

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 ТРД Д-36**

Электронное учебное пособие

САМАРА

2013

УДК 621.431.75

ББК 39.55

Автор: **Фалалеев Сергей Викторович**

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

**Фалалеев, С. В. Конструкция ТРДД Д-36 [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. (103,3 Мбайт). – Самара, 2013. – 1 эл. опт. диск (CD-ROM).

Данное учебное пособие посвящено конструкции двигателя Д-36. 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, турбины вентилятора, реактивного сопла.

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.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	5
1 Общие сведения о двигателе.....	6
1.1 Краткое описание двигателя.....	6
1.2 Основные данные двигателя .....	14
1.3 Характеристики двигателя .....	20
1.3.1 Общие сведения.....	20
1.3.2 Дроссельная характеристика.....	21
1.3.3 Изменение параметров двигателя в зависимости от температуры окружающего воздуха.....	22
1.3.4 Высотно-скоростные характеристики.....	24
1.4 Краткое описание ЛА.....	26
2 Компрессор.....	29
2.1 Общие сведения.....	29
2.2 Вентилятор.....	31
2.3 Компрессор низкого давления.....	41
2.3.1 Общие сведения.....	41
2.3.2 Передний корпус КНД.....	43
2.3.3 Ротор КНД.....	49
2.3.4 Статор КНД.....	54
2.3.5 Клапаны перепуска воздуха КНД.....	58
2.3.6 Кожух КНД.....	61
2.4 Компрессор высокого давления.....	62
2.4.1 Общие сведения.....	62
2.4.2 Входной направляющий аппарат.....	64
2.4.3 Ротор КВД.....	67
2.4.4 Статор КВД.....	70
2.4.5 Клапан перепуска воздуха КВД.....	75
2.4.6 Передняя опора ротора КВД.....	76
3 Узел промежуточного корпуса.....	78
3.1 Общие сведения.....	78
3.2 Промежуточный корпус.....	78
3.3 Центральный привод.....	84
3.4 Колонка приводов.....	86
3.5 Коробка приводов.....	86
4 Камера сгорания.....	91
4.1 Общие сведения.....	91
4.2 Корпус камеры сгорания.....	93
4.3 Диффузор со спрямляющим аппаратом последней ступени КВД.....	96
4.4 Жаровая труба.....	98
4.5 Воспламенитель.....	102

4.6 Форсунка.....	103
4.7 Топливоподводящий коллектор.....	105
4.8 Трубопровод подвода топлива от коллектора к форсункам.....	107
5 Турбина.....	108
5.1 Общие сведения.....	108
5.2 Турбина высокого давления.....	110
5.3 Турбина низкого давления.....	116
5.4 Турбина вентилятора.....	126
5.5 Система охлаждения.....	134
6 Задняя опора и реактивное сопло.....	136
Заключение.....	139
Список использованной литературы.....	140

## **ВВЕДЕНИЕ**

Учебное пособие «Конструкция ТРДД Д-36» составлено на основе руководства по технической эксплуатации [1]. 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 видимыми на макетах двигателей.

Трехмерные модели деталей и узлов двигателя Д-36 были разработаны студентами группы 2604: Выволокиным В.В., Никитиным Ю.С., Обуховым Ю.С. Компьютерная верстка текста учебного пособия выполнена студентами группы 2404: Остапюком Я.А., Филиновым Е.П.

# 1 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ДВИГАТЕЛЕ

## 1.1 Краткое описание двигателя

Турбовентиляторный двигатель Д-36 (рисунки 1.1, 1.2 и 1.3) предназначен для установки на пассажирские и транспортные самолеты.

Двигатель выполнен по трехвальной схеме с передним расположением вентилятора и укороченным каналом внешнего контура; состоит из осевого четырнадцатиступенчатого компрессора, промежуточного корпуса, кольцевой камеры сгорания, пятиступенчатой турбины и нерегулируемых сопел внешнего и внутреннего контуров. Взамен сопла внешнего контура на двигатель может быть установлено реверсное устройство.

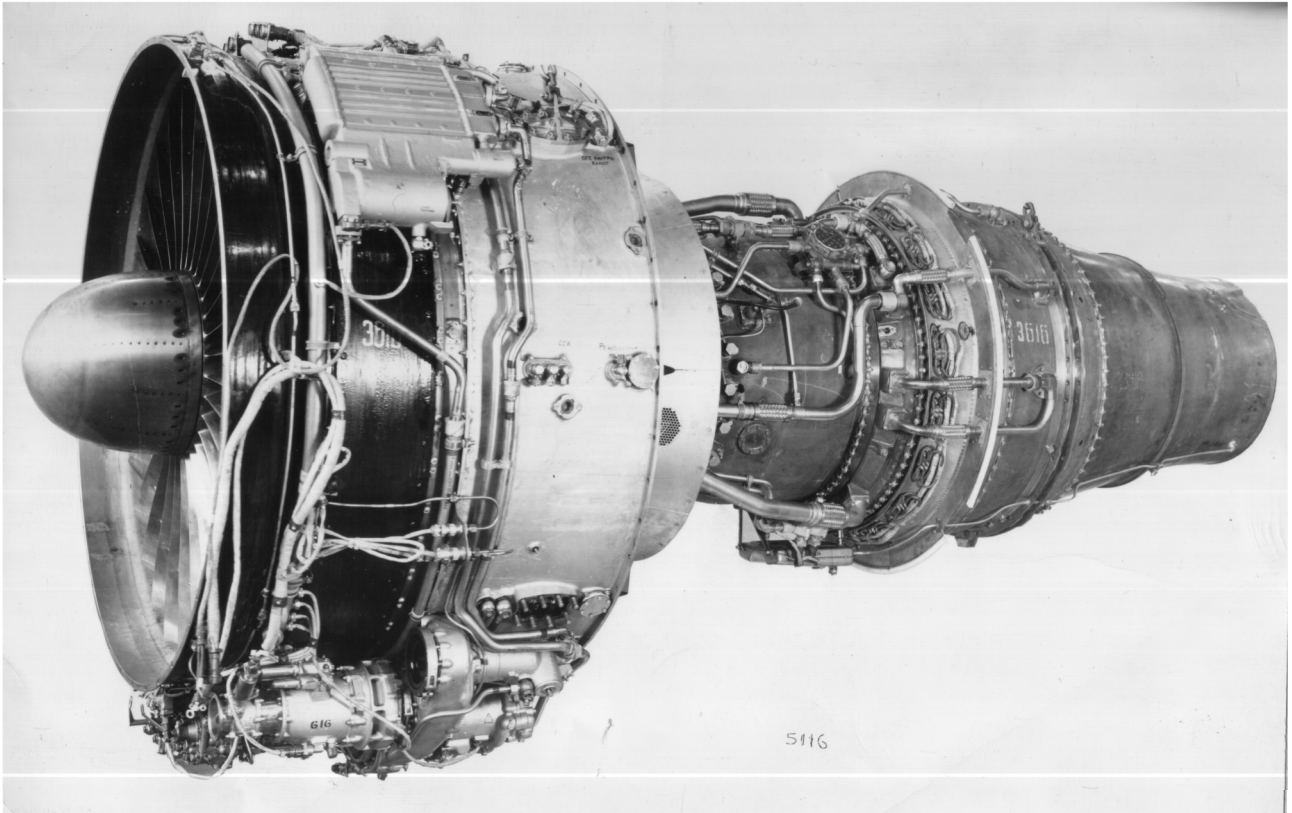
Особенность трехвальной схемы - разделение ротора компрессора на три самостоятельных ротора, каждый из которых приводится во вращение своей турбиной. При этом роторы имеют различные оптимальные для них обороты и связаны между собой только газодинамической связью.

Выполнение двигателя по трехвальной схеме позволило:

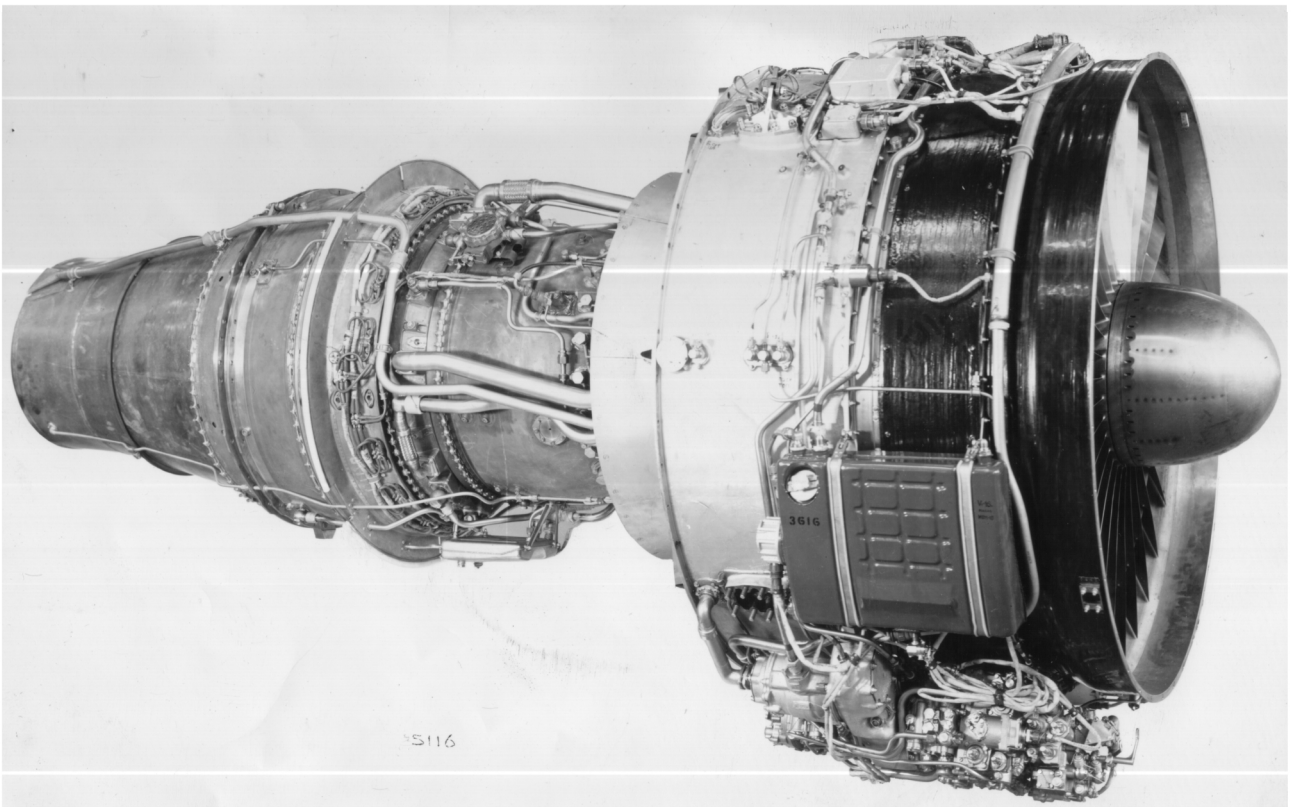
- применить в компрессоре ступени, имеющие высокий коэффициент полезного действия;
- обеспечить необходимые запасы компрессора по помпажу;
- использовать для запуска двигателя пусковое устройство малой мощности, так как при запуске необходимо раскручивать стартером только ротор высокого давления.

Высокая степень двухконтурности двигателя ( $m \approx 6$ ) и высокие параметры газодинамического цикла обеспечили его высокую экономичность.

Основные агрегаты расположены в нижней части двигателя, что делает легким доступ к каждому из них.



*Рис. 1.1 Двигатель Д-36 (вид слева)*



*Рис. 1.2 Двигатель Д-36 (вид справа)*

Одноступенчатый вентилятор не имеет входного направляющего аппарата и состоит из рабочего колеса, статора со спрямляющим аппаратом, вала с подшипниковым узлом и вращающегося обогреваемого воздухом кока.

Соединение диска вентилятора с валом и коком - болтовое, лопатки соединены с диском замками типа "ласточкин хвост".

Рабочие лопатки вентилятора имеют бандажные антивибрационные полки, расположенные в тракте внешнего контура. Спрямляющий аппарат - разборной конструкции, со звукопоглощающими панелями.

Вал вентилятора соединен с валом турбины вентилятора шлицами. Оба подшипника ротора вентилятора установлены на масляных демпферах.

Компрессор низкого давления (КНД) состоит из переднего корпуса со входным направляющим и поворотным аппаратами, ротора, статора, клапанов перепуска воздуха и подшипникового узла.

Ротор компрессора - барабанно-дисковой конструкции, соединен с передним и задним валами при помощи болтов. Оба подшипника ротора низкого давления установлены на масляных демпферах.

Статор компрессора низкого давления со своими обтекателями разделяет поток воздуха за рабочим колесом вентилятора на два контура - внешний и внутренний.

Наличие поворотных лопаток входного направляющего аппарата КНД позволяет производить отладку двигателя в стендовых условиях.

Ротор компрессора соединен с ротором турбины при помощи шлицев.

Компрессор высокого давления (КВД) состоит из входного направляющего аппарата, ротора, статора, клапанов перепуска воздуха и подшипникового узла.

Ротор компрессора высокого давления барабанно-дисковой конструкции. Сварной барабан, диски последних ступеней, проставки и валы соединены между собой болтами. Соединение заднего вала КВД с турбиной высокого давления - также болтовое.

Передний шариковый подшипник установлен в упругой опоре с жестким ог-

раничителем хода. Задний роликовый подшипник ротора высокого давления установлен на масляном демпфере.

Поворотные лопатки входного направляющего аппарата КВД позволяют производить отладку двигателя при стендовых испытаниях.

Промежуточный корпус служит для формирования переходного тракта от КНД к КВД и тракта внешнего контура, размещения агрегатов и приводов к ним, а также размещения передней опоры ротора КВД и переднего пояса подвески двигателя.

Кольцевые оболочки, формирующие тракт внутреннего и внешнего контуров, соединены между собой восемью подыми ребрами, внутри которых проходят коммуникации.

Промежуточный корпус состоит из корпуса, центрального привода, коробки приводов и колонки приводов. Все приводные агрегаты двигателя получают вращение от ротора КВД.

Камера сгорания состоит из корпуса, жаровой трубы, топливного коллектора с форсунками и воспламенителей. Жаровая труба - кольцевого типа, с 24 форсунками.

Жаровая труба - сварной конструкции, состоит из отдельных колец, имеющих ряд отверстий для прохода вторичного воздуха.

Рабочие форсунки - центробежные, одноканальные.

Турбина - трехвальная, реактивная. Одноступенчатые турбины приводят во вращение компрессоры высокого и низкого давления, трехступенчатая турбина - вентилятор. Направление вращения всех трех роторов - левое.

Турбина высокого давления состоит из соплового аппарата и рабочего колеса.

Сопловой аппарат набирается из 8 отдельных секторов. Каждая лопатка имеет дефлектор для поджатия охлаждающего воздуха к внутренним стенкам лопатки.

Диск турбины высокого давления - охлаждаемый, по ободу имеет елочные

пазы для установки рабочих лопаток.

Рабочая лопатка - охлаждаемая, состоит из замковой части, пера и бандажной полки с гребешками. Воздух на охлаждение подводится к замковой части, проходит по радиальным каналам в теле пера лопатки и выходит через отверстия на бандажной полке в тракт.

В каждом пазу диска устанавливается по 2 лопатки.

Турбина низкого давления состоит из статора и ротора.

Статор включает, корпус опор турбин высокого и низкого давления, в котором наружная и внутренняя оболочки соединены между собой спицами, проходящими внутри полых лопаток соплового аппарата II ступени турбины. Через лопатки проходят также все коммуникации корпуса.

Сопловые лопатки, отлитые в виде секторов по три лопатки в секторе, - охлаждаемые, рабочие лопатки - неохлаждаемые.

Рабочие лопатки бандажированы. Диск охлаждается воздухом по полотну.

Турбина вентилятора состоит из ротора и статора.

Статор турбины вентилятора состоит из корпуса и трех сопловых аппаратов, набранных из отдельных литых секторов по пять лопаток в секторе.

Ротор турбины - барабанно-дисковой конструкции. Диски соединяются между собою и с валом турбины вентилятора болтами.

Лопатки как сопловые, так и рабочие - неохлаждаемые, диски турбины вентилятора охлаждаются воздухом, отбираемым от промежуточной ступени КВД.

Рабочие лопатки бандажированы.

Выхлопная система предназначена для формирования выходного тракта двигателя, размещения задней опоры ротора вентилятора и задней подвески двигателя.

Пояс задней подвески двигателя выполнен в виде силового кольца с отверстиями для подсоединения элементов крепления двигателя на самолете, которое является частью внешней оболочки корпуса задней опоры. Внутри корпуса расположен подшипниковый узел ротора вентилятора. В стойках, соединяю-

щих внутреннюю и наружную оболочки, расположены коммуникации задней опоры ротора вентилятора.

Масляная система двигателя - замкнутая, циркуляционная, под давлением.

Подача масла на смазку осуществляется нагнетающей ступенью маслоагрегата. Четыре откачивающие ступени откачивают масло из масляных полостей подшипников роторов двигателя и из полости коробки приводов.

Охлаждение масла производится в топливно-масляном агрегате (ТМА), установленной в топливной магистрали низкого давления между подкачивающим и основным топливными насосами.

Суфлирование масляных полостей опор турбин осуществляется через разделительную полость (вертикальное ребро промежуточного корпуса), где происходит предварительное отделение масла. Далее к эмульсии из опор турбин присоединяется эмульсия из опор компрессоров и совместно направляется в центробежный суфлер, откуда очищенный воздух выбрасывается в реактивное сопло двигателя. Воздушная полость маслобака суфлируется в коробку приводов, суфлирование которой производится непосредственно через центробежный суфлер.

Топливная система двигателя обеспечивает подачу топлива в двигатель в количестве, определяемом положением рычага управления двигателем и условиями полета.

Топливорегулирующие агрегаты осуществляют: дозирование топлива при запуске, приемистости и на рабочих режимах, управление клапанами перепуска воздуха из компрессоров высокого и низкого давления, защиту двигателя от превышения оборотов, температуры.

Запуск двигателя осуществляется воздушным стартером, установленным на коробке приводов двигателя.

В качестве источника сжатого воздуха могут быть использованы генераторы, сжатого воздуха типа ТА-8 или ТА-6В, установленные на самолете.

Циклограмма запуска определяется автоматической панелью запуска двига-

теля, установленной на самолете.

Электрооборудование двигателя обеспечивает: управление агрегатами, участвующими в работе при запуске двигателя; ограничение температуры газов за турбиной низкого давления в зависимости от режима работы двигателя на земле и в полете ограничение предельного значения оборотов ротора вентилятора и компрессора высокого давления; выдачу сигналов, пропорциональных температуре за турбиной низкого давления, оборотам ротора вентилятора, КНД и КВД для системы контроля.

Система сигнализации о перегреве масляных полостей двигателя.

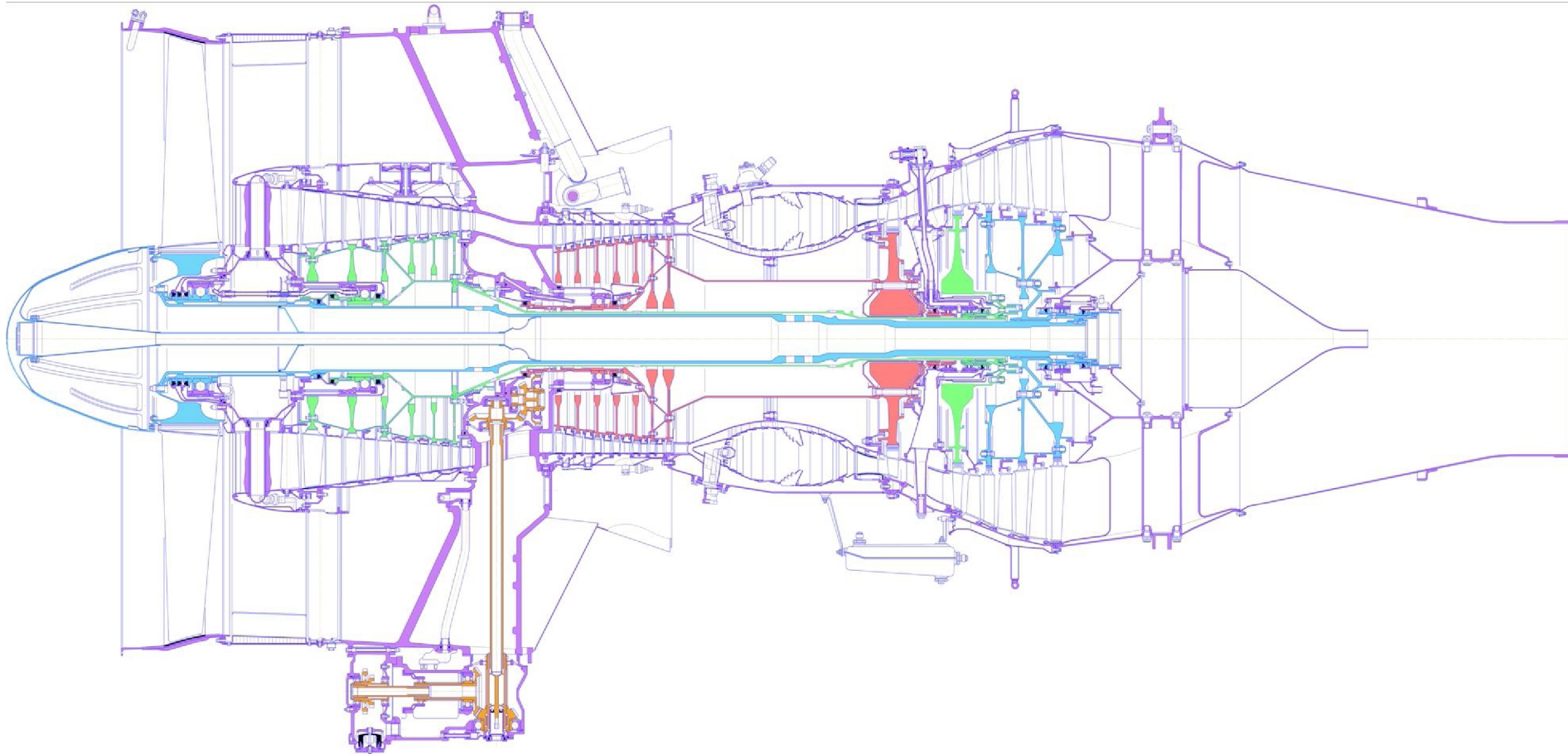
На двигателе предусмотрены места для установки датчиков, выдающих сигнал о превышении температуры во внутренних (масляных) полостях двигателя. При появлении сигнала о перегреве двигатель должен быть выключен.

Подвеска двигателя. Двигатель подвешивается на самолет на пилоне за верхние нижние или боковые узлы крепления.

Двигатель оборудован средствами раннего обнаружения неисправностей (сигнализатором вибраций, сигнализаторами перепада давлений на топливном и масляном фильтрах, термостружкосигнализаторами, сигнализатором минимального уровня масла).

В корпусных деталях двигателя предусмотрены специальные отверстия для осмотра следующих деталей:

- рабочих лопаток всех ступеней компрессора низкого давления;
- рабочих лопаток всех ступеней компрессора высокого давления;
- наружных и внутренних стенок жаровой трубы; рабочих топливных форсунок;
- лопаток соплового аппарата турбины высокого давления;
- рабочих лопаток турбины высокого давления;
- рабочих лопаток турбины низкого давления;
- рабочих лопаток всех ступеней турбины вентилятора.



*Рис. 1.3 Двигатель Д-36*

## 1.2 Основные данные двигателя

Таблица 1

Основные данные двигателя

1. Условное обозначение	Д-36
2. Тип двигателя	турбовентиляторный, реактивный, трехроторный
3. Направление вращения роторов по ОСТ 1 00014-71	против движения часовой стрелки
4. Компрессор: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ тип</li> <li>количество ступеней в том числе:</li> <li>▪ вентилятора</li> <li>▪ компрессора низкого давления</li> <li>▪ компрессора высокого давления</li> <li>▪ суммарная степень повышения давления на взлетном режиме (<math>H=0; V=0; CA</math>) <math>\pi_{к\Sigma}^*</math></li> </ul>	<p>осевой, трехкаскадный</p> <p>14</p> <p>1</p> <p>6</p> <p>7</p> <p>20</p>
5. Камера сгорания: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ тип</li> <li>▪ количество головок</li> </ul>	<p>кольцевая</p> <p>24</p>
6. Турбина: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ тип</li> <li>количество ступеней:</li> <li>▪ турбина высокого давления</li> <li>▪ турбина низкого давления</li> <li>▪ турбина вентилятора</li> </ul>	<p>осевая, трехвальная</p> <p>1</p> <p>1</p> <p>3</p>
7. Реактивные сопла первого (внутреннего) и второго (наружного) контуров: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ тип</li> </ul>	сужающиеся, нерегулируемые
8. Данные двигателя по режимам: а) взлетный реют при $M_{П}=0; H=0; CA$ : <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ тяга, кгс</li> <li>▪ удельный расход топлива, кг/кгс. час</li> </ul>	<p>6500</p> <p>не более 0,375</p>

<p>б) номинальный режим, <math>M_{П}=0</math>; <math>H=0</math>; СА:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ тяга, кгс</li> </ul> <p>в) максимальный крейсерский режим при <math>H=8</math> км; <math>M_{П}=0,75</math>; СА:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ тяга, кгс</li> <li>▪ удельный расход топлива, кг/кгс. час</li> </ul> <p>г) режим малого газа при <math>H=0</math>; <math>M=0</math>; СА:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ тяга, кгс</li> </ul>	<p>5000</p> <p>1600</p> <p>0,65</p> <p>400</p>
<p>Примечание. 1) Указанные параметры пересчитаны к <math>t_H=+15^{\circ}\text{C}</math>, <math>P_H=760</math> мм рт. ст. и не учитывают:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ потерь при отборе воздуха на самолетные нужды и систему противообледенения двигателя;</li> <li>▪ потерь от загрузки самолетных агрегатов;</li> <li>▪ потерь в воздухозаборнике и канале наружного контура за спрямляющим аппаратом до среза реактивного сопла;</li> <li>▪ потерь, связанных с внешним обтеканием мотогондолы, воздухозаборника, капота вентиляторного контура, капота газогенератора и пилона.</li> </ul> <p>2) Взлетный режим используется до высоты <math>\leq 4000</math> м</p>	
<p>9. Максимальная температура газов за турбиной, <math>^{\circ}\text{C}</math> (не более):</p> <p>а) на взлетном режиме</p> <p>б) в процессе запуска двигателя и на режиме малого газа</p>	<p>720<math>^{\circ}\text{C}</math></p> <p>600<math>^{\circ}\text{C}</math></p>
<p>10. Время приемистости при перемещении рычага управления двигателем за 1+2 секунды от режима полетного малого газа (0,4 номинального) до получения 95% взлетной тяги</p>	<p>5 сек</p>
<p>11. Время непрерывной работы двигателя по режимам, шш. (не, более):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ на взлетном режиме</li> <li>▪ на номинальном и крейсерском режимах</li> <li>▪ на режиме малого газа</li> </ul>	<p>5</p> <p>без ограничения</p> <p>30</p>
<p>12. Время суммарной наработки по режимам за ресурс, % (не более):</p>	

<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ на взлетном режиме</li> <li>▪ на номинальном режиме</li> <li>▪ на крейсерских режимах</li> </ul>	<p>3,5</p> <p>25</p> <p>не ограничено</p>
13. Сорт топлива (рабочее и пусковое)	ТС-1 по ГОСТ 10227-62 РТ по ГОСТ 16564-7Ш
<p>14. Агрегаты системы топливопитания и регулирования:</p> <p>а) топливный насос (двухступенчатый)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ условное обозначение</li> <li>▪ количество</li> <li>▪ тип <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ первая ступень</li> <li>▪ вторая ступень</li> </ul> </li> <li>▪ направление вращения</li> </ul> <p>б) топливный регулятор:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ условное обозначение</li> <li>▪ количество</li> <li>▪ тип</li> </ul> <p>в) агрегат управления клапанами перепуска воздуха из компрессора:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ условное обозначение</li> <li>▪ количество</li> <li>▪ тип</li> </ul> <p>г) электронная система ограничения температуры и оборотов:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ условные обозначение</li> <li>▪ количество</li> <li>▪ тип</li> </ul> <p>д) форсунка основного топлива:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ количество</li> <li>▪ тип</li> </ul>	<p>934</p> <p>1</p> <p>центробежная</p> <p>шестеренчатая</p> <p>правое</p> <p>935МА</p> <p>1</p> <p>гидромеханический, неприводной</p> <p>4017</p> <p>2</p> <p>пневматический, неприводной</p> <p>ЭСУ-2-1</p> <p>1</p> <p>электронная</p> <p>24</p> <p>одноканальная, циркуляционная</p>
15. Система смазки	автономная циркуляционная
16. Сорт масла:	
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ основное</li> </ul>	ИПИ-10 по ТУ 3300180-72

▪ резервное	ВНИИИ НП 50-1-40 по ГОСТ 13076-67
17. Расход масла, л/час	не более 0,8
18. Давление масла в главной магистрали двигателя на всех режимах и высотах полета, кгс/см <sup>2</sup>	2-4
19. Прокачка масла через двигатель на номинальном режиме при температуре масла на входе в двигатель $70 \pm 10^\circ\text{C}$ , л/мин	$32 \pm 2^4$
20. Температура масла, °С: а) на всех режимах работы двигателя и на всех высотах: ▪ на входе в двигатель ▪ на выходе из двигателя б) минимальная на входе в двигатель, при которой разрешается запуск без подогрева, °С	не более 125 не более 165 -40°
21. Агрегаты маслосистемы: а) маслобак: ▪ количество ▪ емкость, л ▪ количество заливаемого в бак масла, л ▪ количество масла в баке, при котором выдается сигнал минимальное количество масла в маслобаке, л б) маслоагрегат: ▪ условное обозначение ▪ количество ▪ тип ▪ направление вращения в) воздухоотделитель: ▪ условное обозначение ▪ количество ▪ тип ▪ направление вращения г) центробежный суфлер опор роторов: ▪ условное обозначение	1 20,5 16,0±0,4 4,0±0,4 МА-36 1 шестеренчатый, пятисекционный правое ВО-36 1 центробежный левое ЦС-36

<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ количество</li> <li>▪ тип</li> <li>▪ направление вращения</li> </ul> <p>д) топливно-масляный агрегат:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ условное обозначение</li> <li>▪ количество</li> </ul>	<p>1</p> <p>центробежный</p> <p>правое</p> <p>5660T</p> <p>1</p>
<p>22. Система запуска:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ тип</li> </ul>	<p>воздушная</p>
<p>23. Агрегаты системы запуска:</p> <p>а) воздушный стартер:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ условное обозначение</li> <li>▪ количество</li> <li>▪ направление вращения</li> </ul> <p>параметры воздуха, подаваемого к стартеру в процессе запуска двигателя:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ давление, атм</li> <li>▪ температура, °С</li> <li>▪ расход воздуха (при давлении 2 атм и температуре 180°С), кг/сек</li> </ul> <p>б) запальное устройство:</p> <p>пусковая катушка:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ условное обозначение</li> <li>▪ количество</li> </ul> <p>свеча:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ условное обозначение</li> <li>▪ количество</li> </ul> <p>пусковая форсунка:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ тип</li> <li>▪ количество</li> <li>▪ давление топлива перед пусковой форсункой, кгс/см<sup>2</sup></li> </ul> <p>клапан подачи пускового топлива:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ условное обозначение</li> <li>▪ тип</li> </ul>	<p>СВ-36</p> <p>1</p> <p>правое</p> <p>2,0-5,0</p> <p>100-250</p> <p>0,60</p> <p>СКН-11-1</p> <p>2</p> <p>СП-43</p> <p>2</p> <p>центробежная</p> <p>2</p> <p>2,5<sup>+0,5</sup></p> <p>ШПТ-9АФ</p> <p>электромагнитный</p>

<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ количество</li> </ul>	1
24. Система обогрева деталей входного тракта: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ тип</li> </ul>	воздушно-тепловая
25. Датчики системы неприводного измерения оборотов роторов двигателя: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ т и п</li> <li>▪ условное обозначение</li> <li>▪ количество датчиков</li> </ul> в том числе: <ul style="list-style-type: none"> <li>ротора вентилятора</li> <li>ротора компрессора низкого давления</li> <li>ротора компрессора высокого давления</li> </ul>	индукционный ДТА-10 10  3 4 3
26. Приводы агрегатов, устанавливаемых на двигателе самолетными организациями: <ul style="list-style-type: none"> <li>а) гидронасоса НП-89Д или НП-72М ;</li> <li>б) генератора постоянного тока ГП-18М или гидропривода постоянных оборотов ГП-21</li> </ul>	
27. Конструкция двигателя предусматривает возможность его подвески на самолетах за верхнюю, нижнюю, левую или правую стороны.	
28. Сухой вес двигателя, обеспечивающего возможность подвески в соответствии с п.28, по ГОСТ 17106-71, кгс	1100
29. Вес двигателя в состоянии поставки	(окончательно определяется после согласования комплектовки двигателя в состоянии поставки)
30. Габаритные размеры двигателя, мм: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ длина (без учета длины кока)</li> <li>▪ диаметральные габаритные размеры двигателя определяются после согласования комплектовки двигателя самолетными агрегатами</li> </ul>	3224,5
Примечание: 1. Двигатель в состоянии поставки комплектуется в соответствии с протоколом согласования с самолетной организацией. 2. Допускается отбор воздуха на самолетные нужды в количествах, согласованных с главным конструктором двигателя. 3. Направление вращения агрегатов указано по ГОСТ 1630-46	

## 1.3 Характеристики двигателя

### 1.3.1 Общие сведения

Изменение параметров двигателя в зависимости от атмосферных условий ( $H$ ,  $t_H$ ) -и скорости ( $V_H$ ) обуславливается законами подачи топлива и особенностями протекания характеристик двигателя. Законы подачи топлива подобраны из условия обеспечения параметров двигателя в соответствии с летно-техническими требованиями к самолету и конструктивными возможностями двигателя. На двигателе установлена автоматическая топливорегулирующая аппаратура - всережимный регулятор суммарной степени сжатия двигателя  $\pi_{\Sigma}$  с высотной коррекцией, ограничитель температуры газа за турбиной низкого давления и ограничитель оборотов вентилятора.

Регулятор суммарной степени сжатия (каждому положению рычага управления двигателем соответствует определенное значение суммарной степени сжатия  $\pi_{\Sigma}$ , которое корректируется в зависимости от полного давления на входе в двигатель) не допускает увеличения суммарной степени сжатия двигателя выше заданного значения при любых изменениях условий полета на каждом режиме работы двигателя.

Ограничитель температуры газа за турбиной низкого давления (каждому положению рычага управления двигателем соответствует определенная температура газа за турбиной низкого давления  $t^*_{тнд}$ , причем режимы ниже максимально-крейсерского имеют постоянную температуру ограничения, равную температуре ограничения максимально-крейсерского режима) не допускает увеличения температуры газа за турбиной низкого давления выше заданного значения при любых изменениях условий полета на каждом режиме работы двигателя.

Ограничитель оборотов вентилятора не допускает увеличения оборотов ротора вентилятора выше заданного значения при любых изменениях условий по-

лета.

Характеристики двигателя построены по результатам испытаний двигателей в земных и высотных условиях и являются средними.

### 1.3.2 Дроссельная характеристика

Дроссельная характеристика (рисунок 1.4) в земных ( $H_0=0$ ,  $t_H=+15^\circ\text{C}$ ) статических атмосферных условиях в диапазоне режимов от 0.4 номинального до взлетного представлена как зависимость относительных величин тяги  $\bar{R} = \frac{R}{R_0}$ ,

температуры газа перед турбиной  $\bar{T}_T^* = \frac{T_T^*}{T_{T0}^*}$ , расхода топлива  $\bar{G}_T^* = \frac{G_T^*}{G_{T0}^*}$ , оборотов

ротора низкого давления  $\bar{n}_{НД} = \frac{n_{НД}}{n_{НД0}}$ , оборотов ротора вентилятора  $\bar{n}_B = \frac{n_B}{n_{B0}}$ , сум-

марной степени сжатия  $\bar{\pi}_{к\Sigma} = \frac{\pi_{к\Sigma}}{\pi_{к\Sigma0}}$  и температуры газа за турбиной низкого дав-

ления  $\bar{t}_{ТНД}^* = \frac{t_{ТНД}^*}{t_{ТНД0}^*}$  от оборотов ротора высокого давления  $\bar{n}_{ВД} = \frac{n_{ВД}}{n_{ВД0}}$ .

С увеличением оборотов ротора высокого давления значения всех перечисленных параметров возрастают, так как с увеличением расхода топлива увеличивается количество энергии, подведенной к рабочему телу, что приводит к увеличению температуры и давления газа перед турбиной и по всему газоздушному тракту.

При этом увеличивается удельная тяга с одновременным увеличением расхода воздуха, следовательно, увеличивается тяга двигателя.

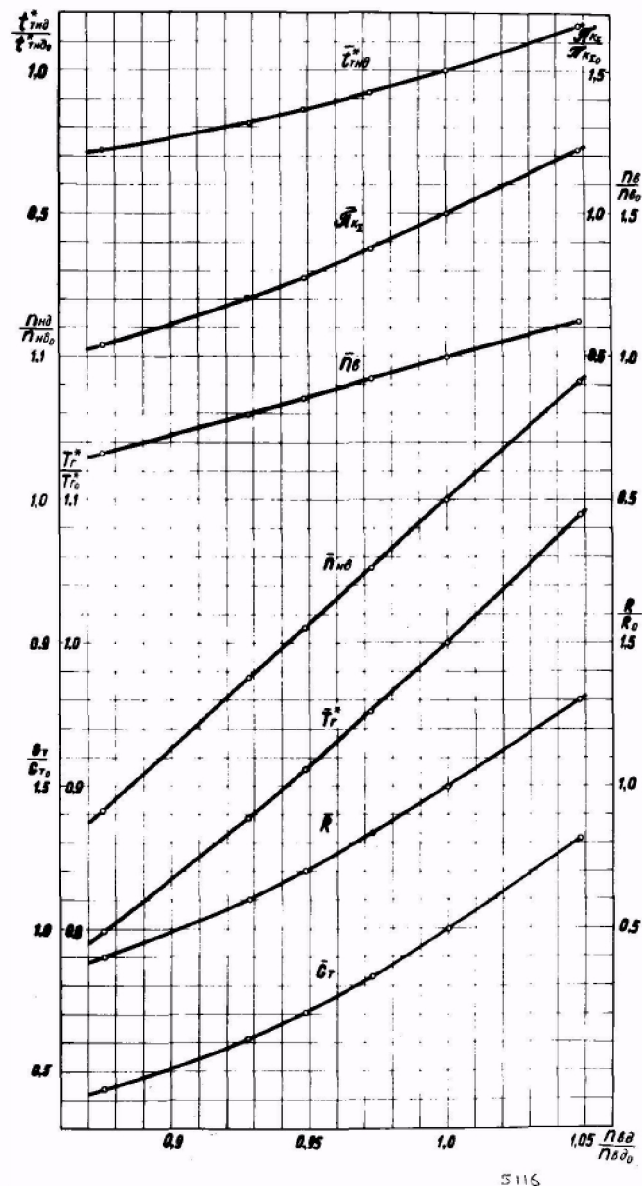


Рис. 1.4 Дроссельная характеристика двигателя в условиях:

$$H=0; Mn=0; t_H = +15^{\circ}\text{C}.$$

Параметры  $n_{ВД0}$ ;  $G_{Г0}$ ;  $R_0$ ;  $T_{Г0}^*$ ;  $n_{НД}$ ;  $\pi_{к\omega 0}$ ;  $t_{тнд0}^*$ ;  $n_{В0}$  соответствуют работе двигателя на номинальном режиме.

### 1.3.3 Изменение параметров двигателя в зависимости от температуры окружающего воздуха

Измерение основных параметров двигателя на взлетной режиме в земных статических условиях ( $P_H=760$  мм.рт.ст.,  $V_H=0$ ) в зависимости от температуры окружающего воздуха приведено на рисунке 1.5. При температурах окружаю-

щего воздуха  $t_H \geq 17^\circ\text{C}$  двигатель работает при постоянной температуре газа за турбиной низкого давления ( $t_{\text{ТНД}}^*$ ). При этом обороты ротора высокого давления и температура газа перед турбиной примерно постоянны. Тяга двигателя с увеличением температуры окружающего воздуха уменьшается вследствие уменьшения суммарного количества воздуха и удельной тяги из-за уменьшения степени повышения давления воздуха в компрессорах. При  $t_H < +17^\circ\text{C}$  двигатель работает с ограничением суммарной степени сжатия  $\pi_{\text{КС}}$ .

При этом обороты роторов высокого давления, низкого давления, и вентилятора, а также температуры воздуха и газа по тракту двигателя уменьшаются с уменьшением температуры окружающего воздуха. Расход воздуха через двигатель увеличивается с уменьшением температуры окружающей среды, а удельная тяга уменьшается в такой же пропорции, в результате тяга двигателя остается постоянной.

Изменение параметров двигателя в зависимости от температуры окружающей среды на режимах взлетном, номинальной максимально-крейсерском на земле и других высотах идентично вышеописанному на взлетном режиме в земных статических условиях.

При этом переход от закона ограничения суммарной степени сжатия  $\pi_{\text{КС}}$  к закону ограничения температуры газа за турбиной низкого давления  $t_{\text{ТНД}}^*$  смещается с увеличением скорости полета на более высокие температуры  $t_H$ , а с увеличением высоты при постоянной скорости полета смещается на более низкие температуры  $t_H$ .

На режимах меньших максимально-крейсерского двигатель работает с ограничением суммарной степени сжатия  $\pi_{\text{КС}}$  почти во всем диапазоне температуры окружающего воздуха. При этом тяга двигателя постоянна на заданной высоте и скорости полета  $M_p$ .

Ограничитель температуры газа за ТНД  $t_{\text{ТНД}}^*$  вступает в работу на этих режимах только в зоне высоких температур окружающего воздуха.

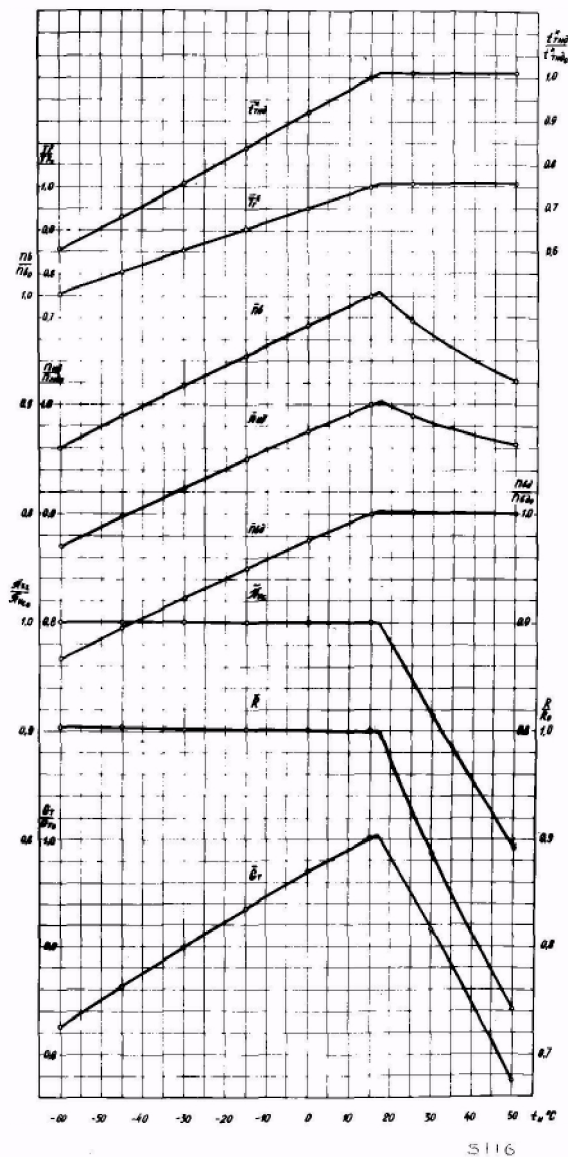


Рис. 1.5 Характеристика взлетного режима в условиях  $H=0$ ;  $Mn=0$

Параметры двигателя  $n_{ВД0}$ ;  $G_{T0}$ ;  $R_0$ ;  $T_{T0}^*$ ;  $n_{НД}$ ;  $n_{В0}$ ;  $\pi_{к\Sigma 0}$ ;  $t_{ТНД0}^*$ ; соответствуют работе двигателя на взлетном режиме при  $t_H = +15^\circ\text{C}$ .

### 1.3.4 Высотно-скоростные характеристики

На рисунке 1.6 представлены высотно-скоростные характеристики на максимально-крейсерском режиме работы двигателя в стандартной атмосфере. Скорость полета в характеристиках выражена числом  $Mп$ , представляющим отношение скорости полета к скорости звука в среде полета.

У земли и на малых высотах двигатель работает с ограничением суммарной степени сжатия  $\pi_{k\Sigma}$ . С увеличением скорости полета обороты роторов и температура газов уменьшаются из-за сильного уменьшения регулируемого параметра  $\pi_{k\Sigma}$ . Уменьшается также удельная тяга двигателя из-за уменьшения температуры газа и суммарной степени сжатия. При этом тяга двигателя несмотря на некоторое увеличение расхода воздуха через двигатель уменьшается.

С увеличением высоты при постоянной скорости полета в стандартной атмосфере (для максимально-крейсерского режима примерно с 2 км) двигатель работает с ограничением температуры газа за турбиной низкого давления. При этом обороты ротора высокого давления и температура газа перед турбиной примерно постоянны, а обороты роторов низкого давления и вентилятора увеличиваются из-за увеличения суммарной степени сжатия компрессоров. Это приводит к увеличению удельной тяги двигателя. Расход воздуха через двигатель уменьшается из-за падения плотности его. Это и определяет уменьшение тяги двигателя и расхода топлива.

При постоянной температуре газа за турбиной низкого давления на заданной высоте с увеличением скорости полета  $M_{п}$  увеличивается расход воздуха через двигатель из-за увеличения его плотности от скоростного напора. Обороты ротора низкого давления, а также суммарная степень сжатия компрессоров  $\pi_{k\Sigma}$  уменьшаются из-за увеличения температуры воздуха на входе в двигатель. Обороты ротора вентилятора с увеличением скорости полета увеличиваются из-за увеличения степени расширения на турбине вентилятора.

Тяга двигателя уменьшается при этом, т.к. уменьшение удельной тяги при увеличений скорости полета преобладает над увеличением расхода воздуха через двигатель.

На режимах номинальном и взлетном изменение параметров двигателя в высотно-скоростных условиях идентично описанному на максимально-крейсерском режиме, за исключением условий полета, в которых двигатель работает с ограничением оборотов вентилятора.

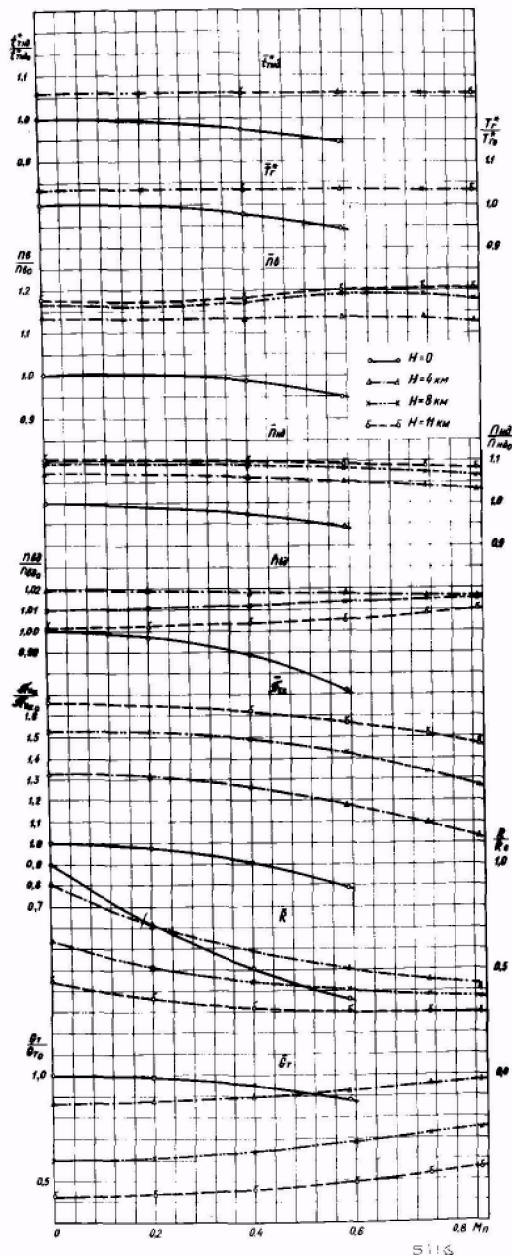


Рис. 1.6. Высотно-скоростные характеристики  
(режим работы - максимально-крейсерский)

Параметры  $\eta_{ВД0}$ ;  $G_{Т0}$ ;  $R_0$ ;  $\eta_{КС0}$ ;  $\eta_{ВД0}$ ;  $\eta_{В0}$ ;  $T_{Г0}^*$ ;  $t_{ГНД0}^*$ ;  $\eta_{НД0}$ ; соответствуют работе двигателя на режиме максимально-крейсерском при  $H=0$ ;  $M_{п}=0$ ;  $t_{н}=+15^{\circ}\text{C}$ .

