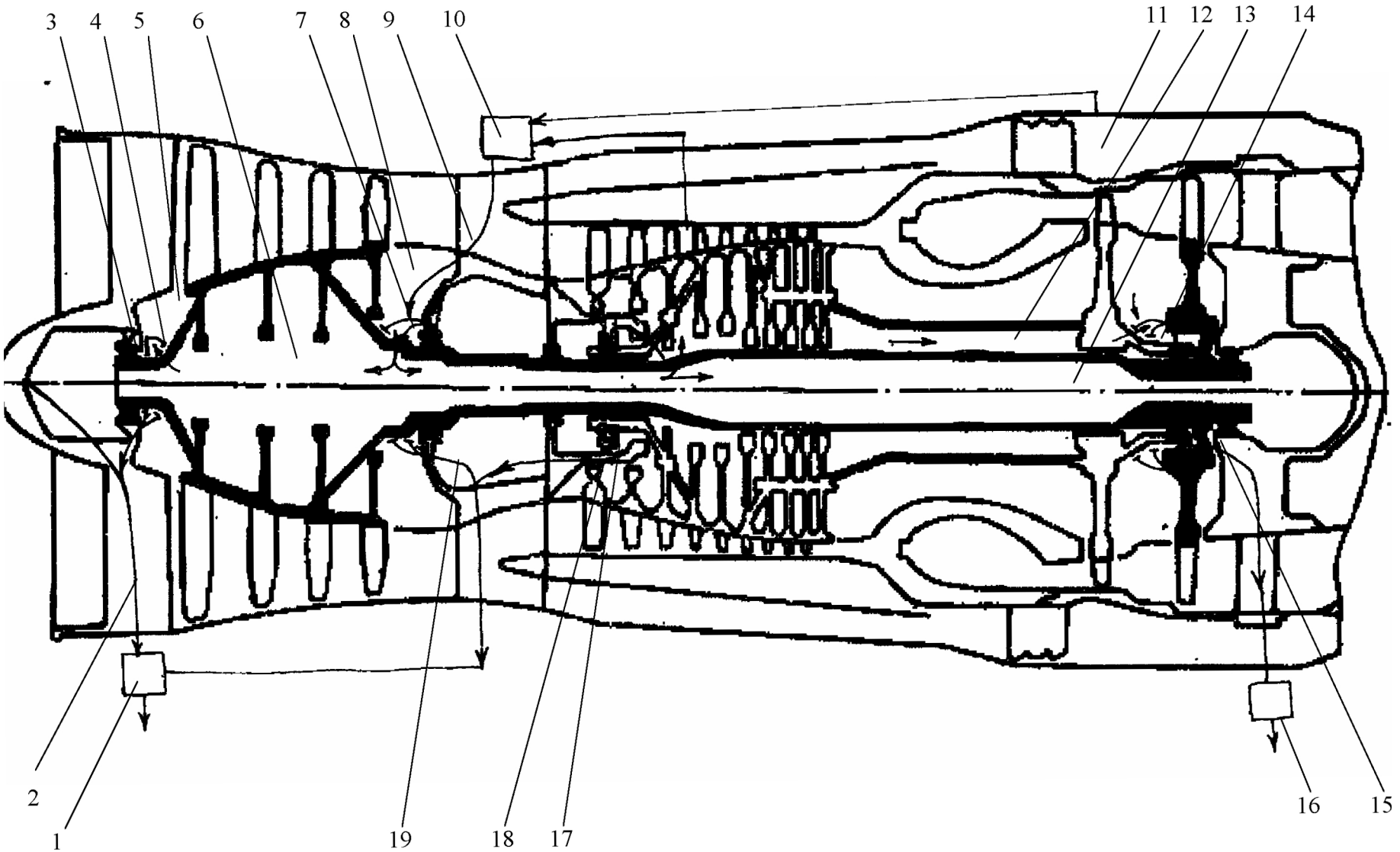
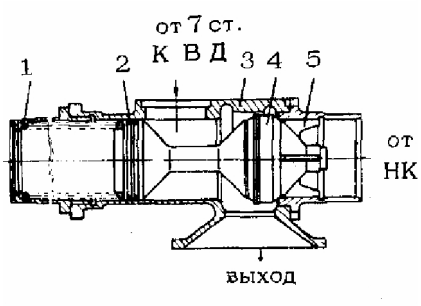


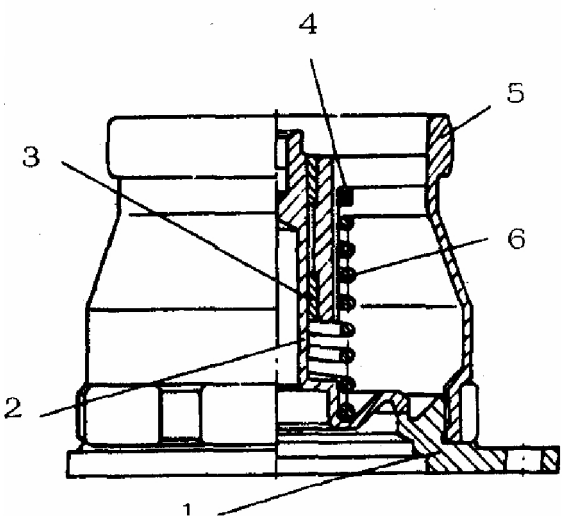
Рис. 9.17 Схема системы наддува предмаслянных полостей (Лист 1 из 2)

1 – клапан суфлирования компрессора
2 – канал суфлирования
3 – предмаслянная полость передней опоры КНД
4 – полость наддува передней опоры КНД
5 – воздушная полость передней опоры КНД
6 – полость вала КНД
7 – полость наддува задней опоры КНД
8 – разгрузочная полость КНД
9 – трубопровод
10 – переключатель наддува
11 – полость канала наружного контура за воздухо-воздушным теплообменником
12 – полость РВД
13 – полость вала ТНД
14 – предмаслянная полость опоры турбины
15 – кольцевая полость
16 – клапан суфлирования турбины
17 – предмаслянная полость передней опоры РВД
18 – кольцевой канал
19 - трубопровод



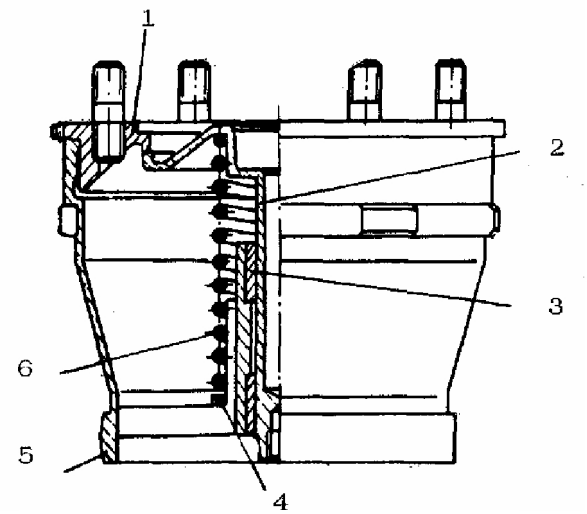
1 - пружина
2 - поршневое кольцо
3 - корпус
4 - клапан
5 - крестообразная направляющая

