

АВИАЦИОННЫЙ
ДВУХКОНТУРНЫЙ
ТУРБОРЕАКТИВНЫЙ
ДВИГАТЕЛЬ
АИ-25

I серии

ТЕХНИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ

*Допущено в качестве учебного пособия
для личного состава*



ИЗДАТЕЛЬСТВО
«МАШИНОСТРОЕНИЕ»
Москва 1971

УДК 629.7.036.004.1 (087.23)

Техническое описание составили

*Афанасьев А. Ф., Бараник А. И., Батурин Я. Н.,
Валик К. М., Ефименко А. В., Жердев Д. С., Зиенко А. Н.,
Киселев П. А., Ковган Л. А., Козьмин Ю. Д.,
Прозоров Е. В., Слюсарев Ю. Е., Фролова Л. И.,
Цыбульский Э. П., Чуйко Г. Б.*

Ответственный редактор *В. А. Логарев*

Иллюстрации выполнили

*Лихолат И. А., Олейник Л. П., Похила В. М.,
Рыбалко Н. К.*

Глава I

ОБЩИЕ ДАННЫЕ ДВИГАТЕЛЯ

ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О ДВИГАТЕЛЕ

Двухконтурный турбореактивный двигатель АИ-25 (фиг. 1) предназначен для установки на пассажирские и транспортные самолеты местных линий. Двигатель выполнен по двухкаскадной (двухвальной) схеме с осевым одиннадцатиступенчатым компрессором, разделительным корпусом, кольцевой камерой сгорания, трехступенчатой турбиной и реактивным соплом.

Особенность двухкаскадной схемы — разделение ротора компрессора на ротор компрессора низкого давления и ротор компрессора высокого давления. Оба ротора приводятся во вращение соответственно своими турбинами и связаны между собой не механической, а газодинамической связью.

Выполнение двигателя по двухкаскадной схеме позволило:

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

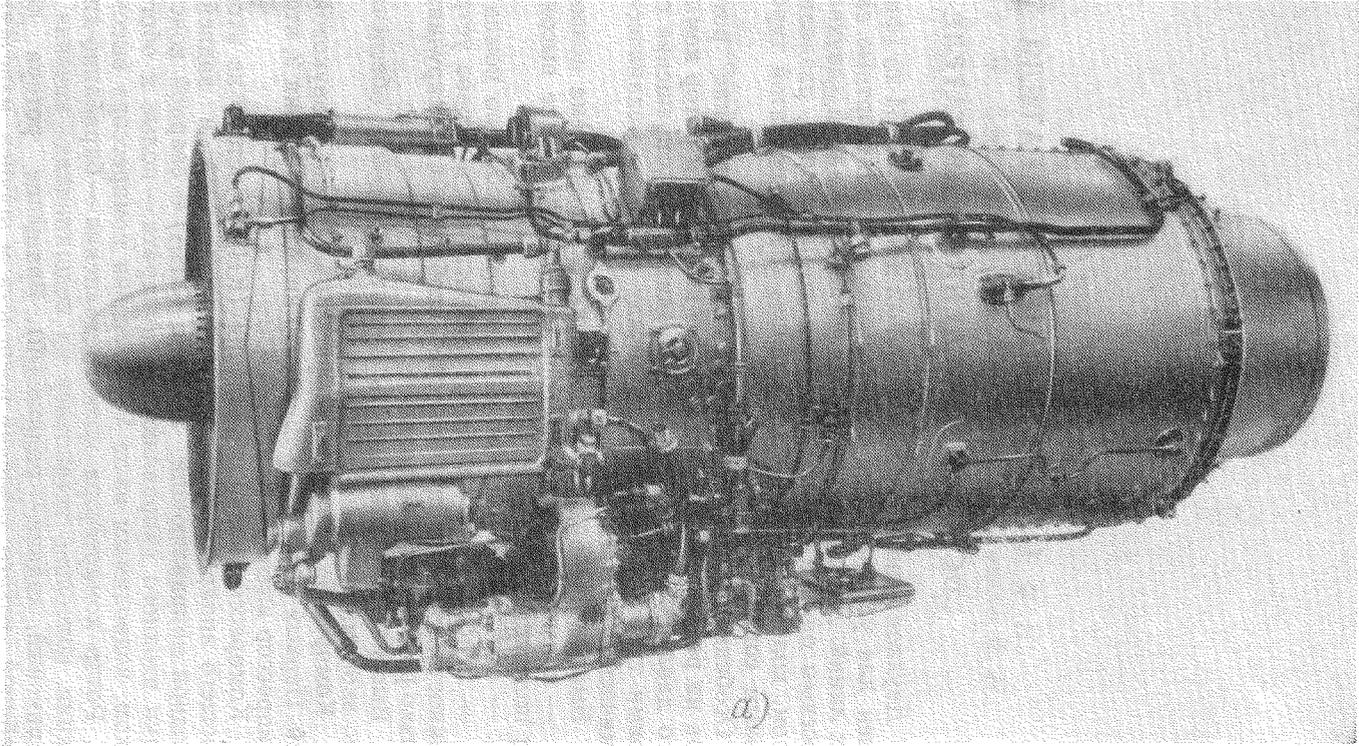
Высокая двухконтурность двигателя ($m \approx 2$) обеспечила его высокую экономичность.