#### 1.4 Краткое описание ЛА

Ан-72 – легкий военно-транспортный реактивный самолет (рисунок 1.7) короткого взлета и посадки. Спроектирован с расположением двигателей над

крылом для использования так называемого «эффекта Коанда» - увеличения подъемной силы за счет «прилипания» выхлопной струи к поверхности крыла. Отличается высокомеханизированным крылом с прямым центропланом и трапецевидными консолями с прямой задней кромкой. Оснащен чрезвычайно эффективным реверсом ковшового типа, грузолюком с рампой в хвостовой части герметичного фюзеляжа и мощным шасси с независимой подвеской основных стоек, придавшим Ан-72 проходимость вездехода.



*Рис. 1.7 Ан-72*

Экипаж состоит из двух пилотов и бортинженера. Ан-72 стал первым и единственным отечественным ВТС, в экипаже которого нет штурмана.

Ан-72/74 единственные в мире реактивные рамповые транспортные самолеты грузоподъемностью 7,5-10 т, запущенные в серию.

31 августа 1977 г. состоялся первый взлет Ан-72 с аэродрома Святошин, Киев.

На основе базового варианта созданы модификации:

- Ан-74 – глубокая модификация с удлинением крыла и фюзеляжа;
- Ан-71 и Ан-72Р – глубокие модификации со специальным радиотехническим оборудованием;

- Ан-72П – патрульный с пушечным вооружением;
- Ан-72В – штурманский;
- Ан-72ПС – поисково-спасательный;
- Ан-72ГР – грузовой;
- Ан-72С – «салон» (самолет для обеспечения деятельности различных штабов);
- Ан-72-100 – транспортный вариант;
- Ан-72-100Д – деловой вариант с салоном до 14 мест и грузовым отсеком на 2,3 т груза.

Самолеты семейства Ан-72 с 1985 года выпускаются серийно в Харькове на ХАПО (ныне ХГАПП). Построено 102 экз.

В настоящее время широко используется авиакомпаниями во многих странах мира.

*Таблица 2*

*Летно-технические характеристики*

Модификация	Ан-72
Размах крыла, м	31.89
Длина самолета, м	28.07
Высота самолета, м	8.75
Площадь крыла, м <sup>2</sup>	98.62
Масса, кг	
пустого самолета	19050
нормальная взлетная	30500
максимальная взлетная	34500
Внутреннее топливо, кг	12950
Тип двигателя	2 ТРД Прогресс (Лотарев) Д-36 (Д-436)
Тяга, кН	63.74 (73.62)
Максимальная скорость, км/ч	705
Крейсерская скорость, км/ч	550-600
Практическая дальность, км	4800-5000
Дальность полета с макс.нагрузкой, км	1150
Практический потолок, м	10000
Экипаж, чел	3-4
Полезная нагрузка:	68 солдат или 57 парашютистов, или 24 носилок с сопровождающими или 10000 кг груза.

## 2 КОМПРЕССОР

### 2.1 Общие сведения

Компрессор двигателя - трехкаскадный, состоит из вентилятора, компрессора низкого давления (КНД) и компрессора высокого давления (КВД).

Вентилятор имеет одну сверхзвуковую ступень, предназначен для приращения энергии воздуха, проходящего через второй контур двигателя, и для предварительного поджатия воздуха, поступающего в первый контур двигателя.

КНД и КВД предназначены для сжатия воздуха, проходящего через первый контур двигателя, и подачи этого воздуха в камеру сгорания.

КНД имеет 6 ступеней, причем первые три ступени - околосвуковые, а остальные - дозвуковые.

КВД имеет 7 дозвуковых ступеней.

Основными узлами каждого каскада являются ротор и статор. Все три ротора механически не связаны между собой и вращаются с разными числами оборотов.

Ротор вентилятора состоит из диска, рабочих лопаток и вала. Роторы КНД и КВД – диско - барабанной конструкции. На валах вентилятора, КНД и КВД монтируются узлы передних опор роторов двигателя с шариковыми подшипниками.

Ротор вентилятора приводится во вращение трехступенчатой турбиной вентилятора, роторы КНД и КВД - одноступенчатыми турбинами низкого давления (ТНД) и высокого давления (ТДД) соответственно.

Статор вентилятора состоит из корпуса вентилятора и спрямляющего аппарата, расположенного во втором контуре. Статоры КНД и КВД представляют собой корпуса, в проточной части которых размещены лопатки спрямляющих аппаратов.

Для настройки режима работы каскада низкого давления двигателя имеется

входной направляющий аппарат компрессора низкого давления (ВНА КНД) с поворотными лопатками.

Для согласования работы каскадов двигателя лопатки входного направляющего аппарата компрессора высокого давления (ВНА КВД) выполнены поворотными. Углы установки лопаток ВНА КНД и ВНА КВД, обеспечивающие оптимальные параметры двигателя, устанавливаются в процессе сборки двигателя. При необходимости возможна регулировка углов установки при испытании двигателя на стенде.

Проточная часть вентилятора выполнена: в зоне рабочего колеса - в виде сужающегося кольцевого канала за счет уменьшения наружного и увеличения внутреннего диаметров тракта, во втором контуре и переходном участке к КНД - в виде сужающихся кольцевых каналов определенной формы. Проточная часть КНД выполнена в виде сужающегося кольцевого канала за счет уменьшения наружного и увеличения внутреннего диаметров тракта.

Проточная часть КВД выполнена в виде сужающегося кольцевого канала за счет увеличивающегося внутреннего диаметра при постоянном наружном диаметре тракта.

Лопатки роторов передают воздуху механическую энергию, вследствие чего скорость и давление проходящего воздуха увеличиваются. Лопатки спрямляющих аппаратов статоров создают необходимое направление потоку на выходе из каждой ступени, а также частично преобразуют скоростной напор в давление, т.е. служат для преобразования части кинетической энергии, переданной воздуху лопатками роторов, в потенциальную.

Для расширения диапазона устойчивой работы двигателя при запуске и малых оборотах в КНД и КВД предусмотрены клапаны перепуска воздуха (КПВ).

## 2.2 Вентилятор

Вентилятор (рисунок 2.2) состоит из следующих основных узлов: ротора 1 с вращающимся коком 10, передней опоры 8 ротора с шарикоподшипником 9 и статора вентилятора.

В статор входят корпус 2 и спрямляющий аппарат 5.

На внутреннюю поверхность корпуса 2, выполненного из титанового сплава, в зоне рабочих лопаток вентилятора нанесено прирабатываемое покрытие 3. Для повышения прочности и жесткости на внешнюю поверхность корпуса методом намотки нанесен углепластик 4.

На переднем фланце корпуса имеются тридцать шесть отверстий для крепления самолетного воздухозаборника, задним фланцем корпус крепится болтовым соединением к спрямляющему аппарату.

В верхней правой части корпуса приклепана бобышка для крепления приемника полного давления воздуха системы регулирования. В нижней части приклепаны два кронштейна крепления тяг управления двигателем.

Спрямляющий аппарат выравнивает воздушный поток за рабочим колесом до осевого направления. Аппарат (рисунок 2.3) состоит из наружного 2 и внутреннего 17 колец, семи панелей шумоглушения 4 и 49 лопаток 7. Наружное кольцо 2 состоит из кожуха и приваренных к нему переднего и заднего фланцев. Снаружи к кольцу приклепаны две бобышки 6, отверстия в которых закрыты заглушками. Отверстия выполняют роль окон при осмотре рабочих лопаток КНД с помощью оптического прибора. Для повышения жесткости на наружную поверхность кольца 2 методом намотки нанесен углепластик 5.

Каждая панель шумоглушения 4 крепится к наружному кольцу с помощью 14 болтов 3 (по 7 с каждой стороны панели) с гайками и шайбами и кроме этого, по периметру наружной поверхности - с помощью клея. Стыки между панелями заполнены герметикой 12.

Панель шумоглушения 4 состоит из кожуха 9, стеклопластика II и полимер-

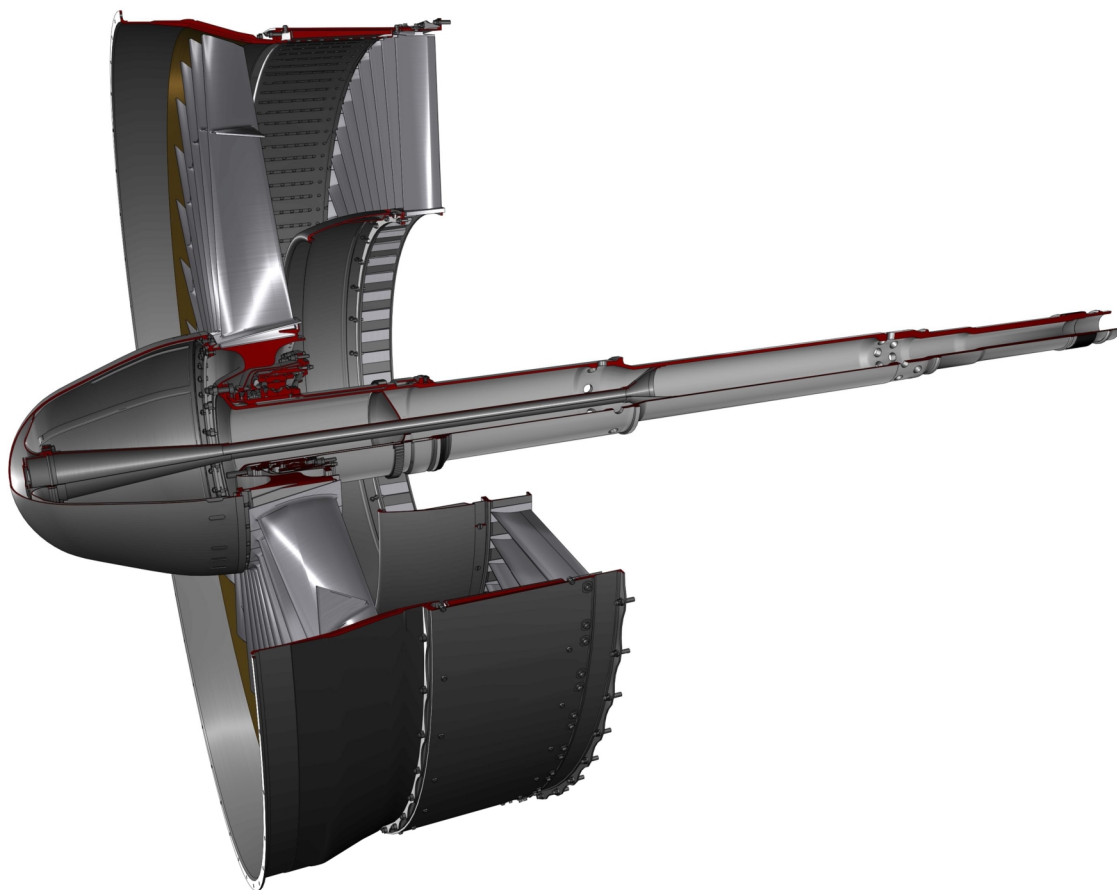
ного сотопласта 10, соединенных между собой клеем.

Кожух перфорирован большим количеством отверстий для шумоглушения.

Спрямяющая лопатка 7 имеет приваренные наружную 15 и внутреннюю 16 полки. С помощью двух винтов 13, заворачиваемых в самоконтрящиеся гайки 14, которые запрессованы в наружное кольцо 2, каждая лопатка крепится к наружному кольцу, центрируясь по его внутренней поверхности с помощью точно обработанных участков наружной поверхности полки 15. Внутренними полками 16 лопатки вставлены в прямоугольные осевые пазы внутреннего кольца 17. К заднему торцу этого кольца с помощью заклепок крепится кольцо 8, центрирующее кожух 6 КНД.

Для обеспечения плавности воздушного тракта в стыке корпуса вентилятора и спрямляющего аппарата установлено кольцо 1 (рисунок 2.4)

Кольца, лопатки и кожухи панелей выполнены из титанового сплава, крепеж из стали.

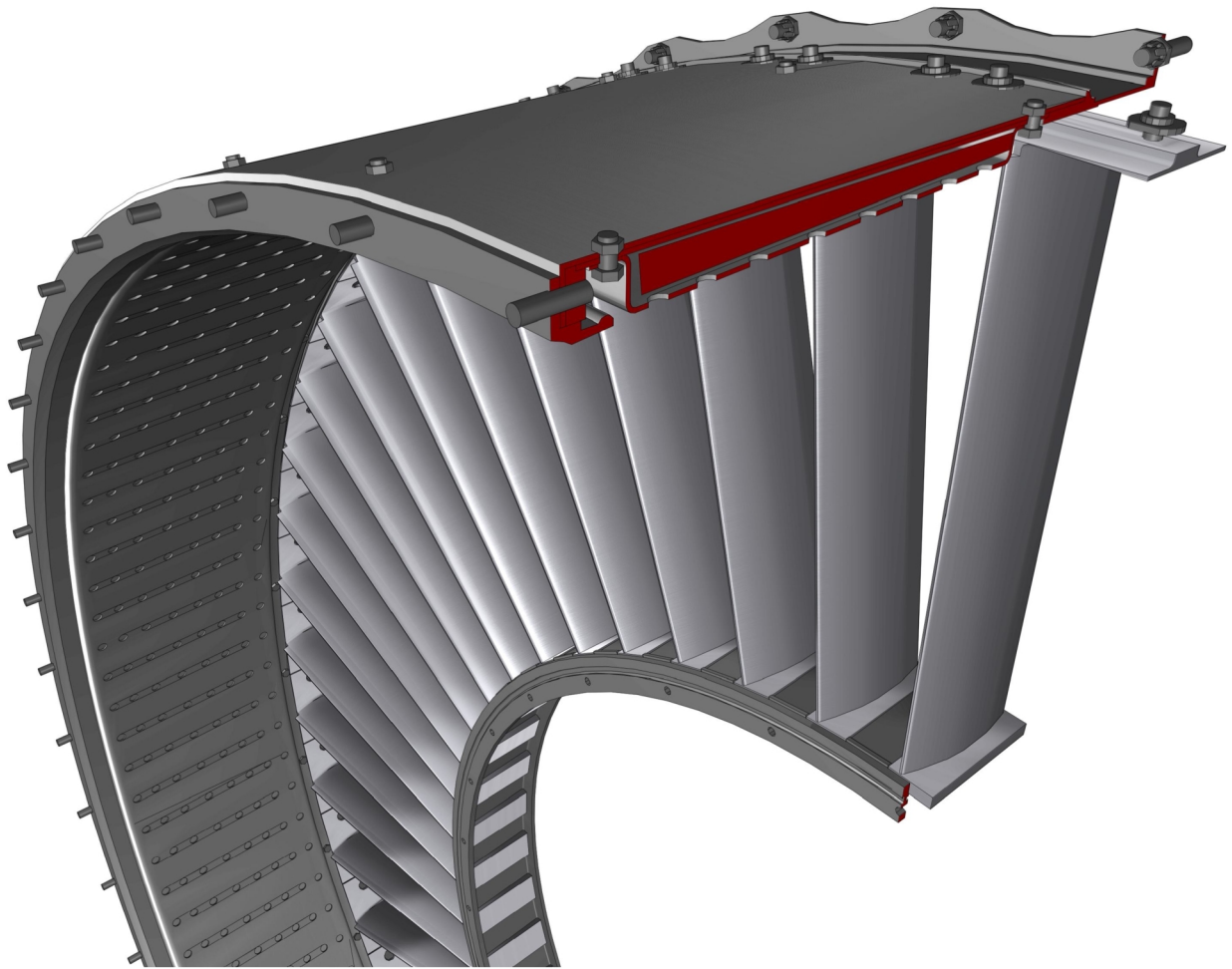


*Рис. 2.1 Вентилятор  
(разрез объемной модели)*



*Рис. 2.2 Вентилятор*

1 – ротор; 2 – корпус; 3 – прирабатываемое покрытие; 4 – углепластик; 5 – спрямляющий аппарат; 6 – фильтр; 7 – трубопровод;  
8 – передняя пора; 9 – шарикоподшипник; 10 – кок.



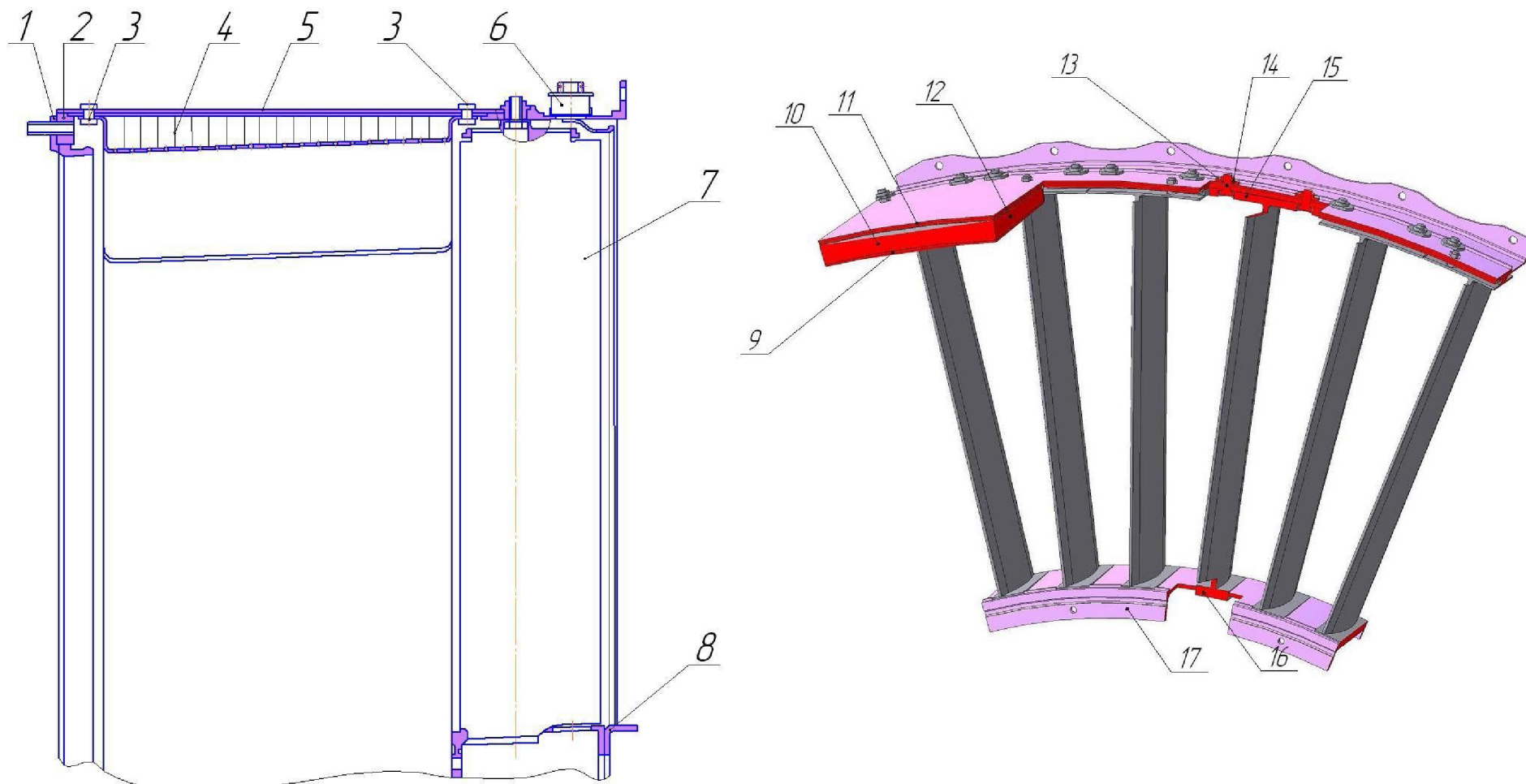
*Рис. 2.3 Спрямяющий аппарат вентилятора  
(разрез объемной модели)*

Ротор вентилятора (рисунок 2.6) - одноступенчатый, консольного типа, состоит из рабочего колеса, содержащего диск 8 и 29 лопаток 12, вала 25 со втулкой 20 и кока 1 с трубой 49 и распределителем горячего воздуха 52.

Рабочее колесо сочленяется с валом болтами 44 и гайками 46, законтренными попарно шайбами 45.

Болты 44 зафиксированы упорным кольцом 43 от выпадения из отверстий вала при монтаже рабочего колеса.

Лопатки крепятся к диску замком типа "ласточкин хвост", от осевого перемещения зафиксированы спереди упорным фланцем 3, сзади - буртом 14 на диске 8, в который упираются ребра жесткости 13 комлевых частей лопаток. Упорный фланец 3 центрируется по диску и крепится к нему 29 болтами.



*Рис. 2.4 Спрямяющий аппарат вентилятора*

1 - кольцо; 2 - наружное кольцо; 3 - болт; 4 – панель шумоглушения; 5 - углепластик; 6 - бобышка; 7 - спрямяющая лопатка; 8 - кольцо; 9 - кожух панели; 10 – полимерный сотопласт; 11 - стеклопластик; 12 - герметик; 13 - винт; 14 – самоконтрящаяся гайка; 15 - верхняя полка лопатки; 16 - нижняя полка лопатки; 17 - внутреннее кольцо.

Перо лопатки - "парусное", максимальный угол закрутки периферийного сечения относительно комля  $60^\circ$ . В периферийной части пера каждой лопатки выполнены антивибрационные полки II, образующие жесткий кольцевой бандаж для снижения напряжений в пере лопатки от аэродинамических сил.

Диск вентилятора на торцах обода имеет бурты с радиальными отверстиями, в которые устанавливаются балансировочные грузы 15, выполненные в виде секторов, или балансировочные заклепки 47. Крепление грузов осуществлено заклепками.

Вал 25 ротора вентилятора - полый, ступенчатый, передним фланцем центрируется с ответным фланцем диска 8.

На валу 18 устанавливается с натягом переходная втулка 20, на которой выполнено посадочное место под вращающиеся детали передней опоры ротора вентилятора и зубчатый венец индуктора 21 для замера оборотов, ротора вентилятора бесконтактным способом.

Хвостовик вала имеет посадочное место под вал турбины вентилятора ряд отверстий, проточек, шлицы и резьбу, назначение которых описано в разделе турбин.

Кроме того, на валу устанавливаются упорное кольцо 22, уплотнительное графитовое кольцо 23 и гайка 24, зафиксированная отгибкой в пазы вала. Эти детали служат уплотнением между ротором вентилятора и втулкой 32 (рисунок 2.6), разделяющим масляную полость опоры вентилятора и межвальную воздушную полость.

Кок I (рисунок 2.6) вентилятора - сварной конструкции, состоит из обтекателя 55, дефлектора 54, наружного фланца 5 и внутреннего фланца 53, к которому болтами 50 крепятся распределитель 52 и труба 49 подвода горячего воздуха. Обтекатель совместно с дефлектором образует канал 2, по которому горячий воздух подводится на обогрев кока.

Кок крепится к упорному фланцу 3 рабочего колеса болтами 6, которые завернуты в самоконтрящиеся гайки 4, запрессованные во фланец 5 кока. Доступ

к граням болтов обеспечивается через щелевой зазор 7 между коком и передними торцами комлевых частей лопаток 12.

Труба 49 - тонкостенная, сварной конструкции, состоит из фланца 51, труб 30, 32 и 48 и центровочных диафрагм 29, 31 и 33. В проточку последней установлено резиновое уплотнительное кольцо, предотвращающее попадание горячего воздуха к опоре и диску вентилятора.

Диафрагмы центрируют трубу по внутренней поверхности вала 25, причем диафрагма 29 является и заглушкой.

Лопатки 12 рабочего колеса вентилятора, диск 8, упорный фланец 3, кок 1, труба 49 и распределитель 52 выполнены из титанового сплава, вал 25 и втулка переходная 20 – из стали.

Передняя опора ротора вентилятора - шариковый радиально – упорный трехточечный подшипник 38 с разрезной внутренней обоймой.

На наружную обойму шарикоподшипника напрессованы взаимно зафиксированные кольца 35 и 40, а последнее выступом фиксирует обойму от проворота относительно стакана подшипника 17. Между стаканом подшипника 17 и кольцами 35 и 40 предусмотрена замкнутая полость 9, ограниченная маслоуплотнительными кольцами, 39. При работе двигателя указанная полость заполняется маслом из маслосистемы двигателя, образуя масляный демпфер, который снижает динамические нагрузки, передающиеся на корпус двигателя от вращающегося ротора.

В осевом направлении перемещение наружной обоймы ограничивается форсуночным кольцом 19, закрепленным на стакане подшипника 17 шпильками и самоконтрящими гайками.

К тонкостенному корпусу опоры 10 заклепками крепится втулка для центровки графитовых колец 41 безрасходного уплотнения.

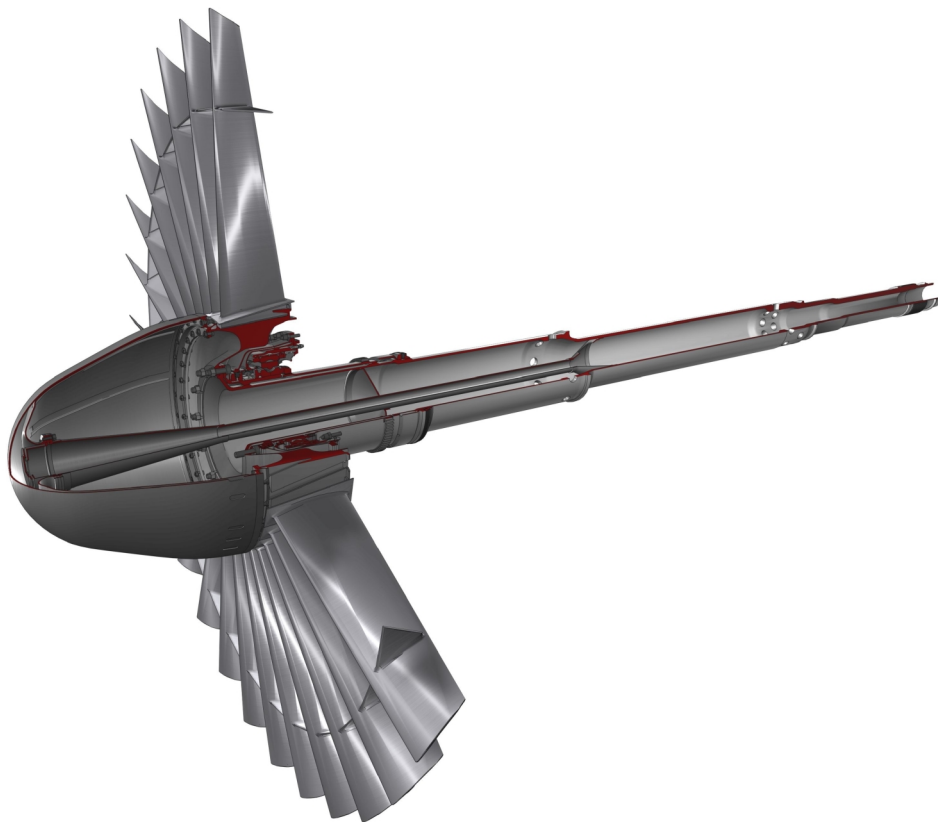
Сверху корпуса помещается экран 16, который своим фланцем стыкуется с фланцем корпуса опоры 10, а цилиндрическим пояском напрессован на переднюю часть корпуса.

В полость между внутренней поверхностью экрана 16 и наружной поверхностью корпуса 10, служащую для подвода воздуха под давлением к безрасходному уплотнению, воздух подводится из полости по 79 совмещенным отверстиям 6 во фланцах 7 корпуса опоры, стакана подшипника 17 (рисунок 2.6), корпуса опоры 10 и затем по выборкам во фланце экрана 16.

Далее через два ряда радиальных отверстий во втулке корпуса 10 воздух поступает к графитовым кольцам 41 безрасходного уплотнения.

Под воздействием перепада давления графитовые кольца 41 своими торцами прижимаются к торцам колец 42, одновременно прижимаясь своим наружным диаметром к цилиндрической поверхности втулки корпуса 10 и таким образом перекрывают доступ маслу в воздушный тракт.

На переходной втулке 20 кроме деталей безрасходного уплотнения установлены внутренние кольца шарикоподшипника. Весь пакет зажат гайкой 36, зафиксированной контрольной втулкой 37.



*Рис. 2.5 Ротор вентилятора  
(разрез объемной модели)*

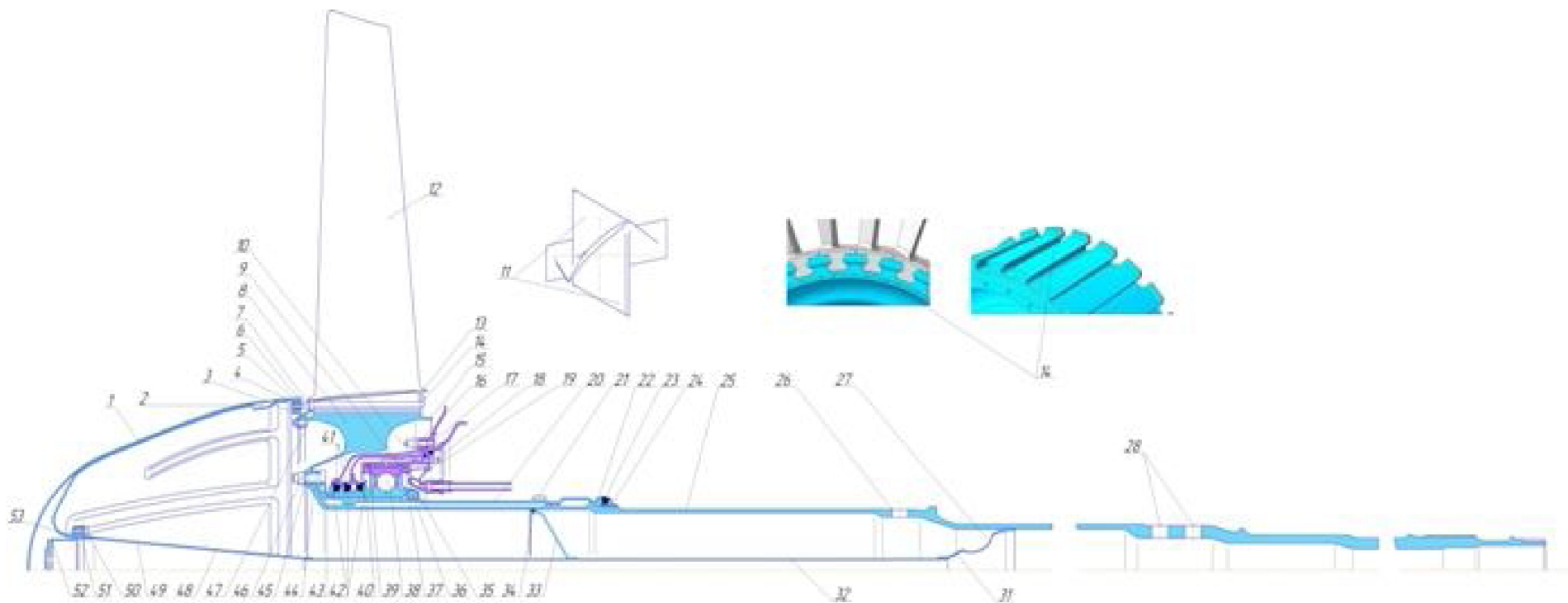
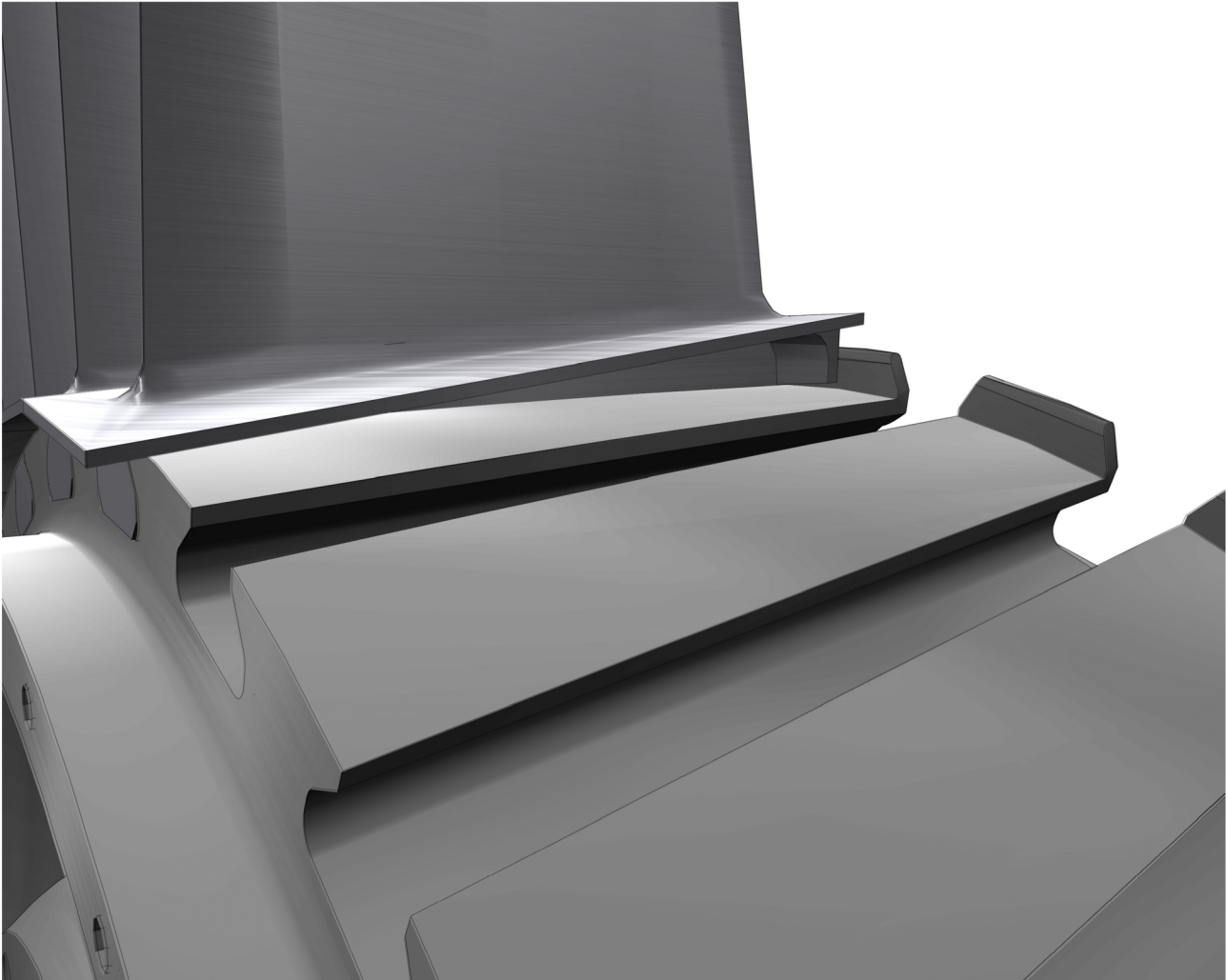


Рис. 2.6 Ротор вентилятора

1-кок; 2-воздушный канал; 3- упорный фланец; 4, 18- самоконтрящиеся гайки; 5- фланец кока; 6- болт; 7- щелевой зазор; 8- диск вентилятора; 9- полость масляного демпфера; 10- корпус опоры; 11- антивибрационные полки; 12- рабочая лопатка вентилятора; 13- ребро жесткости; 14- бурт диска; 15- балансировочный груз; 16- экран; 17-стакан подшипника; 19- форсуночное кольцо; 20- переходная втулка; 21- индуктор; 22, 42- упорные кольца; 23, 41- уплотнительные графитовые кольца; 24, 36, 46- гайки; 25- вал вентилятора; 26, 27, 28- отверстия суфлирования; 29, 31, 33- диафрагмы; 30, 32, 48- трубы; 34- уплотнительное кольцо; 35, 40- кольца; 37- контрольная втулка; 38- шарикоподшипник; 39- маслоуплотнительные кольца; 43- кольцо; 44-болт; 45- шайба контрольная; 47- балансировочная заклепка; 49- труба собранная; 50- болт; 51, 53- фланцы; 52- распределитель горячего воздуха; 54- дефлектор; 55- обтекатель.



*Рис. 2.7 Крепление лопатки к диску*

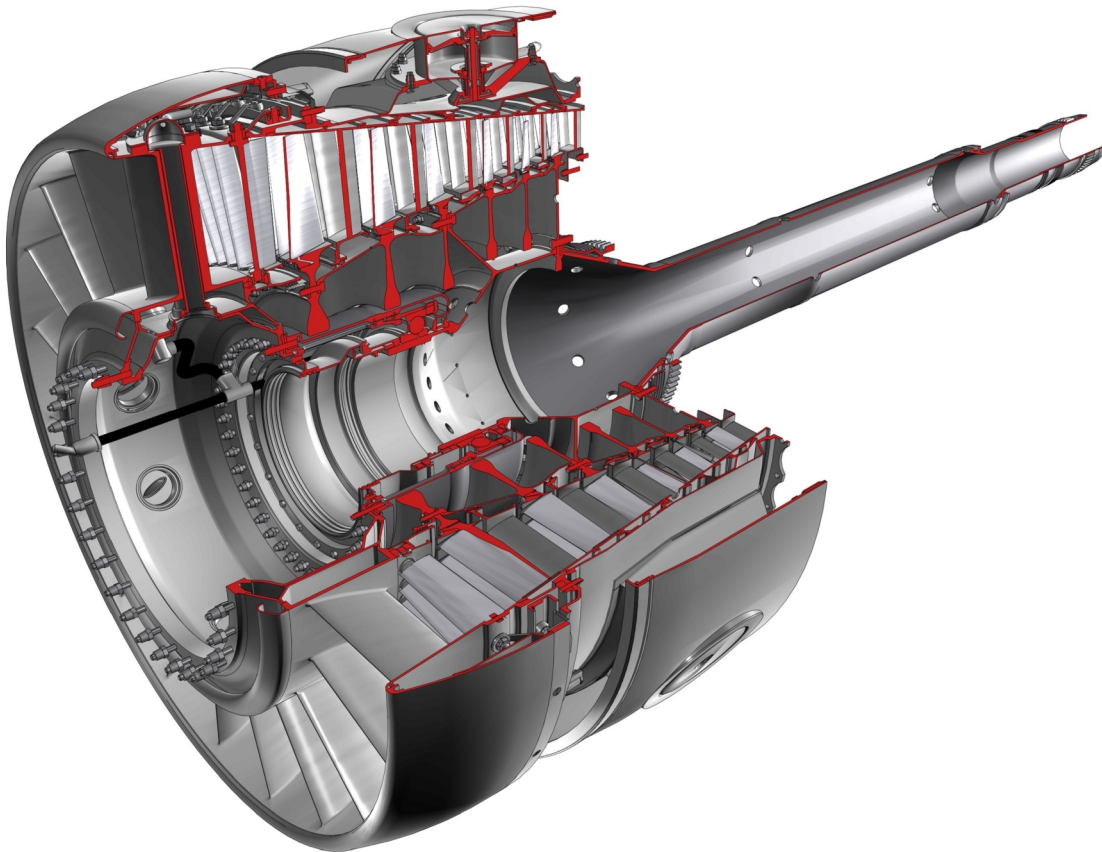
Из подводящего трубопровода масло, пройдя фильтр 6 (рисунок 2.2) поступает по трубопроводу 7 к форсуночному кольцу 19 (рисунок 2.6). Из кольцевого трубопровода масло поступает через две форсунки на охлаждение и смазку подшипника и по трем трубопроводам - к осевым отверстиям в стакане подшипника 17 и далее - в полость 9 масляного демпфера.

Стакан подшипника 17, кольца 35, 39, 40, 42 , втулка корпуса 10, гайка 36 и контрольная втулка 37 выполнены из стали, остальные детали опоры - из титановой сплава.

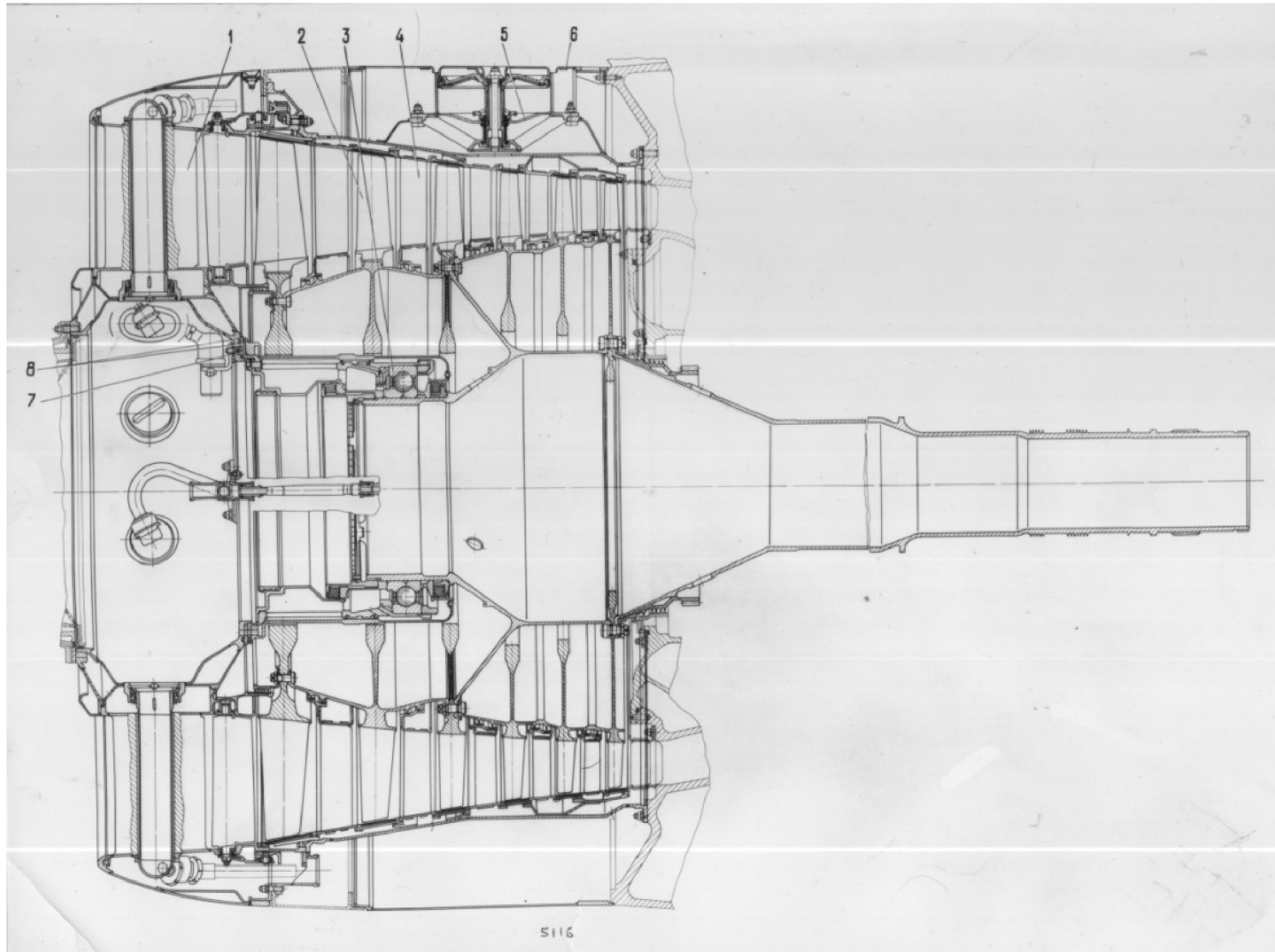
## 2.3 Компрессор низкого давления

### 2.3.1 Общие сведения

Компрессор (рисунок 2.9) состоит из следующих основных узлов: переднего корпуса I КНД с ВНА КНД, ротора 2, передней опоры 3 ротора, статора 4, клапанов перепуска воздуха 5 и кожуха 6.



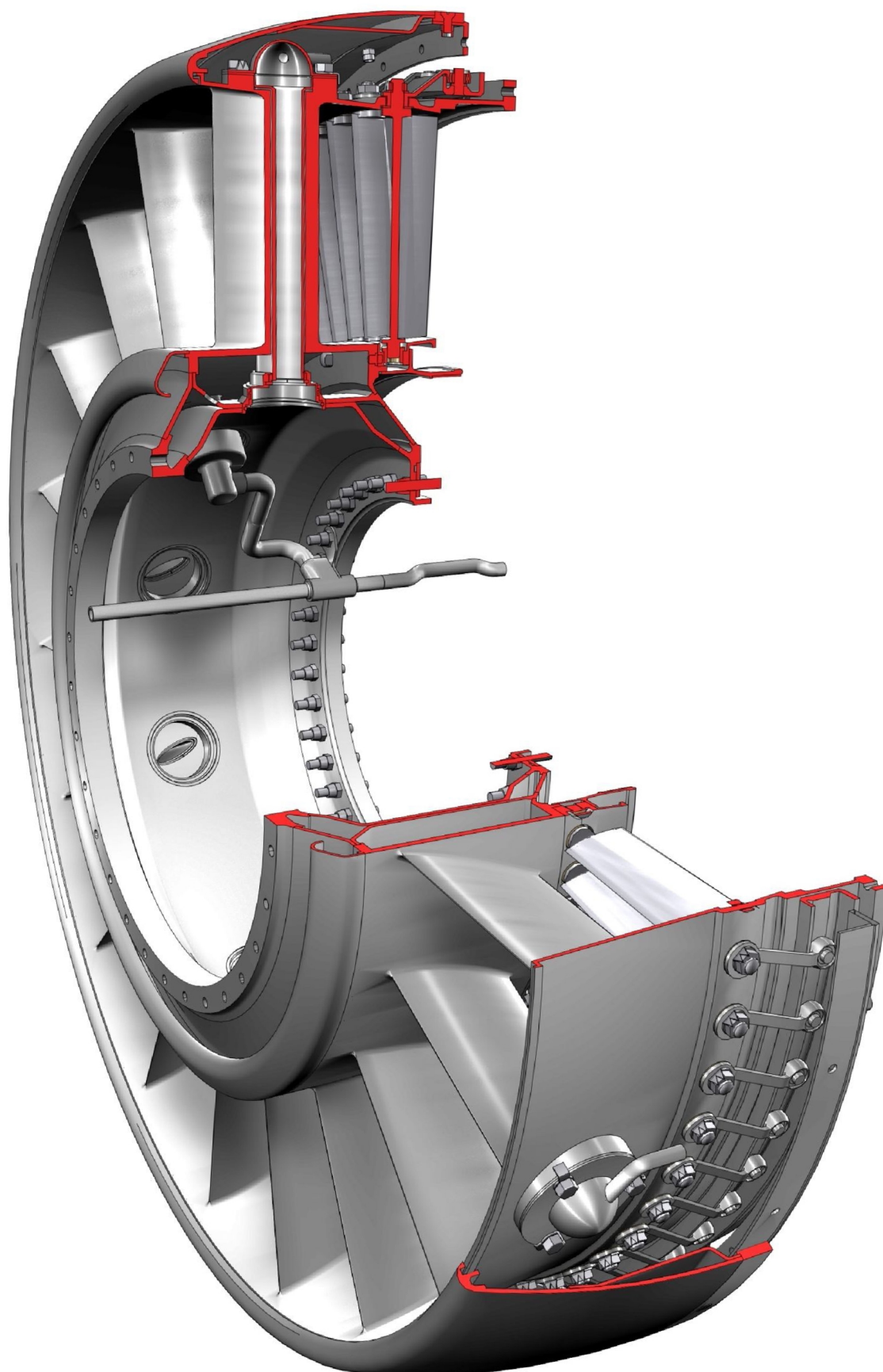
*Рис. 2.8 Компрессор низкого давления  
(разрез объемной модели)*



*Рис. 2.9 Компрессор низкого давления*

1- корпус передний; 2- ротор; 3- передняя опора ротора; статор; 5- клапан перепуска воздуха;  
6- кожух; 7- кольцо, регулировочное; 8- уплотнительные кольца.