Рис. 9.18 *Переключатель наддува*



1 - седло
2 - клапан
3 - втулка
4 - шайба
5 - корпус
6 - пружина

Рис. 9.19 Клапан суфлирования компрессора



1 - седло
2 - клапан
3 - втулка
4 - шайба
5 - корпус
6 - пружина

Рис. 9.20 Клапан суфлирования турбины

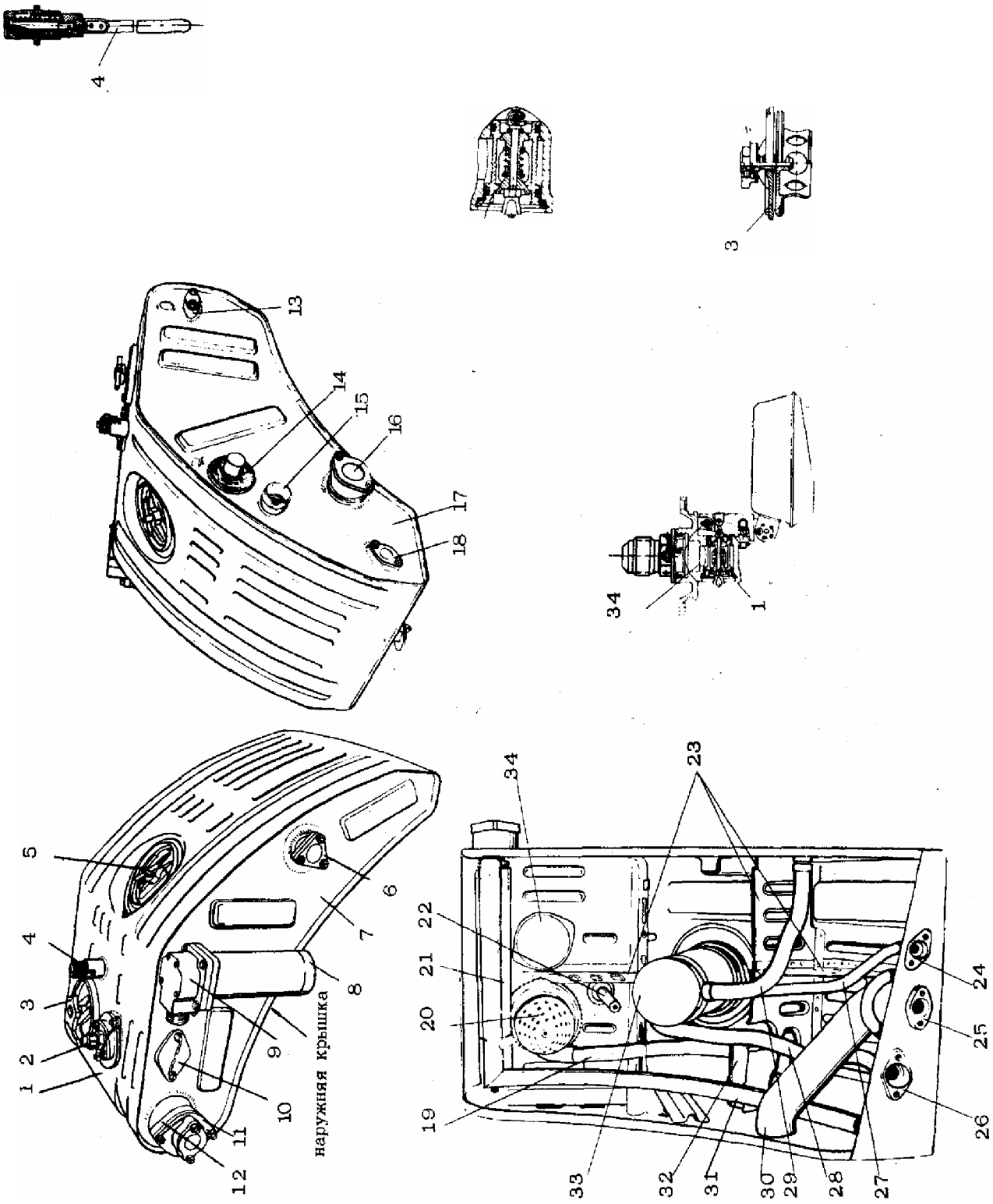


Рис. 9.21 Маслобак (лист 1 из 2)