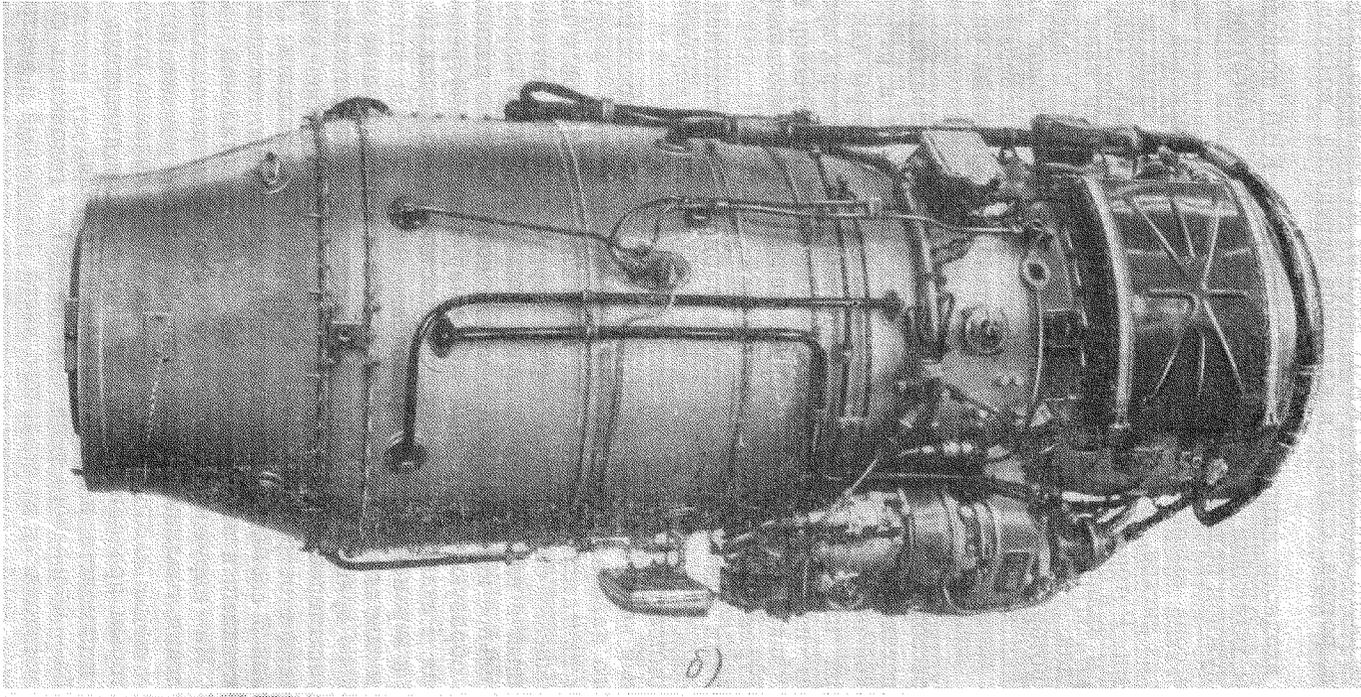
Компрессор двигателя (фиг. 2) — осевой, дозвуковой, двухкаскадный. Первый каскад — компрессор низкого давления 2, второй каскад — компрессор высокого давления 4.