### 2.3.2 Передний корпус КНД



*Рис. 2.10 Передний корпус КНД (разрез объемной модели)*

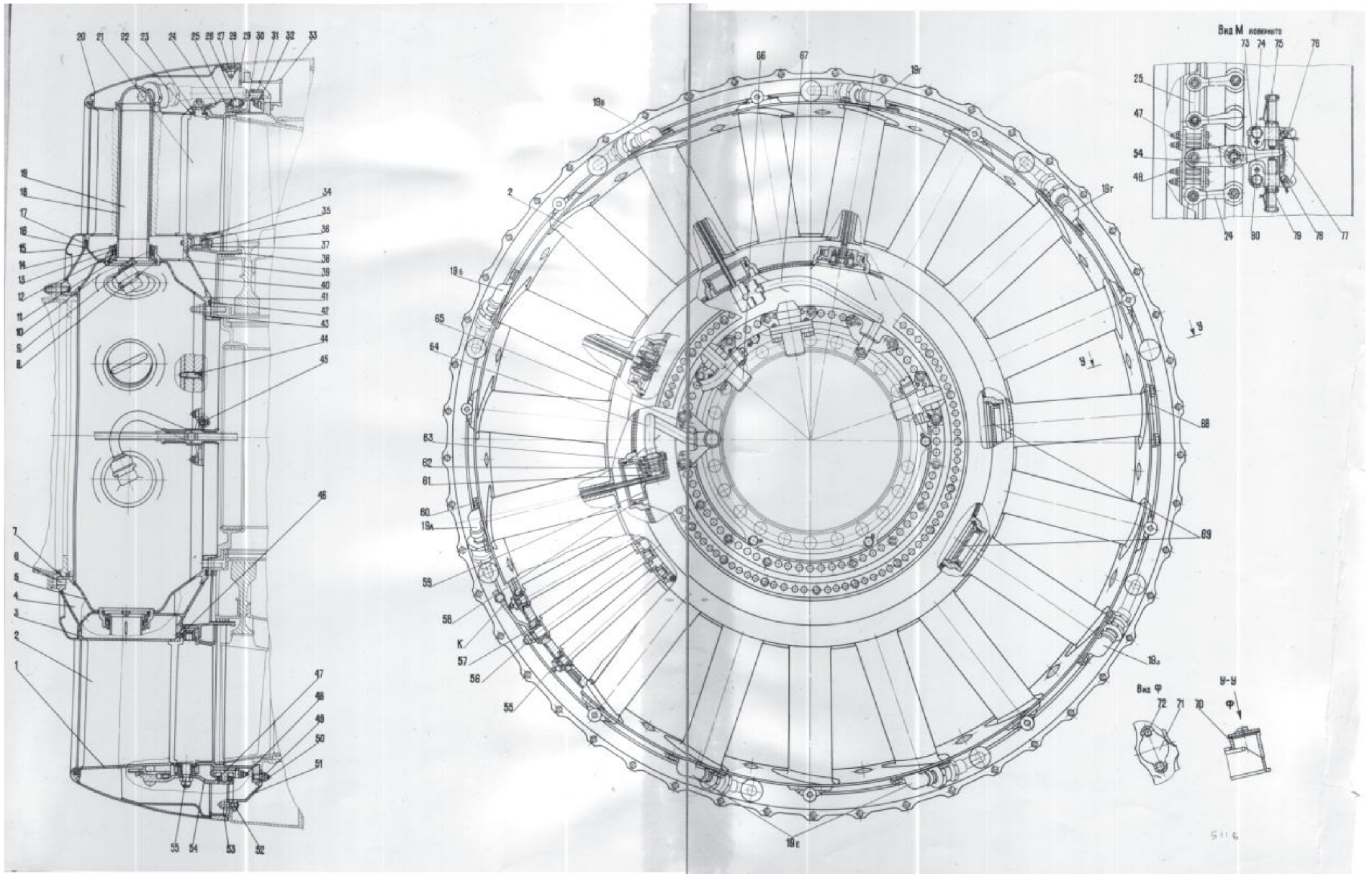


Рис. 2.11 Передний корпус КНД

1 - наружное кольцо; 2 - лопатка спрямляющего аппарата; 3 - внутреннее кольцо; 4 - воздушная полость; 5, 17 - диафрагмы; 6 - отверстия подвода воздуха для наддува уплотнений масляной полости подшипника вентилятора; 7- фланец крепления деталей опоры вентилятора; 8-стопорное кольцо; 9, 28, 37, 44, 60, 72, 74,78 - винты; 10 - бобышка; 11 - крышка; 12. 42, 58, 61, 62 - уплотнительные кольца; 14 - втулки; 15 - козырек; 16, 40 - конусы; 18 - отверстие в лопатке; 19 - трубопроводы коммуникаций; 20 - обтекатель; 21 - лопатка ВНА КНД; 22 - шайба; 23,57 - втулки на рычагах; 24 - рычаг поворота лопатки; 25 - синхронизирующее кольцо; 26 - штырь; 27, 32, 49,53,56 – гайки самоконтрящиеся; 29 - кольцо; 30 - каток; 31 - кронштейн крепления катка; 33, 70 - патрубки; 34 - внутреннее кольцо ВНА КНД; 35 - втулка- подшипник; 36 - фланец; 38 - лабиринтная втулка; 39 - переходное кольцо; 41 - фланец крепления деталей опоры ротора КНД; 43 - полукольцо; 45,46,80 - штифты; 47 - соединительная планка; 48 - болт; 50, 52 - шпильки; 51 - переходник; 54 - приводной рычаг; 55,63,79 - гайки; 59, 65, - переходники; 64 - труба подвода масла к переходнику; 66 - кронштейны подвески датчиков замера оборотов; 67 - трубопровод подвода ОГС; 68, 69, 71 - заглушки; 73 - бобышка; 75 - винты-фиксаторы; 76 - кронштейны установки лимба; 77 - лимб.

Корпус (рисунок 2.11) - сварной неразъемный узел, разделяет обтекателем 20 и наружным кольцом 1 воздушный тракт на два контура, являясь одновременно спрямляющим аппаратом вентилятора во внутреннем контуре с девятнадцатью лопатками 2, осуществляющим и силовую связь опор роторов вентилятора и КНД с корпусными деталями двигателя, для чего фланцы 7 и 41 крепления опор соединены с внутренним кольцом 3 жесткими конусами 16 и 40 и диафрагмами 5 и 17

На заднем фланце наружного кольца 1 предусмотрены 19 шпилек 30 для крепления переходника 51 и 38 шпилек для крепления переднего корпуса к корпусу КНД.

К фланцу переходника крепятся с помощью 49 шпилек 52 внутреннее кольцо 17 (рисунок 2.4) спрямляющего аппарата вентилятора и кольцо 29 (рисунок 2.11) с укрепленными на нем 25 самоконтрящимися гайками 27. К кольцу 29 двадцатью пятью винтами 28 крепится обтекатель 20.

Наружное кольцо 3 на передней кромке имеет посадочный пояс для центровки обтекателя 20.

Лопатки 2 имеют разную толщину. Пять утолщенных лопаток расположены в верхней половине и четыре в нижней половине корпуса. В лопатках повышенной толщины имеются сквозные овальные отверстия 18 вдоль оси пера в

его центральной части. Одна лопатка заглушена с помощью заглушек 68 и 69, а в восьми остальных проходят следующие коммуникации:

- подвод масла (поз. 19а и 64) к подшипникам сквозь одну лопатку;
- отвод масла (поз. 19е) из подшипниковой полости сквозь две лопатки;
- суфлирование (поз. 19г) подшипниковой полости сквозь две лопатки;
- вывод проводов от датчиков замера оборотов вентилятора через одну лопатку (поз. 19б);
- подвод воздуха из-за IV ступени КНД к опоре вентилятора через одну лопатку (поз. 19д). Отверстие в бобышке под этой лопаткой закрыто заглушкой 69.

Каждое отверстие в лопатке оканчивается на наружном кольце бобышкой - фланцем, расположенным перпендикулярно оси лопатки, с тремя резьбовыми отверстиями для винтов 60 крепления фланцев трубопроводов. Все лопатки имеют полки на втулочном и периферийном торцах, которыми они вставляются в просечки на внутреннем 3 и наружном 1 кольцах и привариваются к ним встык по контуру.

В переходнике 51 против каждой утолщенной лопатки вварены цилиндрические патрубки 33 и 70 с осевыми отверстиями для проводки трубок соответствующих коммуникаций.

Свободный от коммуникаций патрубок 70 закрыт заглушкой 71, установленной на двух винтах 72.

К фланцу 36 внутреннего кольца переднего корпуса крепится внутреннее кольцо 34 ВНА КНД тремя винтами 44 и вместе со втулкой 38 переднего воздушного лабиринтного уплотнения КНД - 19 винтами 37.

В жесткую круговую коробку, образованную внутренним кольцом 3, диафрагмой 17 и переходным кольцом 39, через трубопровод 19, подводится воздух из-за IV ступени КНД для подпора уплотнений трубопроводов коммуникаций, и через полость 4 и 79 отверстий 6-для наддува уплотнений масляной полости подшипника вентилятора.

На фланце 7 выполнены 20 резьбовых отверстий под шпильки крепления опоры деталей вентилятора и посадочный поясok для их центровки.

К переходному кольцу 39 приварен конус 40, который вместе с задней стенкой внутренней диафрагмы 5 заканчивается фланцем 41, приваренным к ним своими буртами. Во фланце выполнено 17 отверстий для шпилек крепления деталей опоры ротора КНД и десять отверстий для штифтов 45, на которых центрируются: три кронштейна 66 подвески датчиков замера оборотов вентилятора, переходник 65 магистрали подачи масла к подшипникам и трубопровод подвода ОГС. Все перечисленные детали и полукольцо 43 закрепляются на заднем фланце с внутренней стороны шпильками и гайками крепления деталей опоры ротора КНД. Фланец 41 имеет буртик, по наружному диаметру которого центрируется упругий стакан опоры ротора КНД. На торце фланца выполнена круговая канавка для размещения уплотнительного кольца 42.

С передней стороны внутреннего кольца 3 приварен козырек 15, формирующий внутренний контур тракта и служащий преградой для попадания в тракт гаек или винтов на случай их поломки или обрыва.

Внутри круговой коробки к внутренней поверхности диафрагмы 5 напротив утолщенных лопаток приварены бобышки 10 с отверстиями по оси лопаток, которые служат для проводки коммуникаций внутрь масляной полости. По поверхности отверстий в бобышках 10 осуществлено уплотнение с помощью резиновых колец 12 и 58.

Подвод масла от маслонасоса к переходнику 65 осуществляется через ниппельный разъем по трубопроводу 19а, закрепленному тремя винтами 60 на бобышке наружного кольца, к переходнику 59, далее - по трубопроводу 64, соединенному герметично с переходником 59 с помощью уплотнительных колец 61, 62 и гайки 63.

Трубопроводы 19в и 67 подвода огнегасящей смеси в полости опор вентилятора и КНД по конструкции аналогичны трубопроводу 19а подвода масла.

Отвод масла и суфлирование внутренней полости корпуса осуществляется

через ниппельные разъемы по трубопроводам 19е и 19г соответственно. Уплотнение трубопроводов при входе в масляную полость осуществляется резиновыми кольцами 12 с помощью втулок 14, крышек 11 и винтов 2. Фиксация втулок 14 осуществляется стопорными кольцами 8. Кроме уплотнительных колец герметичность ввода коммуникаций в масляную полость обеспечивается перепадом давления воздуха (давление в круговой коробке выше, чем в масляной полости).

Конструкция ВНА позволяет регулировать угол установки лопаток 21 на собранном двигателе и фиксировать их в нужном положении.

Лопатки 21 устанавливаются верхними цапфами в отверстия в наружном кольце 1 и нижними цапфами - в отверстия во внутреннем кольце 34. При этом на нижние цапфы устанавливают втулки 35, а на верхние цапфы - шайбы 22 и рычаги 24 со втулками 23. Рычаги 24,54 выступами соединены с пазами на верхних цапфах лопаток и зафиксированы гайками 56, 55. Радиальное перемещение лопаток ограничено буртиками рычагов и шайбами 22. Кольцо 34 - разъемное в плоскости, проходит через оси радиальных отверстий под лопатки. В окружном направлении кольцо зафиксировано на корпусе штифтом 46. Втулки 23, 35, 57 выполняют роль подшипников скольжения. Рычаги 24 через шарнирные подшипники и штыри 26 соединены с синхронизирующим кольцом 25.

В разьеме синхронизирующего кольца установлена на четырех болтах 48 соединительная планка 47. Десятью катками 30, установленными во втулки кронштейнов 31, обеспечивается концентричное положение синхронизирующего кольца относительно наружного кольца 1. Кронштейны 31 болтами и гайками 32 крепятся к фланцу наружного кольца 1. Втулки кронштейнов 31 обеспечивают свободное вращение и осевое перемещение катков 30. Со штырем соединительной планки 47 через Шарнирный подшипник соединен приводной рычаг,54, на котором имеется хвостовик, выполняющий роль стрелки. На наружном кольце корпуса приварены две бобышки 73, Кронштейны 76 фиксируются на бобышках двумя штифтами 80 и крепятся двумя винтами 74. При сборке уз-

ла лопатки ВНА устанавливаются под определенным углом в трактовом канале корпуса КНД, и лимб 77 фиксируется двумя винтами 78 при совмещенном положении отметки "0" лимба и риски на хвостовике приводного рычага. Винты 75, ввернутые в кронштейны 76, фиксируют в таком положении приводной рычаг 54 и законтрены проволокой относительно гаек 79, зафиксированных на кронштейне контрольными шайбами.

При повороте рычага 54 соединительная планка 47 переместит синхронизирующее кольцо 25, а вместе с ним и шарнирно соединенные рычаги 24 в окружном направлении. Рычаги 24, жестко связанные с верхними цапфами лопаток 21, произведут синхронный поворот лопаток.

Все детали переднего корпуса, обтекатель 20, лопатки 21, синхронизирующее кольцо 25, рычаги 24, кронштейны 31 и 76, переходник 51 и трубопроводы 19, 64 и 67 выполнены из титанового сплава, кольцо 34 - из алюминиевого сплава, остальные детали ВНА - из стали.

### 2.3.3 Ротор КНД

Ротор (рисунок 2.13) - шестиступенчатый, диско-барабанной конструкции, состоит из следующих основных деталей: рабочего колеса 1 ступени I, рабочего колеса 2 ступени II, рабочего колеса 3 ступени V, сварной секции 7 рабочих колес IV, V и VI ступеней; переднего вала 15, заднего вала 12, переднего лабиринта 34, заднего лабиринта 9 с зубчатым венцом 10 являющийся индуктором для датчика замера оборотов ротора КНД бесконтактным способом.

Каждое рабочее колесо ротора состоит из диска и рабочих лопаток, установленных в ободе диска с помощью замков типа "ласточкин хвост". От осевого перемещения лопатки зафиксированы пластинчатыми замками.

Диски секции 7 в основном обрабатываются окончательно по всем поверхностям до сварки, затем соединяются между собой оболочками барабана с помощью электронно-лучевой сварки. После сварки обработке подвергаются

только стыковочные поверхности фланцев и места сварки. Перед сваркой диски балансируются за счет съема металла по торцу ступицы. После сварки возникший дисбаланс погашается за счет перестановки лопаток местами. Вся сварная секция перед сборкой в ротор балансируется динамически. Диски I, II и III ступеней балансируются за счет перестановки лопаток местами. Передний и задний валы балансируются за счет съема металла в двух плоскостях. Весь ротор КНД балансируется динамически за счет постановки балансировочных грузов 8 на диске VI ступени и 35 - на переднем лабиринте 34.

Ротор компрессора низкого давления имеет три болтовых соединения; фланец переднего лабиринта, диск I ступени и фланец диска II ступени стянуты шестнадцатью призонными болтами; фланец диска II ступени, диск III ступени, фланец конической диафрагмы переднего вала и фланец секции дисков стянуты двадцатью призонным и болтами; задний фланец переднего вала, диск VI ступени, фланец заднего вала, фланец заднего лабиринта стянуты двадцатью призонными болтами. Все гайки на роторе КНД контрятся обжатием в пазы, выполненные на болтах. Для фиксации болтов от осевого перемещения при сборке ротора предусмотрены стопорные кольца 6, установленные в специальные подторцовки на фланце сварной секции и на заднем фланце переднего вала.

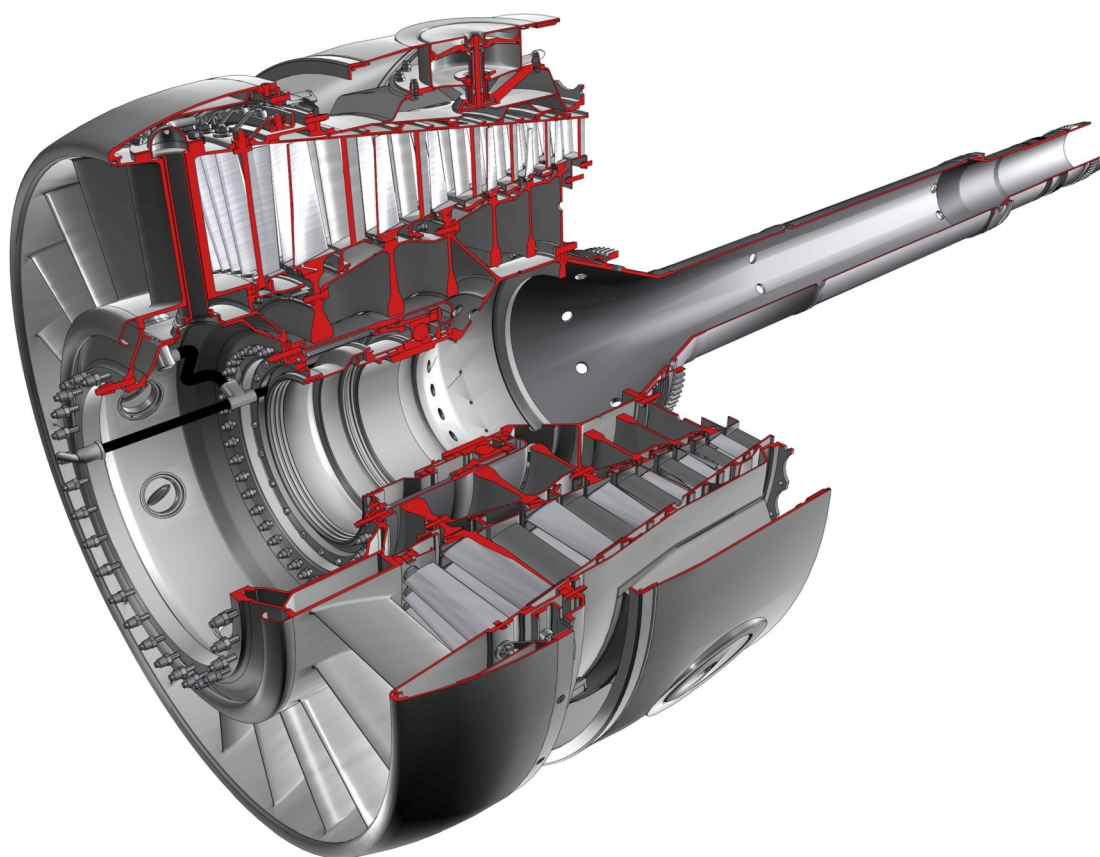
На оболочках барабана ротора между дисками выполнены гребешки межступенчатых воздушных лабиринтных уплотнений по два на каждую ступень. В этих же оболочках в местах перехода к ободу диска имеются отверстия А по одному в каждом промежутке между соседними дисками для выброса в тракт конденсата или случайно попавшего во внутреннюю полость ротора незначительного количества масла. В диске VI ступени и во фланцах переднего вала 15, заднего вала 12 и лабиринта 9 выполнены отверстия, через которые внутрь секции 7 поступает воздух из-за КНД, выравнивая давление с обеих сторон полотна диска VI ступени.

Хвостовик заднего вала 12 имеет ряд отверстий, проточек, Лабиринтных гребешков, шлицы и резьбу, назначение которых описаны в разделе турбин.

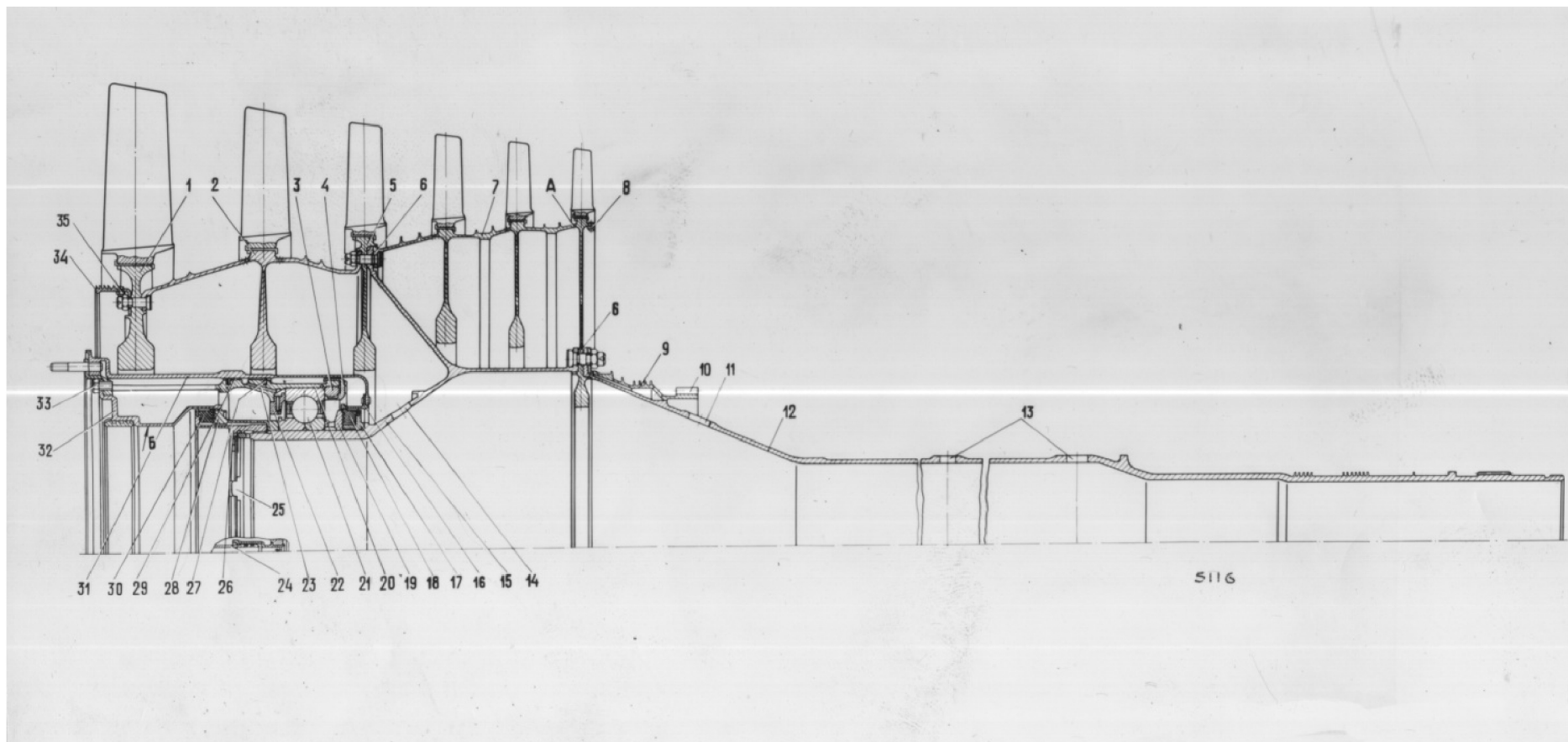
Через отверстия 11 в конусе заднего вала в полость внутри валов КНД поступает воздух, прошедший заднее лабиринтное уплотнение КНД. Далее через отверстия 14 воздух наддувает переднее уплотнение КНД (лабиринт 34) и прижимает графитовое кольцо 18 к торцу упорного кольца 19.

Одновременно прижимаясь своим диаметром к цилиндрической поверхности втулки 16, графитовое кольцо 18 перекрывает доступ маслу в воздушную полость ротора КНД.

Часть воздуха из полости внутри валов КНД через отверстия 26 (рисунок 2.6) в вале вентилятора 25 и отверстия 27 в диафрагме 31, по трубе 49 поступает к распределителю 52 и далее на обогрев кока 1 ротора вентилятора.



*Рис. 2.12 Ротор компрессора низкого давления*



*Рис. 2.13 Ротор компрессора низкого давления*

- 1 - рабочее колесо I ступени; 2 - рабочее колесо II ступени; 3 - гайка; 4 - замок; 5 - рабочее колесо III ступени; 6 - стопорные кольца; 7 - сварная секция рабочих колес IV, V и VI ступеней; 8, 35 - балансировочные грузы; 9 - задний лабиринт КНД; 10 - индуктор; 11, 13, 14 - суфлирующие отверстия; 12 - задний вал; 15 - передний вал; 16 - втулка; 17 - распорная втулка; 18 - уплотнительное графитовое кольцо; 19 - кольцо; 20 - упругий стакан; 21 - упорный подшипник; 22 - форсунка; 23 - отверстие подвода масла; 24 - трубопровод подвода масла; 25 - замок; 26 - гайка; 27 - кольцо уплотнительное; 28 - втулка упорная; 29 - полость масляного демпфера; 30 - кольцо уплотнительное; 31 - корпус опоры; 32 - втулка уплотнений; 33 - винт; 34 - лабиринт передний.

Воздух, прошедший через лабиринтные уплотнения передней опоры ротора КВД и турбины высокого давления, проходит через отверстия 13 (рисунок 2.13) в заднем вале ротора КНД, затем через отверстия 28 (рисунок 2.6) попадает внутрь вала вентилятора 25 и отсюда выбрасывается в стекатель реактивного сопла.

Материал дисков, лопаток и переднего лабиринта ротора КНД - титановый сплав. Материал валов и заднего лабиринта - сталь.

Передняя опора ротора (рисунок 2.13) - шариковый радиально - упорный подшипник 21 с разрезной внутренней обоймой. Наружная обойма подшипника установлена в упругом стакане 20 типа "беличье колесо" и зажата гайкой 3, которая законтрена замком 4. Поверх упругого стакана надет корпус опоры 31. Между корпусом опоры 31 и упругим стаканом 20 предусмотрена замкнутая полость 29, ограниченная маслоуплотнительными кольцами 27.

Во время работы двигателя полость 29 заполняется маслом, образуя масляный демпфер. Упругий стакан в сочетании с масляным демпфером обеспечивает снижение динамических нагрузок, передающихся от вращающегося ротора на корпус двигателя.

Фланец упругого стакана зацентрирован по наружному диаметру буртика заднего фланца переднего корпуса и прижат к нему вместе с регулировочным кольцом 7 (рисунок 2.9) фланцем (рисунок 2.13) корпуса опоры КНД, в котором для этой цели предусмотрены 17 шпилек. Стык фланца переднего корпуса КНД с регулировочным кольцом и регулировочного кольца с фланцем опоры ротора КНД уплотнен резиновыми кольцами 8 (рисунок 2.9).

К упругому стакану крепится винтами 33 (рисунок 2.13) втулка 32, имеющая две точно выполненные поверхности. По поверхности Б центрируется уплотнительное кольцо 23 (рисунок 2.6), установленное на валу вентилятора, по другой поверхности центрируется установленное на валу уплотнительное кольцо 30 (рисунок 2.13). Давление воздуха внутри валов КНД прижимает кольцо 30 к торцу втулки 28, а графитовое кольцо 23 (рисунок 2.6) - к торцу упорного коль-

ца 22. Таким образом перекрывается доступ масла из полости опоры КНД в воздушную полость ротора КНД.

К оболочке корпуса 31 (рисунок 2.13) опоры КНД приклепана втулка 16 безрасходного уплотнения, по которой центрируется уплотнительное разрезное графитовое кольцо 18, помещенное между распорной втулкой 17 и кольцом 19.

На носке вала 15 установлено также внутреннее кольцо подшипника 21 и упорная втулка 28 лабиринтного уплотнения. Весь пакет зажат гайкой 26, законтренной замком 25, выполненным в виде тонкостенного кольца с выступами на обоих торцах, расположенными в шахматном порядке по три с каждой стороны. Замок помещен в зазор между торцом вала и буртом гайки, выполненным на ее внутренней поверхности. Выступы на одном торце кольца входят в три ответных паза, выполненных на торце вала. Выступы на другом торце входят в пазы, выполненные на бурте гайки. Чтобы расконтрить гайку, выступы замка, входящие в пазы на бурте гайки, выталкиваются из них с помощью технологической втулки, вворачиваемой в резьбу, выполненную на внутреннем диаметре бурта гайки. При этом тонкостенное кольцо замка деформируется, в осевом направлении в пределах упругих деформаций.

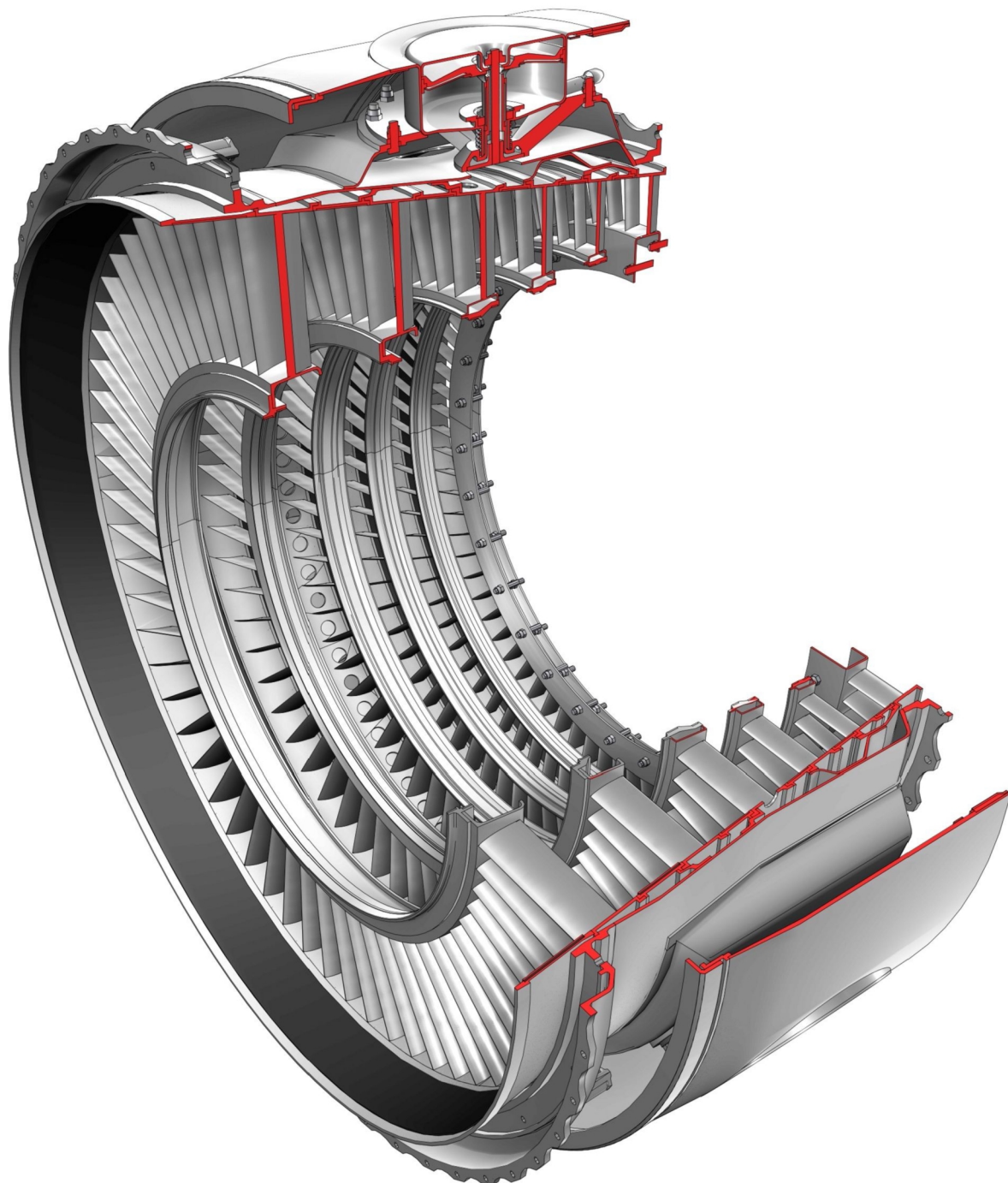
Смазка подшипника ротора КНД осуществляется маслом, подводимым по трубопроводу 24 от фильтра 6 (рисунок 2.2) к форсуночному кольцу 22 (рисунок 2.13) с четырьмя форсуночными жиклерами.

От форсуночного кольца по двум наклонным отверстиям 23 в упругом стакане масло подводится в полость масляного демпфера 29. Распорная втулка 17 выполнена из титанового сплава, остальные детали опоры - стальные.

### **2.3.4 Статор КНД**

Статор компрессора (рисунок 2.15) состоит из корпуса 7, рабочих колец 8 и направляющих аппаратов 1. Корпус компрессора низкого давления - цельный, выполнен из листового материала, имеет два приваренных фланца: передний 2,

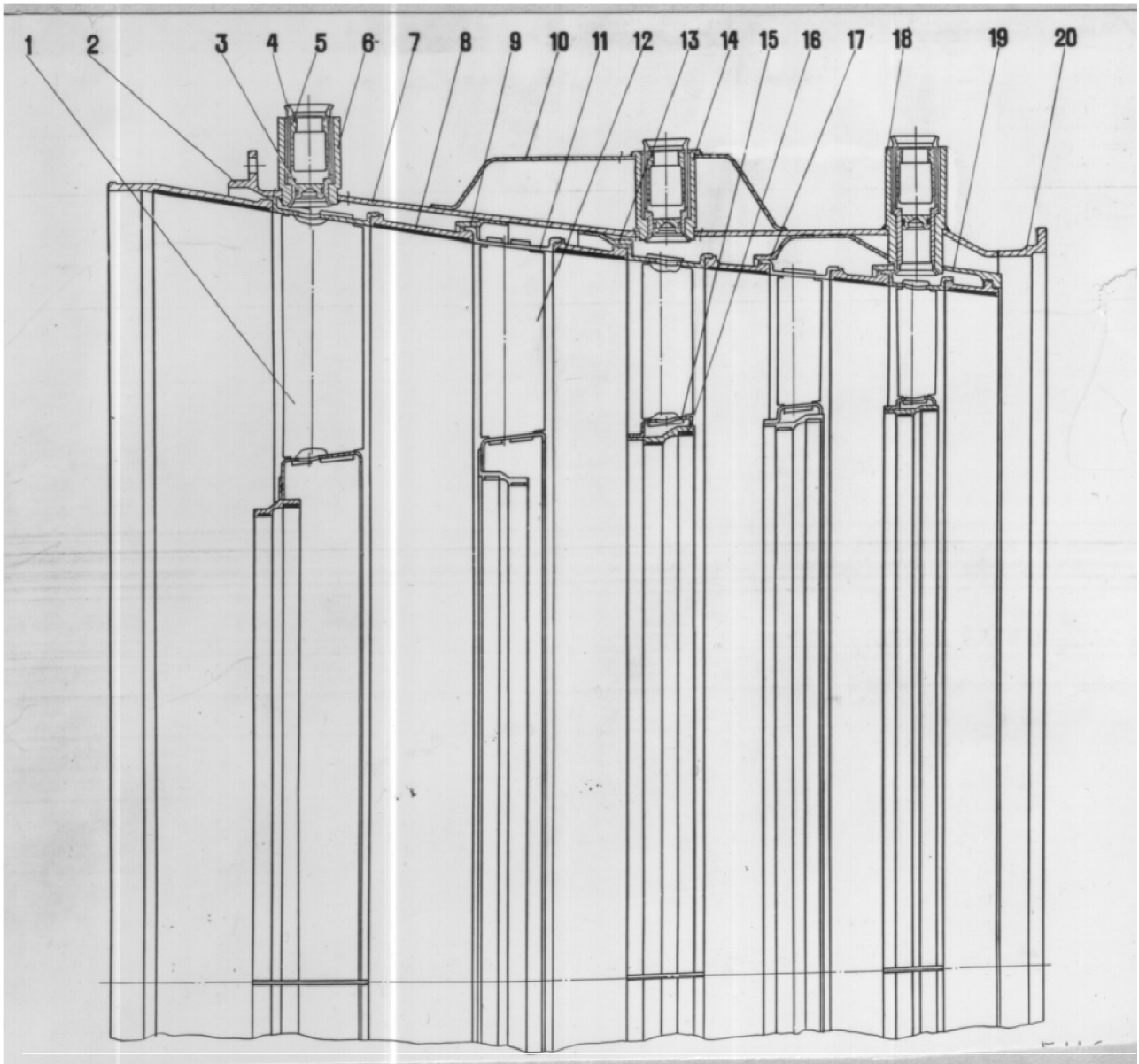
имеющий тридцать восемь отверстий для соединения с передним корпусом, и задний 20, имеющий 44 отверстия для соединения с промежуточным корпусом.



*Рис. 2.14 Статор КНД (разрез объемной модели)*

Для центровки в переднем корпусе на фланце 2 выполнен бурт, в котором прорезано двенадцать торцовых пазов для восприятия окружного усилия от направляющих аппаратов. Внутри корпуса имеется шесть поясков: пять - для цен-

тровки направляющих аппаратов и рабочих колец и один на заднем фланце - для центровки на промежуточном корпусе. Один центровочный пояс выполнен на переднем фланце остальные четыре - на кольцах 9, 13, 17 и 19, приваренных к корпусу роликовой сваркой. На кольце 19 выполнен бурт, в который упирается торцом рабочее кольцо VI ступени.



*Рис. 2.15 Статор компрессора низкого давления*

1 - направляющий аппарат; 2 - передний фланец; 3 - резиновое кольцо; 4 - цапга;  
 5 - заглушка; 6, 14, 18 - смотровые бобышки; 7 - корпус; 8 - рабочее кольцо;  
 9, 13, 17, 19 - кольца; 10 - ресивер; 11 - наружное кольцо; 12 - лопатка направляющего аппарата; 15 - внутреннее кольцо; 16 - кольцо лабиринтного уплотнения; 20 - задний фланец.

Сверху на корпусе приварены три ресивера 10. Ресиверы выштампованы из листа и образуют по окружности три отсека, соединенные с внутренней полостью корпуса отверстиями, расположенными между кольцами 13 и 17. Каждый отсек имеет наружный фланец с двенадцатью шпильками для крепления клапана перепуска воздуха 5 (рисунок 2.9)

КПВ выпускают воздух из-за III ступени. Для этого в наружном кольце направляющего аппарата III ступени выполнены окна, через которые воздух попадает из тракта в ресиверы.

На корпусе приварены патрубки с фланцами, имеющими по три шпильки. Полости внутри патрубков соединены с полостью внутри корпуса каждый тремя отверстиями, расположенными между кольцами 17 (рисунок 2.15) и 19. С помощью этих патрубков производится отбор воздуха из-за IV ступени на наддув уплотнений турбины.

На корпусе КНД расположены смотровые бобышки 6, 14 и 18, используемые для ввода оптического инструмента, с помощью которого производится осмотр рабочих лопаток ротора КНД без разборки двигателя. Поскольку на собранном двигателе бобышки находятся в труднодоступных местах, то с целью удобства их вскрытия и глушения, в качестве замка применена цанга 4, имеющая на входе заходную фаску и запирающий буртик.

Заглушка 5 при введении в цангу, скользя по фаске, разжимает её лепестки, а когда занимает свое рабочее положение, лепестки сходятся и упорным буртом препятствуют выходу заглушки назад. На заглушке предусмотрено уплотнительное резиновое кольцо 3, предотвращающее утечку воздуха через смотровую бобышку. На заглушке выполнена технологическая резьба для инструмента, разводящего лепестки цанги при ее вынимании.

Направляющие аппараты (НА) всех ступеней имеют разъемы в диаметральных плоскостях. При установке в корпус разъем каждого последующего направляющего аппарата смещается на  $90^\circ$  относительно предыдущего.

Лопатки 12 соединены с наружными 11 и внутренними 15 кольцами с помо-

щью электроклепки.

К кольцам 15 направляющих аппаратов приварены кольца 16 воздушных межступенчатых лабиринтных уплотнений.

На рабочих кольцах в направлении, параллельной оси двигателя, приварены точечной сваркой пластины, выступающие за торцы кольца. Пластинки входят в ответные пазы на круговых буртах наружных колец НА и служат для передачи крутящего момента от аэродинамических сил, действующих на лопаточные венцы. Крутящий момент передается от направляющего аппарата V ступени к рабочему кольцу V ступени, затем на направляющий аппарат IV ступени и т.д. к рабочему кольцу I ступени и через пазы на бурте переднего фланца на корпус КНД. Количество пластинок на I и II рабочих кольцах - 12; на III, IV и V - 8; на VI - 6.

Спрямяющий аппарат VI ступени выполнен цельным и крепится за внутреннее кольцо на промежуточном корпусе с помощью двенадцати шпилек.

Корпус КНД, направляющие аппараты и рабочие кольца выполнены из титанового сплава.

### **2.3.5 Клапаны перепуска воздуха КНД**

Для обеспечения устойчивой работы компрессора низкого давления предусмотрено три КПВ за III ступенью КНД. Основные детали клапана: корпус 1 (рисунок 2.17), крышка 3, поршень 2. Корпус клапана представляет собой фланец, соединенный четырьмя ребрами с центральным телом, переходящим в полый хвостовик. Внутри полого хвостовика проходит шпилька, завернутая в центральное тело. Одно ребро, соединяющее центральное тело с фланцем, - полое, в канал внутри него соединен со штуцером, приваренным к фланцу. Штуцер служит для подвода командного воздуха, закрывающего клапан. Полый хвостовик имеет точный наружный диаметр и упорный бурт для установки крышки клапана. Крышка 3 клапана представляет собой коническую тарелку с развитым полым хвостовиком в центре. Внутренний диаметр полого хвостовика

служит для центровки крышки на хвостовике корпуса, по наружному - работает внутреннее уплотнение поршня клапана. Хвостовик крышки у основания имеет четыре отверстия, через которые из полого хвостовика корпуса воздух поступает в рабочую полость б клапана.

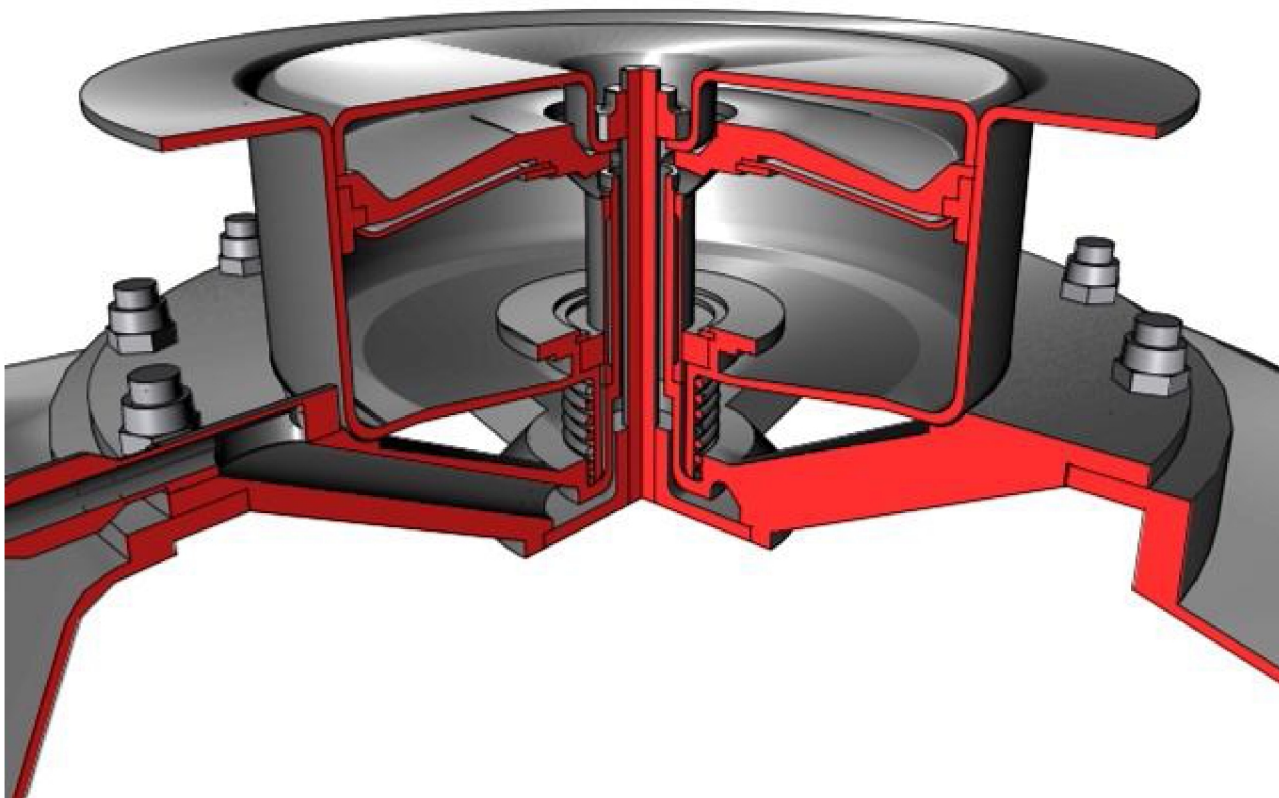
По наружному диаметру крышка имеет место для посадки элементов наружного уплотнения поршня. В центральной части на крышке выполнены: посадочный пояс для центровки секторной пружины 7 наружного уплотнения и канавка для фиксирующего разжимного кольца 5.

Сверху крышки 3 установлена крышка - экран 4, которая служит для образования поверхности тракта 11 контура непосредственно над клапаном. Крышка-экран 4, крышка 3 и корпус стянуты одной шпилькой и самоконтрящейся гайкой.