1- обечайка

2- штуцер заправки под давлением

3-крышка заправочной горловины

4- мерная линейка

5- крышка маслофильтра

6- фланец установки клапана переключения

7- задняя стенка

8- корпус уровнемера

9- уровнемер

10- фланец установки предохранительного клапана

11- фланец трубопровода суфлирования

12- корпус клапана суфлирования

13- фланец слива масла из центробежного суфлера

14- фланец сигнализатора стружки в масле

15- штуцер подвода эмульсии к сигнализатору стружки из системы откачки

16- фланец подвода масла к маслоагрегату

17- передняя стенка

18- фланец подвода масла к ГТДЭ

19- трубопровод подвода масла к воздухоотделителю

20- воздухоотделитель

21- узел суфлирования

22- корпус мерной линейки

23- перегородки

24- фланец слива масла из маслофильтра

25- фланец слива масла из маслобака

26- фланец подвода масла к маслофильтру

27- трубопровод слива масла из маслофильтра

2 8- трубопровод подвода масла к маслофильтру

29- трубопровод отвода масла от маслофильтра

30- трубопровод подвода масла к маслоагр егату

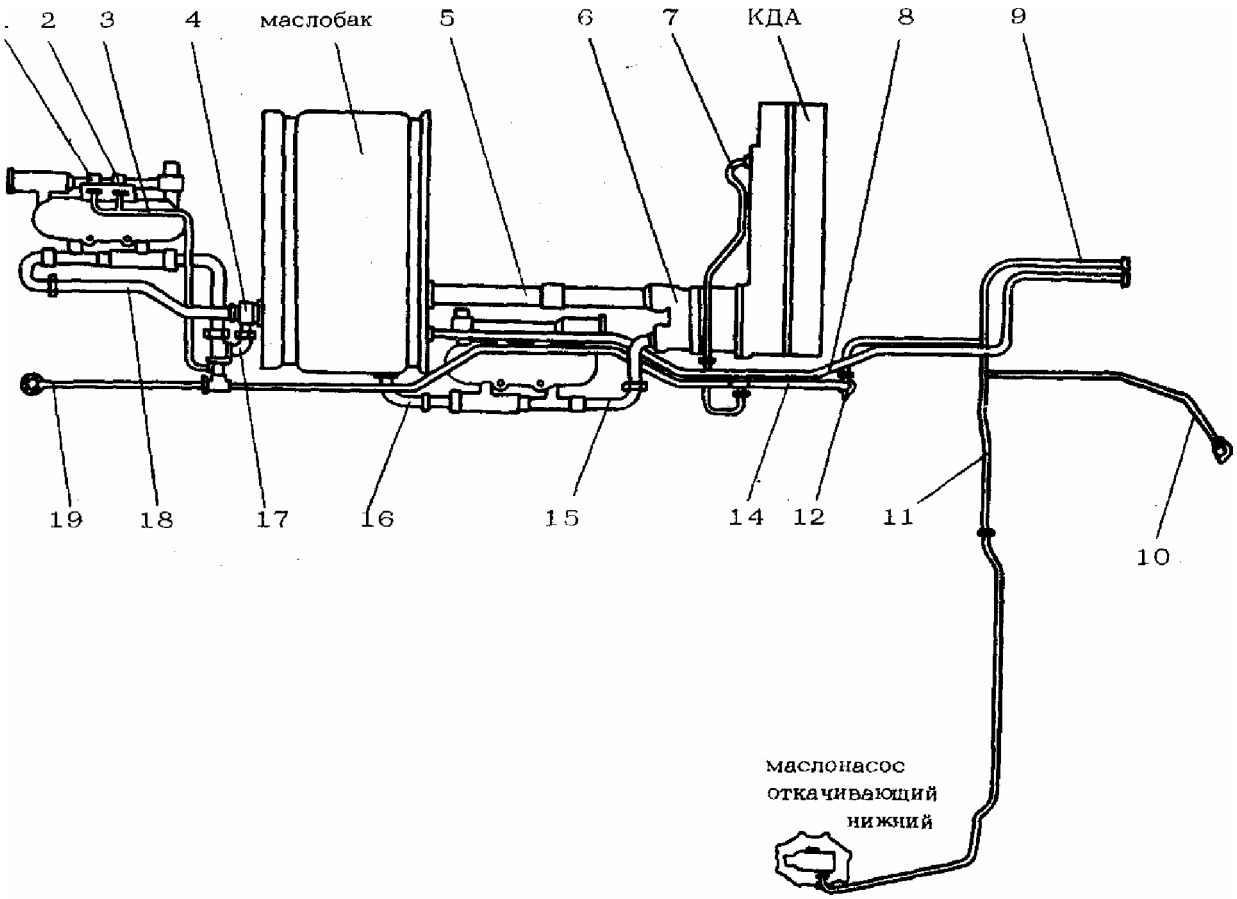
31- трубопровод суфлирования маслобака при действии отрицательных перегрузок

32- корпус сигнализатора стружки

33- корпус маслофильтра

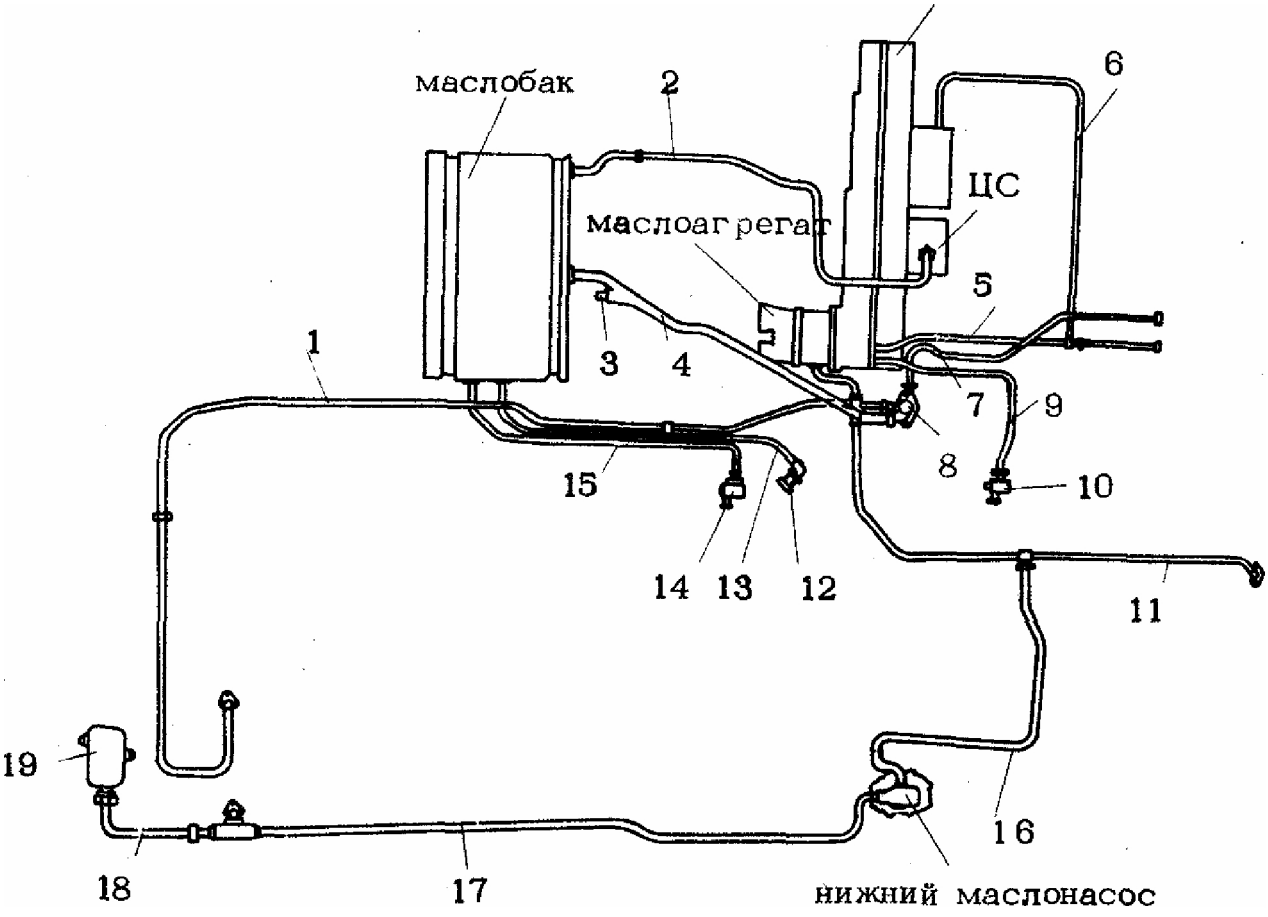
34- отсечной поплавковый клапан

Рис. 9.21 Маслобак (лист 2 из 2)