Компрессор низкого давления (КНД) состоит из входного направляющего аппарата, ротора, статора, передней и задней опор ротора. Входной направляющий аппарат (ВНА) — сварной конструкции. Лопатки входного направляющего аппарата — полые и обогреваются воздухом, подводимым из-за VIII ступени компрессора высокого давления.

Ротор компрессора низкого давления — барабанно-дисковой конструкции, консольно установлен на подшипниках качения (передний — шариковый, задний — роликовый). Вращение ротора осуществляется турбиной низкого давления посредством шлицев, нарезанных на заднем конце вала ротора. Диски ротора закреплены на фланце вала при помощи болтов, а рабочие лопатки в дисках — шарнирно.

Статор компрессора низкого давления представляет неразъемный наружный корпус цилиндрической формы с установленными в нем на-





Фиг. 1. Двигатель АИ-25:
а—вид слева; б—вид справа

правляющими аппаратами и рабочими кольцами. Задним фланцем статор закреплен болтами к разделительному корпусу. Лопатки направляющих аппаратов — сплошные и закреплены в наружном и внутреннем кольцах электроклеем.

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

Конструкция входного направляющего аппарата КВД позволяет регулировать углы установки лопаток на неработающем двигателе и фиксировать их в нужном положении.

Ротор компрессора высокого давления — барабанно-дисковой конструкции, состоит из дисков, проставок и валов. Все детали стянуты между собой болтами. Ротор вращается на двух подшипниках (переднем — шариковом и заднем — роликовом). На конце заднего вала нарезаны шлицы для установки вала турбины высокого давления. Рабочие лопатки ротора установлены на дисках при помощи замков типа «ласточкин хвост». На внешней цилиндрической поверхности проставок между дисками выполнены гребешки лабиринтных уплотнений.

Статор компрессора высокого давления состоит из неразъемного корпуса цилиндрической формы, направляющих аппаратов и рабочих колец. На наружной поверхности корпуса размещены ресиверы для отвода воздуха при перепуске. Все детали статора и ротора, кроме вала, изготовлены из титановых сплавов. Снаружи компрессор высокого давления закрыт кожухом, образующим внутреннюю поверхность воздушного тракта второго контура.

Между ступенями компрессоров имеются лабиринтные уплотнения. Внутренние поверхности рабочих колец и внутренних колец направляющих аппаратов компрессоров покрыты мягким покрытием.

Разделительный корпус 3, расположенный между компрессорами низкого и высокого давлений, служит для разделения потока воздуха между контурами двигателя, размещения агрегатов и приводов к ним, а также для размещения опор компрессоров. Корпус отлит из магниевых сплавов. Наружный и внутренний конусы разделительного корпуса, а также разделительное кольцо связаны между собой шестью радиальными стойками и образуют воздушный тракт наружного и внутреннего контуров двигателя. Разделительный корпус состоит из корпуса, центрального привода и верхней коробки приводов.

Основные приводы агрегатов расположены в нижнем приливе корпуса и приводятся во вращение от ротора компрессора высокого давления через систему шестерен. Приводы, расположенные в верхней коробке, получают вращение от ротора компрессора низкого давления.

Камера сгорания 5 состоит из корпуса, жаровой трубы, топливного коллектора с форсунками и воспламенителей. Корпус — стальной, сварной конструкции. На наружной поверхности корпуса расположены: 12 фланцев крепления топливных форсунок; фланцы установки штифтов, фиксирующих жаровую трубу в корпусе, и четыре фланца пустотелых ребер, по которым проходит воздух, отбираемый от двигателя на нужды двигателя и самолета, и коммуникации двигателя.

Жаровая труба — кольцевого типа, с двенадцатью головками, сварной конструкции, изготовлена из стального листа. Наружный и внутренний кожухи жаровой трубы сварены из отдельных колец, спрофилированных так, что они образуют ряд щелей, через которые для охлаждения стенок поступает вторичный воздух камеры сгорания. Рабочие форсунки — центробежные, одноканальные.

Турбина — двухвальная, реактивная. Одноступенчатая турбина высокого давления 6 приводит во вращение ротор компрессора

высокого давления, двухступенчатая турбина низкого давления 7 приводит во вращение ротор компрессора низкого давления. Направление вращения роторов — левое.

Турбина высокого давления состоит из соплового аппарата I ступени и рабочего колеса.

Сопловой аппарат турбины — разборной конструкции, состоит из наружного и внутреннего колец, между которыми расположены охлаждаемые лопатки.