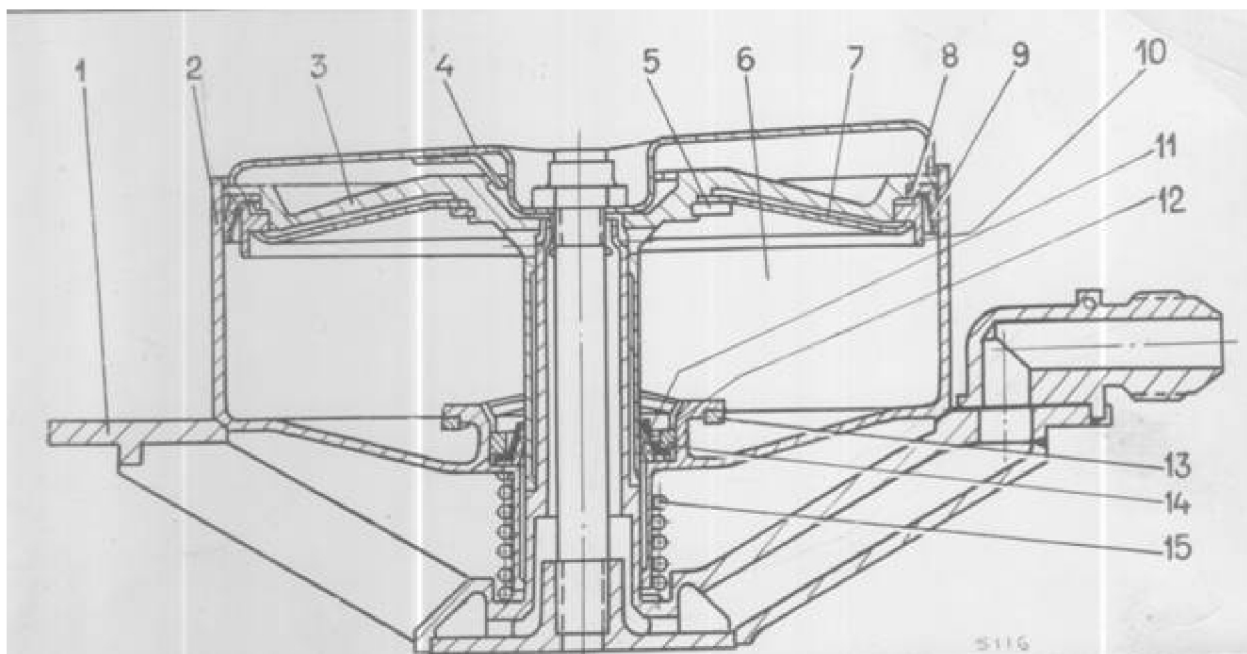
Взаимная фиксация от проворота крышки 3 и корпуса 1 осуществлена за счет выступов на торце хвостовика корпуса и пазов в центральном отверстии крышки; фиксация крышки-экрана 4 относительно крышки 3 осуществлена за счет паза в крышке и планки, приваренной к крышке - экрану.

Подвижный поршень 2, центрируясь по наружному диаметру хвостовика, крышки и корпуса, может занимать два положения. При достижении определенного значения суммарной степени сжатия автомат управления клапанами перепуска открывает доступ воздуху из-за IV ступени КВД в рабочую полость б. Под давлением этого воздуха поршень перемещается вниз до упора в седловину на корпусе. Тем самым перекрывается проход воздуху в окнах между ребрами из ресивера наружу. Предотвращение утечек воздуха из рабочей полости клапана достигается с помощью наружного и внутреннего уплотнения поршня.

Элементы наружного уплотнения смонтированы на крышке клапана. Ими являются: фторопластовая манжета 8, распорная пружина 9, кольцо 10 и секторная пружина 7.



*Рис. 2.16 Клапан перепуска воздуха (разрез объемной модели)*



*Рис. 2.17 Клапан перепуска воздуха*

1 - корпус; 2 - поршень; 3 - крышка; 4 - крышка-экран; 5 - разжимное кольцо;  
 6 - рабочая полость клапана; 7, 9, 15 - пружины; 8 - манжета; 10, 14 - кольца;  
 11 - фторопластовая манжета; 12 - распорная пружина; 13 - дружинное кольцо.

Элементы внутреннего уплотнения поршня: фторопластовая манжета 11, распорная пружина 12, кольцо 14 и пружинное кольцо 13, играющее ту же роль, что и секторная пружина в наружном уплотнении.

Для открытия клапана воздух из рабочей полости стравливается, и поршень под действием пружины 15 и аэродинамических сил перемещается в верхнее положение, открывая выход воздуху из ресивера наружу.

Корпус 1, крышка 3, поршень 2, крышка - экран 4 выполнены из титанового сплава, остальные детали – из стали.

### **2.3.6 Кожух КНД**

Кожух 6 (рисунок 2.9) служит для организации трактовой поверхности второго контура над компрессором низкого давления. Кожух надет поверх корпуса КНД, под ним скрыты все трубопроводы, проложенные в этой части. Кожух крепится с помощью 18 кронштейнов на заднем его торце к фланцу промежуточного корпуса. Кожух имеет ряд прямоугольных окон в задней своей части для выхода перепускаемого воздуха из КНД во второй контур двигателя и три круглых отверстия.

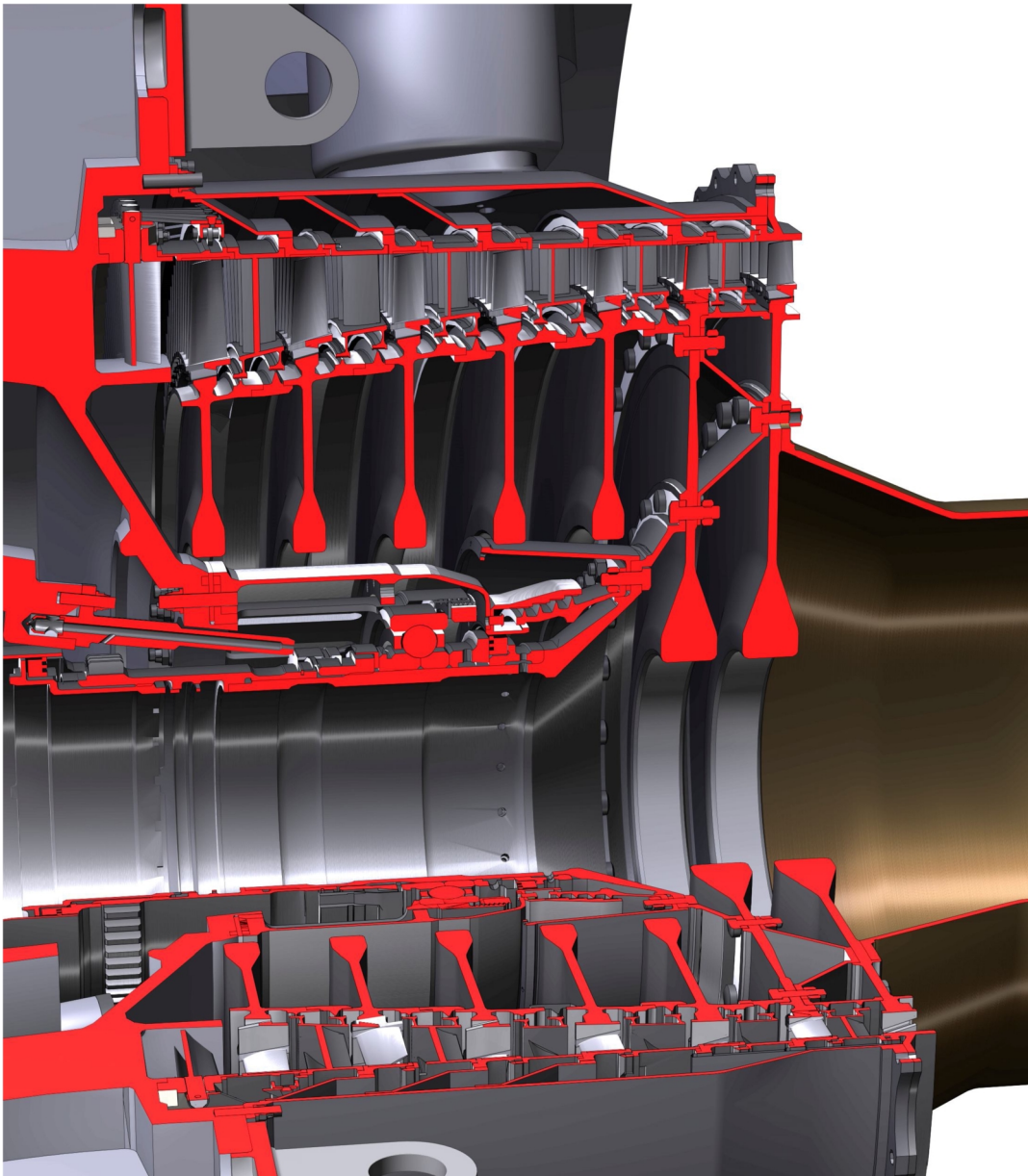
При открытых КПВ в эти отверстия выходят юбки поршней клапанов. Это происходит на малых режимах работы двигателя и поэтому не оказывает значительного влияния на потери в потоке проходящего во втором контуре воздуха. На больших режимах поршень клапана полностью утоплен, и тракт в этом месте гладкий.

Передник фланцем кожух центрируется в кольце 8 (рисунок 2.4) спрямляющего аппарата вентилятора. Кожух выполнен из титанового сплава.

## 2.4 Компрессор высокого давления

### 2.4.1 Общие сведения

Компрессор состоит из, следующих основных узлов: входного направляющего аппарата 1 (рисунок 2.19), ротора 2, статора 3, клапанов перепуска воздуха 10 с кожухами 12, установленных за IV ступенью КВД, и передней опоры ротора 16.



*Рис. 2.18 Компрессор высокого давления  
(разрез объемной модели)*



## 2.4.2 Входной направляющий аппарат

Входной направляющий аппарат (рисунок 2.21) расположен в передней части КВД. Конструкция ВНА позволяет регулировать угол установки лопаток ВНА на собранном неработающем двигателе и фиксировать их в нужном положении.

Кольцом 2 ВНА установлен в промежуточный корпус и крепится к нему 48 шпильками 4 и гайками 5. Кольцо 2 - разъемное в плоскости, проходящей через оси радиальных отверстий под лопатки. Половины кольца зафиксированы между собой шестью осевыми штифтами. В окружном направлении кольцо зафиксировано в промежуточном корпусе штифтом 11.

На цапфу каждой лопатки 23 ВНА установлена втулка 1, служащая подшипником цапф лопатки, и рычаг 6, фиксируемый штифтом 3. В радиальном направлении лопатка фиксируется буртами втулок 1, установленных в отверстиях кольца 2 с натягом, а на цапфах лопаток 23 - с зазором.

Рычаги 6 лопаток пазами соединены со штифтами 7, радиально запрессованными в синхронизирующее кольцо поворота 8 лопаток ВНА. Двенадцатью катками 10, укрепленными на осях 9 в кольце поворота, обеспечивается концентричное положение последнего относительно оси двигателя.

Двумя винтами 25 к кольцу поворота крепится лимб 24 для дополнительного контроля угла установки лопаток ВНА.

Тремя заклепками 13 в кольце поворота крепится приводной штырь 14, хвостовик которого входит в паз приводного рычага 15 механизма поворота и фиксации ВНА. Штифтом 16 с рычагом соединен валик привода 17, центрирующийся во втулке 22, запрессованной в отверстие промежуточного корпуса, и в корпусе - лимба 21, укрепленном двумя шпильками и гайками на специально выполненной площадке промежуточного корпуса.

На хвостовик валика привода шлицами крепится стрелка 20. Отсутствие зазоров в шлицевом соединении стрелки и валика привода обеспечивается затяж-

кой болта 27 и гайки 28 определенным усилием. Фиксация стрелки вдоль валика привода выполняется шайбой 19 и гайкой 18.

При сборке ВНА лопатки 23 устанавливаются под определенным углом в трактовом канале промежуточного корпуса, и при этом лимб 24 и стрелку 20 устанавливают таким образом, чтобы риски на бурте рабочего кольца 1 ступени 12 и на конце стрелки 20 совпали с отметкой "0°" соответствующих шкал делений, нанесенных на лимбе 24 и корпусе - лимбе 21. Однако деление на корпусе-лимбе 21 соответствует одному градусу поворота лопаток ВНА, а одно деление на шкале лимба 24 соответствует 2° угла поворота лопаток ВНА. Фиксация стрелки в указанном положении осуществляется с помощью регулировочных винтов 26 и гаек 29.

При необходимости изменить угол установки лопаток ВНА с помощью регулировочных винтов стрелка устанавливается на требуемый угол по шкале корпуса-лимба 21 по технологии, исключая влияние зазоров соединения узла на угол установки лопаток. При этом приводной рычаг 15 проворачивает в окружном направлении синхронизирующее кольцо поворота 8, а катки 10 прокатываются по опорной поверхности рабочего кольца 1 ступени 12, и посредством рычагов 6 поворачиваются требуемый угол лопатки 23 ВНА.

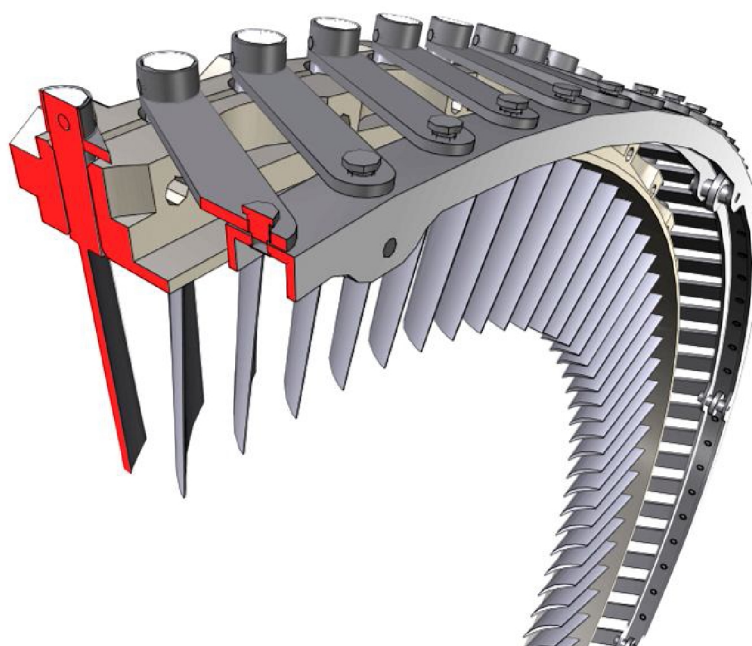


Рис. 2.20 Входной направляющий аппарат

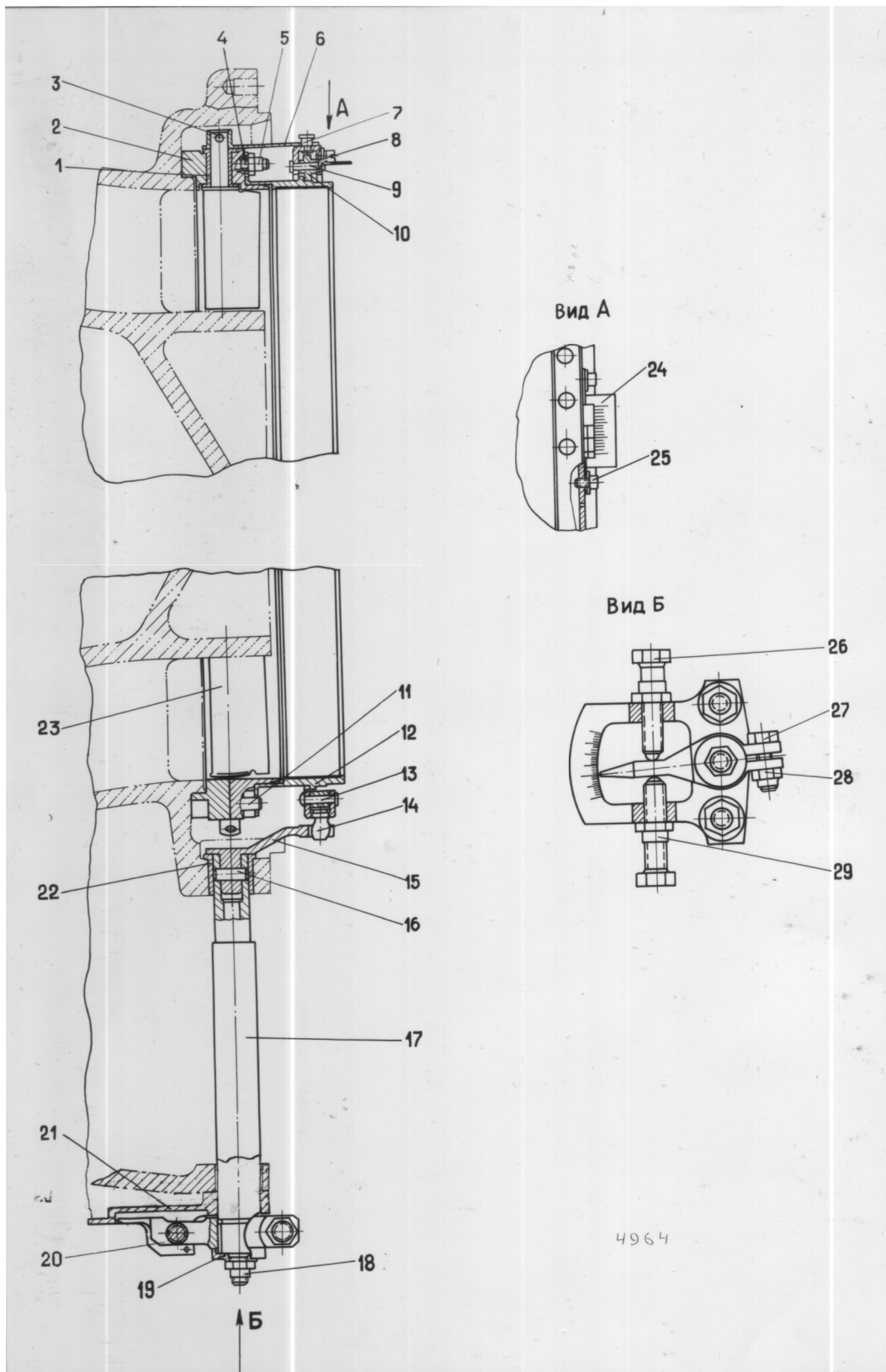


Рис. 2.21 Входной направляющий аппарат

1,22- втулки; 2 - кольцо; 3, 7, 11, 16 - штифты; 4- шпилька; 5, 18, 28, 29 - гайки; 6 - рычаг;  
 8- кольцо поворота; 9 - ось; 10 - каток; 12- рабочее кольцо I ступени; 13- заклепка;  
 14 - приводной штырь; 15-приводной рычаг; 17 - валик привода; 19- шайба; 20- стрелка;  
 21- корпус-лимб; 23- лопатка ВНА; 24 - лимб; 25, 26 - винты; 27 - болт.

После окончания регулировки положение регулировочных - винтов 26 фиксируется с помощью гаек 29.

Лопатки ВНА, корпус-лимб и кольцо поворота выполнены из титанового сплава, кольцо ВНА - из алюминиевого сплава, остальные детали ВНА – из стали.

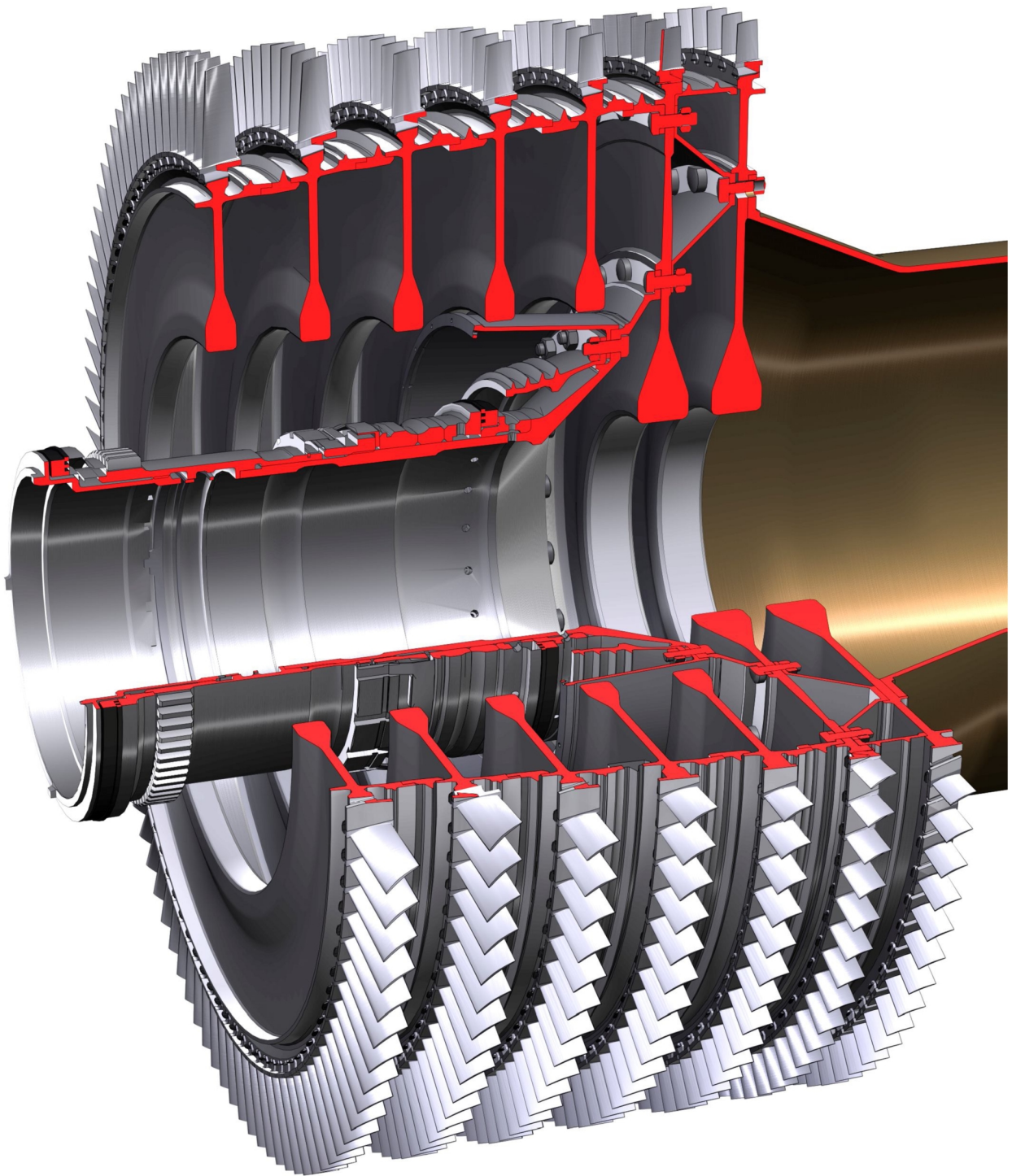
### 2.4.3 Ротор КВД

Ротор (рисунок 2.23) - семиступенчатый, диско - барабанной конструкции, состоит из следующих основных деталей: секции ротора I-V ступеней I, рабочих колес VI ступени - 2 и VII ступени - 4, проставки 3, переднего вала 7 и заднего вала 6.

Секция ротора 1 состоит из пяти дисков, сваренных в барабан, рабочих лопаток, установленных в ободке каждого диска с помощью замков типа "ласточкин хвост". Барабан имеет фланец, которым он стыкуется с рабочим колесом VI ступени 2.

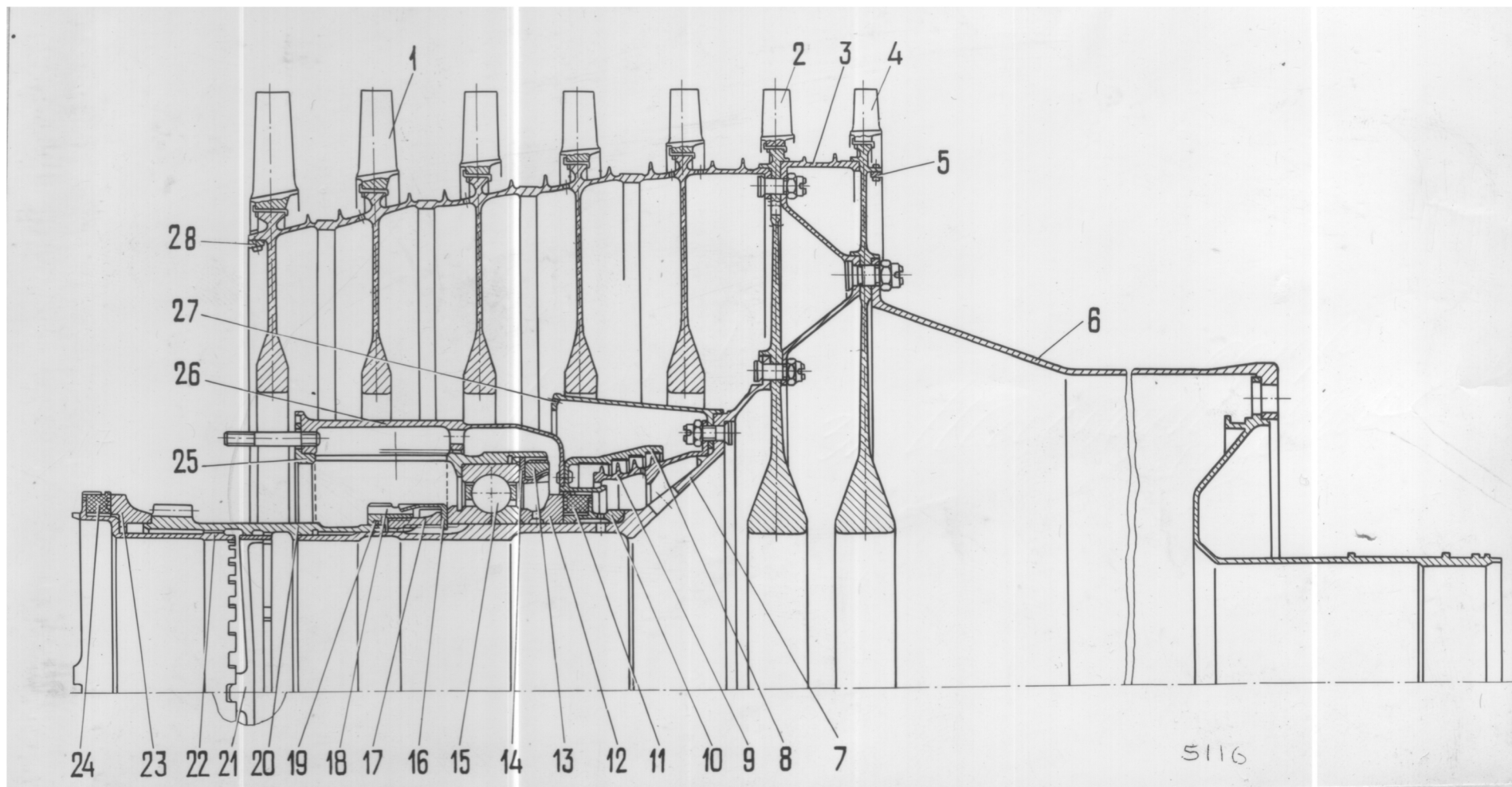
Технология изготовления барабана аналогична технологии изготовления сварной секции ротора КНД. В оболочках барабана между дисками выполнены по одному отверстию для выброса в тракт компрессора конденсата или незначительного количества масла, случайно попавшего во внутреннюю полость ротора. Для этой же цели служат одно отверстие в лабиринте 9 и отверстие в переднем вале 7. Проставка 3 имеет в цилиндрической оболочке два отверстия для сфлирования полости между диском VII ступени и проставкой. На оболочках барабана между дисками и на цилиндрической оболочке проставки выполнены по два гребешка межступенчатых лабиринтных уплотнений.

Рабочие колеса VI и VII ступеней состоят из диска и рабочих лопаток, установленных в ободке с помощью замков типа "ласточкин хвост". От осевого перемещения лопатки зафиксированы в секции и рабочих колесах пластинчатыми замками и упорными буртами на замках лопаток.



*Рис. 2.22 Ротор компрессора высокого давления  
(разрез объемной модели)*

Рабочее колесо VI ступени 2 стянуто с верхним фланцем проставки 3 и секций ротора 1 тридцатью двумя призонными болтами, а с передним валом 6 и нижним фланцем проставки – двадцатью четырьмя призонными болтами.



*Рис. 2.23 Ротор компрессора высокого давления*

1 – секция I-V ступеней ротора; 2 - рабочее колесо VI ступени; 3 - проставка; 4 - рабочее колесо VII ступени;  
 5, 28 - балансировочные грузы; 6 - задний вал КВД; 7 - передний вал КВД; 8 - втулка; 9 - лабиринт; 10 - кольцо;  
 11, 24 - уплотнительные кольца; 12, 23 – упорные кольца; 14 - контрольная втулка; 13, 17, 18, 22 - гайки; 15 - шарикоподшипник;  
 16 – контрольная втулка; 19 – стопорное кольцо; 20 - ведущая шестерня; 21 - замок; 25 - упругий стакан; 26 - корпус опоры; 27 - экран.

В диске VI ступени выполнены 16 отверстий; в проставке - 8 отверстий для прохода воздуха на обогрев ступиц дисков VI и VII ступеней. Проставка, рабочее колесо VII ступени 4 и вал турбины высокого давления стянуты 24 призонными болтами. Для удерживания болтов в осевом направлении при сборке ротора в стыке проставки с диском VII ступени на болтах установлены стопорные кольца. Гайки всех стыков ротора конtringаются обжимкой в пазы, выполненные на болтах.

Перед сборкой ротора КВД секция ротора I + V ступеней и рабочие колеса VI и VII ступеней балансируют, за счет перестановки рабочих лопаток и постановки балансировочных грузов, передний вал за счет съема металла в двух плоскостях коррекции. Собранный ротор КВД балансируется за счет постановки балансировочных грузов 28 и 5 на диски I и VII ступеней.

Диски и рабочие лопатки секции ротора I выполнены из титанового сплава, передний вал 7, задний вал 6, диски и рабочие лопатки VI и VII ступеней 2 и 4, доставка 3, болты и гайки - из сплава на никелевой основе.

#### **2.4.4 Статор КВД**

Статор (рисунок 2.25) состоит из корпуса 5, рабочих колец 13 и направляющих аппаратов 21.

Корпус компрессора - цельный, сварной. К кожуху приварены встык передний 2 и задний 14 фланцы.

На переднем фланце, которым корпус крепится к промежуточному корпусу, выполнены 48 отверстий под шпильки крепления и одно отверстие 3 для фиксирующего штифта, на заднем фланце - 60 отверстий под винты крепления к корпусу камеры сгорания и одно отверстие, в которое запрессован штифт 15, фиксирующий окружное положение набора рабочих колец V, VI, и VII ступеней и направляющих аппаратов IV, V и VI ступеней. В отверстия кожуха вварены бобышки 4, 6 и 11 с отверстиями. Бобышка 4 служит для контроля пока-

заний лимба 24 ВНА (рисунок 2.21), а бобышки 6 (рисунок 2.25) и 11 – для контроля за состоянием рабочих лопаток ротора с помощью оптического прибора. Во время работы двигателя отверстия бобышек закрыты резьбовыми заглушками.

На внешней поверхности корпуса тремя рядами по окружности приварены фланцы.

В первом ряду (считая от переднего фланца 2) расположены два фланца отбора воздуха из-за II ступени КВД на самолетные нужды.

Во втором ряду расположены пять фланцев отбора воздуха из-за III ступени КВД, из них три фланца отбора на охлаждение турбины и по одному фланцу отбора воздуха на противообледенительную систему двигателя и обогрев воздухозаборника.

В третьем ряду расположены четыре фланца, из них - один фланец отбора воздуха из-за IV ступени на управление клапанами перепуска воздуха КНД и три фланца для установки клапанов перепуска воздуха из IV ступени КВД.

На каждом из трех последних фланцев выполнена коническая поверхность - седловина, по которой происходит уплотнение во время закрытия клапана перепуска воздуха. Во фланцы запрессованы по три штифта 15 (рисунок 2.19), служащих для центрирования клапана относительно седловины фланца.

Кроме этого, на кожухе корпуса КВД сверху вблизи вертикальной плоскости и с двух сторон вблизи горизонтальной приварены шесть резьбовых бобышек, служащих для крепления проушин под штанги подвески двигателя.

К внутренней поверхности кожуха приварены контактной сваркой три оболочки 7 (рисунок 2.25) и оболочка 10, служащие для центрирования в корпусе набора рабочих колец и направляющих аппаратов и образующие ресиверы для отбора и перепуска воздуха.

Рабочие кольца всех ступеней - цельные, направляющие аппараты (НА) всех ступеней имеют разъемы в диаметральных плоскостях. При установке в корпус разъем НА II ступени относительно разъема НА I ступени и разъем каждого по-

следующего НА относительно предыдущего смещаются на  $90^\circ$ .

Наружные 17 и внутренние 19 кольца всех НА - точеные и соединены с лопатками 18 электроклепкой с последующей пайкой. К внутренним кольцам приварены по два лабиринтных кольца 20 межступенчатых воздушных уплотнений.

Выступы I на наружном кольце НА I ступени служат для осевой фиксации кольца поворота 8 ВНА КВД (рисунок 2.21)

На конических участках наружных колец НА II, III и IV ступеней выполнены отверстия Б (рисунок 2.25) для отборов и перепуска воздуха.

С помощью торцовых буртов на наружных кольцах направляющие аппараты центрируются в соответствующих торцовых канавках рабочих колец 13. Передача крутящего момента от газодинамических сил, действующих на венце лопаток НА, осуществляется с помощью осевых штифтов 12, запрессованных в тело рабочих колец и входящих в ответные пазы центровочных буртов наружных колец НА. Крутящий момент с НА I + III ступеней передается через рабочее кольцо I ступени 12 (рисунок 2.21) на кольцо 2 ВНА КВД и далее на промежуточный корпус.

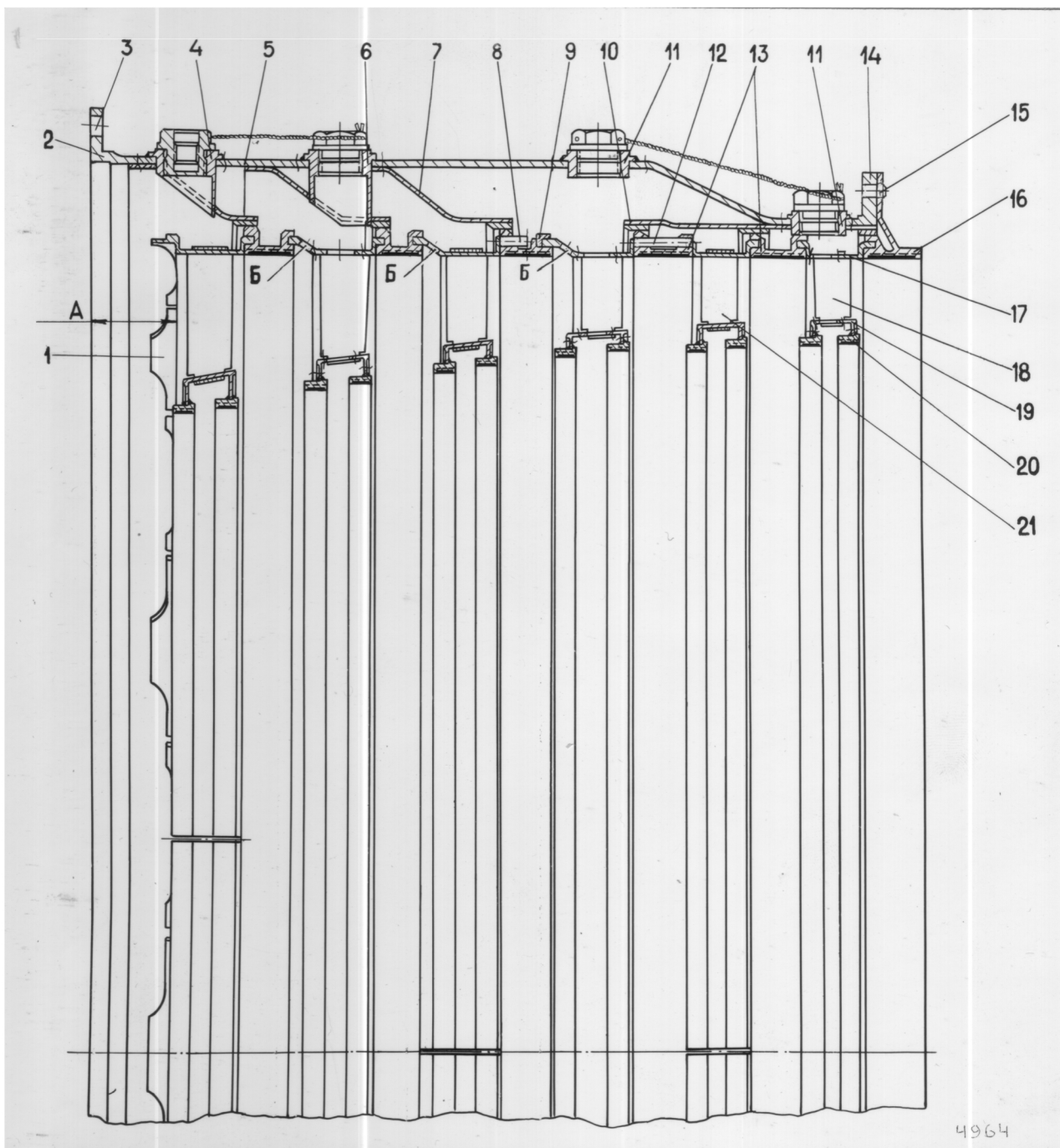
Крутящий момент с НА IV + VI ступеней передается через рабочее кольцо VII ступени 16 (рисунок 2.25) на корпус КВД. Поскольку крутящий момент от ступени к ступени суммируется, то и количество штифтов 12, передающих его, увеличивается с восьми на рабочих кольцах III и V ступеней до двадцати четырех на рабочих кольцах I и VII ступеней. Для фиксации в окружном направлении рабочее кольцо IV ступени имеет штифт 8, входящий в паз центровочного бурта НА III ступени. Регулировочное кольцо 9 служит для обеспечения при сборке статора КВД заданного осевого размера НА.

Рабочие кольца и лабиринтные кольца НА всех ступеней имеют мягкие, легкоприрабатываемые покрытия.

Корпус КВД выполнен из титанового сплава, рабочие кольца и направляющие аппараты – из стали.



*Рис. 2.24 Статор компрессора высокого давления  
(разрез объемной модели)*



*Рис. 2.25 Статор компрессора высокого давления*

- 1- выступы НА I ступени; 2 - передний фланец; 3- отверстие под фиксирующий штифт;  
 4 - бобышка контроля показаний лимба ВНА; 5- корпус; 6 - бобышка осмотра рабочих лопаток ротора; 7- центрирующая оболочка; 8 - фиксирующий штифт; 9 - регулировочное кольцо;  
 10 - центрирующая оболочка; 11 - бобышки осмотра рабочих лопаток ротора; 12 - штифт;  
 13 - рабочие кольца; 14 - задний фланец; 15 - фиксирующий штифт;  
 16 - рабочее кольцо VII ступени; 17- наружное кольцо; 18 - лопатка; 19- внутреннее кольцо;  
 20- лабиринтное кольцо; 21 - направляющий аппарат.

### 2.4.5 Клапаны перепуска воздуха КВД

Для обеспечения устойчивой работы компрессора высокого давления за IV ступенью КВД предусмотрено 3 клапана перепуска воздуха. Клапан перепуска воздуха (рисунок 2.19) состоит из корпуса 13, клапана 5 с двумя уплотнительными кольцами 14 и пружины 4.

Корпус клапана 13 центрируется относительно конической поверхности фланца корпуса КВД тремя штифтами 15, запрессованными во фланец, и крепится на трех шпильках.

С помощью уплотнительных колец 14 образуется герметичная полость 6 между корпусом 13 и клапаном 5.

На неработающем двигателе и при работе на малых оборотах клапаны перепуска воздуха открыты. Клапан 5 отжат от фланца корпуса пружиной 4 в крайнее положение - полость ресивера корпуса сообщается с воздушным трактом второго контура.

При достижении определенного значения суммарной степени сжатия автомат управления клапанами перепуска открывает доступ воздуху из-за КВД в полость 6, под действием которого клапан перемещается к фланцу корпуса, преодолевая усилие пружины. Дойдя до фланца, конический поясок клапана плотно прилегает к конической поверхности фланца корпуса и перекрывает путь воздуху из полости ресивера корпуса во второй контур.

При переходе двигателя на малые обороты воздух из полости 6 стравливается в атмосферу и клапан 5 отжимается пружиной 4 от фланца корпуса в крайнее положение.

Клапан 5 выполнен из титанового сплава, остальные детали - из стали.

С помощью кожухов 12 и патрубков воздух от КПВ КВД отводится во второй контур двигателя. Трубопровод подвода воздуха в полость 6 КПВ уплотнен в отверстии кожуха 12 кольцом 7 и прижимом 8. Для уплотнения патрубка отвода воздуха на кожухе 12 с помощью семи винтов 9 крепится кольцо П.

#### 2.4.6 Передняя опора ротора КВД

Передняя опора (рисунок 2.23) - шариковый радиально - упорный подшипник 15 с разрезной внутренней обоймой. Наружная обойма подшипника установлена в упругом стакане 25 типа "беличье колесо" и вместе с контровочной втулкой 14 зажата гайкой 13. Поверх упругого стакана надет корпус опоры 26.

Между корпусом опоры и упругим стаканом предусмотрен радиальный зазор А, в пределах которого гложет перемещаться подшипник, а вместе с ними ротор КВД во время работы двигателя.

Фланец упругого стакана зацентрирован на фланце промежуточного корпуса и прижат к нему вместе с регулировочным кольцом 18 (рисунок 2.19) фланцем корпуса опоры 26 (рисунок 2.23) с помощью восемнадцати шпилек. Стык регулировочного кольца с фланцами корпуса опоры и промежуточного корпуса уплотнен резиновыми кольцами 19 (рисунок 2.19).

К оболочке корпуса опоры приклепана втулка 8 (рисунок 2.23) безрасходного уплотнения, в которую заведено уплотнительное разрезное графитовое кольцо 11, помещенное между упорным кольцом 12 и буртом кольца 10. Под действием перепада давлений в воздушной полости ротора и в масляной полости подшипника графитовое кольцо 11 прижимается к торцу кольца 12, одновременно прижимаясь своим наружным диаметром к внутренней поверхности втулки 8. Таким образом, в полость ротора масло проникнуть не может.

Поверх корпуса опоры смонтирован экран 27, который вместе с лабиринтом 9 крепится на переднем валу 7 двенадцатью болтами.

Детали, установленные на переднем валу 7 ротора КВД: кольца 10 и 12, внутренняя обойма шарикоподшипника и контровочная втулка 16 - стянуты гайкой 17. На переднем валу 7 устанавливается также ведущая шестерня 20 для привода агрегатов двигателя: крутящий момент передается с помощью шлиц, в осевом направлении шестерня прижата к торцу вала гайкой 18 через стопорное кольцо 19. Контровка гаек 17 и 18 осуществляется втулкой 16.

На шестерне 20 устанавливается упорное кольцо 23 и затягивается гайкой 22, законтренной замком 21 относительно шестерни 20. Между кольцом 23 и буртом гайки 22 ставится уплотнительное графитовое кольцо 24. Под действием перепада давлений кольцо 24 прижимается к торцу кольца 23, одновременно центрируясь по втулке 17 (рисунок 2.19), устанавливаемой в корпусе центрального привода. Поэтому масло не может проникнуть в полость ротора.

Смазка шарикоподшипника осуществляется тремя форсунками, установленными на корпусе центрального привода.

Экран 27 и кольцо 10 выполнены из титанового сплава. Остальные детали передней опоры ротора КВД выполнены из стали и сплавов на никелевой основе.

## **3 УЗЕЛ ПРОМЕЖУТОЧНОГО КОРПУСА**

### **3.1 Общие сведения**

Узел промежуточного корпуса (рисунок 3.4), расположенный между компрессором низкого давления и спрямляющим аппаратом вентилятора с одной стороны и компрессором высокого давления с другой, предназначен для образования внутреннего и наружного газоздушных трактов на своем участке, размещения агрегатов и приводов к ним, приборов и устройств, обслуживающих и контролирующих работу двигателя и самолета, узлов подвески двигателя к самолету, а также является одной из основных деталей силовой схемы двигателя.

В узел промежуточного корпуса входят: промежуточный корпус, нейтральный привод, колонка приводов и коробка приводов.

На коробке приводов и промежуточном корпусе размещены следующие агрегаты и устройства, обслуживающие двигатель и самолет: гидронасос НП-89Д, неприводной топливный регулятор - агрегат 935МА, блок топливных насосов - агрегат 934, гидропривод с генератором переменного тока ГП-21, маслоагрегат МА-36, центробежный суфлер КС-36, воздухоотделитель ВО-36, воздушный стартер СВ-36, стружкосигнализатор, датчики перегрева, бесконтактные датчики ДТА-10 замера оборотов роторов компрессоров высокого и низкого давления, две катушки зажигания СКН-II-I, электромагнитный клапан пускового топлива МКПТ-9АФ, маслобак МБ-36, топливно-масляный агрегат (ТМА) - агрегат 5660Т.

### **3.2 Промежуточный корпус**

Промежуточный корпус (рисунок 3.4) - литой из магниевых сплавов, конструктивно выполнен в виде четырех основных усеченных конусов 11, 8, 3 и 4,

соединенных между собой восемью полыми ребрами - стойками и дополнительного усеченного конуса 7 для придания необходимой жесткости корпусу. Конусы 3 и 4 образуют внутренний газовоздушный тракт, конусы 11 и 8 - наружный газовоздушный тракт на участке промежуточного корпуса. На корпусе имеются:

- фланец 2 для крепления корпуса центрального привода шпильками 1;
- фланец 5 для крепления корпуса компрессора низкого давления 44 шпильками 6;
- фланец 10 для крепления кожуха компрессора низкого давления 18 шпильками 9;
- фланец. 12 для крепления спрямляющего аппарата вентилятора 72 шпильками 13;
- фланец 17 для крепления корпуса опоры подшипника ротора компрессора высокого давления;
- фланец 16 для крепления корпуса компрессора высокого давления 48 шпильками;
- фланец 15 для крепления капота 36 шпильками;
- фланец. 14 для крепления проставки наружного контура 48 болтами.

Конструктивная особенность промежуточного корпуса - размещение внутри силовых пустотелых ребер-стоек 1, 2, 3, 4, 5, 7 и 8 топливных, масляных, воздушных и суфлирующих коммуникаций, а также проводов к электроколлектору от датчиков ДТА-10 бесконтактного замера оборотов роторов КНД и КВД.