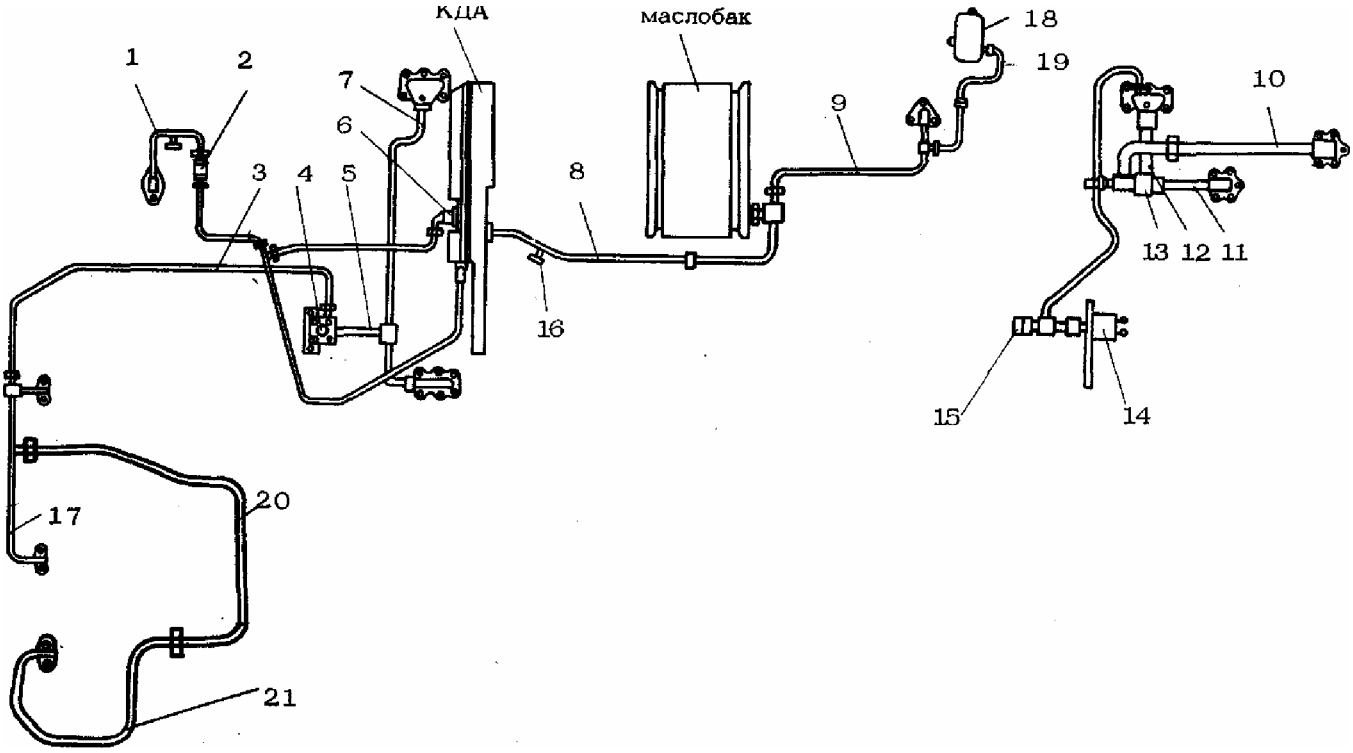
1 - ДАТ-4 из комплекта пульта ПНК-99
2 - ДАТ-4 в цепи сигнализации "СБРОСЬ. ОБОР "
3 - трубопровод замера давления масла
4 - клапан переключения
5 - трубопровод отвода масла из маслобака к маслоагрегату
6 - маслоагрегат
7 - трубопровод подвода масла к КДА
8 - трубопровод подвода масла к ГТДЭ
9 - трубопровод подвода масла к ВКА
10- трубопровод подвода .масла к передней опоре
11 - трубопровод подвода масла к нижнему откачивающему насосу
12 - место подвода масла к задней опоре КНД
13 - нижний откачивающий маслонасос
14 - трубопровод подвода масла к передним опорам РВД и ТНД
1 5 - трубопровод отвода масла от маслоагрегата к ТТМ
16 - трубопровод подвода масла от ТТМ к фильтру
17 - трубопровод отвода масла от фильтра
18 - трубопровод подвода масла к ТТМ в топливной системе ФК
19 - трубопровод подвода масла к задним опорам РВД и ТНД

Рис. 9.22 Коммуникации системы нагнетания



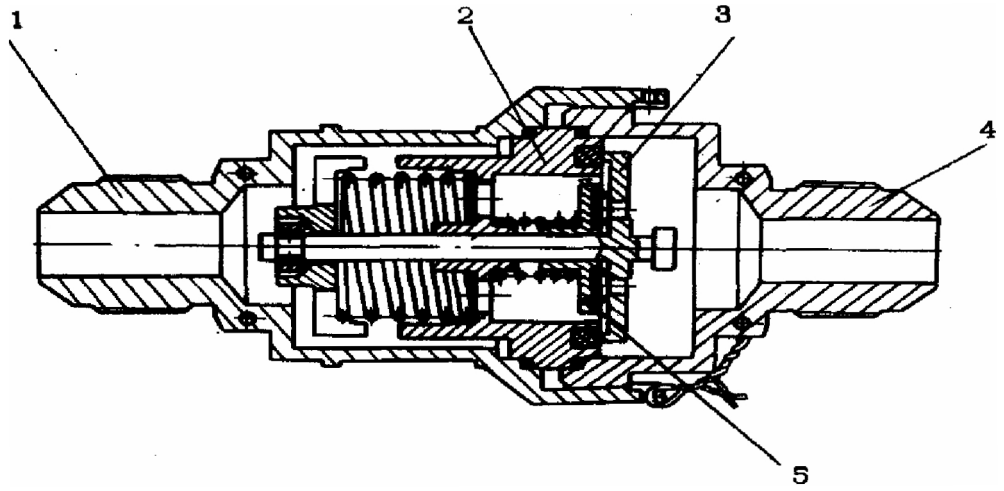
1,17 - трубопроводы откачки масла из задних опор РВД и ТНД
2 - трубопровод слива масла из центробежного суфлера (ЦС)
3 - приемник температуры масла П—77 вар.2 в цепи сигнализации "СБРОСЬ ОБОР"
4 - трубопровод откачки масла в маслобак
5 - трубопровод слива масла из уплотнения КДА
6 - трубопровод перелива масла из ВКА
7 - трубопровод откачки масла из ВКА
8 - обратный клапан
9 - трубопровод слива масла из КДА
10 - кран слива масла из КДА
11- трубопровод откачки масла из задней опоры КНД и передних опор РВД и ТНД
12 - клапан слива масла из маслобака
13 - трубопровод слива масла из маслобака
14 - кран слива масла из маслофильтра
15 - трубопровод слива масла из маслофильтра
16 - трубопровод откачки масла от нижнего масло-насоса
18 - трубопровод откачки масла из бачка
19 - дополнительный сливной бачок