Рабочее колесо турбины болтами соединено с валом, передающим крутящий момент ротору компрессора высокого давления. Рабочие лопатки попарно установлены в пазы диска. Лопатки — литые, имеют удлиненную ножку, на периферийной части имеют полку с лабиринтными гребешками. Полки лопаток образуют сплошное кольцо.

Турбина низкого давления включает статор и ротор. Статор состоит из наружного корпуса, сопловых лопаток II и III ступеней и внутренних корпусов. Наружный корпус — цельный, точеный, изготовлен из стали, в пазы на его внутренней поверхности установлены лопатки.

Сопловые лопатки — литые, по концам имеют полки, при помощи которых крепятся в корпусах. Внутренние корпуса — сварной конструкции, состоят из кольца, в которое набираются лопатки, диафрагмы и уплотнительного кольца.

Ротор состоит из двух рабочих колес и вала, скрепленных между собой стяжными болтами. Рабочие лопатки II ступени — литые, III ступени — кованные, попарно устанавливаются в пазы дисков, имеют удлиненную ножку и на периферийной части — полку с лабиринтными гребешками. Полки всех лопаток, набранных в диск, образуют сплошное лабиринтное кольцо. Ротор вращается в двух подшипниках: переднем — роликовом, расположенном внутри вала компрессора высокого давления, и в заднем — роликовом, расположенном в корпусе задней опоры. Корпуса турбин закрыты кожухом, образующим внутреннюю поверхность воздушного тракта второго контура.

Масляная система двигателя — замкнутая, циркуляционная, под давлением. Подача масла на смазку осуществляется нагнетающей ступенью маслоагрегата двигателя. Три откачивающих секции откачивают масло из полостей подшипников ротора двигателя и из полости разделительного корпуса.

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

Суфлирование полостей опор подшипников и масляного бака осуществляется через разделительный корпус, для чего все полости соединены между собой трубопроводами. Суфлирование разделительного корпуса производится через центробежный суфлер, расположенный на валике привода воздушного стартера. Очищенный от масла воздух отводится в реактивное сопло второго контура двигателя.

Топливная система двигателя обеспечивает подачу топлива в двигатель в количестве, определяемом положением рычага управления двигателем (режимом работы двигателя) и давлением воздуха на входе в двигатель (режимом полета). Топливо-регулирующие агрегаты осуществляют также дозирование топлива при запуске, приемистости, управление клапанами перепуска воздуха из компрессора, защиту двигателя от превышения оборотов, срыва пламени и выполняют ряд вспомогательных функций.

Запуск двигателя осуществляется воздушным стартером, установленным в нижней части разделительного корпуса. Воздушный стартер получает сжатый воздух от пускового двигателя АИ-9, установленного

на самолете. Циклограмма запуска двигателя осуществляется автоматической панелью запуска двигателя, установленной на самолете.

Система зажигания и электрооборудование двигателя. Зажигание топлива в камере сгорания производится запальными свечами поверхностного разряда, питание которых осуществляется низковольтными катушками. Свечи установлены в воспламенителях камеры сгорания. На двигателе установлен коллектор, в котором собраны электропровода, подведенные к нему от соответствующих штепсельных разъемов. Соединение электрических коммуникаций двигателя с самолетными системами производится двумя штепсельными разъемами.

Система сигнализации о пожаре выдает сигнал о возникновении пожара во внутренних (масляных) полостях двигателя. На двигателе имеются два резьбовых отверстия для установки датчиков-термонизвещателей системы сигнализации: одно — на передней стенке нижнего прилива разделительного корпуса, второе — в трубопроводе суфлирования масляных полостей подшипников турбин. При получении сигнала о пожаре двигатель останавливается, затем подается огнегасящий состав одновременно в полости разделительного корпуса, передних подшипников турбин, заднего подшипника турбины.

Для установки двигателя на самолете предусмотрено шесть мест крепления узлов подвески двигателя. Двигатель оборудован средствами раннего обнаружения неисправностей: сигнализатором опасных вибраций; стружкосигнализатором; системой сигнализации о пожаре, магнитной пробкой; сигнализатором закрытого положения клапана воздушного стартера СВ-25; сигнализатором перепада давлений в топливно-масляном агрегате 4717Т; сигнализатором минимального уровня масла СУЗ-14Т.