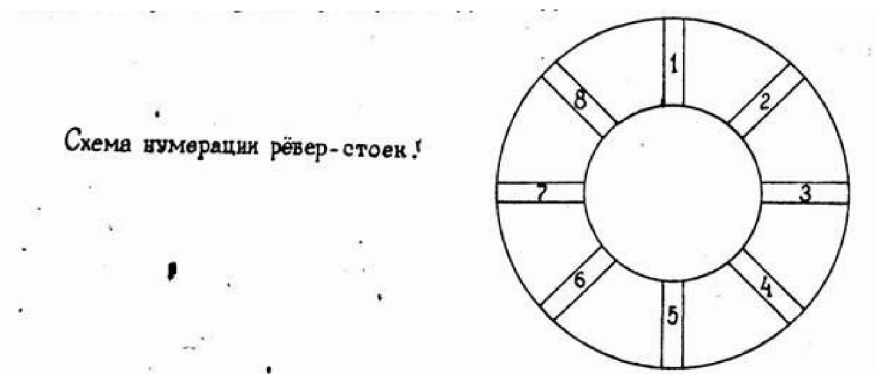
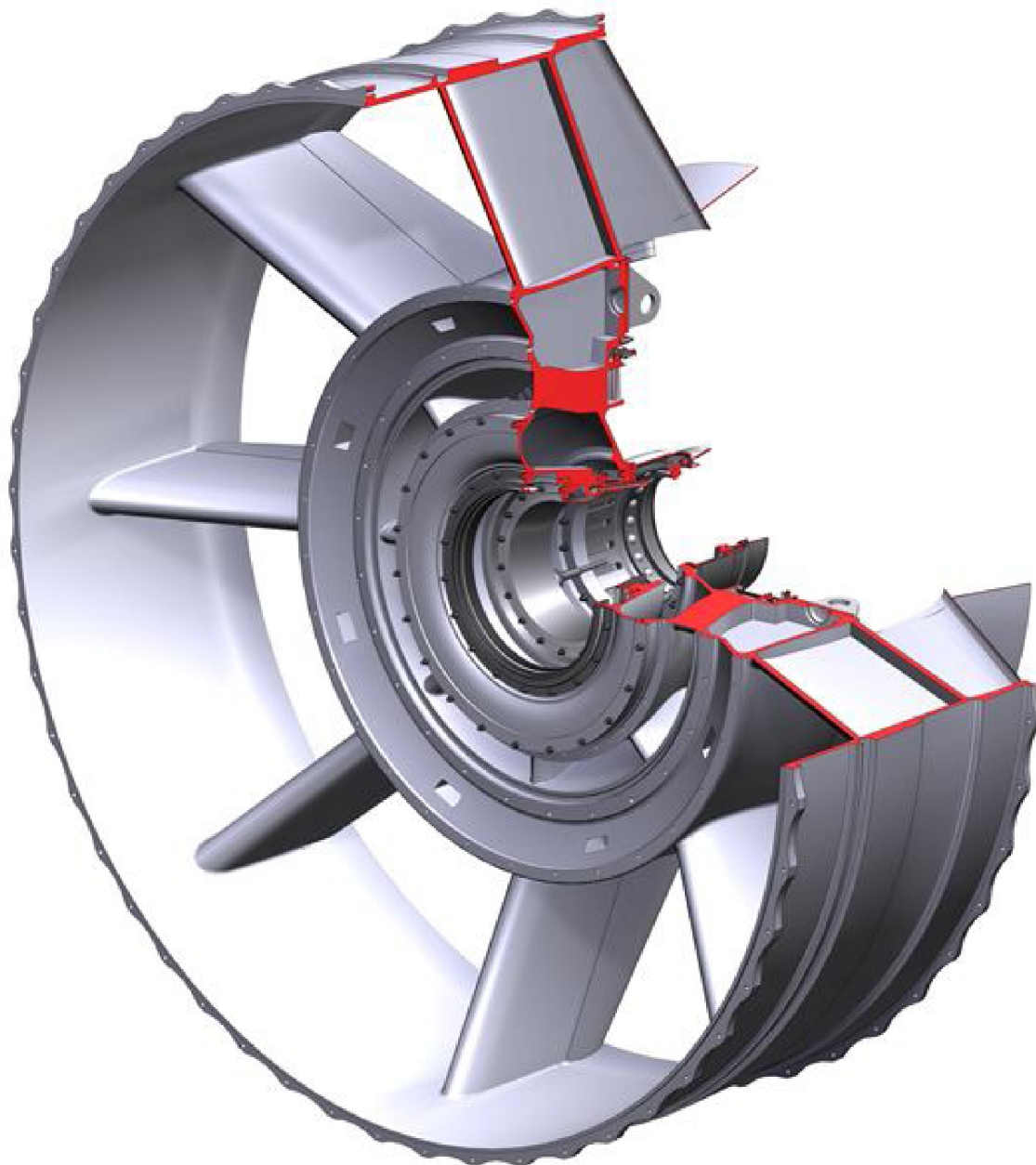


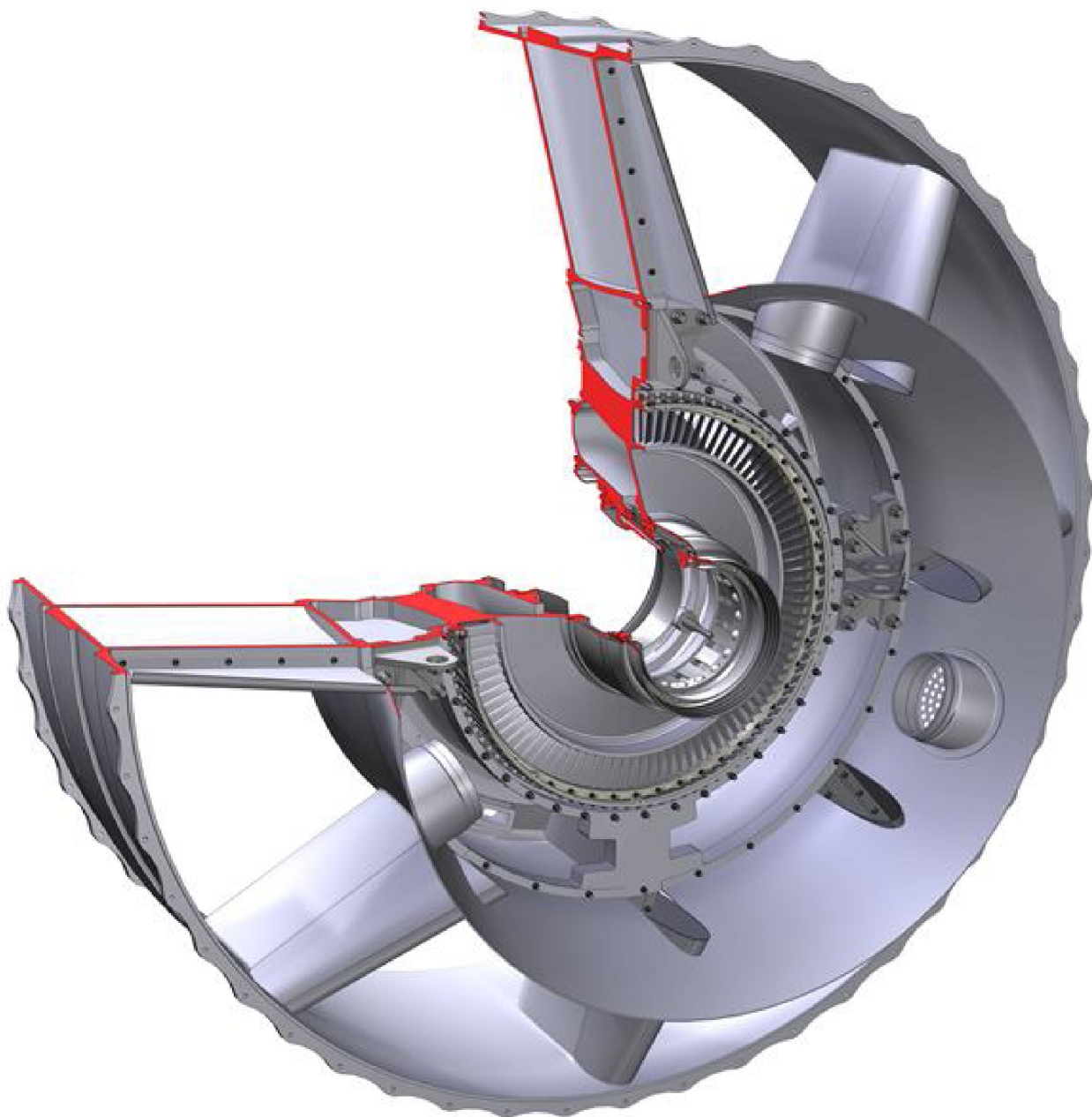
Рис. 3.1 Схема нумерации ребер-стоек



*Рис. 3.2 Промежуточный корпус (вид спереди)*

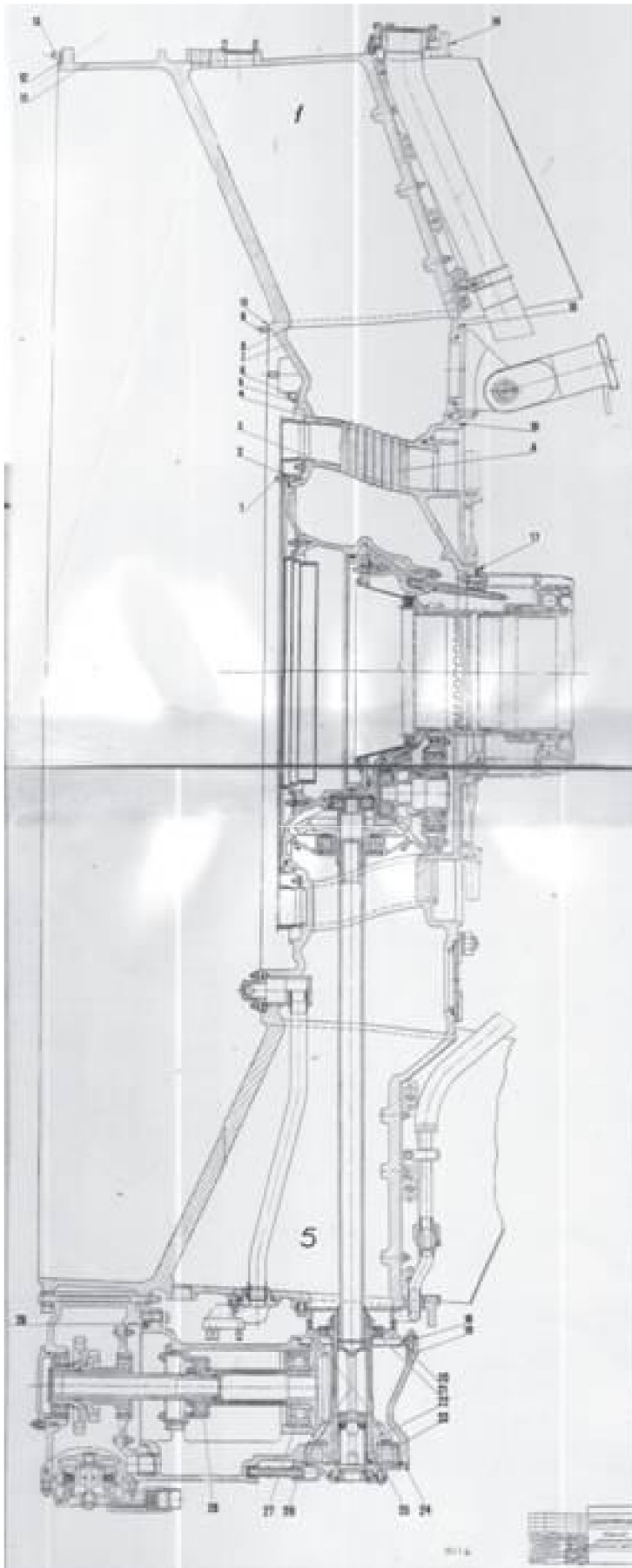
Ребра-стойки, соединяющие наружный и внутренний конусы наружного тракта, со стороны КВД подрезаны, а их продолжением являются кожухи из листового материала, которые крепятся винтами к планкам, укрепленным на ребрах-стойках шпильками. Через кожухи положены трубопроводы и провода, прикрепленные к ребрам-стойкам с помощью кронштейнов и хомутов.

Ребра-стойки 1, 3, 6 и 7 заканчиваются патрубками для перепуска воздуха на нужды двигателя и самолета.



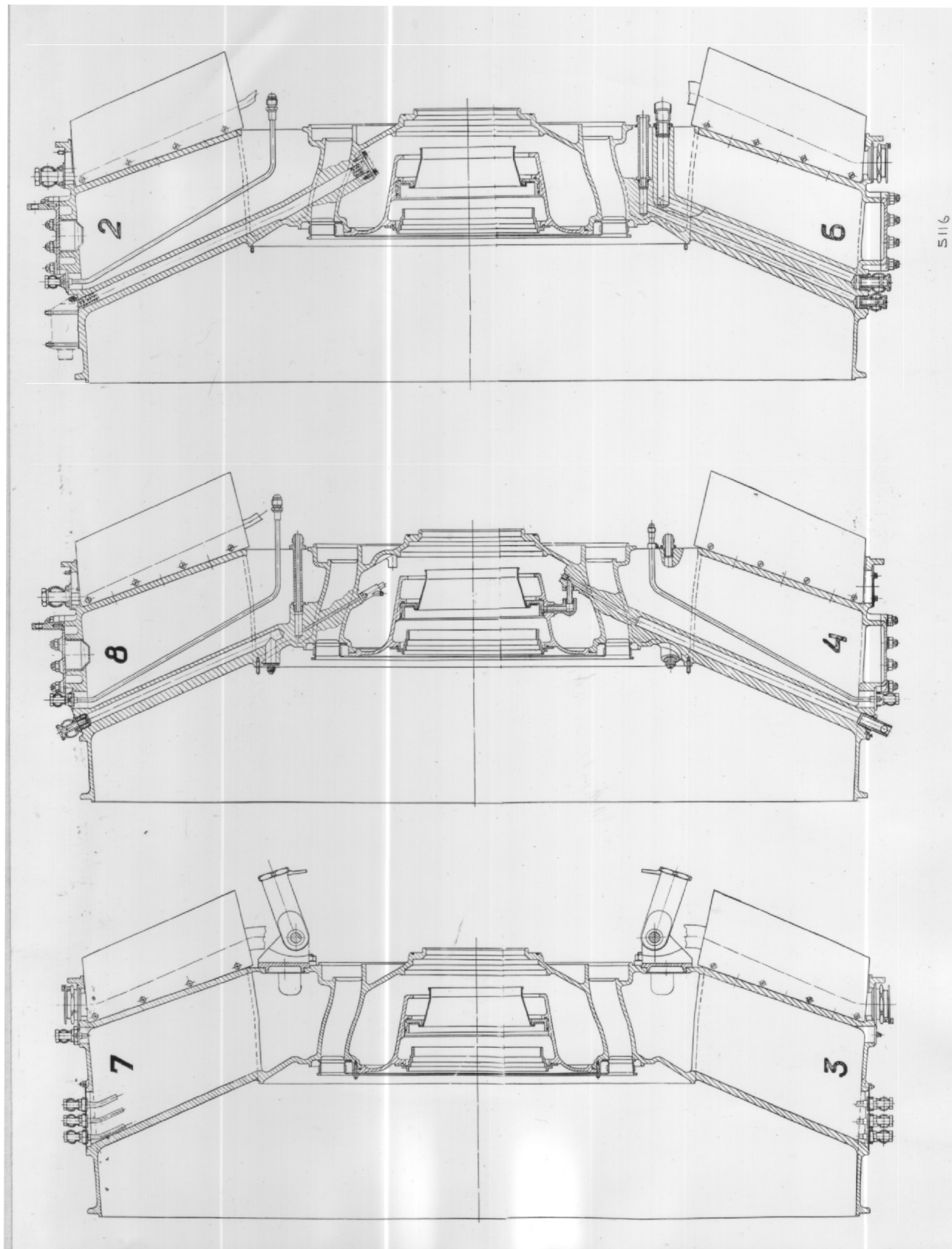
*Рис. 3.3 Промежуточный корпус (вид сзади)*

С внешней стороны промежуточного корпуса на наружном конусе, имеется ряд фланцев и бобышек со шпильками для крепления неприводных агрегатов, коммуникаций двигателя, а также расположены шесть окон для осмотра лопаток III - IV, V - VI ступеней КНД и входного направляющего аппарата КВД.



1,6,9,13 - шпильки; 2 - фланец крепления корпуса центрального привода; 3,4,8,11 - усеченные конусы; 5, 10 - фланцы крепления КНД; 7 - дополнительный усеченный конус; 12 - фланец крепления спрямляющего аппарата вентилятора; 14 - фланец крепления проставки наружного контура; 15 - фланец крепления капота; 16 - фланец крепления корпуса КВД; 17 - фланец крепления корпуса опоры ротора КВД; 18, 24, 29 - фланцы колонки приводов; 19 - корпус колонки приводов; 20 - переходник; 21, 23, 27, 28 - подшипники; 22, 26 - конические зубчатые колеса; 25 - крышка; А - отверстия для слива масла, поступающего из полостей подшипников компрессоров и турбин в полость промежуточного корпуса.

*Рис. 3.4 Промежуточный корпус*



5116

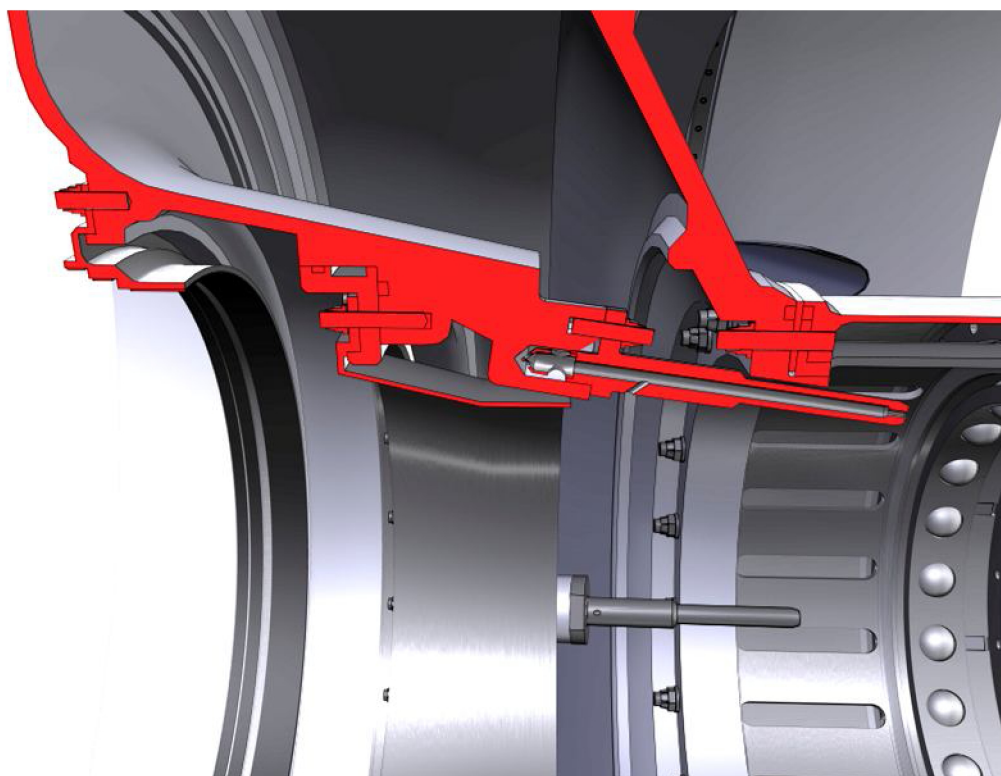
Рис. 3.5 Промежуточный корпус (сечения по стойкам)

### 3.3 Центральный привод

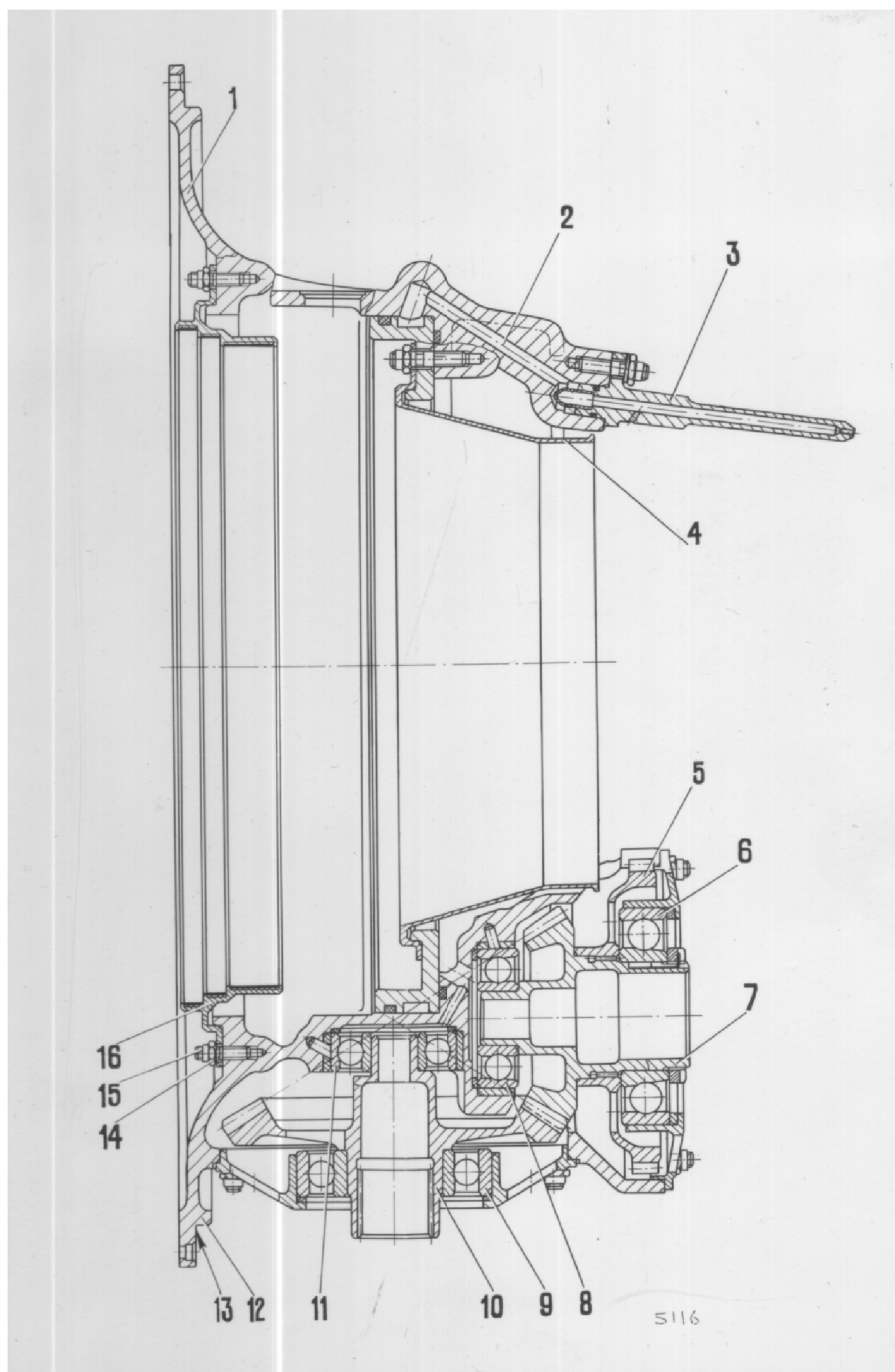
Центральный привод (рисунок 3.7) состоит из литого магниевого корпуса 1, лабиринтной втулки 16 с нанесенным на неё уплотняющим термостойким покрытием, закрепленной на корпусе I восемнадцатью шпильками 15 и гайками 14, трех форсунок 3 с фильтрами для подачи масла на подшипник ротора компрессора высокого давления, узла конической передачи центрального привода, состоящего из двух конических зубчатых колес 7 и 10, цилиндрического зубчатого колеса 5 и втулки 4 безрасходного уплотнения полости опоры КВД.

Опорами зубчатых колес служат подшипники качения 6, 8, 9, 11, расположенные по обе стороны зубчатых венцов. Смазка этих подшипников осуществляется через отверстие в корпусе центрального привода 1, сообщенное каналами с каналом 2, подводящим масло к форсункам 3.

Узел конической передачи расположен в специальных приливах выполненных за одно целое с корпусом центрального привода 1.



*Рис. 3.6 Центральный привод  
(разрез объемной модели)*



*Рис. 3.7 Центральный привод*

1 - корпус; 2 - канал подвода масла; 3 - масляная форсунка; 4 - втулка безрасходного уплотнения; 5,7,10 - зубчатые колеса; 6,8,9,11 - шарикоподшипники; 12 - центровочный пояс; 13-фланец; 14 - гайка; 15 - шпилька; 16 - лабиринтная втулка.

Корпус 1 крепится к промежуточному корпусу фланцем 13 и центрируется точно обработанным цилиндрическим пояском 12 на проточке промежуточного корпуса.

### 3.4 Колонка приводов

Колонка приводов (рисунок 3.4) состоит из литого магниевых корпуса 19, выполненного в виде цилиндра с фланцами 18, 24 и 29; узла конической передачи, состоящего из двух конических зубчатых колес 22 и 26, переходника 20, крышки 25 и элементов ручной прокрутки ротора КВД, которые устанавливаются в колонку при сборке узла промежуточного корпуса.

Корпус 19 фланцем 29 крепится к коробке приводов, а через специальные переходники стыкуется с промежуточным корпусом.

На корпусе 19 с наружной стороны двумя шпильками крепится дренажный бачок.

Опорами зубчатых колес служат подшипники качения 21 и 23, 27 и 28.

Коническое колесо 26 при помощи горизонтального вала соединено с блоком цилиндрических шестерен коробки приводов.

Смазка зубчатых колес 22, и 26 и их подшипников осуществляется за счет барботажа масла, сливаемого из центрального привода и полости 1 ребра - стойки, куда подведены суфлирующие трубопроводы полостей передних и задних опор двигателя.

### 3.5 Коробка приводов

Коробка приводов (рисунок 3.8) предназначена для размещения агрегатов и приводов к ним. Агрегаты размещены с наружной стороны коробки. В коробке смонтированы приводы к гидронасосу 7, топливному насосу 3, гидроприводу с генератором переменного тока 15, маслоагрегату 5, воздухоотделителю 6, центральному суфлеру 2, а также привод 8 от воздушного стартера к ротору компрессора высокого давления.

Кинематическая схема приводов представлена на рисунке 3.9.

Примечание: Далее по тексту цифрами обозначены шестерни приведенные

на рисунке 3.8, а в скобках - шестерни, приведенные на рисунке 3.9.

При запуске двигателя вращение от воздушного стартера СВ-36 передается ротору компрессора высокого давления через храповую муфту 9, три упора 12, оси 17, валик 8 (привод XIII) у шестерни 14 (17), 16 (16), 17 (15), 18 (14), коническую пару колонки приводов - шестерни (6) и (5), шестерни центрального привода (4) (3) и (2) и шестерню (1); посаженную на шлицы вала ротора компрессора высокого давления.

На неработающем двигателе храповая муфта 9 находится в зацеплении с тремя упорами 12, смонтированными на осях II.

В прорезь упоров 12 вставлена спиральная пружина 10, один конец которой находится в продольном пазу оси II, а другой упирается в тело упора, постоянно удерживая упор в зацеплении с зубьями храповой муфты 9.

Для того, чтобы при раскрутке двигателя упоры не выходили из зацепления при оборотах храповой муфты стартера больших, чем обороты валика 8, на зубьях храповика предусмотрен угол поднутрения  $15^\circ$  и такой же угол на упоре.

После выхода двигателя на обороты  $n_{\text{КВД}} = 40 + 44 \%$  стартер отключается электрической системой, а упоры II под действием центробежных сил выходят из зацепления.

К приводным агрегатам вращение передает ведущая шестерня (I), установленная на валу ротора компрессора высокого давления, шестерни (2), (3) и (4) центрального привода, шестерни (5) и (6) колонки приводов и блок ведущих шестерен (7) и (14) коробки приводов.

Гидропривод ГП-21 (привод XI) получает вращение от шестерни (14), блока шестерен (7) и (14), промежуточной шестерни (15) и шестерни (16), которая шлицами соединена с валиком гидропривода.

Маслоагрегат (привод XVII) получает вращение от шестерни (16), блока шестерен (17) и (24) и шестерни 13 (25), которая шлицами соединена с рессорой маслоагрегата.

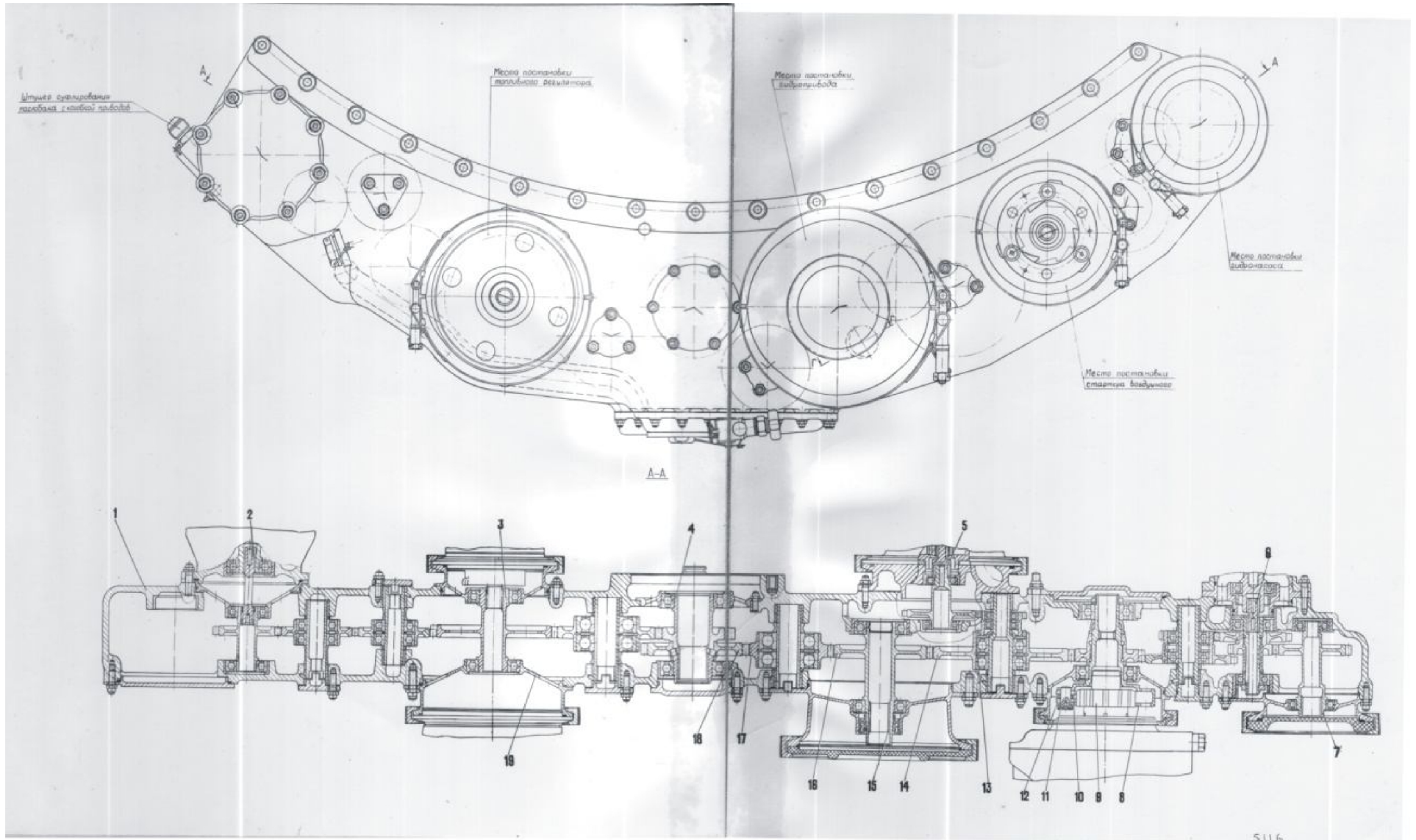


Рис. 3.8 Коробка приводов

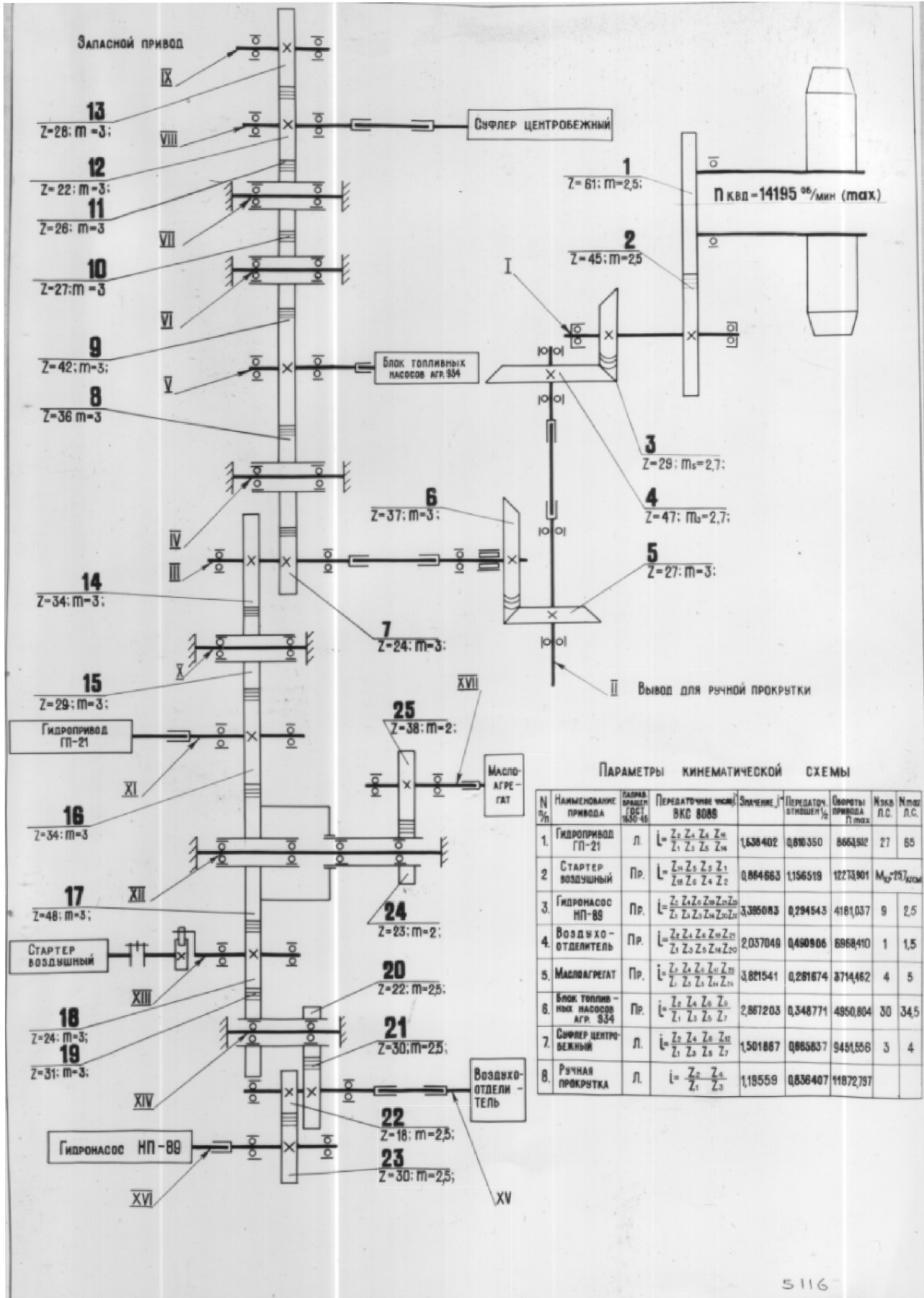
1 - корпус; 2 - привод центробежного суфлера полостей спор роторов двигателя;  
3 - привод топливного насоса-агрегата 934; 4 - ведущая шестерня коробки приводов;  
5 - привод маслоагрегата; 6 - рессора привода воздухоотделителя; 7 - привод гидронасоса; 8 - валик привода от воздушного стартера; 9 - храповая муфта;  
10 - спиральная пружина; II - ось; 12 - упор; 13 - ведущая шестерня маслоагрегата регулятора; 14, 16, 17, 18 - шестерни; 15 - ведущий валик гидропривода о генератором переменного тока; 19 - переходник для установки топливного регулятора.

Воздухоотделитель получает вращение от шестерни (17), шестерни (18), находящейся на валике привода воздушного стартера, блока промежуточных шестерен (19) и (20) и шестерни (21) через рессору 6.

Гидронасос получает вращение от шестерни (22) и шестерни (23), которая шлицами соединяется с валом гидронасоса.

Блок топливных насосов получает вращение от шестерни (7), блока шестерен (7) и (14), промежуточной шестерни (8) и шестерни ч (9), которая шлицами соединена с валиком блока насосов.

Центробежный суфлер получает вращение от шестерни (9), через промежуточные шестерни (10) и (II), шестерню (12) и рессору.



ПАРАМЕТРЫ КИНЕМАТИЧЕСКОЙ СХЕМЫ

N	НАИМЕНОВАНИЕ ПРИВОДА	САМЫЙ БЛИЗКИЙ К ВОД-46	ПЕРЕДАТОЧНЫЕ ЧИСЛА ВКВ 8088	Значение	ПЕРЕДАТОЧ. ОТНОШЕНИЕ	СКОРОСТЬ ПРИВОДА П, об/мин	Число Л.С.	Норм Л.С.
1.	Гидропривод ПП-21	Л	$i = \frac{Z_2 Z_3 Z_4 Z_5 Z_6}{Z_1 Z_2 Z_3 Z_4 Z_5}$	1,638402	0,810350	8663,912	27	65
2.	Стартер воздушный	Пр.	$i = \frac{Z_4 Z_5 Z_6 Z_7 Z_8}{Z_1 Z_2 Z_3 Z_4 Z_5}$	0,884663	1,156519	12273,901	$M_{кр} = 25 \text{ кгм}$	
3.	Гидронасос НП-89	Пр.	$i = \frac{Z_2 Z_3 Z_4 Z_5 Z_6 Z_7 Z_8}{Z_1 Z_2 Z_3 Z_4 Z_5 Z_6}$	3,385083	0,294543	4181,037	9	2,5
4.	Воздухоотделитель	Пр.	$i = \frac{Z_2 Z_3 Z_4 Z_5 Z_6 Z_7 Z_8 Z_9 Z_{10}}{Z_1 Z_2 Z_3 Z_4 Z_5 Z_6 Z_7 Z_8}$	2,037049	0,480906	6968,410	1	1,5
5.	Маслоагрегат	Пр.	$i = \frac{Z_2 Z_3 Z_4 Z_5 Z_6 Z_7 Z_8 Z_9 Z_{10}}{Z_1 Z_2 Z_3 Z_4 Z_5 Z_6 Z_7 Z_8}$	3,821541	0,261874	3714,462	4	5
6.	Блок топливных насосов АГР 934	Пр.	$i = \frac{Z_2 Z_3 Z_4 Z_5 Z_6 Z_7 Z_8 Z_9 Z_{10}}{Z_1 Z_2 Z_3 Z_4 Z_5 Z_6 Z_7 Z_8}$	2,867203	0,348771	4950,804	30	34,5
7.	Сыфлер центробежный	Л	$i = \frac{Z_2 Z_3 Z_4 Z_5 Z_6 Z_7 Z_8 Z_9 Z_{10}}{Z_1 Z_2 Z_3 Z_4 Z_5 Z_6 Z_7 Z_8}$	1,501867	0,663637	9451,556	3	4
8.	Ручная прокрутка	Л	$i = \frac{Z_2 Z_3 Z_4 Z_5 Z_6 Z_7 Z_8 Z_9 Z_{10}}{Z_1 Z_2 Z_3 Z_4 Z_5 Z_6 Z_7 Z_8}$	1,18559	0,836407	11872,737		

5116

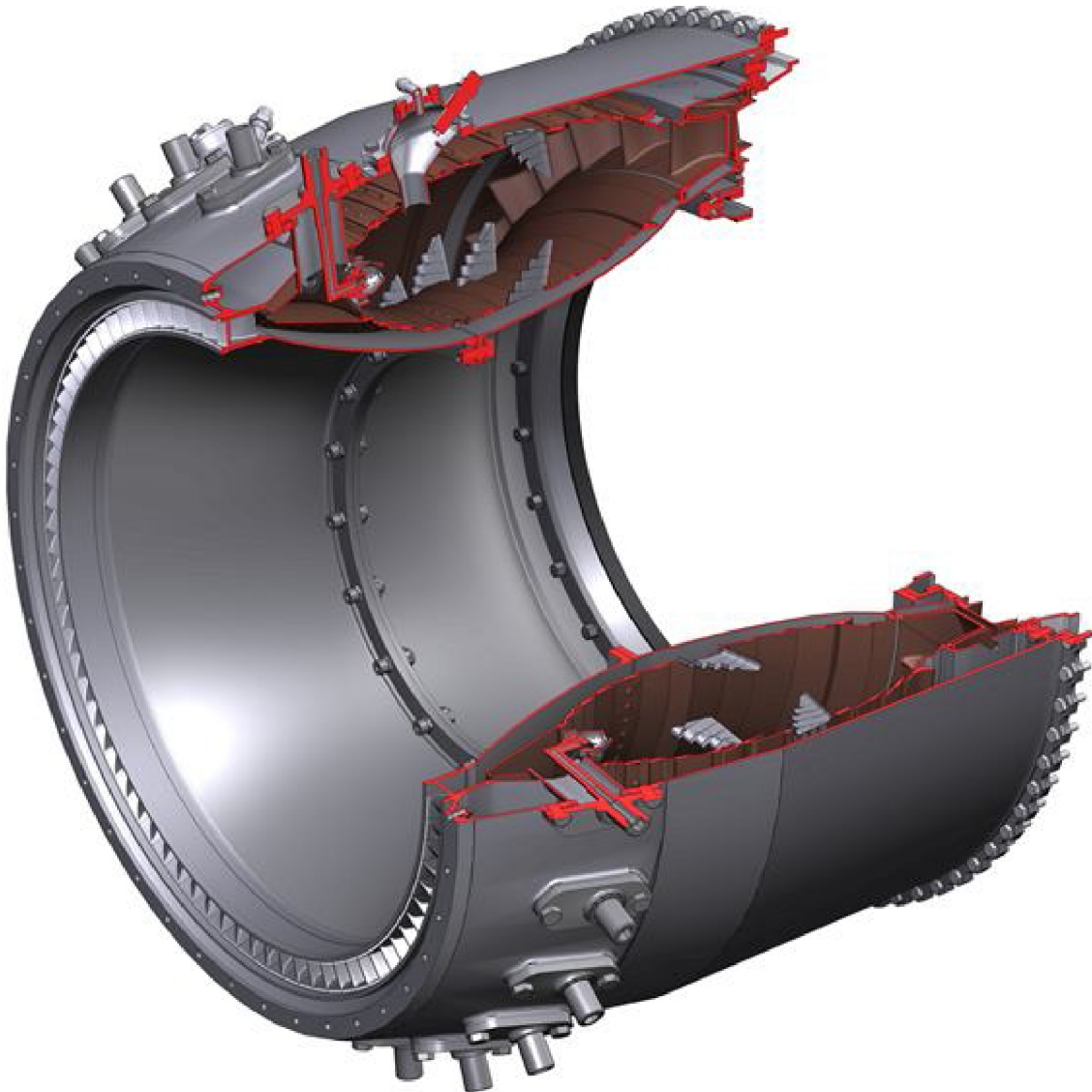
Рис. 3.9 Кинематическая схема приводов

## 4 КАМЕРА СГОРАНИЯ

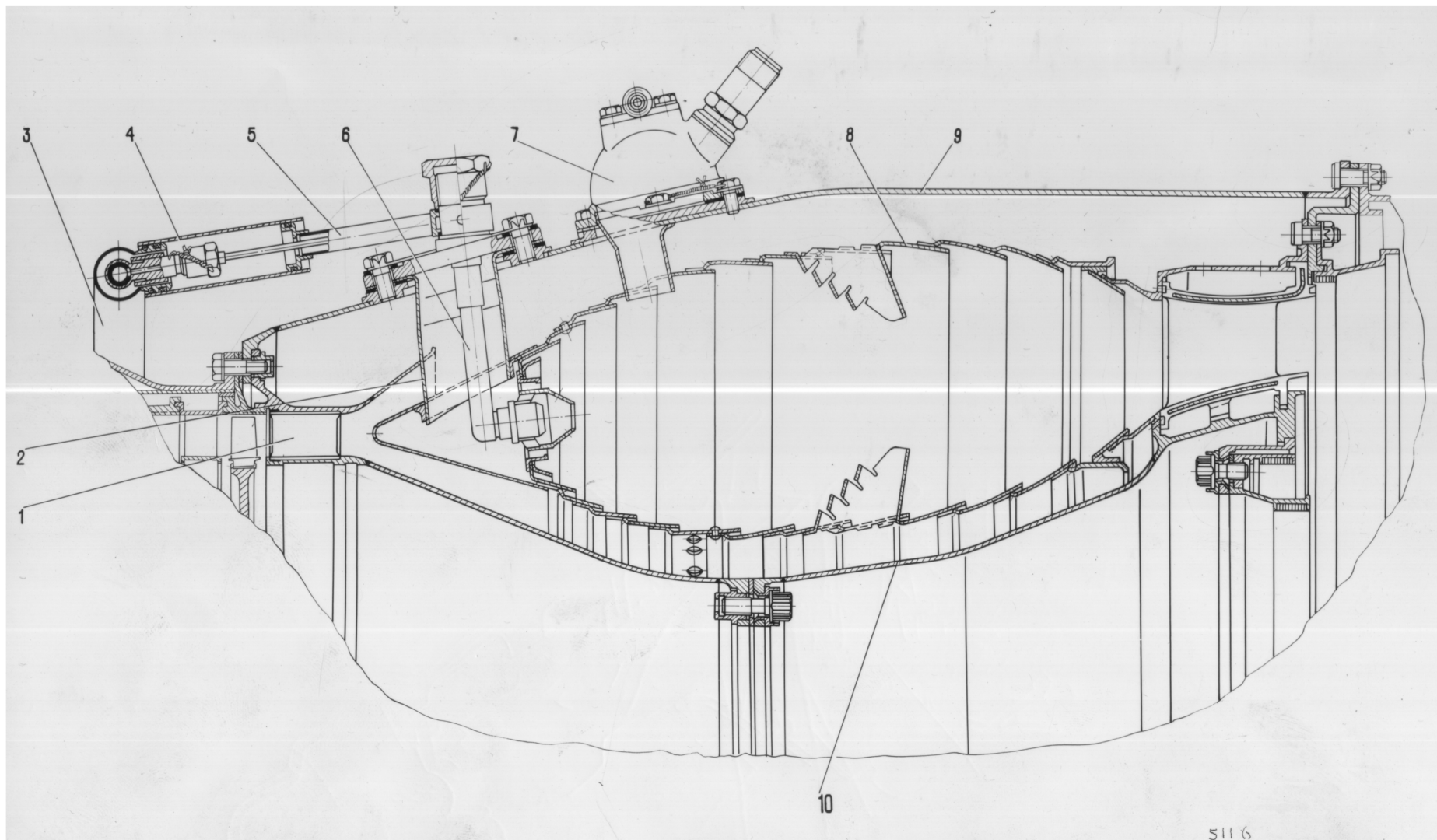
### 4.1 Общие сведения

Камера сгорания предназначена для организации процесса сгорания топлива и подвода газов к лопаткам соплового аппарата турбины высокого давления.

Камера сгорания (рисунок 4.2) - кольцевого типа, состоит из корпуса 9, жаровой трубы 8, диффузора 1 со спрямляющим аппаратом VII ступени компрессора высокого давления, топливного коллектора 3, форсунок 6, трубопроводов подвода топлива 5 и двух воспламенителей 7.



*Рис. 4.1 Камера сгорания (разрез объемной модели)*



*Рис. 4.2 Камера сгорания*

1 - диффузор со спрямляющим аппаратом последней ступени КВД; 2 - полая втулка; 3 - топливный коллектор; 4 - втулка;  
 5 - труба подвода топлива от коллектора к форсункам; 6 - форсунка; 7 - воспламенитель; 8 - жаровая труба; 9 - корпус;  
 10 - внутренний кожух соплового аппарата ТВД.

Воздушный тракт камеры представляет кольцевой канал, образованный оболочками Диффузора 1, корпуса 9 и внутреннего кожуха 10 соплового аппарата. В воздушном тракте камеры установлена жаровая труба 8.

Спереди, к камере крепится корпус компрессора высокого давления, сзади - сопловой аппарат и корпуса турбины высокого давления.

Передний участок воздушного тракта камеры сгорания выполнен в виде диффузорных каналов, образованных обтекателем жаровой трубы и оболочками диффузора. В диффузорных каналах происходит снижение скорости воздушного потока, поступающего из компрессора. Из диффузорных каналов воздух поступает в наружный и внутренний кольцевые каналы, из которых отверстиями и соплами в жаровой трубе распределяется в ее первичную и вторичную зоны. Кроме этого, значительная часть первичного воздуха из центральной части начального участка воздушного тракта через отверстия поступает в полость обтекателя жаровой трубы.

#### **4.2 Корпус камеры сгорания**

Корпус (рисунок 4.4) - сварной конструкции, выполнен из нержавеющей стали, является силовым узлом двигателя, воспринимающим газодинамические силы и нагрузки от жаровой трубы, передаваемые через полые тонкостенные втулки, окружающие форсунки.