Рис. 9.23 Коммуникации системы откачки



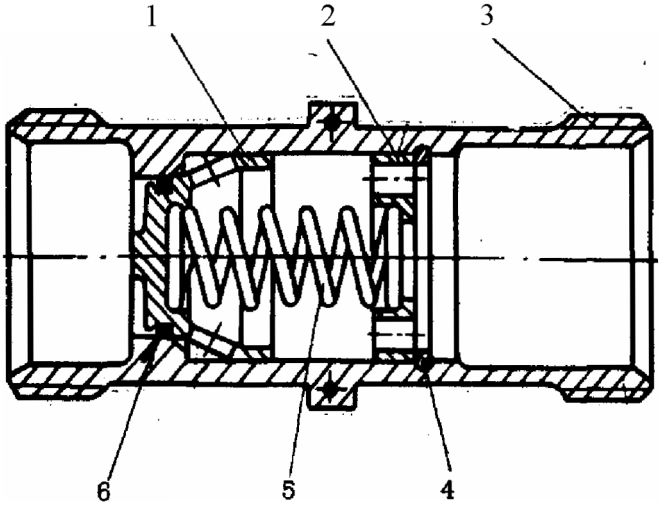
1 - трубопровод суфлирования масляной полости передней опоры КНД
2 - предохранительный клапан
3,17,20,21-грубопроводы суфлирования предмасляной полости передней опоры КНД
4 - клапан суфлирования компрессора
5 - патрубок
6 - обратный клапан
7 - трубопровод суфлирования предмасляных полостей задней опоры КНД и передней опоры РВД
8 - трубопровод суфлирования маслобака
9 - трубопровод суфлирования масляной полости задних опор РВД и ТНД 10,11,12 - трубопроводы наддува
13 - переключатель наддува
14 - сигнализатор предельного давления в системе наддува МСТ-6,5 А
15 - штуцер замера давления в системе наддува
16 - штуцер замера давления суфлирования масляных полостей
18 - дополнительный сливной бачок
19 - трубопровод суфлирования бачка

Рис. 9.24 Коммуникации системы суфлирования и наддува опор



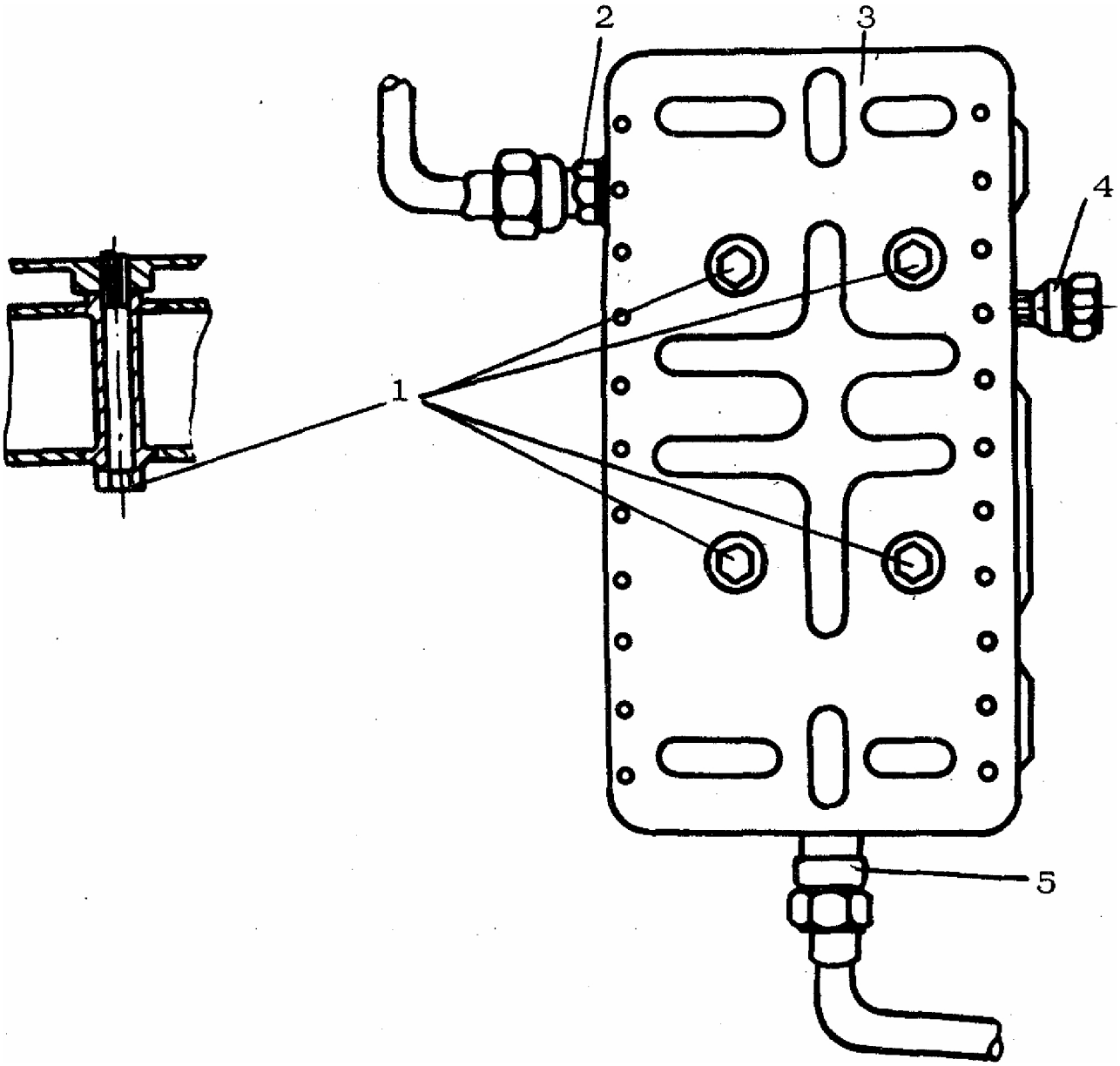
1 – корпус
2 – седло
3 – клапан (ΔP=0,05 кгс/см^2)
4 – штуцер
5 – клапан с уплотнением (ΔP=0,4 $_{-0,1}$ кгс/см^2)

Рис. 9.25 Предохранительный клапан



1- клапан
2- упорная втулка
3- корпус
4- кольцо
5- пружина
6- уплотнительное кольцо

Рис. 9.26 Клапан - пробка



1 - болты
2 - штуцер суфлирования бачка
3 - дополнительный сливной бачок
4 - резервный штуцер
5 - штуцер откачки масла из бачка

Рис. 9.27 Дополнительный сливной бачок

10 ТОПЛИВНАЯ СИСТЕМА

Топливная система предназначена для подачи топлива в двигатель, автоматического поддержания установившихся режимов, обеспечения переменных режимов и управления положением ВНА КНД, НА КВД, створок РС на всех режимах, во всех условиях эксплуатации.