Для осмотра лопаток входного направляющего аппарата и лопаток I ступени компрессора высокого давления на разделительном корпусе выполнены смотровые окна, лопатки компрессора низкого давления осматриваются через лючки на корпусе компрессора низкого давления.

ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ ДВИГАТЕЛЯ

ОБЩИЕ ДАННЫЕ

1. Условное обозначение двигателя	АИ-25 I серия
2. Тип двигателя	двухконтурный, турбореактивный, двухкаскадный
направление вращения роторов	левое (смотря со стороны реактивных сопел)
3. Компрессор:	
тип	осевой, двухкаскадный
количество ступеней	11 (3 ступени каскада низкого давления и 8 ступеней каскада высокого давления)
суммарная степень повышения давления на взлетном режиме (при $H=0$, $V=0$, МСА)	8
4. Камера сгорания:	
тип	кольцевая
количество головок	12
5. Турбина:	
тип	осевая, двухвальная
количество ступеней	три (одна ступень каскада высокого давления и две ступени каскада низкого давления)

6. Реактивные сопла первого (внутреннего) и второго (наружного) контуров сужающиеся, нерегулируемые

7. Основные параметры двигателя (при $H=0$, $V=0$, МСА)

Режим	Тяга кГ	Удельный расход топлива	Обороты ротора КВД об/мин	Обороты ротора КНД об/мин
		$\frac{\text{кг топлива}}{\text{кГ тяги час}}$ не более		
Взлетный	1500	0,570	16 640	10 750
Номинальный	1120	0,565	15 675	9 560
0,85 номинального	950	—	15 160	8 950
0,7 номинального	784	—	14 610	8 270
0,6 номинального	672	0,590	14 180	7 770
0,4 номинального	448	—	13 010	6 500
Малый газ	95	—	7 750	

8. Удельный расход топлива (при $H=6000$ м, $V=550$ км/час, МСА, тяге 443 кГ) $0,795 \frac{\text{кг топлива}}{\text{кГ тяги час}}$

9. Тяга на взлетном режиме (при $H=0$, $V=0$, $t_H=+30^\circ\text{C}$, $V_0=760$ мм рт. ст.) 1350 кГ

Примечания. 1. Основные технические данные приведены при работе двигателя без:

- отбора воздуха на системы кондиционирования и противообледенения;
- включения загрузки самолетных агрегатов;
- учета потерь во входных и выходных каналах силовых установок самолета.

2. В пп. 7, 8 и 9 приведены номинальные значения тяги и оборотов роторов двигателя

10. Максимальная замеренная температура газов за турбиной:

- на взлетном режиме:
 - без отбора воздуха на противообледенительную систему и систему кондиционирования 650°C
 - с отбором воздуха на противообледенительную систему двигателя и нужды самолета 680°C
- на режиме малого газа (без отбора воздуха и загрузки самолетных агрегатов) и в процессе запуска двигателя 600°C

11. Время приемистости (при перемещении рычага управления двигателем от режима малого газа до взлетного режима за 1—2 сек):

- на земле не более 15 сек
- в полете не более 12 сек

12. Время непрерывной работы двигателя:

- на взлетном режиме не более 5 мин
- на номинальном и крейсерском режимах без ограничения
- на режиме малого газа 30 мин

ТОПЛИВНАЯ СИСТЕМА

13. Сорт топлива (рабочее и пусковое) ТС-1, Т-1 и их смеси (ГОСТ 10227—62)

14. Топливный насос:

- условное обозначение 760Б
- тип двухступенчатый (первая ступень — центробежная, вторая ступень — шестеренчатая)

передаточное отношение 0,304898
 направление вращения левое

Примечания. 1. Направление вращения агрегатов указано, если смотреть на агрегат со стороны привода (ГОСТ 1630—46).

2. Передаточное отношение определяется по отношению $i = n_{агр} / n_{ВД}$, где $n_{агр}$ — число оборотов ротора агрегата; $n_{ВД}$ — число оборотов ротора компрессора высокого давления

15. Топливный регулятор:
 условное обозначение 762МА
 тип гидромеханический
 передаточное отношение 0,304898
 направление вращения правое
 16. Рабочая топливная форсунка:
 количество 12 шт.
 тип одноканальная, центробежная
 давление топлива перед форсунками не более 65 кг/см²