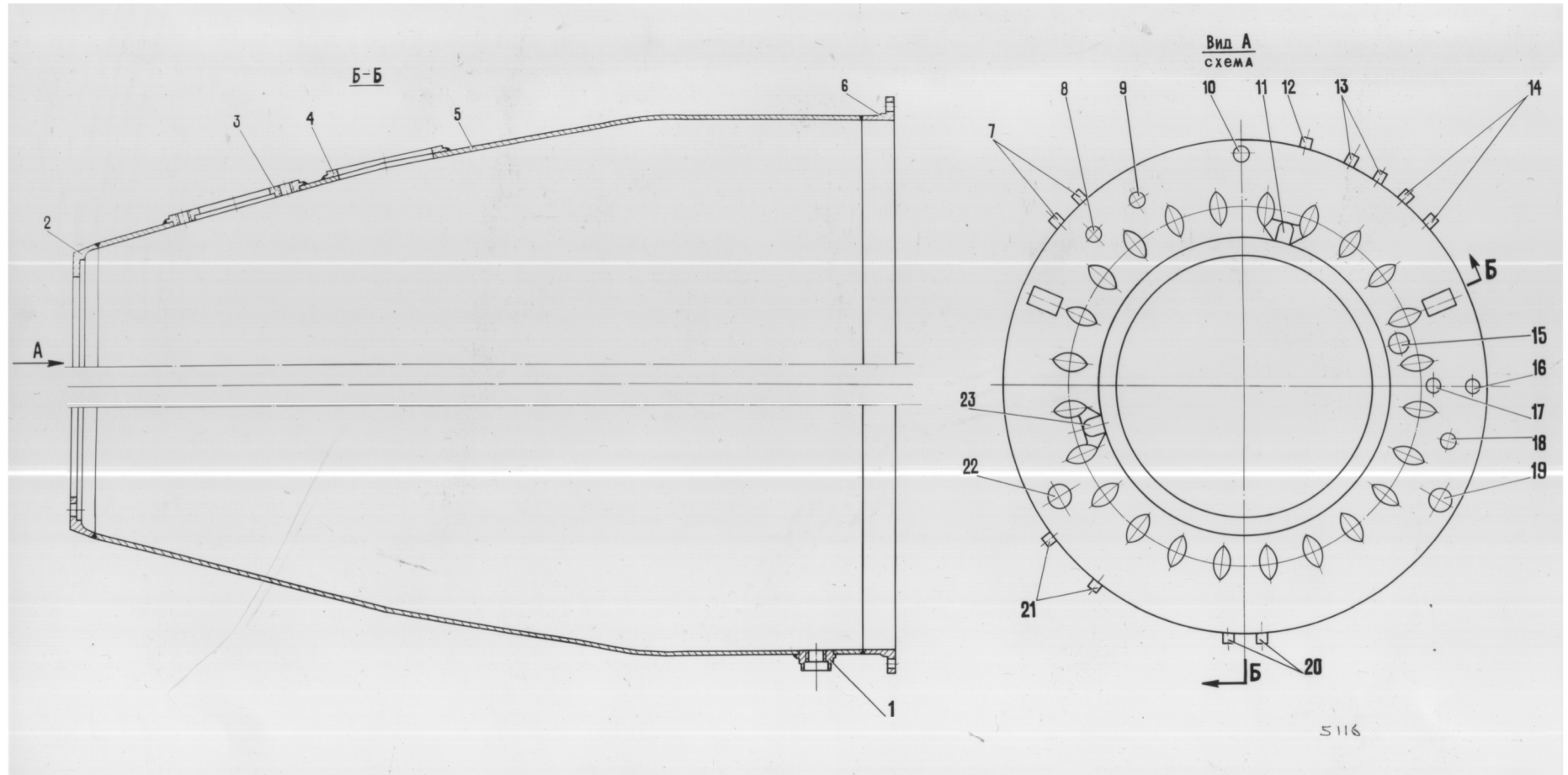
Корпус состоит из кожуха 5, переднего 2 и заднего 6 фланцев. Фланцем 2 корпус соединен с корпусом КВД и с диффузором со спрямляющим аппаратом VII ступени КВД. Задним фланцем 6 корпус соединен с корпусами турбины высокого давления.

К наружной поверхности кожуха 5 приварены 24 фланца 3 для крепления рабочих форсунок и полых тонкостенных втулок, два фланца 4 для крепления воспламенителей, фланец II отбора воздуха на нужды самолета, запасные фланец 23 и бобышки 9, 15 и 18 отбора воздуха, три бобышки 10, 16 и 17 отбора

воздуха для автомата управления клапанами перепуска воздуха, бобышка 8 отбора воздуха для топливного регулятора, бобышка 1 для дренажа топлива, четыре бобышки 21 для крепления клапана системы противообледенения, две бобышки 13, четыре бобышки 7 и 14 для крепления автоматов управления клапанами переписки воздуха, две запасные бобышки 12 для установки кронштейна крепления корпуса, к которому закреплен датчик перегрева, два окна 19 и 22 для осмотра жаровой трубы и бобышки 20 для крепления дренажного бачка.



*Рис. 4.3 Наружный корпус камеры сгорания  
(разрез объемной модели)*



*Рис. 4.4 Наружный корпус камеры сгорания*

1 - бобышка для дренажа топлива; 2 - передний фланец; 3 - фланец крепления форсунки; 4 - фланец крепления воспламенителя; 5 - кожух ; 6 - задний фланец; 7, 14 - бобышки для крепления автоматов управления клапанами перепуска воздуха из компрессора; 8 - бобышка отбора воздуха для топливного регулятора; 9, 15, 18 - запасные бобышки отбора воздуха; 10, 16, 17 - бобышки отбора воздуха для автомата управления клапанами перепуска воздуха; 11 - фланец отбора воздуха на нужды самолета; 12 - запасные бобышки; 13 - бобышки для установки кронштейна крепления корпуса, к которому закреплен датчик перегрева; 19, 22 - окна для осмотра жаровой трубы; 20 - бобышки для крепления дренажного бачка; 21 - бобышки для крепления клапана системы противообледенения; 23- запасной фланец.

### 4.3 Диффузор со спрямляющим аппаратом последней ступени КВД

Диффузор камеры сгорания (рисунок 4.6) выполнен совместно со спрямляющим аппаратом последней ступени КВД, представляет паяно-сварную конструкцию и предназначен для выравнивания потока воздуха до осевого направления и снижения его скорости.



*Рис. 4.5 Диффузор со спрямляющим аппаратом ступени КВД  
(разрез объемной модели)*

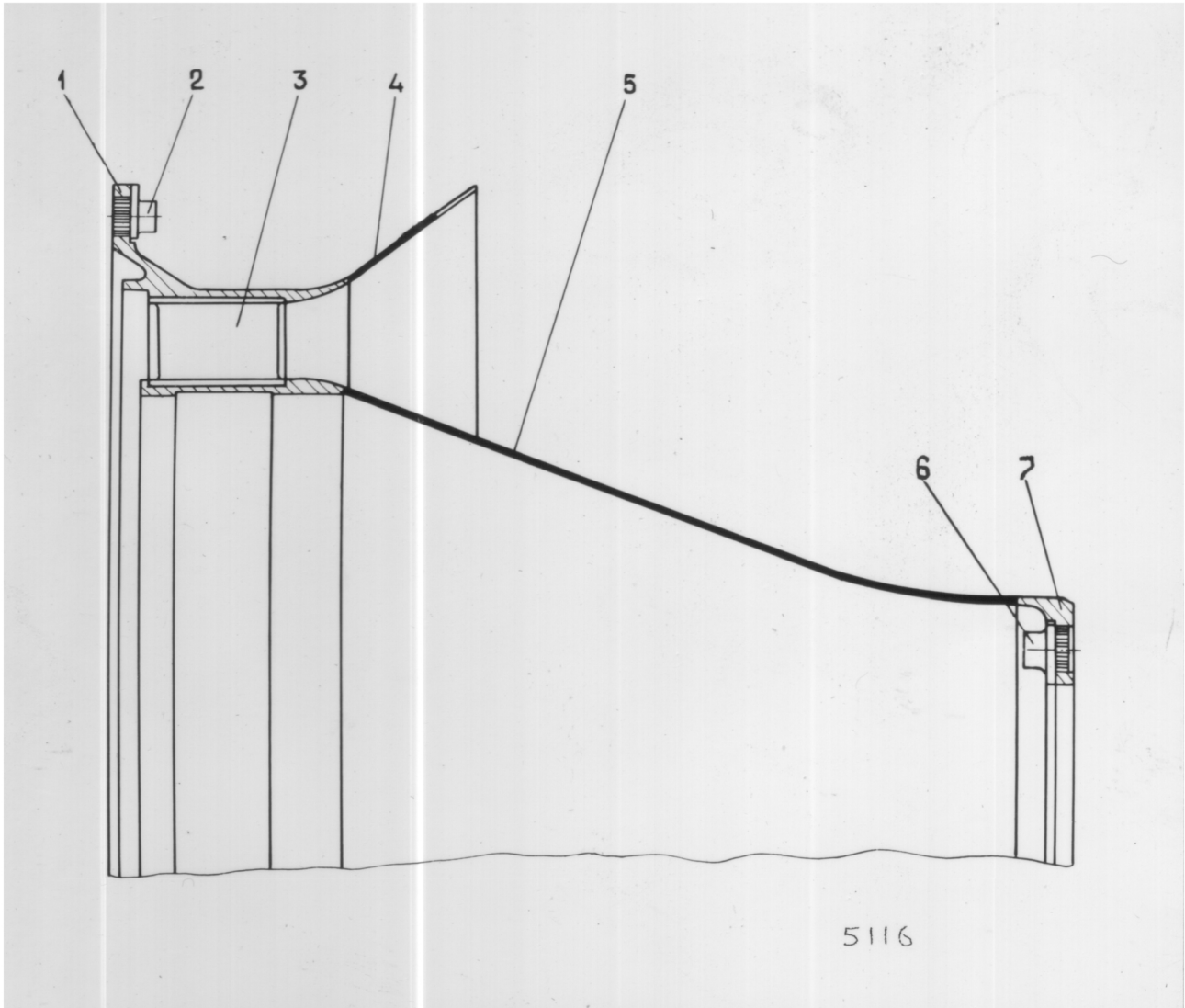


Рис. 4.6 Диффузор со спрямляющим аппаратом ступени КВД

1 - передний фланец; 2 и 6 гайки; 3 - лопатки спрямляющего аппарата последней ступени КВД; 4 - наружная оболочка; 5 - внутренняя оболочка; 7 - задний фланец.

Диффузор - силовой узел двигателя, воспринимающий газодинамические силы и передающий их на корпус камеры сгорания, состоит из наружной 4 и внутренней 5 оболочек, соединенных между собой лопатками 3 спрямляющего аппарата, переднего 1 и заднего 7 фланцев.

Передним фланцем 1 диффузор закреплен в корпусе камеры сгорания, к заднему фланцу 7 крепится внутренний кожух соплового аппарата турбины высокого давления. Во фланцы 1 и 8 запрессованы гайки 2 и 6.

#### 4.4 Жаровая труба

Жаровая труба (рисунок 4.8) - кольцевого типа, выполнена из жаропрочного сплава, спереди подвешена в корпусе камеры сгорания на двадцати четырех полых втулках 2 (рисунок 4.2), окружающих топливные форсунки 6, и сзади опирается посадочными кольцами на кольца соплового аппарата ТВД, что позволяет ей при нагреве свободно перемещаться в радиальном и осевом направлениях. Кольцевая полость жаровой трубы создана наружным 14 (рисунок 4.8) и внутренним 2 кожухами, приваренными к лобовому кольцу 6 и состоящими из отдельных сваренных между собой колец.

Спереди к лобовому кольцу приварен обтекатель 7, на котором имеется двадцать четыре посадочных гнезда 9 для прохода форсунок и для установки окружающих их полых втулок. Для забора части, первичного воздуха в обтекателе выполнены отверстия 8.

Для обеспечения надежной зоны горения путем создания стабильной зоны обратных токов на лобовом кольце установлены подвижно в радиальном направлении и закреплены пластинами 16 двухъярусные завихрители 10, во внутренний втулку которых установлены рабочие форсунки. Внутренний ярус завихрителей 10 имеет удлиненный колпачок, выступающий в жаровую трубу и предназначенный для создания полости предварительной подготовки топливозвоздушной смеси.

На наружном и внутреннем кожухах выполнены по два ряда отверстий 12 и 4 для подвода воздуха в зону Горения, а также установлены сопла 13 для подвода воздуха, смешивающегося с продуктами сгорания и снижающего температуру последних до величины, определяемой надежностью работы лопаток турбины.

Два отверстия 11 предназначены для установки воспламенителей.

В плоскости расположения отверстий 11 выполнены два дополнительных отверстия, закрытых заглушками и предназначенных для осмотра внутренних

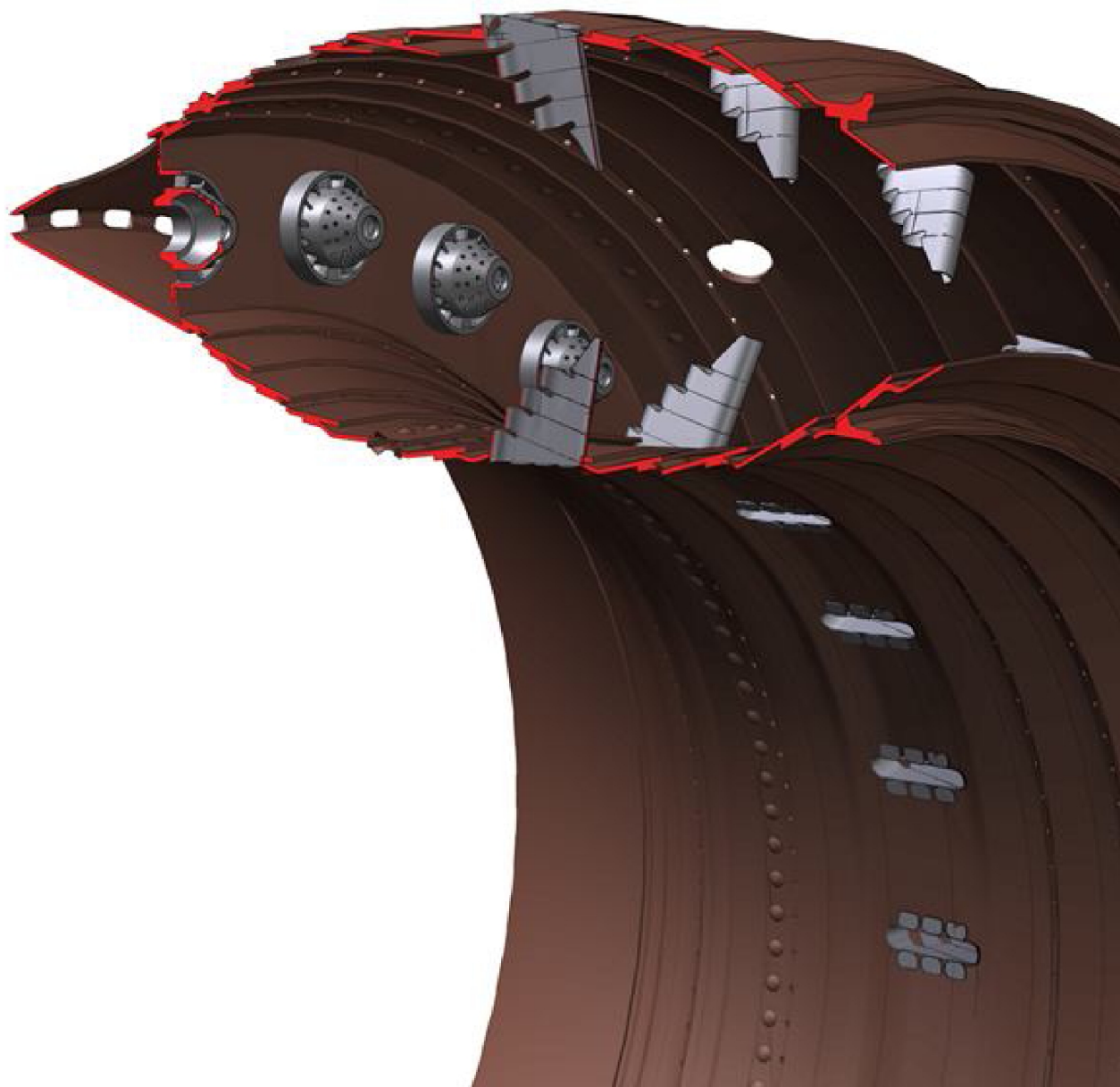
поверхностей жаровой трубы оптическими приборами.

На кольцах кожухов 2 и 14 в местах их соединений для уменьшения температурных напряжений выполнены продольные прорезы 5. Такие же продольные прорезы выполнены в местах соединений посадочных колец 15 и 1 с кожухами 14 и 2. Приварка каждого следующего кольца к предыдущему осуществлена роликовой электросваркой.

На наружном и внутреннем кожухах предусмотрены по одному заклепочно-му шву 17, что позволяет при ремонте иметь доступ ко всем деталям жаровой трубы.

Лобовое кольцо, кольца кожухов и посадочные кольца принудительно охлаждаются воздухом. Для этого в местах их соединений выполнены кольцевые щели. Воздух через отверстия в гофрах проходит в кольцевые щели и, растекаясь по периметру, направляется вдоль стенок, защищая их от смывания горячими газами. Расход охлаждающего воздуха определяется размерами отверстий В, направление - козырьком Б, скорость - высотой Н щелей. Скорость воздуха на выходе из щелей подбирается примерно равной скорости газов в данном сечении жаровой трубы, что обеспечивает наибольший путь воздуха вдоль стенок.

Для охлаждения передних кромок сопел предусмотрены щели 3.



*Рис. 4.7 Жаровая труба  
(разрез объемной модели)*

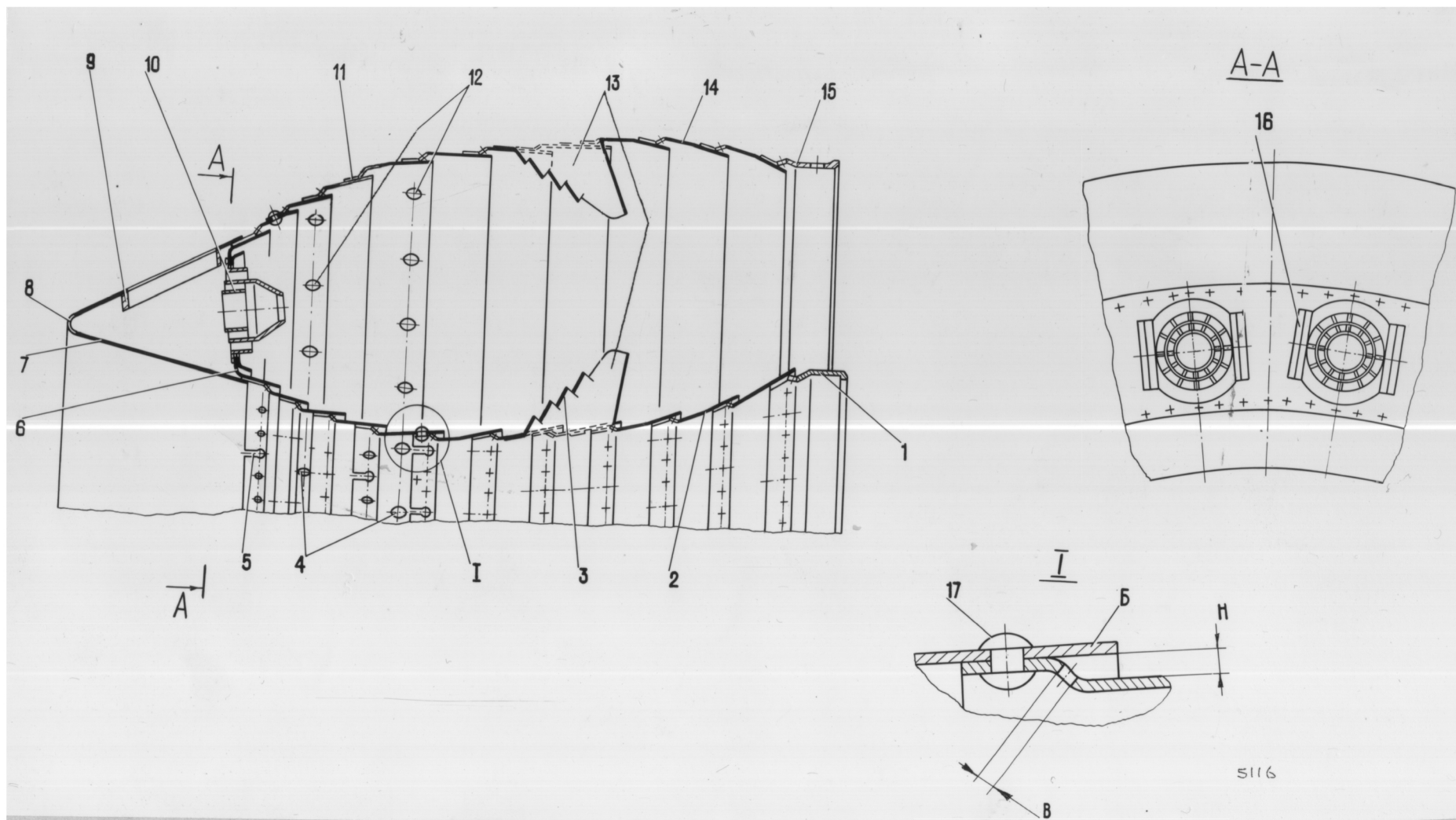


Рис. 4.8 Жаровая труба

1 и 15- посадочные кольца; 2-внутренний кожух; 3-щели для охлаждающего воздуха; 4 и 12-отверстия для подвода воздуха в зону горения; 5- компенсационные прорези; 6-лобовое кольцо; 7-обтекатель; 8-отверстие для подвода первичного воздуха; 9-гнездо крепления жаровой трубы; 10-завихритель; 11- отверстие для установки воспламенителя; 13- сопла; 14- наружный кожух; 16-пластина; 17-заклепка; Б - козырек; В - отверстие для охлаждающего воздуха; Н-высота щели.

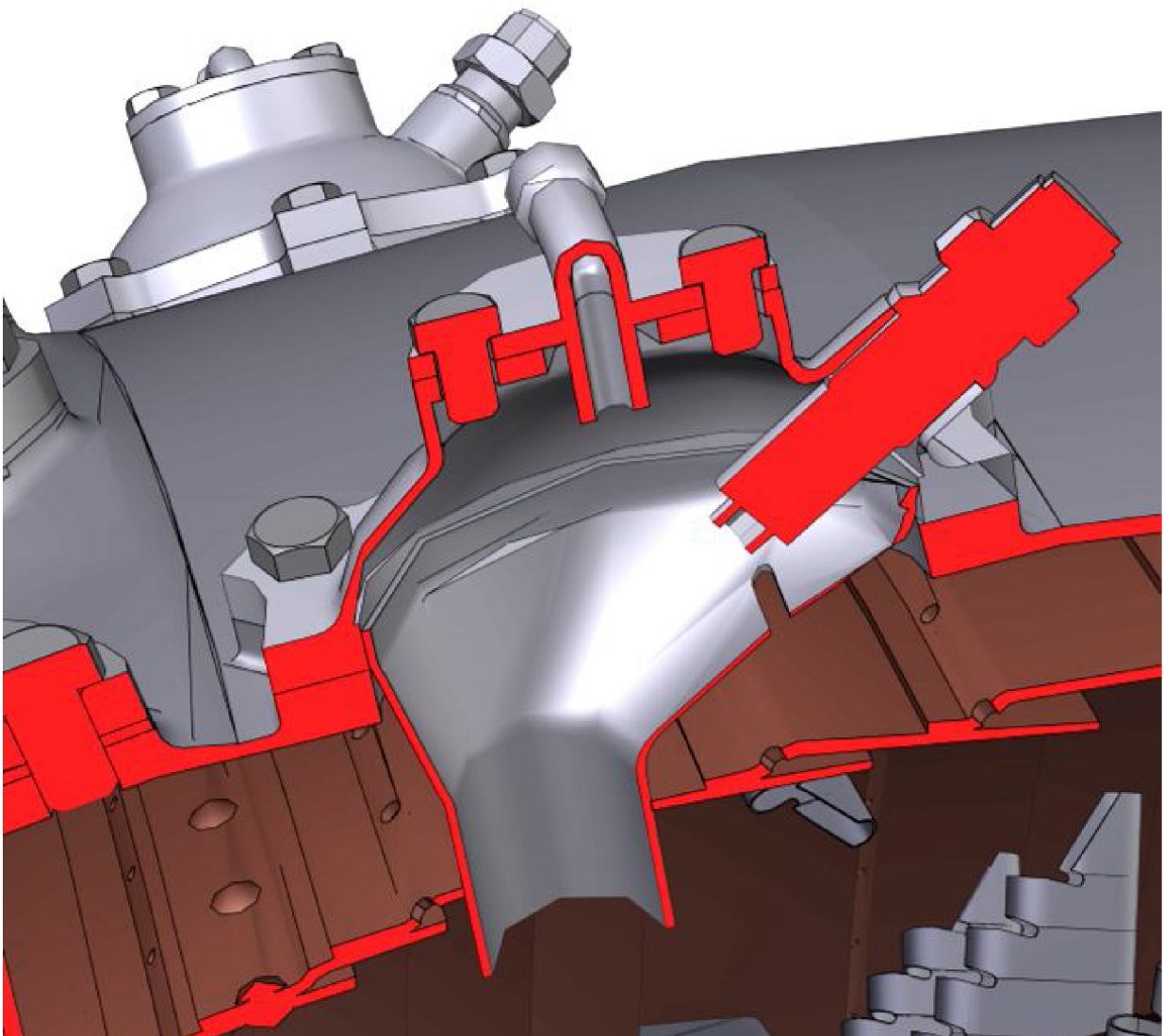
## 4.5 Воспламенитель

Камера сгорания снабжена двумя воспламенителями, предназначенными для воспламенения топлива в жаровой трубе при запуске двигателя.

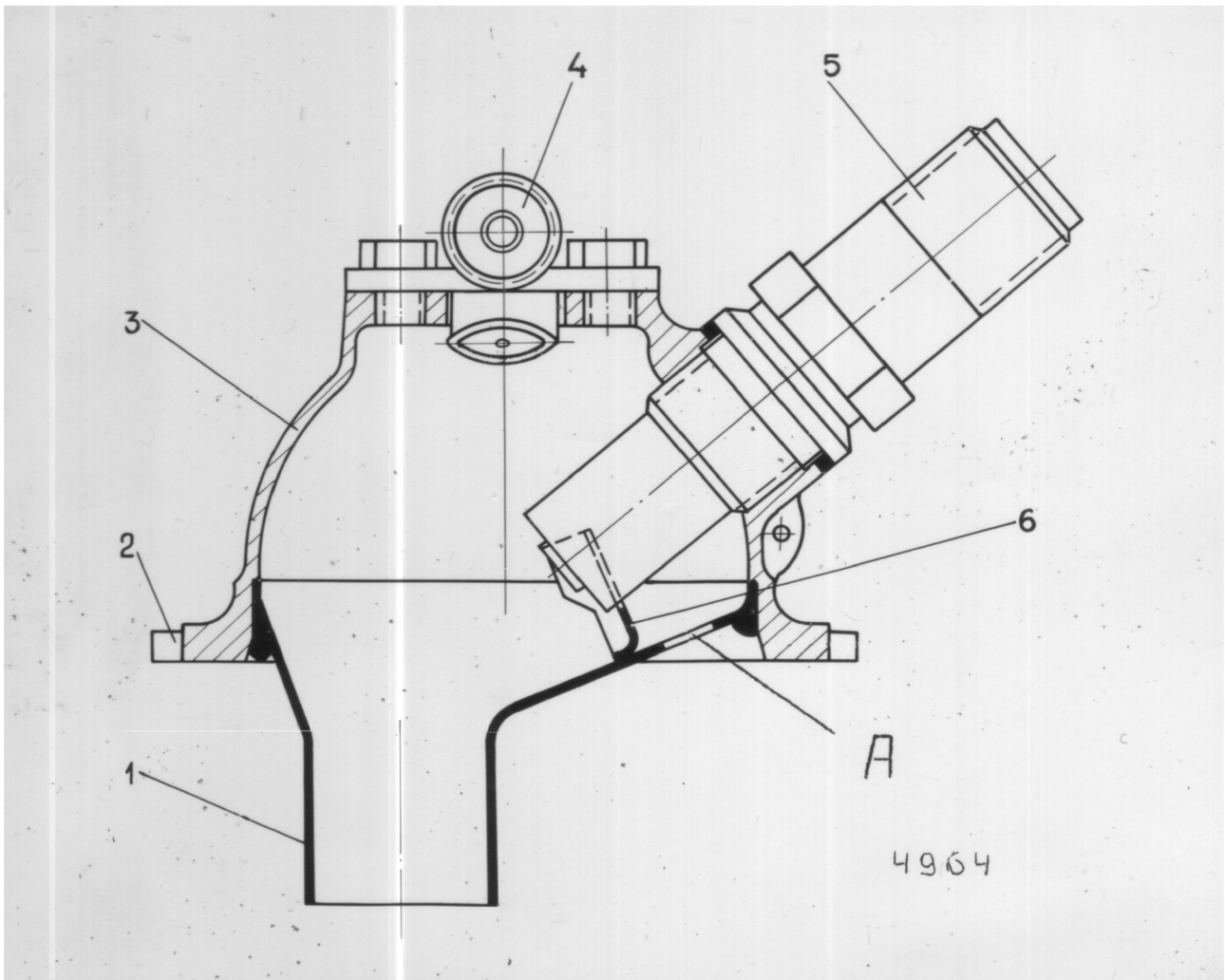
Воспламенитель (рисунок 4.10) состоит из центробежной пусковой форсунки 4, корпуса 3, юбки 1, приваренной к корпусу, и свечи 5.

Для лучшего смесеобразования к юбке приварен дефлектор 6, а для забора закомпрессорного воздуха в ней выполнен паз А.

Фланцем 2 воспламенитель крепится к корпусу камеры сгорания.



*Рис. 4.9 Воспламенитель (разрез объемной модели)*



*Рис. 4.10 Воспламенитель*

1- юбка; 2 - фланец крепления к корпусу камеры сгорания; 3 - корпус; 4 - пусковая форсунка;  
5 - свеча ; 6 – дефлектор А - паз для забора воздуха.

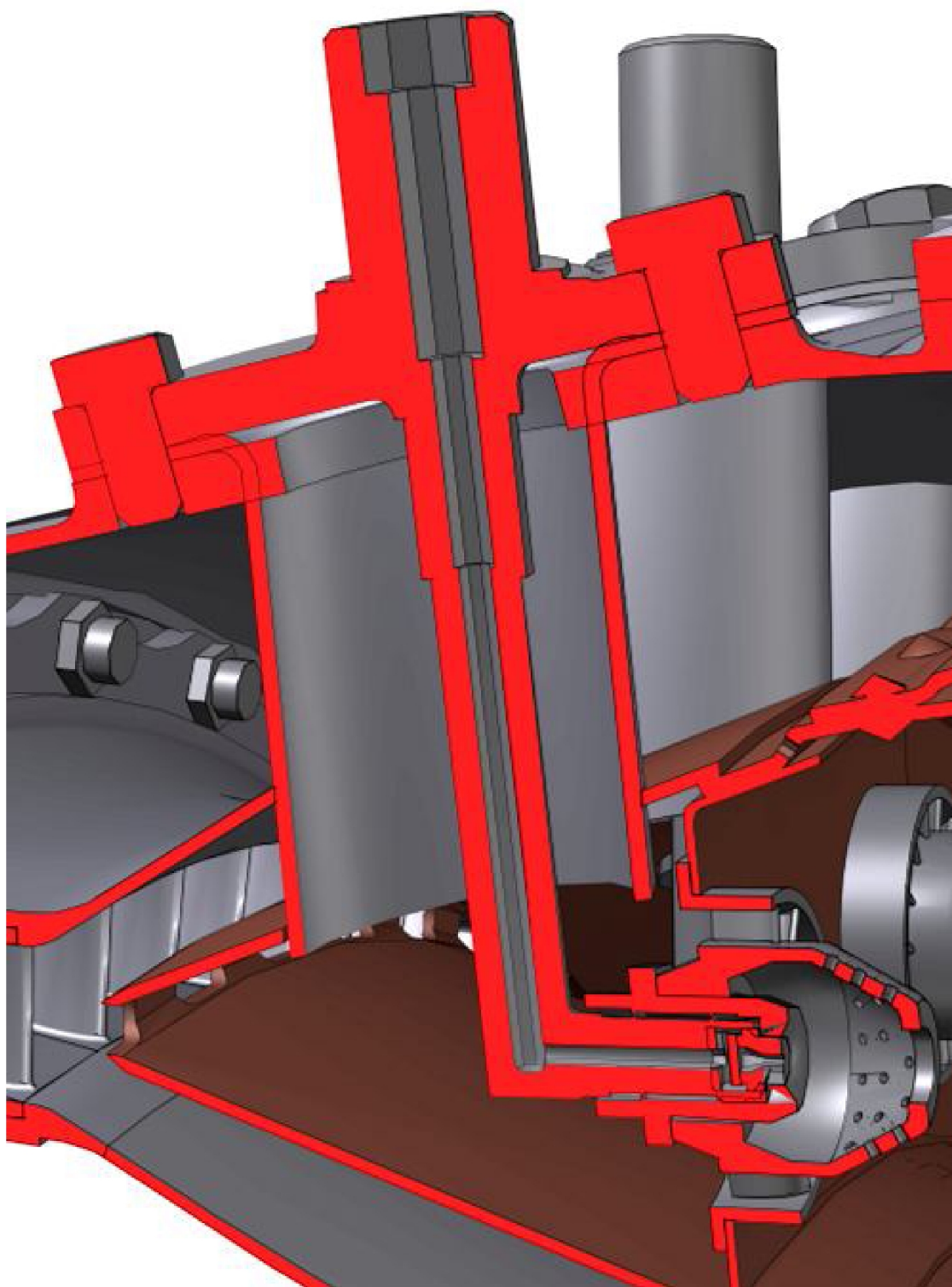
#### 4.6 Форсунка

Форсунка - одноконтурная, центробежного типа, предназначена для впрыска топлива в жаровую трубу.

Каждая форсунка (рисунок 4.12) совместно с окружающей ее полый втулкой 2 закреплена на корпусе камеры сгорания фланцем 3 корпуса 1 и установлена во внутреннюю втулку завихрителя жаровой трубы.

В корпус форсунки с одного конца вставлен резьбовой фильтр 4, зафиксированный стопорным кольцом 5, а с другого конца установлены перепускная

шайба 11 и распылитель 10, зажатые резьбовым кожухом 7 и уплотненные никелевым кольцом 8 и шайбой 9. На корпусе форсунки имеется штуцер 6 для подсоединения трубки подвода топлива коллектора.



*Рис. 4.11 Рабочая форсунка  
(разрез объемной модели)*

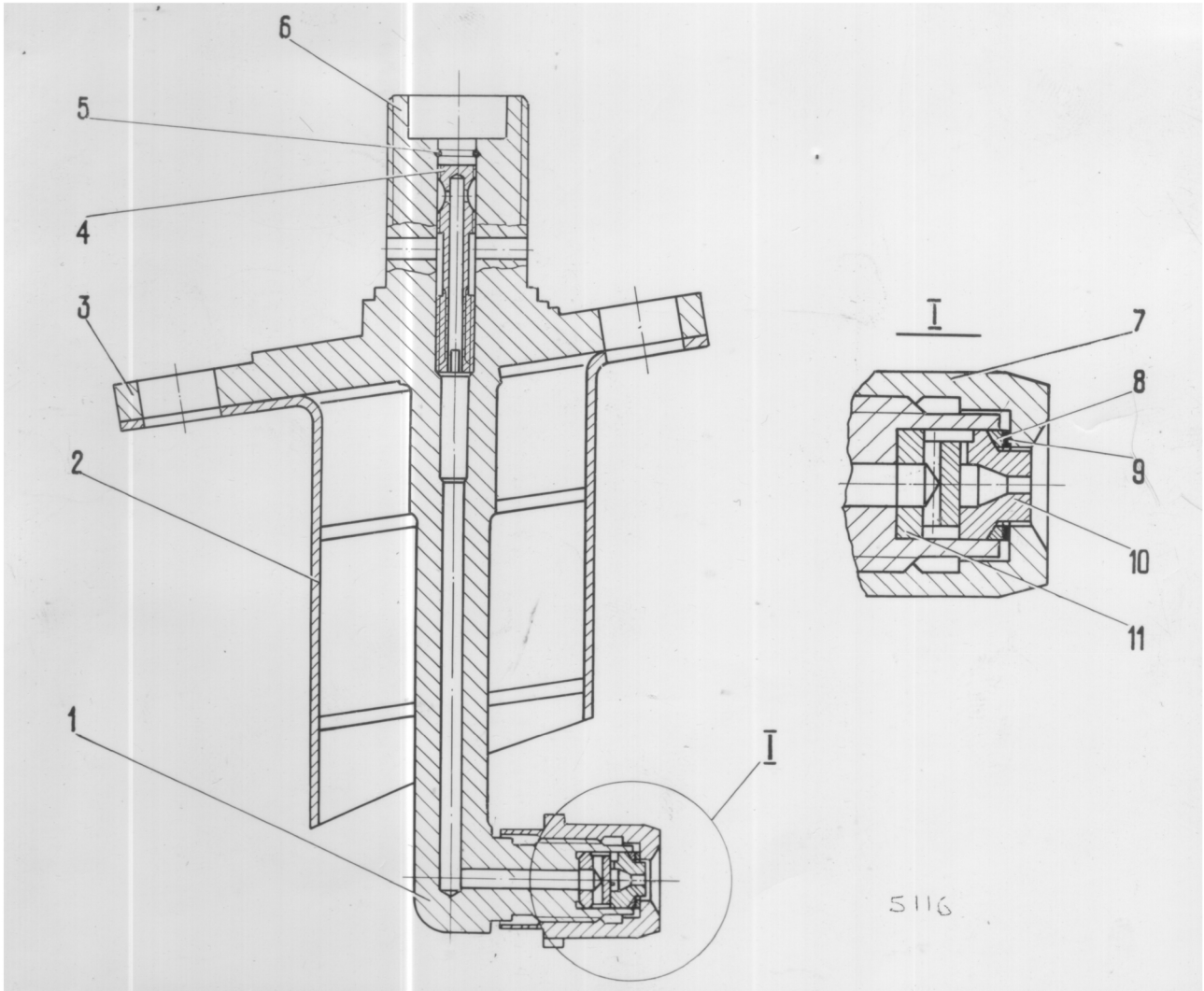


Рис. 4.12 Рабочая форсунка

1 - корпус; 2 - полая втулка; 3 - фланец; 4 - резьбовой фильтр; 5 - стопорное кольцо;  
 6 - штуцер; 7 - резьбовой кожух; 8 - никелевое кольцо; 9 - шайба; 10 - распылитель;  
 11 - перепускная шайба.

#### 4.7 Топливоподводящий коллектор

Коллектор (рисунок 4.13) предназначен для подвода и распределения топлива между форсунками, состоит из двух полуколец 1 и 2 .

Полукольца состоят из топливоподводящих труб 5 и 9 и защитных кожухов 6 и 10, удерживающихся концентрично трубам 5 и 9 фторопластовыми кольцами 4. К топливоподводящим трубам 5 и 9 припаяны двадцать четыре штуцера 3 для подсоединения труб подвода топлива к форсункам и один штуцер 14 для

подвода топлива из топливной системы двигателя.

Трубы 5 и 9 соединены между собой посредством накидных гаек 7, а защитные кожухи - разрезными втулками 11 и 12, удерживаемыми хомутами 8. Соединение защитных кожухов уплотнено резиновым кольцом 13.

Полость Г, образованная между трубами 5 и 9 подвода топлива и защитными кожухами 6 и 10 соединена с дренажной системой двигателя.

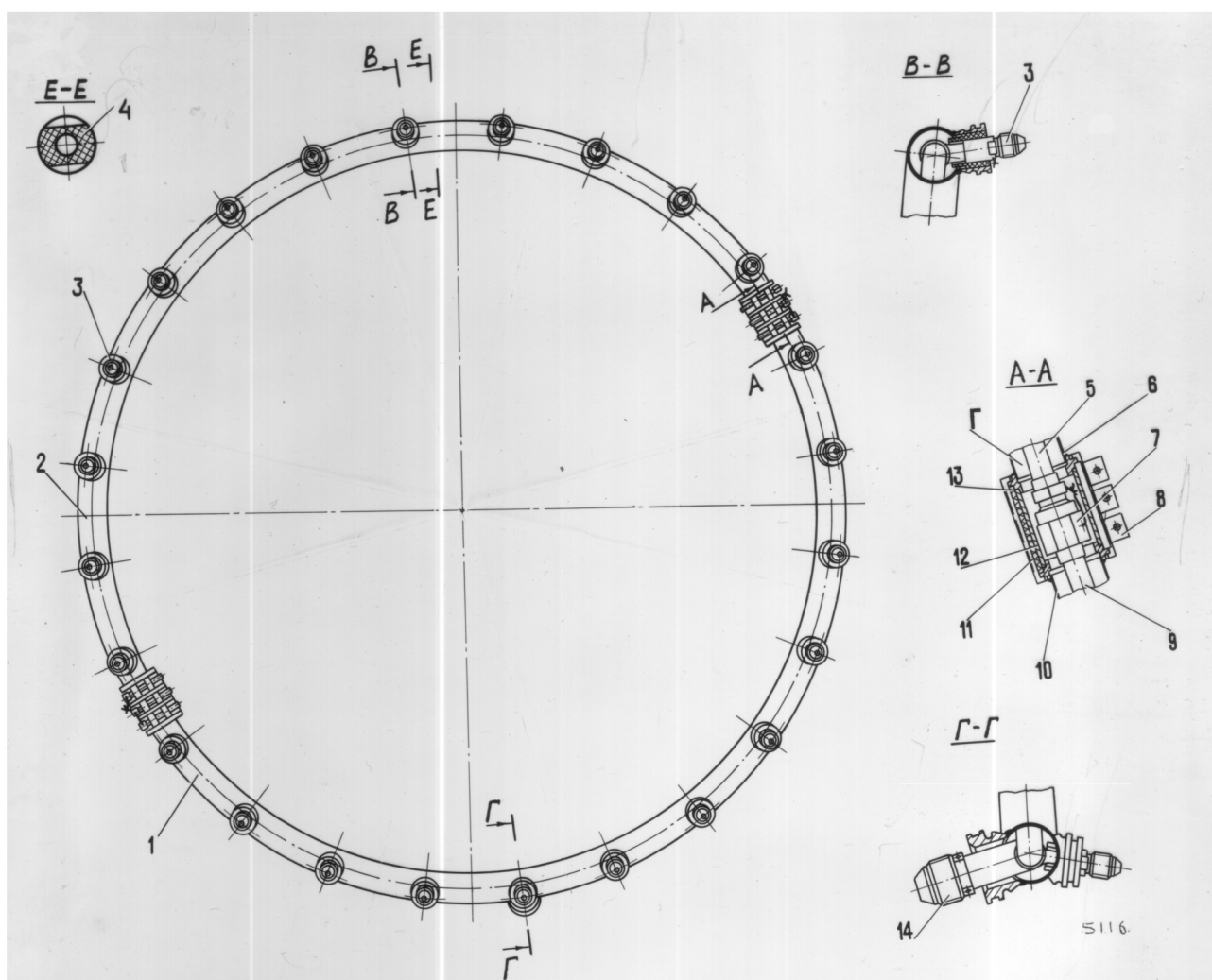


Рис. 4.13 Топливоподводящий коллектор

- 1, 2 - полукольце топливного коллектора; 3 - штуцер для подсоединения трубы подвода топлива к форсунке; 4- фторопластовое кольцо; 5, 9 - топливopодводящие трубы; 6, 10 - защитные кожухи; 7 - накидная гайка; 8 - хомут; 11, 12 - разрезные втулки; 13 - резиновое кольцо; 14 - штуцер подвода топлива из топливной системы.

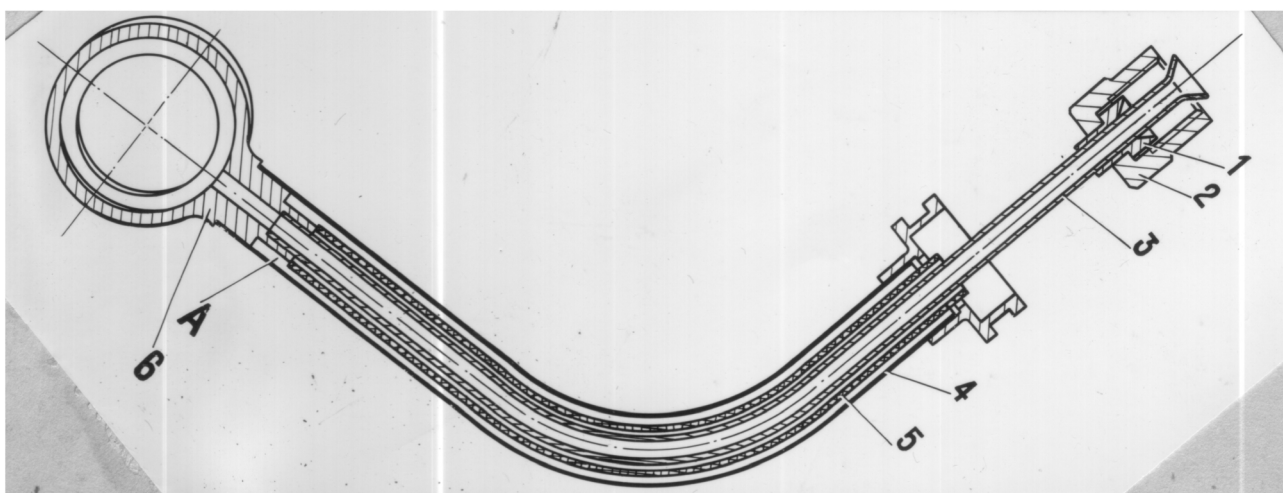
#### 4.8 Трубопровод подвода топлива от коллектора к форсункам

Каждый трубопровод (рисунок 4.14) подвода топлива от коллектора к форсункам состоит из трубы 3, защитного кожуха 4 и фторопластовой трубы 5.

К трубе 3 припаян поворотный ниппель 6 для соединения со штуцером топливной форсунки.

Посредством ниппеля 1 и накидной гайки 2 труба 3 соединена с топливным коллектором. Защитный кожух 4 посредством втулки 4 (рисунок 4.2) соединен с защитным кожухом коллектора.

Полость А, образованная между трубой 3 и кожухом 4, сообщена через полость Г (рисунок 4.13) с дренажной системой двигателя.



*Рис. 4.14 Труба подвода топлива от коллектора к форсункам*

1 - ниппель; 2 - накидная гайка; 3 - труба; 4 - защитный кожух; 5 - фторопластовая труба;  
6 - поворотный ниппель; А - полость между трубой и защитным кожухом.

## **5 ТУРБИНА**

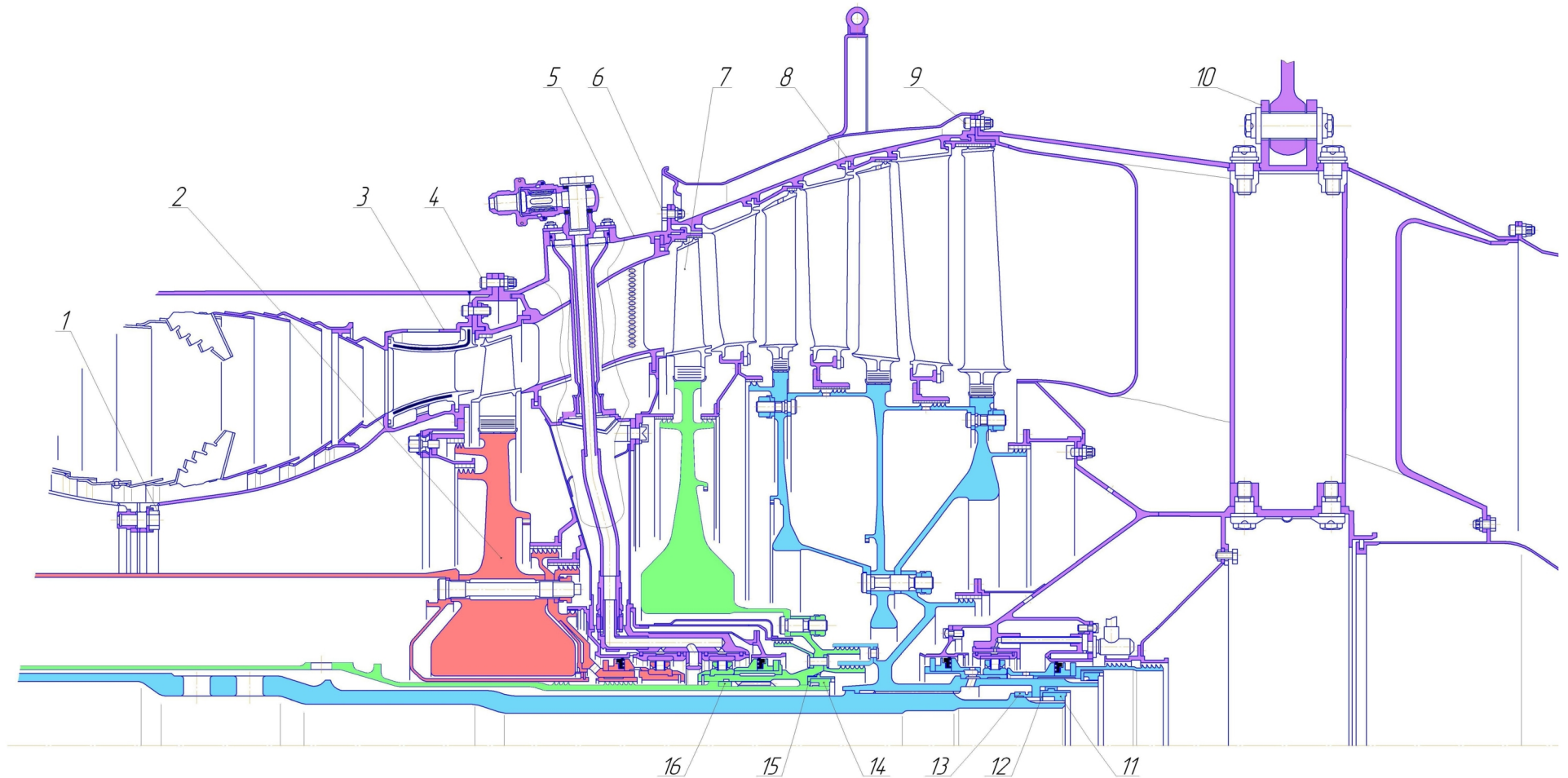
### **5.1 Общие сведения**

Турбина двигателя (рисунок 5.1), предназначенная для преобразования энергии газового потока в механическую и передачи её на валы компрессоров и привод агрегатов, состоит из турбины высокого давления (ТВД), турбины низкого давления (ТНД) и турбины вентилятора (ТВ).