Топливная система – гидромеханическая, с электронным комплексным регулятором двигателя.

Топливная система включает:

- дренажную систему;
- топливную систему низкого давления;
- основную топливную систему;
- систему предупреждения и ликвидации помпажа;
- систему управления поворотными закрылками входного направляющего аппарата компрессора;
- низкого давления и поворотными лопатками направляющих аппаратов компрессора высокого давления;
- форсажную топливную систему;
- систему управления реактивным соплом;
- систему аварийного слива топлива.

Все гидромеханические агрегаты топливной системы установлены на двигателе.

Комплексный регулятор двигателя (КРД) установлен на самолете. Установленные на двигателе исполнительные механизмы КРД:

- Регулирование по командам РЧВ, РТГ, РВД
- Клапан перестройки программ регулирования НА КВД и РС
- КО
- Клапан минимального форсажа

- Клапан дозатора системы «Огневая дорожка»
- Клапан снижения n2 при отказе КРД
- Регулирование ВНА КНД
- Клапан управления охлаждением турбины

Управление подачей топлива осуществляется рычагом управления двигателем, электрическими командами и регуляторами автоматики.

Принципиальная схема коммуникаций топливной системы приведена на рисунке 10.1, на котором позициями обозначены следующие элементы:

1- проставка
2- топливоподкачивающий центробежный насос (ДЦН)
3- кран слива топлива
4- сигнализатор перепада давления
5- топливный фильтр системы низкого давления
6- гидроцилиндры управления закрылками ВНА КНД
7- насос-регулятор (НР)
8- теплообменник топливомасляный
9- распределитель топлива (РТ)
10- первый каскад топливного коллектора ОКС
11- форсунки ОКС
12- второй каскад топливного коллектора ОКС
13- эжектор
14- сливной бачок
15- гидроцилиндры управления лопатками НА КВД
16- датчики температуры ТДК
17- насос высокого давления (НП)
18- топливный фильтр системы управления РС
19- агрегат управления НП
20- клапан переключения масла
21- дозатор системы воспламенения топлива ФК
22- форсунка струйная
23- форсунка центробежная
24- распределитель форсажного топлива (РТФ)
25- форсунки пускового (пятого) коллектора ФК
26-форсунки первого коллектора ФК
27- форсунки второго коллектора ФК
28- форсунки третьего коллектора ФК
29- форсунки четвертого коллектора ФК
30- регулятор сопла и форсажа(РСФ)
31- агрегат управления охлаждением турбины
32-фильтр-редуктор воздушный
33- гидроцилиндры управления створками РС'
34- агрегат аварийного слива топлива
35- форсажный насос (ФН)

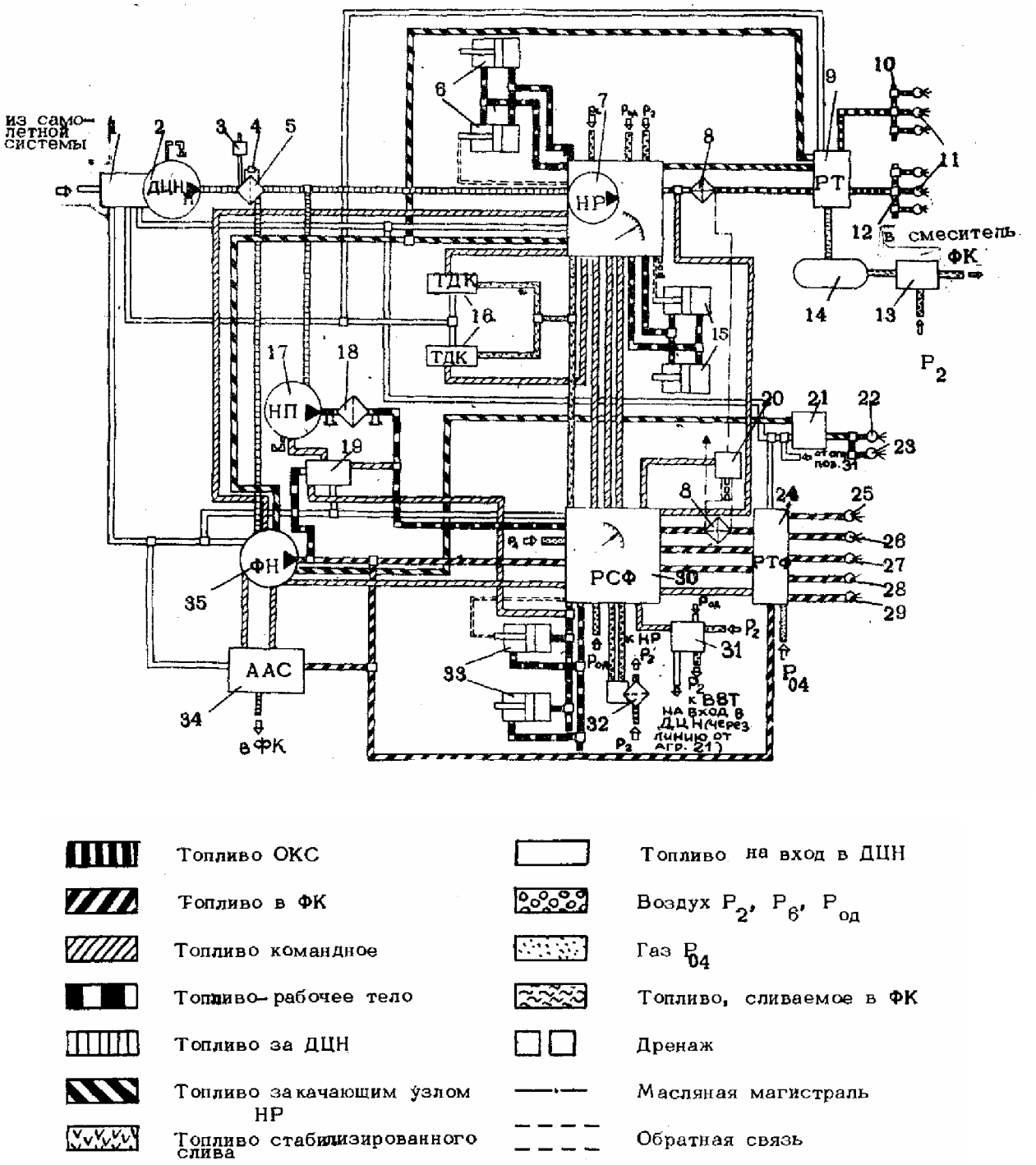


Рис. 10.1 Принципиальная схема коммуникаций топливной системы

Топливная система низкого давления предназначена для повышения давления топлива, поступающего из топливной системы самолета, его фильтрования, подачи в агрегаты двигателя.