МАСЛЯНАЯ СИСТЕМА

17. Тип системы автономная, циркуляционная
 18. Сорт масла МК-8 (ГОСТ 6457—66)
 или МК-6 (ГОСТ 10328—63)
 19. Расход масла не более 0,3 л/час
 20. Давление масла в главной магистрали двигателя:
 на всех режимах и высотах полета 2—4,5 кг/см²
 на номинальном режиме на земле (при $t_{м.вх} = 60 \pm 10^\circ \text{C}$) $3,5 \pm 0,20$ кг/см²
 21. Прокачка масла через двигатель на номинальном режиме (при температуре масла на входе в двигатель $60 \pm 10^\circ \text{C}$) 13 ± 3 л/мин
 22. Теплоотдача в масло на номинальном режиме (при $H=0$, $V=0$; МСА и температуре масла на входе в двигатель $60 \pm 10^\circ \text{C}$) не более 165 ккал/мин
 23. Температура масла на всех режимах работы двигателя и на всех высотах:
 на входе в двигатель $-5 \div 90^\circ \text{C}$
 минимальная на входе в двигатель (при которой разрешен запуск без подогрева) -40°C
 на выходе из двигателя не более 125°C
 24. Маслобак:
 условное обозначение МБ-25
 емкость 10 л
 количество заливаемого в бак масла 7,5 л
 остаток масла в баке (при котором выдается сигнал «Минимальное количество масла в маслобаке») 1,2—2 л
 25. Маслоагрегат:
 условное обозначение МА-25
 тип шестеренчатый
 число секций 4 (одна нагнетающая и три откачивающих)
 производительность (на оборотах ротора КВД 15 675 об/мин):
 — нагнетающей секции (при давлении на входе 760—35 мм рт. ст. и противодавлении $3,5 \pm 0,2$ кг/см²) не менее 24 л/мин
 — основной откачивающей секции (при противодавлении $0,5$ кг/см²) 40 л/мин
 передаточное отношение 0,393826
 направление вращения левое
 26. Воздухоотделитель:
 условное обозначение ВО-25
 тип центробежный
 передаточное отношение 0,525102

направление вращения	левое
27. Топливо-масляный агрегат:	
условное обозначение	4717Т
28. Сигнализатор минимального уровня масла в маслобаке:	
условное обозначение	СУЗ-14Т
29. Стружкосигнализатор:	
условное обозначение	СД-25

СИСТЕМА ЗАПУСКА

30. Тип системы	воздушная
31. Воздушный стартер:	
условное обозначение	СВ-25
направление вращения	правое
передаточное отношение	1,406078
параметры воздуха, подаваемого к стартеру в процессе запуска двигателя:	
— давление	1,2—3,6 кг/см ²
— температура	60—220° С
— расход воздуха (при давлении 1,8 кг/см ² и температуре 150° С)	0,35 кг/сек
32. Запальное устройство:	
пусковая катушка:	
— условное обозначение	1КНИ-11Б-Т
— количество	2 шт.
свеча:	
— условное обозначение	СПН-4-з-Т
— количество	2 шт.
пусковая форсунка:	
— тип	центробежная
— количество	2 шт.
— давление топлива перед пусковой форсункой	2,5 ^{+0,5} кг/см ²
клапан подачи пускового топлива:	
— тип	электромагнитный
— количество	1 шт.
33. Электромеханизм управления подачей воздуха на обогрев лопаток входного направляющего аппарата КНД:	
условное обозначение	МПК-14МТВ
количество	1 шт.
34. Приводы агрегатов (устанавливаемых на двигатель самолетными организациями):	
генератора:	
— количество	1 шт.
— передаточное отношение	0,474285
— направление вращения генератора	левое
— мощность (передаваемая приводом)	не более 16 л. с.
гидронасоса:	
— количество	1 шт.
— передаточное отношение	0,242354
— направление вращения гидронасоса	правое
— мощность (передаваемая приводом)	не более 12 л. с.
датчика числа оборотов ротора компрессора высокого давления:	
— условное обозначение датчика	ДТЭ-1
— количество	1 шт.
— передаточное отношение	0,15147
датчика числа оборотов ротора компрессора низкого давления:	
— условное обозначение датчика	ДТЭ-1

- количество 1 шт.
- передаточное отношение 0,21094

Примечание. Только для данного агрегата передаточное отношение $i = n_{agr} / n_{нд}$, где n_{agr} — число оборотов ротора агрегата; $n_{нд}$ — число оборотов ротора компрессора низкого давления

35. Вес двигателя в состоянии поставки 348 кг

36. Габаритные размеры двигателя:

- длина (без учета длины входного обтекателя и сопла первого контура) 1993±5 мм
- ширина 820±5 мм
- высота 896±5 мм

37. Время суммарной наработки по режимам за ресурс:

- на взлетном режиме не более 5%
- на номинальном режиме не более 40%
- на крейсерских режимах без ограничения

Примечания. 1. В состоянии поставки двигатель комплектуется в соответствии с протоколом согласования с самолетной организацией.