Турбина высокого давления - осевая, одноступенчатая, преобразует теплоперепад в механическую работу, идущую на привод компрессора высокого давления и агрегатов.

Турбина низкого давления - осевая, одноступенчатая, преобразует теплоперепад в механическую работу, идущую на привод компрессора низкого давления.

Турбина вентилятора - осевая, трехступенчатая, преобразует теплоперепад в механическую работу, идущую на привод вентилятора.



*Рис. 5.1 Турбина*

1,4,6,9 - болты; 2 - ротор ТВД; 3 - сопловой аппарат ТВД; 5 - корпус опор турбин; 7 - ротор ТНД;  
 8 - турбина вентилятора; 10 - задняя опора со стекетелем и насадком; 11 - гайка (вала ТВ);  
 12,15 - шайбы; 13,16 –регулирующие кольца; 14 - гайка (вала МД).

## 5.2 Турбина высокого давления

Турбина высокого давления включает статор и ротор.

Статор (рисунок 5.2) состоит из соплового аппарата, включающего наружный корпус 1, внутренний корпус 11, семь секторов 6 и одну лопатку соплового аппарата между июли, задний корпус 4, десять проставок 1 ступени 5, колец 7 и 8 с сотовыми элементами лабиринтного уплотнения.

Сопловой аппарат 3 (рисунок 5.1) крепится тридцатью болтами 1 к конической балке камеры сгорания, восьмьюдесятью болтами 4 к корпусу камеры сгорания и корпусу опор турбин 5 и служит для подвода газа на рабочие лопатки ТВД, центрирования наружного и внутреннего колец жаровой части камеры сгорания и подвода воздуха на охлаждение рабочих лопаток ТВД.

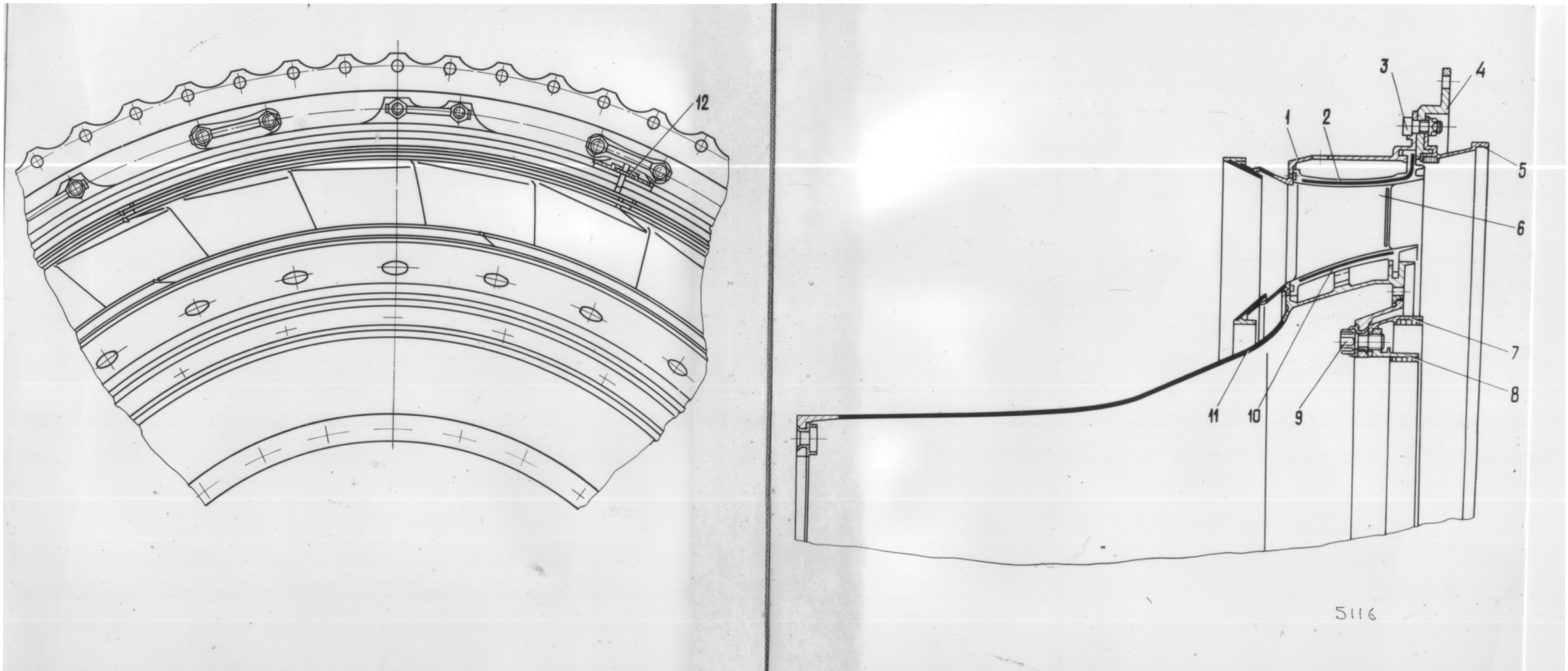
Между наружным 1 (рисунок 5.2) и внутренним 11 корпусами размещены семь секторов, состоящих из четырех лопаток каждый, и одна лопатка, т.е. всего по окружности расположено 29 лопаток.

Внутри каждой лопатки (рисунок 5.4) завальцован дефлектор 2 для поджатия охлаждающего воздуха к стенкам лопатки. Буртик 3, расположенный на нижней полке сектора, служит для осевой фиксации, а выступ 4 - для фиксации сектора в окружном направлении.

Для обеспечения герметичности стыков между секторами 6 (рисунок 5.2) лопаток соплового аппарата установлены уплотняющие пластины: наружная 2 и внутренняя 10.

К наружному корпусу 1 крепятся сорока болтами 3 задний корпус 4 и десять проставок 1 ступени 5 с сотовыми элементами лабиринтного уплотнения.

Для обеспечения герметичности стыков между проставками установлены десять уплотняющих пластин 12.

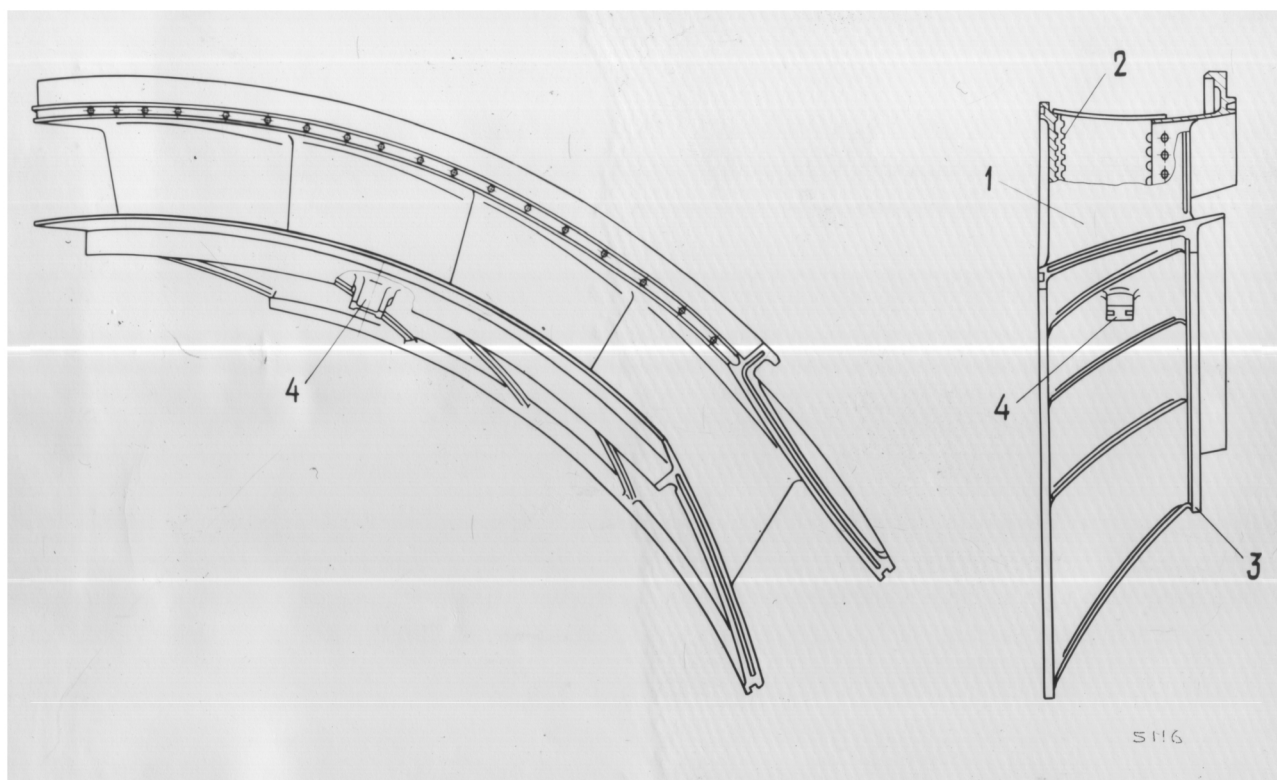


*Рис. 5.2 Сопловой аппарат ТВД*

1 - наружный корпус; 2 - наружная уплотняющая пластина; 3, 9 - болты; 4 - задний корпус; 5 - проставки I ступени;  
 6 - сектор лопаток, соплового аппарата; 7 - наружное кольцо; 8 - внутреннее кольцо; 10 - внутренняя уплотняющая пластина;  
 11 - внутренний корпус; 12 - уплотнительная пластина.



*Рис. 5.3 Сектор лопаток соплового аппарата ТВД  
(объемная модель)*



*Рис. 5.4 Сектор лопаток соплового аппарата ТВД*

1- лопатка; 2 - дефлектор; 3 - буртик; 4 - выступ.

Наружное 7 и внутреннее 8 кольца крепятся двадцатью четырьмя болтами 9 к фланцу внутреннего корпуса 11.

Ротор ТВД (рисунок 5.5) состоит из рабочего колеса 5, заднего вала 15 с гребешками лабиринтного, уплотнения, деталей 1, 2, 3, 4, 19 безрасходного уплотнения, роликоподшипника 17, гаек 11 и стяжных болтов 12 крепления валов к рабочему колесу 5, гайки 18 крепления роликоподшипника 17 на заднем валу 15, деталей 14, 20, уплотнения полости, образованной ступичной частью диска рабочего колеса и экраном.

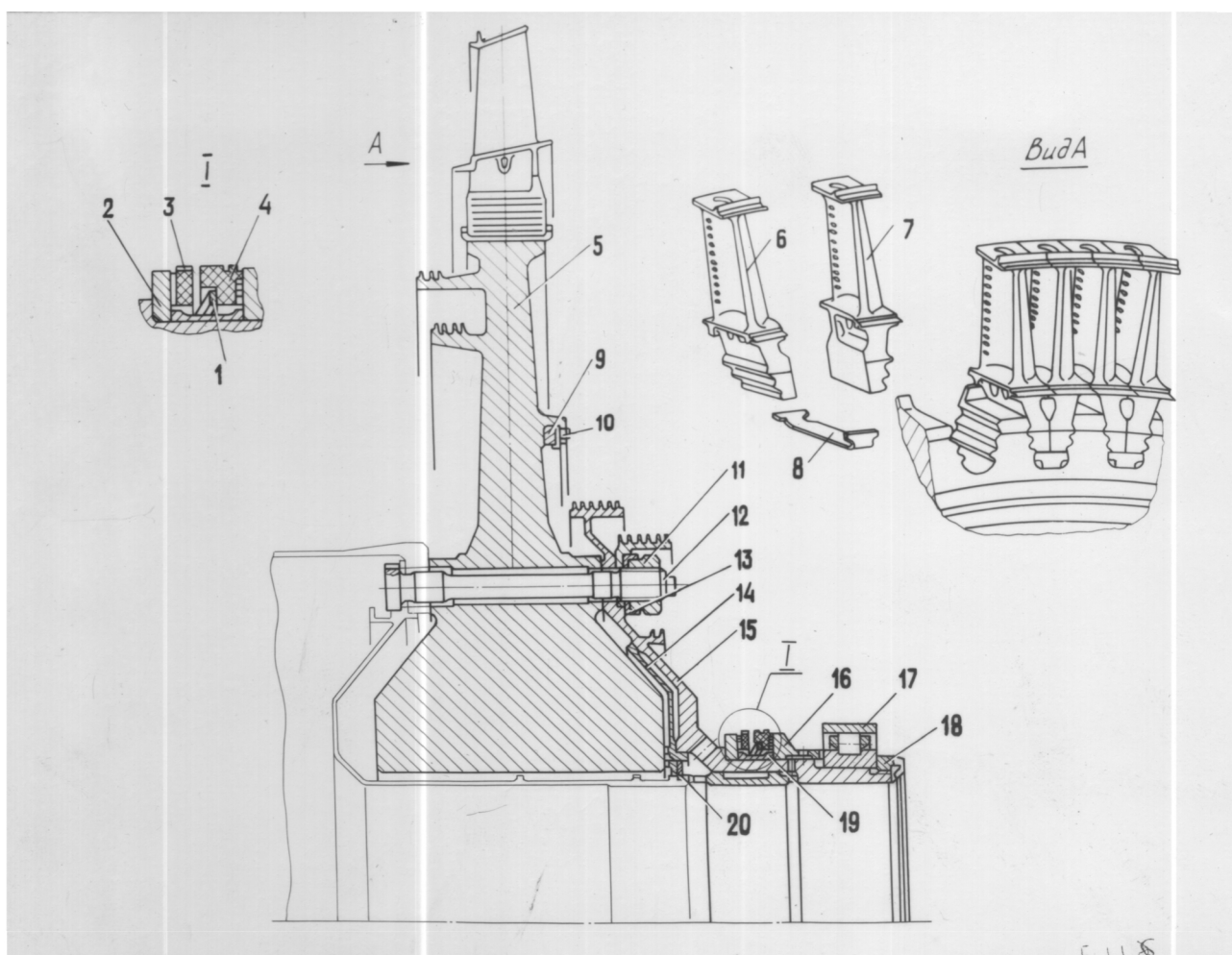


Рис. 5.5 Ротор ТВД

- 1 - пружина; 2, 16 - кольца упорные; 3 - кольцо; 4 - уплотнительное кольцо; 5 - рабочее колесо; 6 - рабочая лопатка (правая); 7 - рабочая лопатка (левая); 8 - контровка; 9 - балансировочный груз; 10 - замок; 11, 18 - гайки; 12 - стяжной болт; 13 - контровочная шайба; 14 - экран; 15 - задний вал; 17 - роликоподшипник; 19 - втулка; 20 - уплотнительное кольцо.

Ротор 2 (рисунок 5.1) шестнадцатью болтами крепится к валу компрессора

высокого давления, а наружное кольцо роликоподшипника ротора ТВД монтируется в корпусе 5 опор турбины.

Рабочее колесо 5 (рисунок 5.5) состоит из диска, имеющего 59 ёлочных пазов, в которые, устанавливаются 59 пар (правая 6 и левая 7) лопаток, фиксируемых в осевом направлении контровками 8.

Диск турбины имеет два лабиринтных бурта на входной стороне, борт крепления балансирующих грузов 9 на выходной стороне и шестнадцать с каждой стороны бобышек с отверстиями под стяжные болты.

Рабочие лопатки (левая и правая) состоят из верхней полки, пера, нижней полки, ножки и замка. На верхней полке лопаток для уменьшения перетекания газа над рабочим колесом выполнен гребешок лабиринтного уплотнения. На наружную поверхность полки выходят каналы, подводящие воздух, охлаждающий лопатку. Нижняя полка спереди и сзади имеет выступы для перекрытия осевых зазоров между ротором и статором с целью уменьшения циркуляции горячего газа в междисковой полости и для уменьшения утечек охлаждающего воздуха.

Ножка лопатки выполняет роль термического сопротивления, уменьшающего нагрев обода диска. Нижние полки и ножки каждой пары лопаток образуют полость подвода охлаждающего воздуха в каналы пера лопаток. С выходной стороны полость закрывается выступом на обode диска. Вал компрессора высокого давления и задний вал 15 соединены с рабочим колесом 5 шестнадцатью стяжными болтами 12, конические призонные участки которых служат для центрирования рабочего колеса относительно валов и передачи крутящего момента: гайки 11 стяжных болтов зафиксированы от отворота контровочными шайбами 13.

На цилиндрической части экрана выполнена проточка, в которой монтируется уплотнительное кольцо 20.

Задний вал 15 имеет коническую форму с буртами, несущими гребешки лабиринтного уплотнения. Со стороны диска турбины, на валу, установлен экран

14, уменьшающий подвод топлива от диска к валу.



*Рис. 5.6 Рабочая лопатка ТВД (объемная модель)*

Ротор ТВД балансируется при помощи грузов 9, которые устанавливаются в проточку под буртом диска с выходной стороны и фиксируются в окружном и радиальном направлениях замками 10.



*Рис. 5.7 Ротор ТВД (объемная модель)*

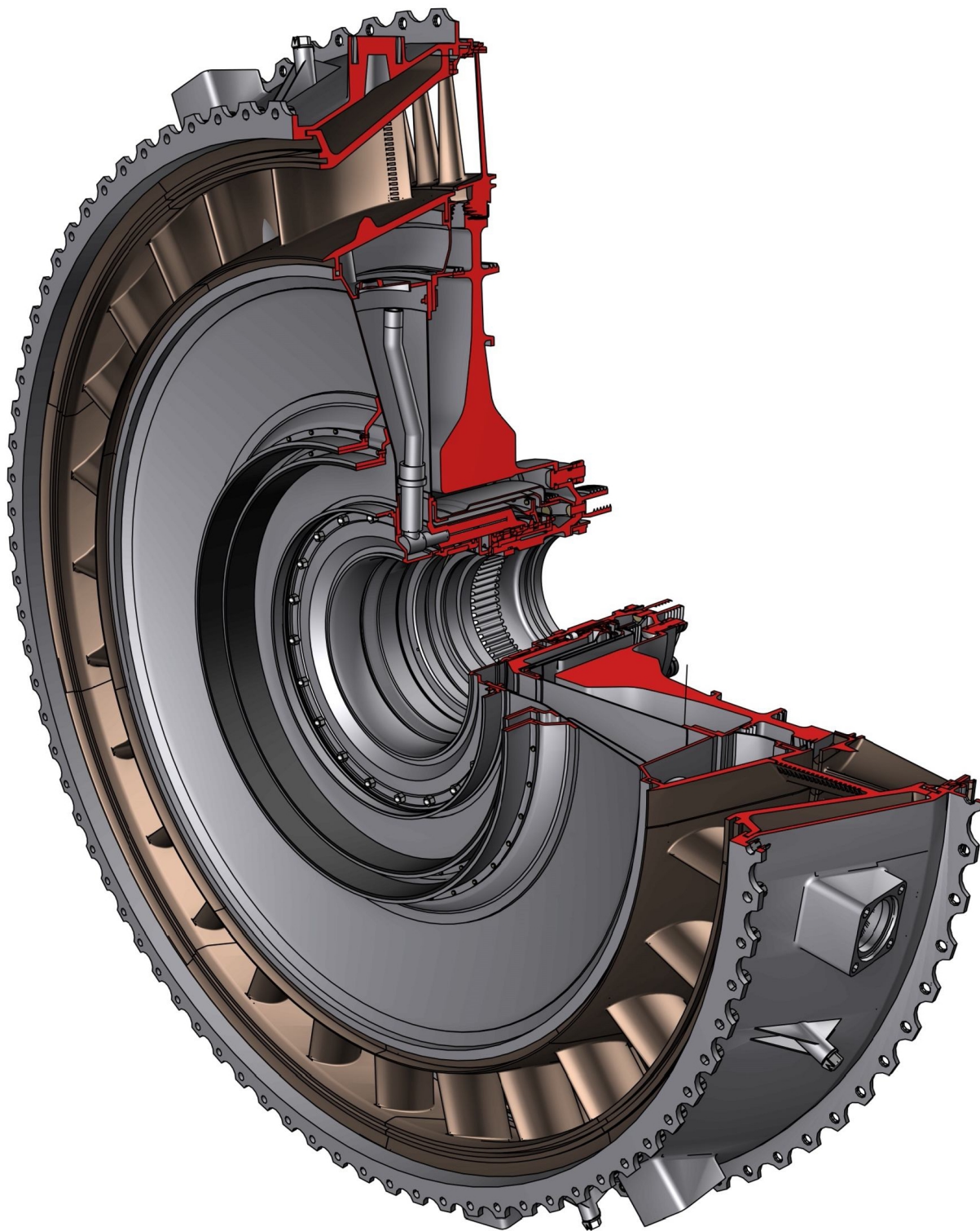
### **5.3 Турбина низкого давления**

Турбина низкого давления (ТНД) включает статор и ротор.

Статор (рисунок 5.10) состоит из корпуса опор турбин, включающего наружный 21 и внутренний 16 корпуса, соединенные между собой при помощи девяти болтов 22 и призонных втулок 23, и девять секторов 20 лопаток соплового аппарата II ступени, смонтированных между этими корпусами.

Корпус опор турбин 5 (рисунок 5.1) восьмьюдесятью болтами 4, десять из которых призонные, крепится к силовому кожуху камеры сгорания, к заднему

фланцу при помощи восьмидесяти болтов 6, десять из которых призонные, крепится статор турбины вентилятора.



*Рис. 5.8 Турбина низкого давления (разрез объемной модели)*

На корпусе опор турбин (рисунок 5.10) установлены: переднее уплотнитель-

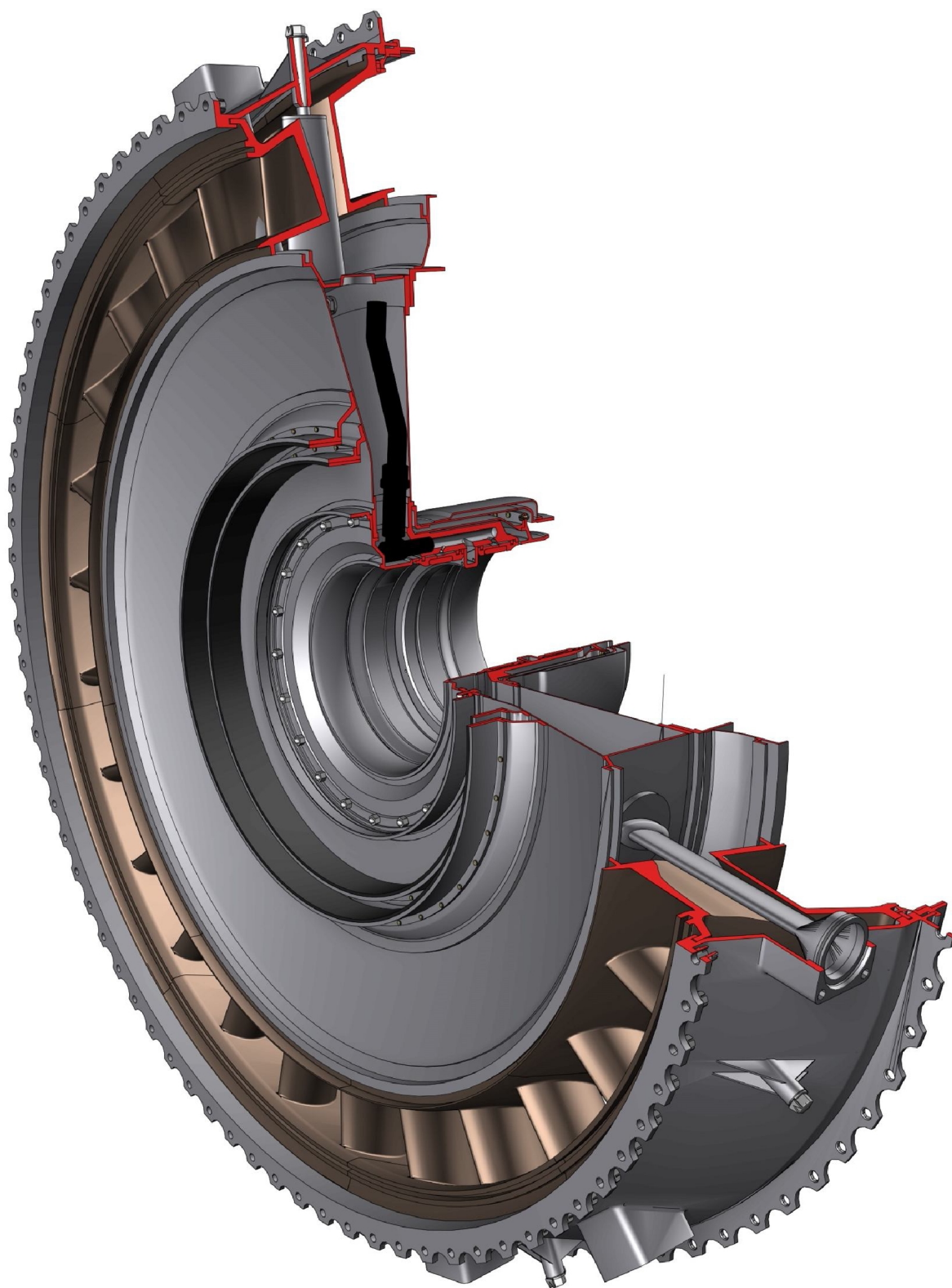
ное кольцо 9 при помощи болтов 43, кожух 32, масляная форсунка 7, наружные кольца 4 роликоподшипников; кольца 3 (правые) и кольца 5 (левые), уплотнительные кольца 6 масляного демпфера, втулка 8, переходник 10 подвода масла на смазку и охлаждение подшипников и к масляным демпферам, элементы уплотнений трубопроводов подвода и откачки масла гайка 11, кольцо 12, уплотнительное кольцо 13; внутреннее кольцо 29 - при помощи болтов 31.

На наружном корпусе 21 корпуса опор турбин расположены: фланец трубы 39 подвода масла к опорам и масляным демпферам роторов ТВД и ТНД, два фланца труб 37, суфлирования масляной полости, два фланца труб 34 суфлирования промежуточной полости, три фланца кожухов 40 подвода воздуха на охлаждение роторов ТВД и ТНД, три фланца труб 36 подвода воздуха на охлаждение корпуса подшипников, фланец трубы 38 отбора воздуха два фланца 42 труб откачки масла, а также девять бобышек крепления стоек 19. Наружный корпус спереди имеет проточку для радиальной фиксации сектора соплового аппарата ТНД, сзади - проточку для монтажа сегментов 27 и проточку с запрессованными штифтами 25 для окружной фиксации проставок II ступени, а также девять выступов для окружной фиксации секторов соплового аппарата ТНД.

Внутренний корпус 16 корпуса опор турбин - сварной конструкции, состоит из корпуса подшипников 2, силовых стенок и силового цилиндра 17, фиксирующего кольца 18 и заднего фланца крепления внутреннего кольца 29, девяти стоек 19, вваренных между силовыми стенками карманов 33, 35, 41, заднего уплотнительного кольца 1 и колец 14, 15 с сотовыми элементами лабиринтного уплотнения.

Внутреннее кольцо 29 - сварной конструкции, содержит уплотнительное кольцо 30 с сотовыми элементами лабиринтного уплотнения, конус и фланец 28 с фиксирующей канавкой.

Между наружным корпусом 21 и внутренним Корпусом 16 расположены Девять секторов 20 лопаток соплового аппарата II ступени (рисунок 5.12), предназначенных для подвода газа на рабочие лопатки ТНД.



*Рис. 5.9 Корпус опор турбин  
(разрез объемной модели)*

Осевая фиксация секторов соплового аппарата II ступени осуществляется буртиками 3 и 5 (рисунок 5.12), входящими в соответствующие пазы корпуса

16 (рисунок 5.10) и внутреннего кольца 29, и сегментами 27; радиальная фиксация - пояском 6, входящим в соответствующую канавку наружного корпуса 21, и опорным пояском 7 (рисунок 5.12), а окружная фиксация - выступами в наружном корпусе, входящими в пазы 1 каждого сектора соплового аппарата II ступени.

Сектор соплового аппарата II ступени (рисунок 5.12) состоит из трех пустотелых лопаток 2, имеющих дефлектор 4, аналогичные дефлекторам лопатках соплового аппарата ТВД.

Воздух на охлаждение лопаток поступает через трубы 40 (рисунок 5.10) подвода воздуха на охлаждение роторов ТВД, ТНД, ТВ.

Секторы лопаток на доковых поверхностях полок имеют пазы, в которых установлены уплотняющие пластины для создания герметичности стыков между секторами.

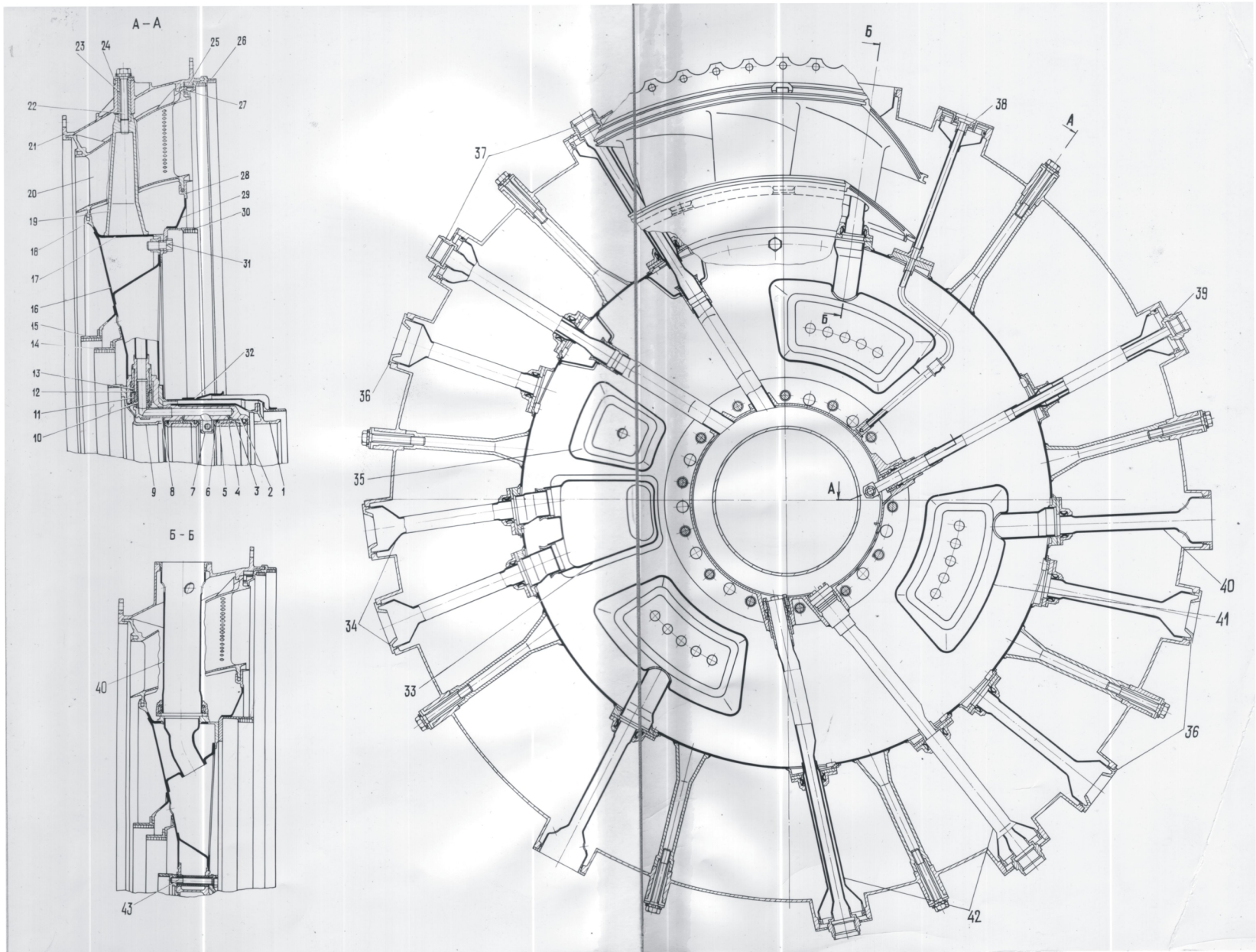
Концы наружной и внутренней полок служат для перекрытия осевых зазоров с целью уменьшения циркуляции горячих газов.

Ротор ТНД (рисунок 5.10) состоит из рабочего колеса 1, вала 9, роликоподшипника 12 ТНД, втулки 10, упорного кольца 11, болтов 6 и гаек 8 крепления вала к рабочему колесу, гайки 13 крепления роликоподшипника и деталей безрасходного уплотнения на валу, колец лабиринтного уплотнения.

Ротор 7 ТНД (рисунок 5.1) монтируется в корпусе 5 опор турбин и передает крутящий момент на вал компрессора низкого давления при помощи шлицевого соединения; необходимое осевое положение ротора ТНД относительно статора регулируется кольцом 16.

Рабочее колесо (рисунок 5.15) состоит из диска и 122 рабочих лопаток 2, установленных в ёлочных пазах диска и зафиксированных в осевом направлении пластинчатыми замками 3.

Диск турбины имеет лабиринтные бурты на входной и выходной сторонах, бурт для крепления балансирующих грузов 4 и фланец с восемью отверстиями под болты 6 крепления вала 9.



*Рис. 5.10 Корпус опор турбин*

1 - заднее уплотнительное кольцо; 2 - корпус подшипников; 3 - правое кольцо;  
4 - наружное кольцо роликоподшипника; 5 - левое кольцо; 6 - маслоуплотнительное  
кольцо; 7 - масляная форсунка; 8 - втулка; 9 - переднее уплотнительное кольцо;  
10 - переходник; 11 - гайка; 12 - кольцо; 13 - уплотнительное кольцо; 14, 15, 30 - кольца  
с сотовыми элементами лабиринтного уплотнения; 16 - внутренний корпус; 17 - силовой  
цилиндр; 18 - фиксирующее кольцо; 19 - стойка; 20 - сектор лопаток соплового  
аппарата II ступени; 21 – наружный корпус; 22, 31, 43 - болты; 23 - призонная втулка;  
24 - контролочная шайба; 25 - штифт; 26 - проставка II ступени; 27 - сегмент; 28 - фланец;  
29 - внутреннее кольцо; 32 - кожух; 33, 35, 41 - карманы; 34 – труба суфлирования  
промежуточной полости; 36 – труба подвода воздуха на охлаждение корпуса  
подшипников; 37 - труба суфлирования масляной полости; 38 - труба отбора воздуха;  
39 - труба подвода масла; 40 - кожух подвода воздуха на охлаждение роторов ТВД, ТНД, ТВ;  
42 - труба откачки масла.



*Рис. 5.11 Сектор лопаток СА II ступени турбины  
(объемная модель)*

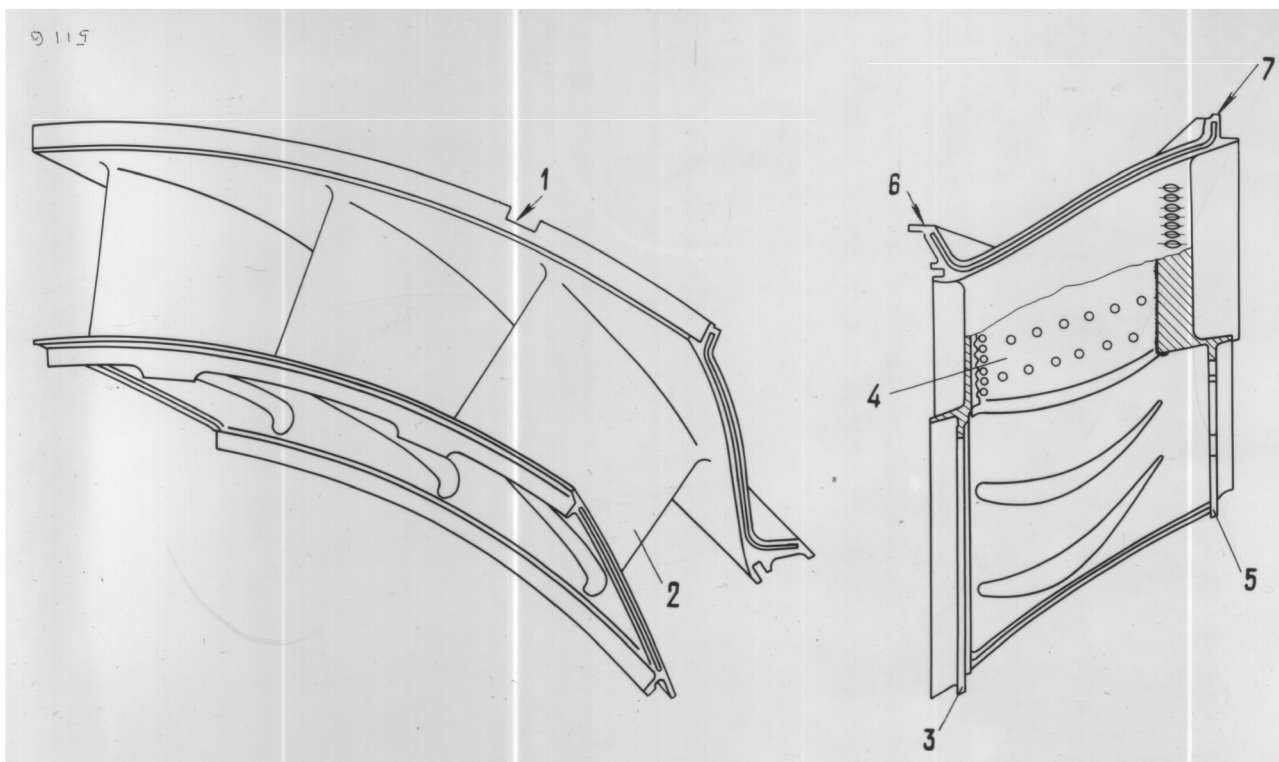


Рис. 5.12 Сектор лопаток СА II ступени турбины

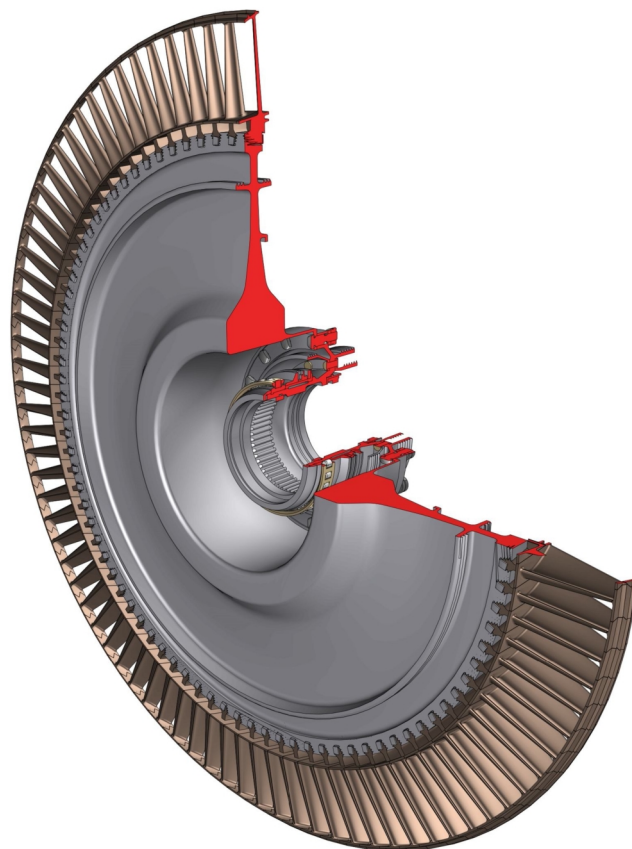
1 - паз; 2 - лопатка; 3,5 - буртики; 4 - дефлектор; 6 - поясok; 7 - опорный поясok.

Нижняя полка спереди и сзади имеет выступы для перекрытия осевых зазоров между ротором и статором. Ножка лопатки выполняет роль термического сопротивления, уменьшающего нагрев обода диска и препятствует перетеканию газа в осевом направлении.

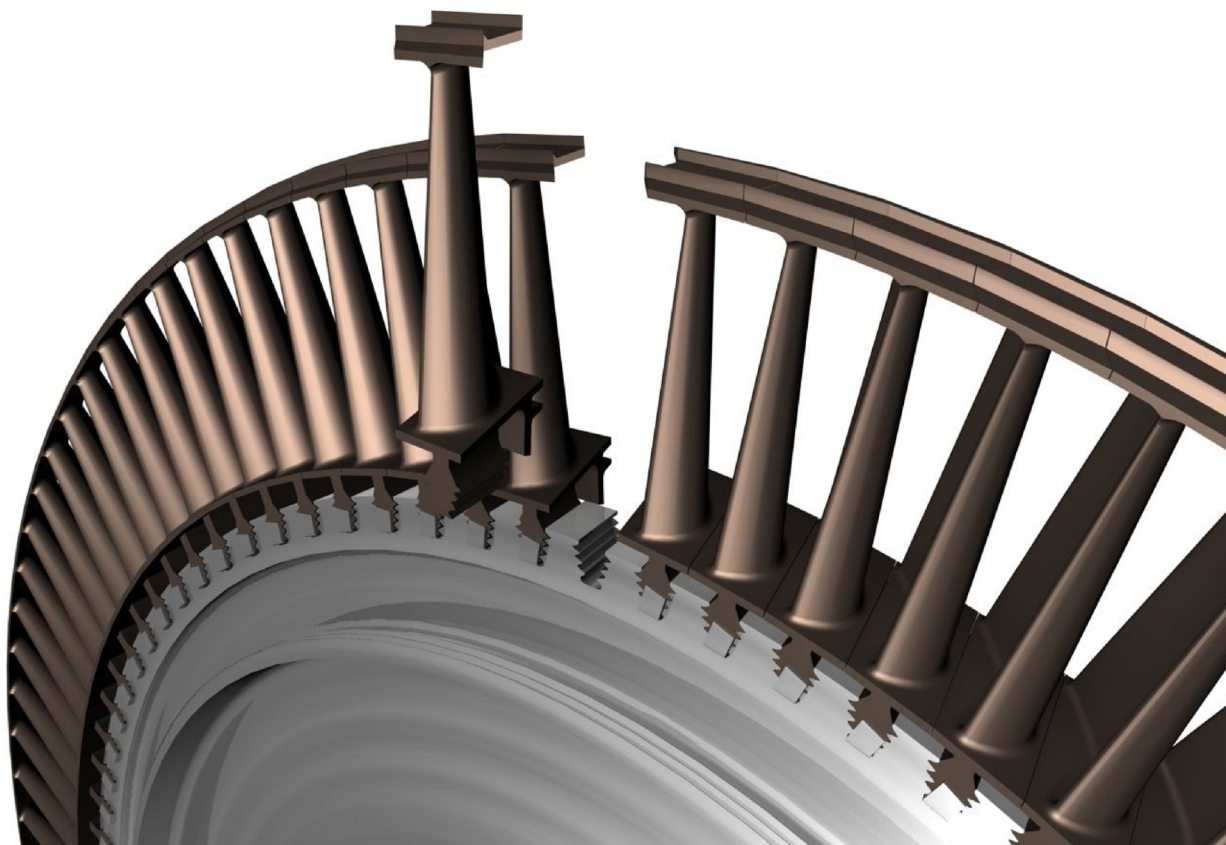
Вал 9 крепится к рабочему колесу восемью болтами 6, конические призонные участки которых служат для центрирования рабочего колеса относительно вала и передачи крутящего момента, и гайками 8, которые зафиксированы от отворота шайбами 7.

Эвольвентные шлицы вала 9 служат для передачи крутящего момента от рабочего колеса ротора ТНД к ротору компрессора низкого давления.

Ротор ТНД балансируется при помощи грузов 4, которые фиксируются в окружном и осевом направлениях замками 5.



*Рис. 5.13 Ротор ТНД (разрез объемной модели)*



*Рис. 5.14 Крепление лопатки в диске*

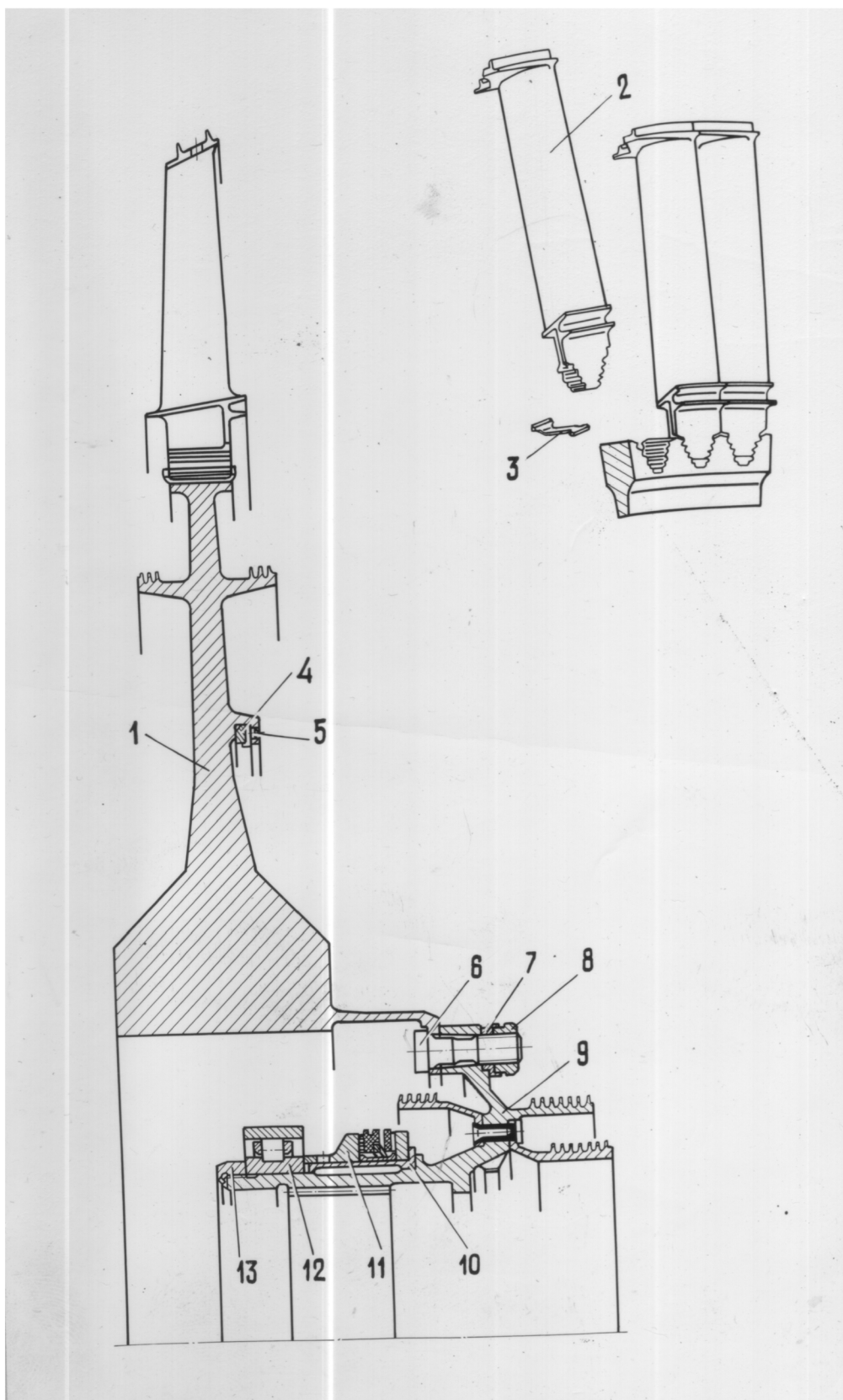


Рис. 5.15 Ротор ТНД

1 - рабочее колесо; 2 - рабочая лопатка; 3 - пластинчатый замок;  
 4 - балансирующий груз; 5 - замок; 6 - болт; 7 - шайба; 8, 13 - гайки; 9 - вал;  
 10 - втулка; 11 - кольцо упорное; 12 - роликоподшипник.