В состав системы входят: проставка (1), топливоподкачивающий насос ДЦН-82 (2), топливный фильтр (5), трубопроводы.

Основная топливная система предназначена для подачи топлива в основную камеру сгорания (ОКС).

В систему входят: насос регулятор НР-31В (7), топливомасляный теплообменник (ТМР) (8), распределитель топлива РТ-31Б (9), топливный коллектор первого и второго каскадов с форсунками (10, 11, 12), трубопроводы.

Топливная система форсажной камеры предназначена для подачи и распределения топлива в коллекторы форсажной камеры.

В топливную систему ФК входят: форсажный насос ФН-31А (35), регулятор сопла и форсажа РСФ-31Б (30), распределитель форсажного топлива РТФ-31А (24), топливомасляный теплообменник (8), трубопроводы, топливные коллекторы и форсунки (25-29).

Дренажная система предназначена для отвода из двигателя топлива и масла проникающих через уплотнения агрегатов, и для слива остатка топлива из топливной системы и полостей двигателя после его выключения.

Дренажная система состоит из сливного бачка (14), клапанов слива, эжектора (13), трубопроводов.

Клапаны слива предназначены для слива остатка топлива из полостей основной камеры сгорания, наружного контура и форсажной камеры сгорания при неработающем двигателе.

Работа топливной системы

Топливо из системы самолета поступает в проставку, одновременно в проставку через штуцера сливается топливо из агрегатов. В проставке поток выравнивается для предотвращения кавитации и поступает на вход ДЦН.В качающем узле ДЦН давление топлива повышается. Из ДЦН топливо подается в топливный фильтр. Очищенное в фильтре топливо поступает в НР ФН и НП.

При засорении фильтров их сопротивление увеличивается и при достижении перепада давления на фильтроэлементах (0,39 ±0,078) 10^5 Па сигнализатор выдает электрический сигнал в бортовой регистратор. При увеличении давления до $(0.39^{+0.049}_{-0.098})\ 10^5$ Па клапаны перепуска преодолевают усилия пружины,

начинает окрывать доступ топливу через фильтр грубой очистки 13 в топливную систему, минуя фильтроэлементы тонкой очистки 9. Топливо, поступающее от фильтра системы низкого давления в качающий узел насоса регулятора, затем проходит через дозирующее устройство регулятора, топливомаслянный теплообменник и подводится к распределителю топлива. При повышении его давления перед РТ, распределительный золотник 3, преодолевая усилие пружины, открывает доступ дозированному топливу в первый каскад форсунок ОКС. По мере увеличения частоты вращения и расхода топлива в ОКС давление топлива перед РТ продолжает возрастать и золотник 3 открывает доступ топливу во второй каскад форсунок ОКС.

При выключении двигателя давление топлива за нососом-регулятором падает, распределительный золотник занимает исходное положение, открывается клапан слива 2 и топливо из коллекторов поступает в сливной бачок.

Топливо из распределителя по коллекторам 1,2 поступает через отверстия в корпусах 8 форсунок к завихрителям 2,3 и далее в сопла 4,5. Получившее закрутку распыленное топливо поступает в жаровую трубу ОКС. Для предотвращения образования нагара торец форсунки обдувается воздухом, поступающим через сверления в противонагарном колпачке 6.

Топливо для питания форсажной камеры подводится к качающему узлу форсажного насоса через клапан входа.

Включении форсажного насоса осуществляется перемещением РУД в диапозон форсированных режимов. При этом закрывается слив топлива через жиклер 7 из управляемой полости поршня 4 клапана 10 входа топлива в насос. Под воздействием усилия пружины и давления топлива на поршень 4 клапан 10 открывается и топливо поступает на рабочее колесо 11. Давлением топлива за качающим узлом открывается клапан 1 выхода топлива и закрывается клапан 2 подвода топлива от насоса-регулятора.

Предотвращение перегрева деталей выключенного форсажного насоса осуществляется за счет перепуска топлива из полости рабочего колеса 11 через эжектор 12 на вход в ДЦН.

11 ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ КОММУНИКАЦИИ

Электрические коммуникации предназначены:

- для электрической связи агрегатов, передачи электроэнергии из систем самолета к электромеханизмам двигателя и ВКА и для передачи электрических сигналов (команд) исполнительным механизмам, сигнализаторам и регуляторам.

В состав электрических коммуникаций входят:

- электроколлектор двигателя 7 (рисунок 11.1),
- электроколлектор термопар 12,
- электрожгуты к свечам ОКС 24 и 32,
- электрические коммуникации ВКА.

Электрические коммуникации выполнены из теплостойких проводов, проложенных в защитных рукавах.

Коллектор термопар выполнен из компенсационных проводов. Для разводки проводов применены разъемные переходники. Подсоединение проводов к агрегатам осуществлено соединителями.

Для подключения к электрической системе самолета и пультам наземного контроля электропроводка двигателя и ВКА выведена на коробки:

соединителей двигателя 6 (рисунок 11.1), коллектора термопар 13 и соединителей ВКА.

Соединители двигателя предназначены для подключения:

- пульта наземного контроля — Ш1,
- автоматики двигателя — Ш2, Щ4,
- системы "Тестер" и "Экран" — Ш3.

Разъемы коробки соединителей коллектора термопар предназначены для подключения:

- пульта наземного контроля — Ш9,

▪ автоматики двигателя — Ш21,

▪ системы "Тестер" — Ш32.

Разъемы коробки соединителей ВКА предназначены для подключения:

▪ автоматики ВКА — Щ1,

▪ системы "Тестер" — Ш2,

- пульта наземного контроля — ШЗ.

Коробки соединителей выполнены из листового титана; на них установлены соединители и распределительные клеммные колодки.

Электрические коммуникации установлены на двигателе и закреплены скобами к трубопроводам и кронштейнам на корпусах двигателя.

Коробка соединителей двигателя 6 (рисунок 11.1) установлена на корпусе КНД у агрегата зажигания ОКС; коробка соединителей коллектора термопар 13 - на корпусе смесителя ФК; коробка соединителей ВКА — на ВКА.