2. Количество воздуха, отбираемого от двигателя на нужды самолета, необходимо согласовывать с Главным конструктором двигателя.

ХАРАКТЕРИСТИКА ДВИГАТЕЛЯ

Изменение параметров двигателя в зависимости от атмосферных условий (H, t_H) и скорости (V_H) обуславливается законами подачи топлива и конструктивными особенностями двигателя. Дроссельная характеристика двигателя АИ-25 в земных статических условиях ($p_H = 760$ мм рт. ст.; $t_H = +15^\circ\text{C}$ и $V_H = 0$) представлена на фиг. 3.

Законы подачи топлива подобраны из условия обеспечения параметров двигателя в соответствии с летно-техническими требованиями к самолету и конструктивными возможностями основных узлов двигателя. Они обеспечиваются автоматической топливно-регулирующей системой — всережимными регуляторами оборотов и расхода топлива.

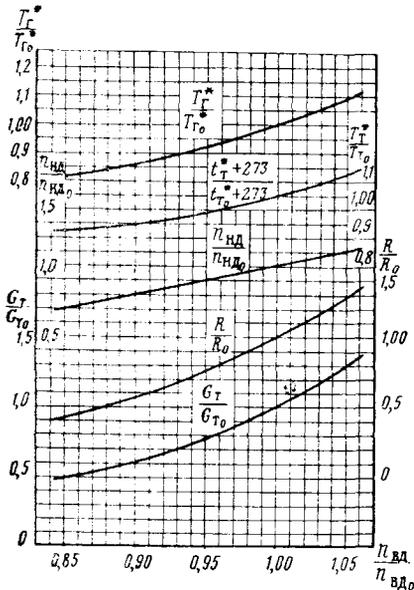
Регулятор расхода топлива (каждому положению рычага управления двигателем соответствует определенный расход топлива) обеспечивает необходимые расходы топлива по режимам и корректирует их по полному давлению воздуха на входе в двигатель. Корректировка расхода топлива производится таким образом, что с изменением высоты полета в стандартной атмосфере обороты ротора высокого давления удерживаются примерно постоянными. При повышении атмосферного давления регулятор расхода топлива поддерживает постоянный расход топлива, равный расходу при давлении 760 мм. рт. ст.

Регулятор оборотов (каждому положению рычага управления двигателем соответствуют определенные обороты ротора высокого давления) на каждом режиме работы двигателя не допускает увеличения оборотов ротора высокого давления выше заданного значения при любых изменениях условий полета.

ИЗМЕНЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ДВИГАТЕЛЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

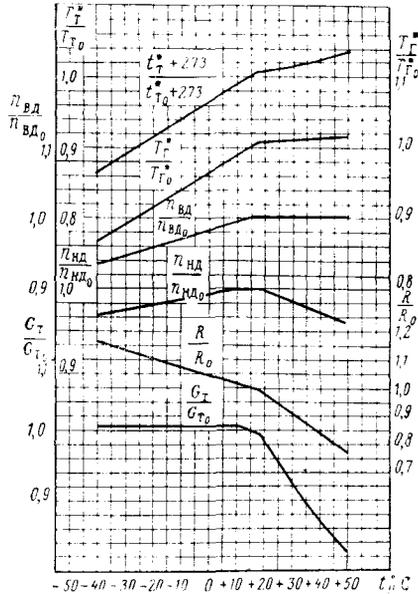
Изменение основных параметров взлетного режима в земных статических условиях ($p_H = 760$ мм рт. ст.; $V_H = 0$) в зависимости от температуры окружающей среды (t_H) приведено на фиг. 4. При постоянном давлении воздуха на входе в двигатель и $t_H \leq 11^\circ\text{C}$ расход топлива, дозируемый регулятором расхода, не изменяется. С повышением температуры окружающей среды расход воздуха через двигатель из-за падения его плотности уменьшается, что приводит к резкому возрастанию температуры газов перед турбиной и увеличению удельных мощностей на