## 5.4 Турбина вентилятора

Турбина вентилятора (ТВ) состоит из статора 1 (рисунок 5.17) и ротора 2.

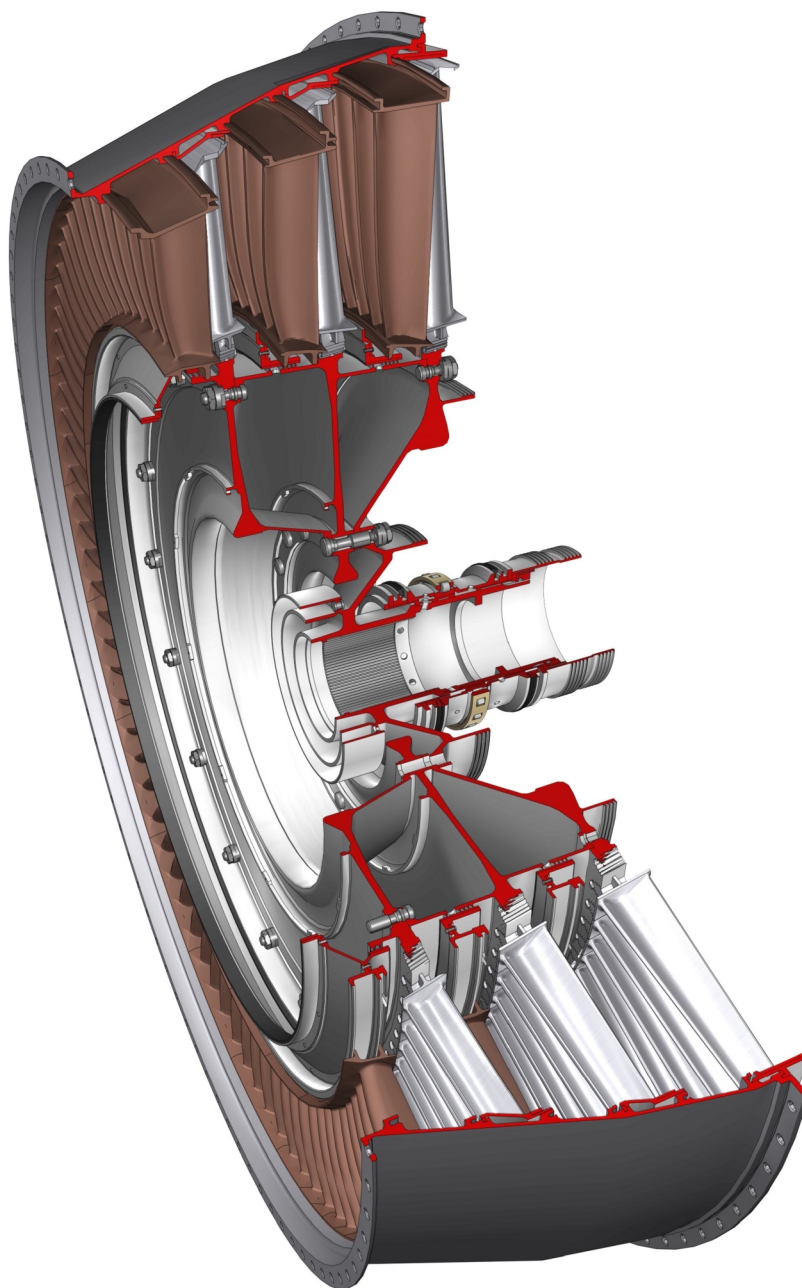
Статор турбины вентилятора (рисунок 5.1) крепится, к корпусу опор турбин 5 восьмьюдесятью болтами, из которых десять призонные, а семьдесят ввинчиваются в самоконтрящиеся гайки, запрессованные в переднем фланце; к заднему фланцу статора турбины вентилятора крепится задняя опора 10 при помощи девяноста болтов, десять из которых призонные.

Ротор ТВ (рисунок 5.1) монтируется в задней опоре 10 своим подшипником, соединяясь при помощи шлицев с валом вентилятора и затягивается гайкой II с шайбой 12; необходимое осевое положение ротора ТВ относительно статора регулируется кольцом 13.

Статор (рисунок 5.19) турбины вентилятора состоит из наружного корпуса 6, девятнадцати секторов 2 лопаток соплового аппарата III ступени, девятнадцати секторов 8 лопаток соплового аппарата IV ступени, двадцати одного сектора 10 лопаток соплового аппарата V ступени, внутренних корпусов 1, 13, 12 сопловых аппаратов III, IV, V ступеней соответственно и проставок (5, 9, 11) III, IV, V ступеней.

На наружном корпусе 6 расположены семнадцать фланцев для крепления термопар, шесть фланцев с окнами осмотра рабочих лопаток ТВ и ТНД, закрытые заглушками 7 и бобышки крепления электроколлектора термопар и кожуха. Внутри наружного корпуса выполнены буртики с проточками для крепления секторов 2, 8, 10 лопаток соплового аппарата ТВ и проставок 5, 9, 11.

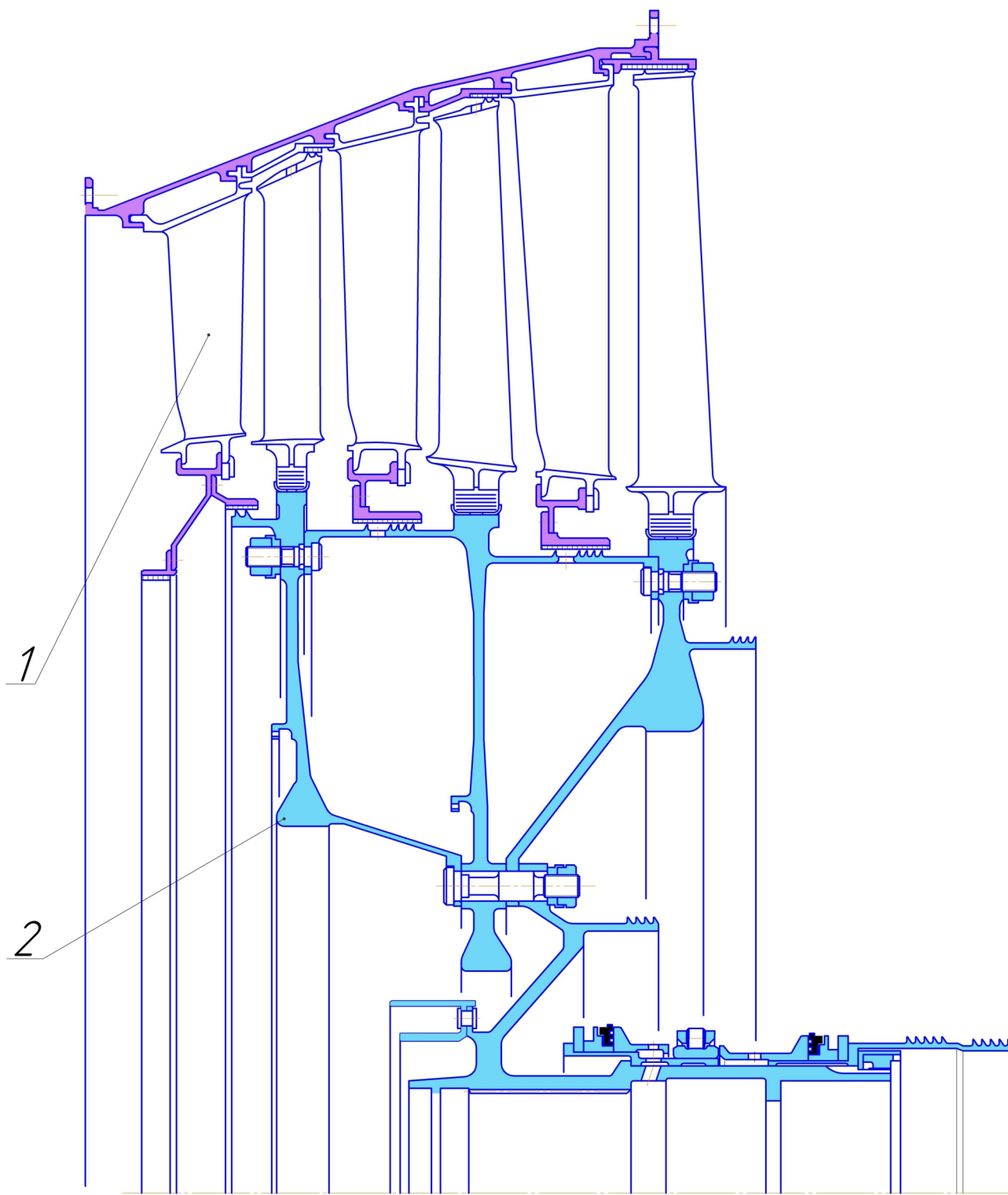
На рисунке 5.20 представлена конструкция сектора лопаток соплового аппарата III ступени, который состоит из наружной 3 и внутренней 5 полок и четырех лопаток 4 между ними. Выступами 1 и 2, расположенными по наружной полке сектор лопаток входит в соответствующие проточки наружного корпуса.



*Рис. 5.16 Турбина вентилятора  
(разрез объемной модели)*

Внутренние корпуса 1, 12, 13 (рисунок 5.19) состоят из колец, пазы которых служат для центрирования корпусов по буртикам внутренних полок секторов лопаток сопловых аппаратов, диафрагм и уплотнительных колец с сотовыми элементами лабиринтного уплотнения.

Фиксация сектора 2 лопаток соплового аппарата III ступени в окружном направлении осуществляется штифтом 3, запрессованным в проточке наружного корпуса 6; в осевом - стопорным кольцом 4.



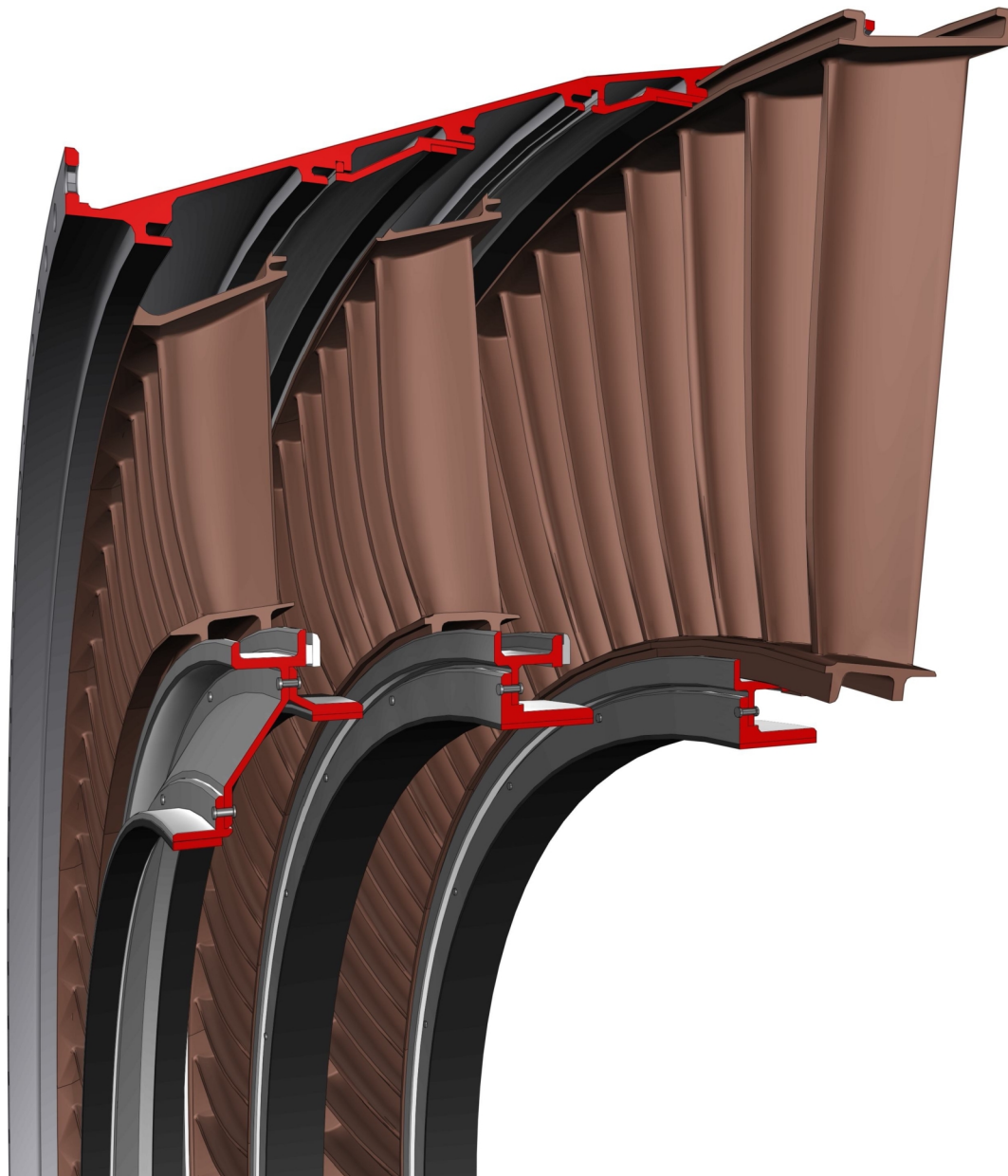
*Рис. 5.17 Турбина вентилятора*

1 – статор; 2 – ротор

На бурте внутренней полки 5 сектора (рисунок 5.20) выполнен выступ 6 для фиксации в окружном направлении внутреннего корпуса.

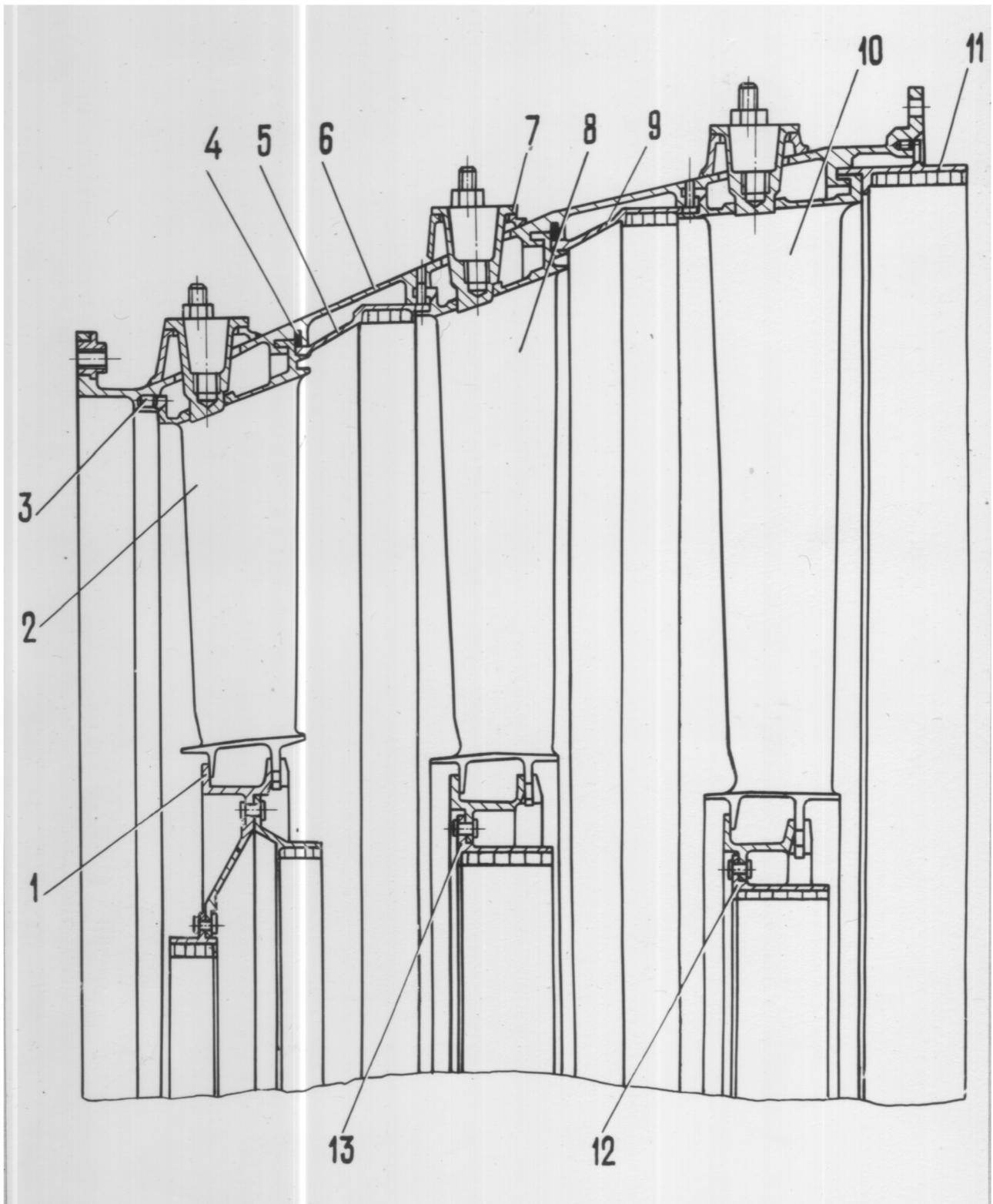
Конструкция секторов лопаток IV соплового аппарата ТВ и V соплового ап-

парата ТВ аналогична вышеописанной и отличается только геометрическими размерами.



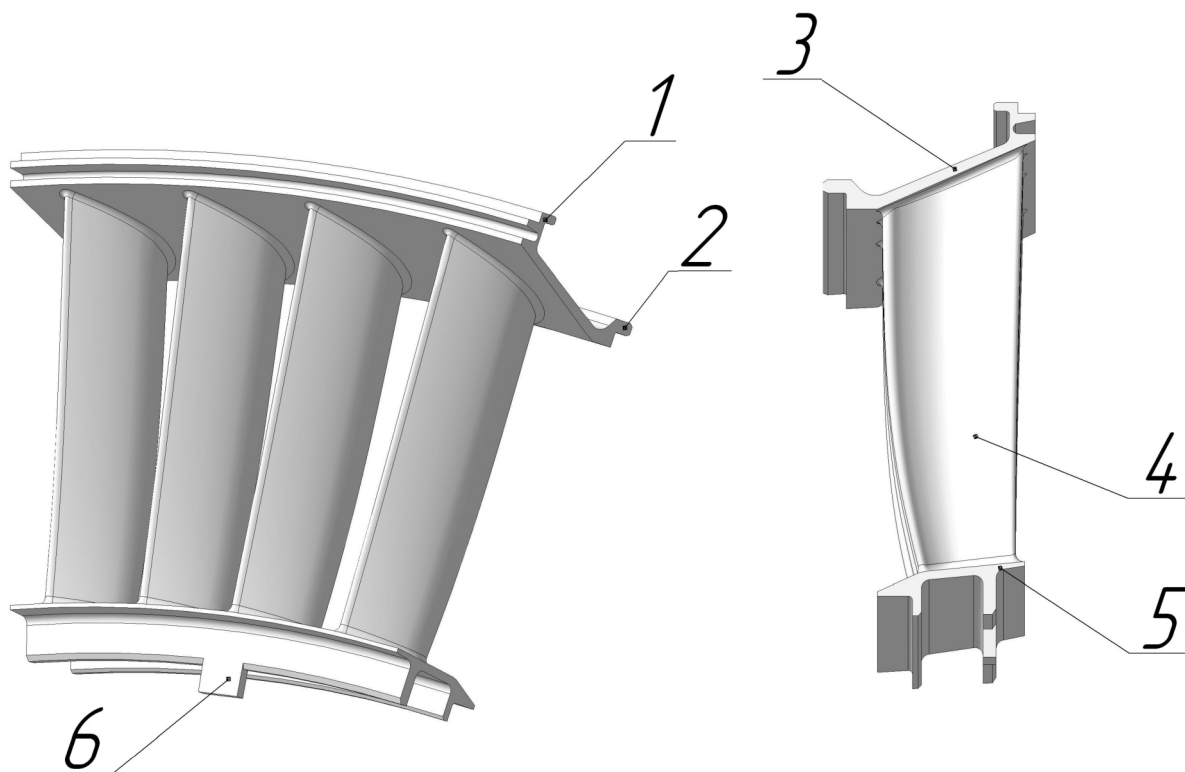
*Рис. 5.18 Статор турбины вентилятора (разрез объемной модели)*

Ротор (рисунок 5.22) турбины вентилятора состоит из рабочего колеса III ступени - 3, рабочего колеса IV ступени - 2, рабочего колеса V ступени - 15, вала 19 с роликоподшипником 22, гайки 26, шайбы 25 её стопорящей, лабиринтного кольца 24, болтов 8, гаек 7 и шайб 6, стяжных болтов 18, с гайками 17 и шайбами 16, уплотнительных колец 1, упорных колец 21, 23 и деталей безрасходного уплотнения.



*Рис. 5.19 Статор турбины вентилятора*

1 – внутренний корпус соплового аппарата III ступени 2- сектор лопаток соплового аппарата III ступени; 3 – штифт; 4 – стопорное кольцо; 5 – проставка III ступени; 6 – наружный корпус; 7 - заглушка; 8 - сектор лопаток соплового аппарата IV ступени; 9 – проставка IV ступени; 10 - сектор лопаток соплового аппарата V ступени; 11- проставка V ступени; 12 – внутренний корпус соплового аппарата V ступени; 13 - внутренний корпус соплового аппарата IV ступени.



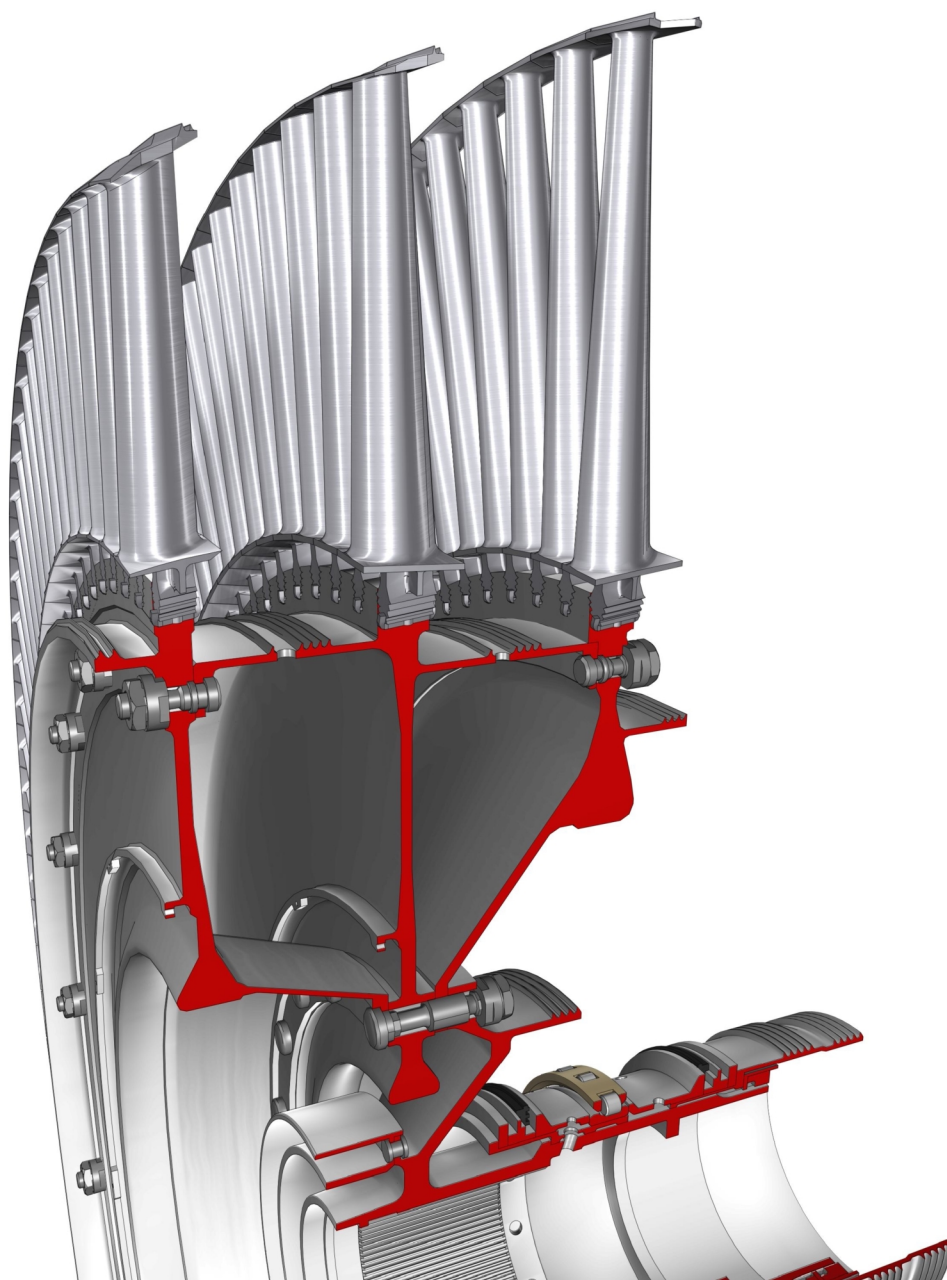
*Рис. 5.20 Сектор лопаток турбины вентилятора*

1,2,6 - выступы на полках; 3 - наружная полка; 4 - лопатка; 5 - внутренняя полка.

Каждое рабочее колесо 3, 2, 15 (рисунок 5.22) состоит из дисков и рабочих лопаток 10, 11, 13, зафиксированных в осевом направлении пластинчатыми замками 9, 12, 14. Рабочие колеса 3, 2 и 15 соединены с валом 19 шестнадцатью стяжными болтами 18, конические призонные участки которых служат для центровки и передачи крутящего момента. Гайка 17 стяжных болтов зафиксированы от проворота шайбами 16.

Рабочее колесо 2 IV ступени ТВ соединено с рабочими колёсами 3 и 15 шестнадцатью болтами 8 по каждому стыку. Гайки 7 зафиксированы от проворота шайбами 6.

Ротор турбины вентилятора балансируется путем постановки грузов 4 устанавливаемых в проточки под буртами дисков III, IV, V ступеней ротора ТВ, которые фиксируются в окружном и осевом направлениях замками 5.



*Рис. 5.21 Ротор турбины вентилятора  
(разрез объемной модели)*

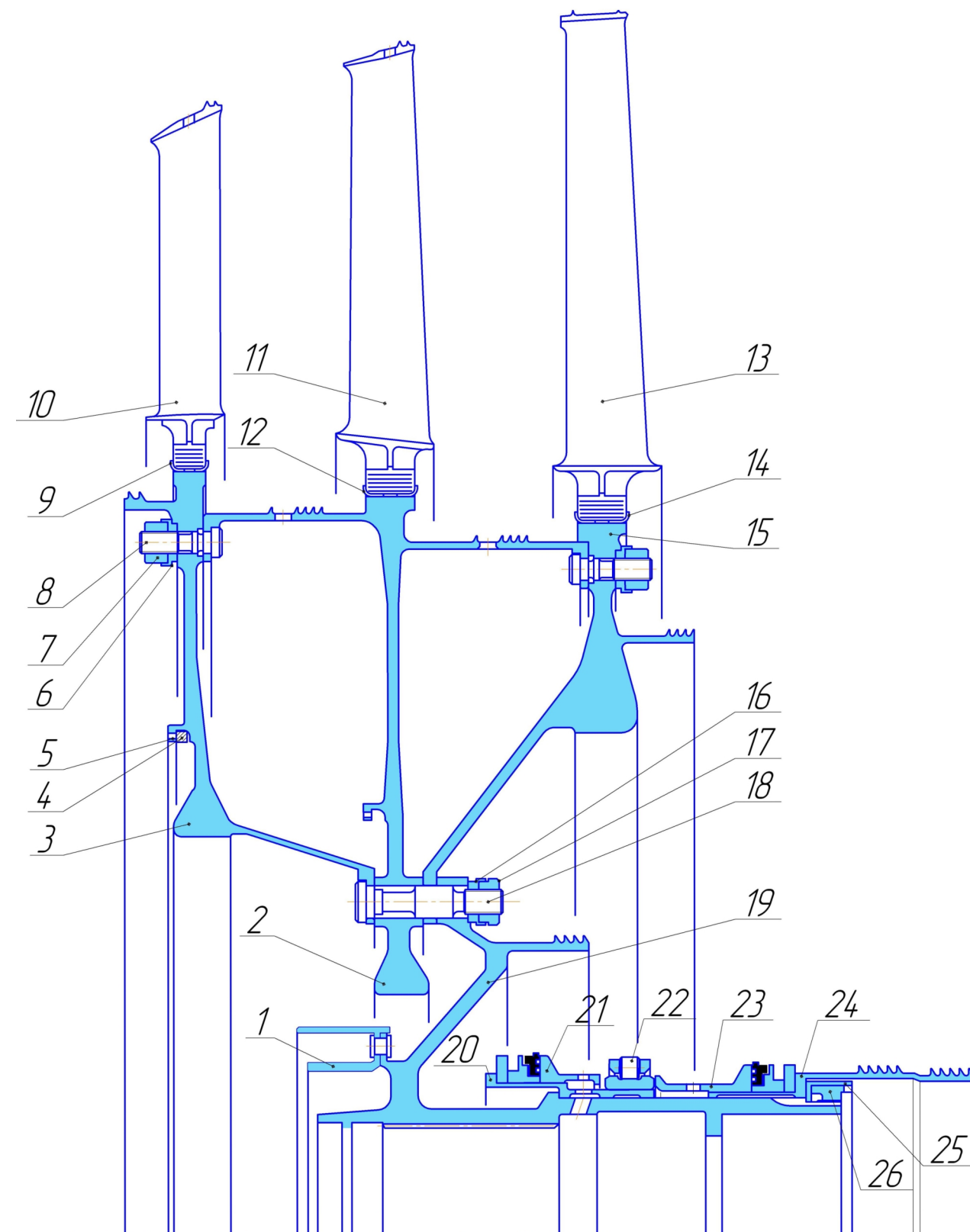


Рис. 5.22 Ротор турбины вентилятора

- 1 - уплотнительное кольцо; 2 - рабочее колесо IV ступени; 3 - рабочее колесо III ступени; 4 - балансировочный груз; 5 - замок; 6, 16, 25 - шайбы; 7, 17, 26 - гайки; 8 - болт; 9, 12, 14 - пластинчатые замки; 10, 11, 13 - рабочие лопатки; 15 - рабочее колесо V ступени; 18 - стяжной болт; 19 - вал; 20 - втулка; 21, 23 - кольца упорные; 22 - роликоподшипник; 24 - кольцо лабиринтное.

## 5.5 Система охлаждения

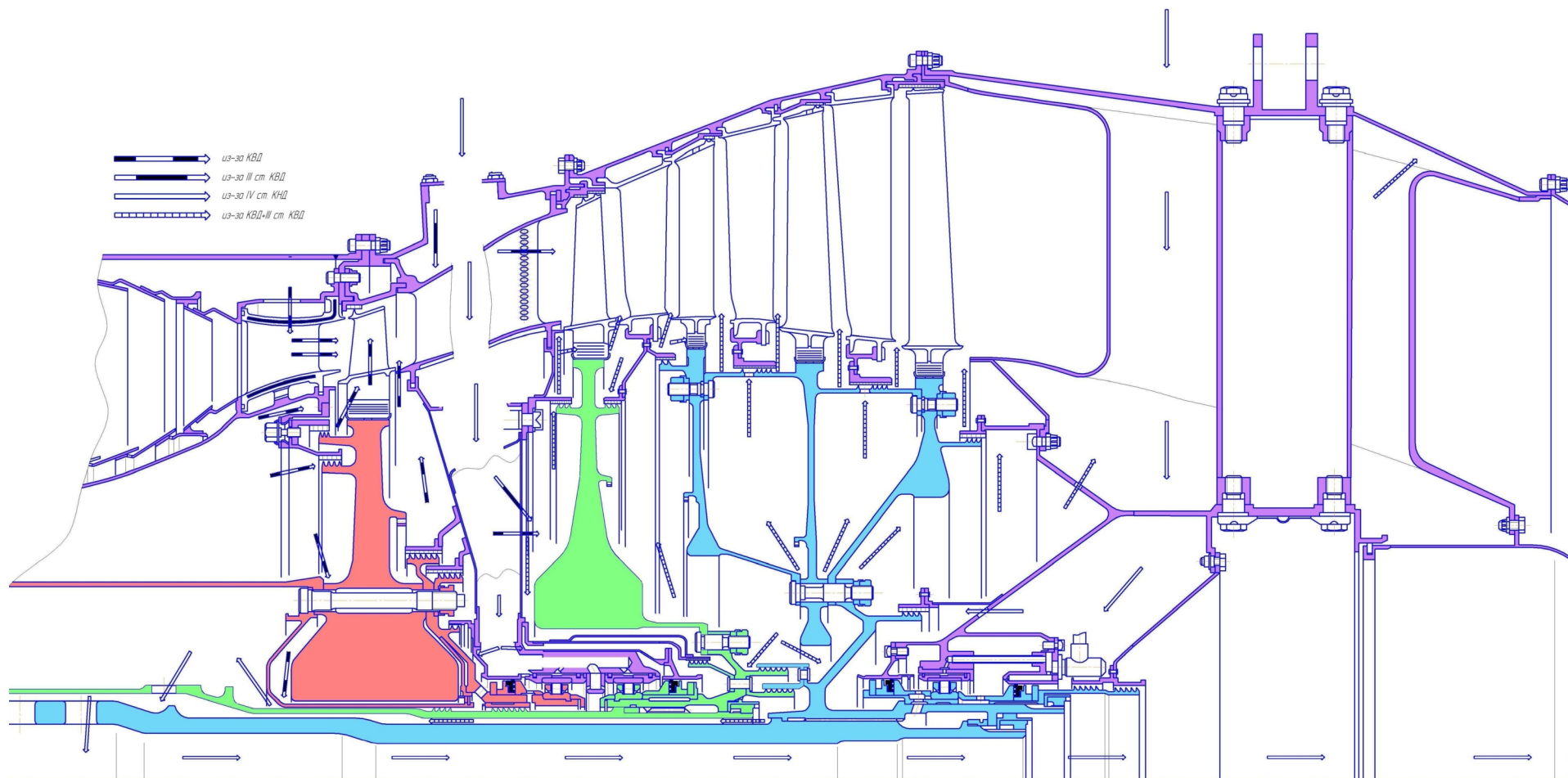
Теплонапряженные детали турбины (диски, лопатки рабочего колеса ТВД, лопатки сопловых аппаратов ТВД и ТНД, корпуса опор) охлаждаются воздухом, отбираемым из-за 17 ступени КНД, III ступени КВД и из-за VII (последней) ступени КВД (рисунок 5.23).

Сопловые лопатки турбины высокого давления охлаждаются воздухом, поступающим из-за КВД, который входит с наружного торца лопатки внутрь дефлектора. Через отверстия в дефлекторе воздух попадает в зазор, образованный дефлектором и стенками лопатки, и входит в тракт через отверстия в выходной кромке лопатки.

Лопатки рабочего колеса турбины высокого давления и диск турбины высокого давления охлаждаются воздухом, поступающим из-за VII (последней) ступени КВД.

Сопловые лопатки турбины низкого давления охлаждаются воздухом, отбираемым из-за III ступени КВД, аналогично охлаждению сопловых лопаток турбины высокого давления. Этим же воздухом, поступающим в полость внутреннего корпуса соплового аппарата ТНД и смешивавшимся с воздухом, омывающим диск ТВД, охлаждаются диски турбины низкого давления и турбины вентилятора.

Для обеспечения необходимой рабочей температуры подшипники ТВД и ТНД охлаждаются воздухом, поступавшим из-за IV ступени КНД через внутренние полости лопаток соплового аппарата турбины низкого давления. Воздух препятствует поступлению тепловых потоков от дисков ТВД и ТНД и обеспечивает необходимый перепад на лабиринтных и безрасходных уплотнениях. Подшипник турбины вентилятора также охлаждают этим воздухом.



*Рис. 5.23 Схема охлаждения турбины*

## 6 ЗАДНЯЯ ОПОРА И РЕАКТИВНОЕ СОПЛО

Задняя опора - силовой элемент турбины, состоит из наружного корпуса 2, внутреннего корпуса 32, восьми силовых стоек 4 с обтекателями 10 и включает переднее уплотнительное кольцо 28, корпус форсунок 24, кольцо, левое 27 и правое 25 масляного демпфера, уплотнительные кольца 13, 20, 26, переходник трубы подвода масла 39, переходник трубы суфлирования 38, переходник трубы откачки масла 40 из масляной полости, переходник отбора воздуха 30, коммуникации, расположенные внутри обтекателей 10, заднюю крышку 23, насадок 16 и стекатель 18.

Задняя опора (рисунок 6.2) девяноста болтами, десять из которых - призонные, крепится к статору турбины вентилятора, служит для размещения роликоподшипника турбины вентилятора и содержит кольцо подвески двигателя к самолету.

Кроме того, задняя опора, насадок и стекатель образуют газоздушный тракт (реактивное сопло) на выходе из двигателя, в котором происходит преобразование тепловой энергии и энергии давления в кинетическую энергию потока, создающего тягу двигателя.

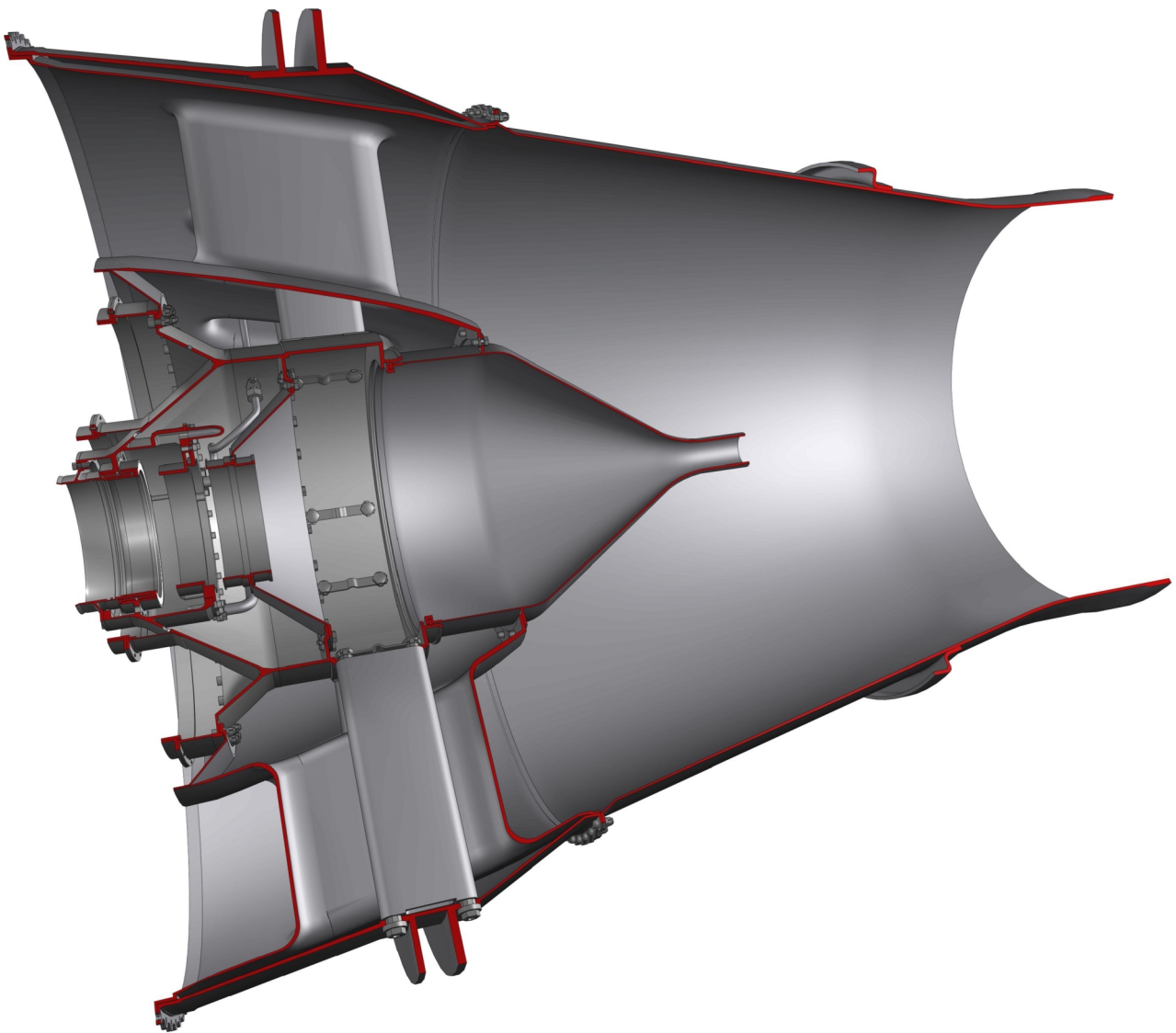
Наружный корпус 2 (рисунок 6.2) сварной конструкции, состоит из переднего и заднего фланцев, переднего и заднего конусов, кольца подвески 7, фланцев крепления коммуникаций.

Силовые стойки 4 - сварной конструкции, состоят из двух манжет и проставки между ними. Силовые стойки крепятся к наружному корпусу 2 и внутреннему корпусу 32 с помощью силовых - болтов 5, 8, законтренных от проворота втулками 6, 9.

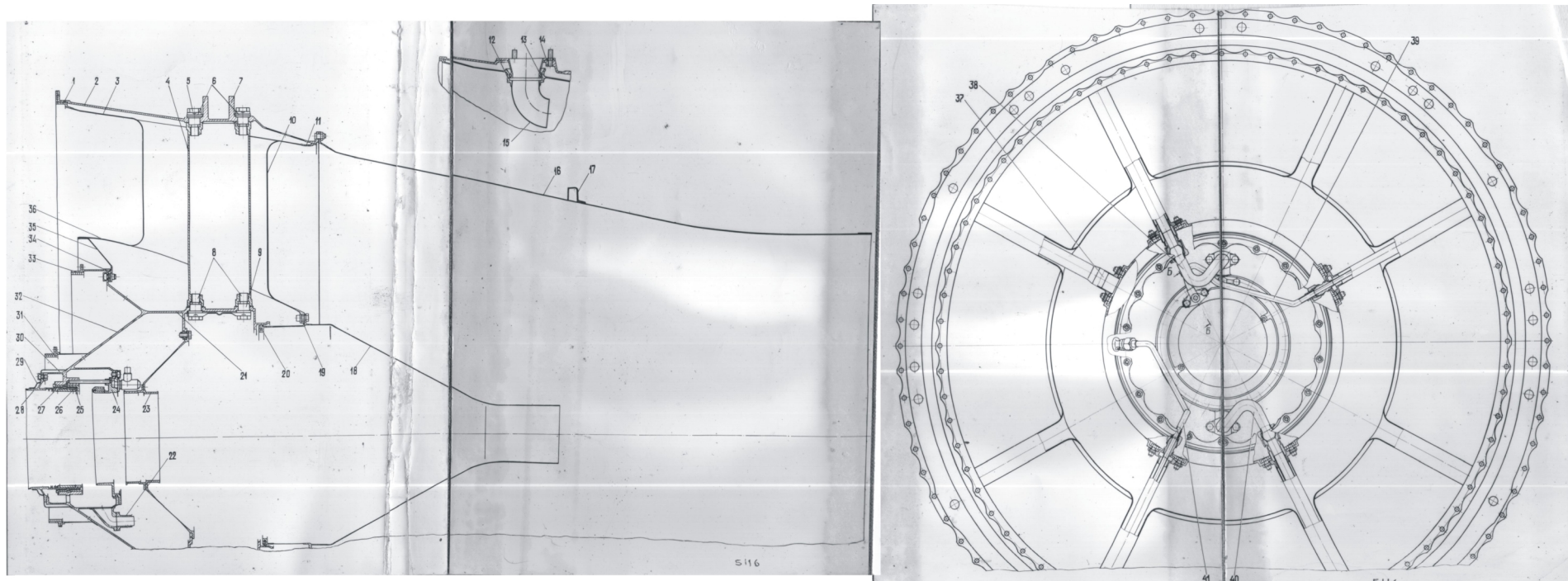
Внутренний корпус 32 - сварной конструкции, состоит из силового кольца 21, корпуса подшипника 30, фланцев и конусов их скрепляющих, колец 31, 33 лабиринтного уплотнения с сотовыми элементами.

Кожух опоры турбины - сварной конструкции, состоит из переднего 1 и зад-

него 11 колец, наружного кожуха 3, восьми обтекателей 10 и внутреннего кожуха 36, фланцев 19 и 34. Внутри обтекателей 10 кожуха 3 расположены трубопроводы подвода масла к подшипнику и масляному демпферу турбины вентилятора, откачки масла, суфлирования, подвода к отбору воздуха. К наружному корпусу 2 при помощи семидесяти двух болтов крепится насадок 16, а к фланцу 19 при помощи шестнадцати болтов - стекатель 18.



*Рис. 6.1 Задняя опора турбины  
(разрез объемной модели)*



*Рис. 6.2 Задняя опора турбины*

- 1 - переднее кольцо; 2 - наружный корпус; 3 - наружный кожух; 4 - силовая стойка; 5,8 - силовой болт; 6,9 - втулки; 7 - кольцо подвески; 10 - обтекатель; 11 - заднее кольцо; 12 - фланец; 13, 20, 26 - уплотнительное кольцо; 14 - переходная втулка; 15 - патрубок; 16 - насадок; 17 - кольцо жесткости; 18 - стекатель; 19, 34 - фланцы; 21 - силовое кольцо; 22 - переходник трубы откачки масла; 23 - задняя крышка; 24 – корпус форсунок; 25 - кольцо (правое); 27 - кольцо (левое); 28 - уплотнительное кольцо; 29 - экран; 30 - корпус подшипника; 31, 33 - кольца лабиринтных уплотнений с сотовыми элементами; 32 - внутренний корпус; 35 - конус; 36 - внутренний кожух; 37 - труба подвода воздуха; 38 - переходник трубы суфлирования; 39 - переходник трубы подвода масла; 40 - переходник трубы откачки масла; 41 - переходник отбора воздуха

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Учебное пособие состоит из описаний конструкций основных узлов двигателя: вентилятора, компрессора низкого давления, компрессора высокого давления, камеры сгорания, турбины высокого давления, турбины низкого давления, реактивного сопла, турбины вентилятора. 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. Трехвальный турбореактивный двухконтурный двигатель Д-36. Руководство по технической эксплуатации. Кн. 1. – Запорожье: МКБ «прогресс», 1978. – 328 с.
2. <http://www.antonov.com/aircraft/antonov-gliders-and-airplanes/an-72>