Позициями на рисунок 11.1 обозначены следующие элементы:

1 - сельсин-датчик положения поворотных закрылков ВНА КНД
2 - индукционный датчик положения поворотных закрылков ВНА КНД
3 - сельсин-датчик положения поворотных лопаток НА КВД
4 - индукционный датчик положения поворотных лопаток НА КВД
5 - приемник температуры топлива
6 - коробка соединителей двигателя
7 - электроколлектор двигателя
8 - насос-регулятор (НР)
9 - приемник температуры масла
10 - сигнализатор стружки в масле
11 - трансформаторный датчик давления масла
12 - коллектор термопар
13 - коробка соединителей коллектора термопар
14 - дозатор
15 – сельсин-датчик диаметра РС
16 - регулятор сопла и форсажа (РСФ)
17 - агрегат аварийного слива
18 - датчик перепада давления на топливном фильтре
19 - частотные датчики контроля n_1
20 - индукционный датчик контроля n_1
21 - электромагнитный клапан противообледенения
22 - микровыключатель клапана противообледенения
23 - агрегат зажигания ОКС
24,32 - запальные устройства ОКС
25 - сигнализатор помпажа
26,27 - датчики пламени ионизационные

28 - сигнализатор системы наддува продмасляных полостей (МСТ)
29 - вибропреобразователь
30 - распределитель топлива (РТ)
31 - воадуховоздушный теплообменник (ВВТ)

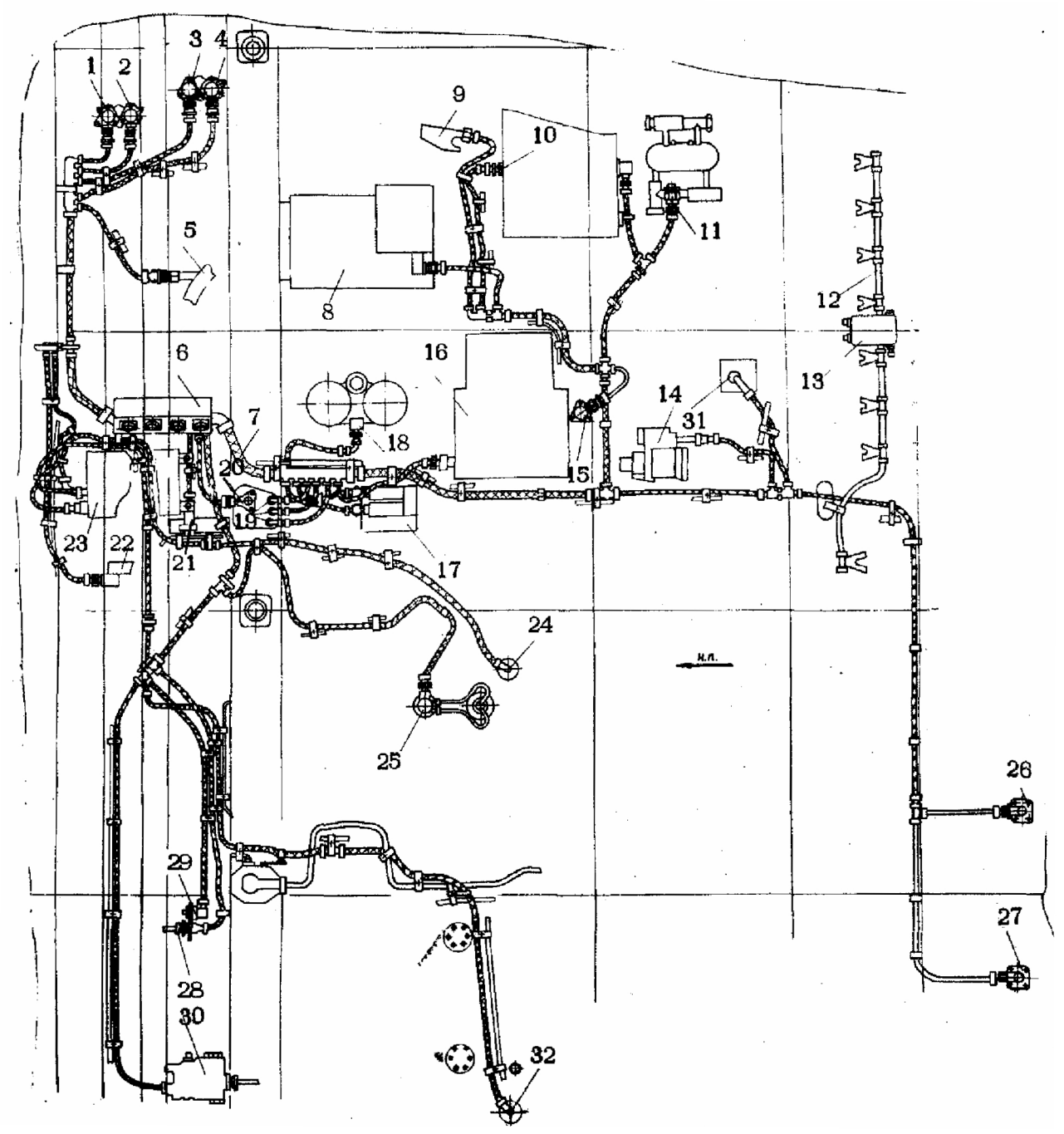


Рис. 11.1 Электрические коммуникации двигателя

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Учебное пособие состоит из описания конструктивно-силовой схемы двигателя, описаний конструкций его основных узлов: компрессора низкого давления, компрессора высокого давления, камеры сгорания, турбины высокого давления, турбины низкого давления, форсажной камеры, реактивного сопла, а также систем: дренажной, топливной и масляной. Данное пособие предназначено для использования при подготовке отчетов по лабораторным работам, посвященным соответствующим узлам двигателя. Оно может быть также использовано при курсовом и дипломном проектировании. Пособие ориентировано на подготовку специалистов 2 факультета по специальности 160700.65 «Проектирование авиационных и ракетных двигателей» по дисциплинам: «Основы конструкции двигателей», «Проектирование силовых установок и управление проектами», «Проектирование основных узлов двигателей» и магистров по специальности 160700.68 «Двигатели летательных аппаратов» по дисциплинам: «Проектирование силовых установок», «Конструирование основных узлов и систем авиационных двигателей». При выполнении описания основных узлов применялись трехмерные модели, созданные студентами факультета ДЛА.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Двигатель АЛ-31ФП серия 01. Руководство по технической эксплуатации. Кн. 1. – Москва: ОАО «НПО «Сатурн»
2. А.П. Назаров Турбореактивный двухконтурный двигатель с форсажной камерой сгорания АЛ-31Ф: Учебное пособие/ Издание ВВИА Н.Е. Жуковского, 1987 – 363 с.
3. http://www.sukhoi.org/planes/military/su27sk/