турбинах. Обороты роторов высокого и низкого давлений ($n_{ВД}$ и $n_{НД}$) возрастают, однако рост оборотов ротора низкого давления несколько меньше роста оборотов ротора высокого давления из-за большого падения степени расширения на турбине низкого давления. Уменьшение степеней расширения газов на турбинах объясняется падением степени повышения давления воздуха компрессорами, так как с повышением температуры окружающей среды сжимаемость воздуха уменьшается. При этом тяга двигателя, несмотря на рост оборотов роторов и температуры газов перед турбиной, уменьшается из-за падения расхода воздуха через двигатель и уменьшения степени повышения давления компрессоров.



Фиг. 3. Дроссельная характеристика, снятая при работе двигателя на стенде ($H=0$; $M=0$; $t_H=+15^\circ\text{C}$).

Параметры $n_{ВД0}$; $n_{НД0}$; $T_{Г0}^*$; $T_{Т0}^*$; R_0 ; $G_{Т0}$ соответствуют работе двигателя на номинальном режиме



Фиг. 4. Характеристика взлетного режима ($H=0$; $M=0$).

Параметры $n_{ВД0}$; $n_{НД0}$; $T_{Г0}^*$; $T_{Т0}^*$; R_0 ; $G_{Т0}$ соответствуют работе двигателя на взлетном режиме при $t_H=+15^\circ\text{C}$

При температурах воздуха выше 18°C обороты ротора высокого давления достигают максимального значения и удерживаются всережимным регулятором оборотов. С повышением температуры окружающей среды температура газов перед турбиной возрастает незначительно из-за некоторого падения степени расширения газов на турбине высокого давления. Расход воздуха через двигатель при этом падает значительно резче, так как уменьшаются обороты ротора низкого давления. Поэтому с повышением температуры окружающей среды выше 18°C тяга двигателя падает резче. Расход топлива также уменьшается из-за уменьшения расхода воздуха через двигатель.

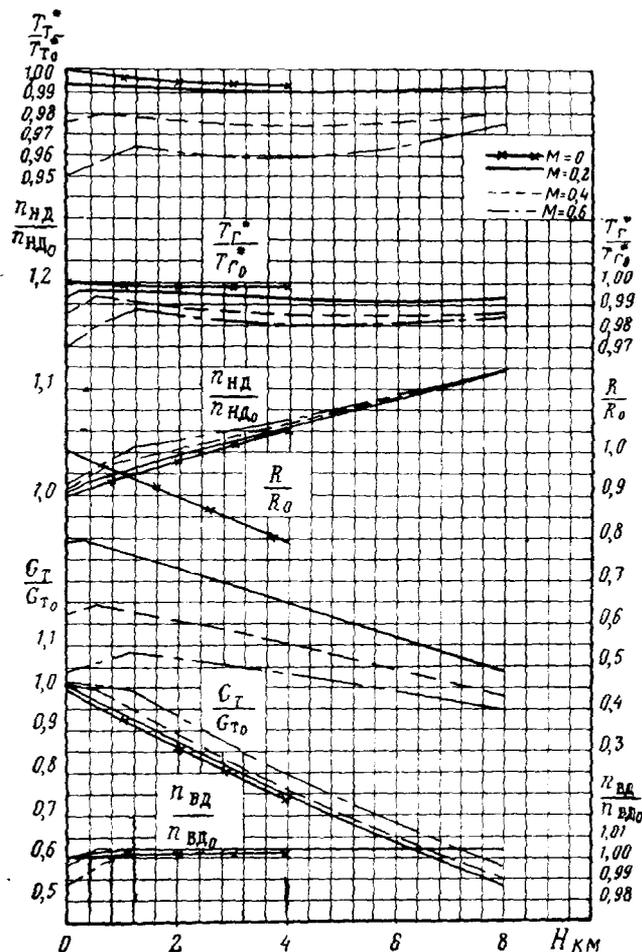
При температурах окружающей среды в диапазоне $11-18^\circ\text{C}$ в земных условиях подача топлива обеспечивается совместно регулятором расхода топлива и регулятором оборотов (переходная зона).

Изменение параметров двигателя в зависимости от температуры окружающей среды на других режимах и высотах идентично вышеописанному на взлетном режиме в земных статических условиях. При этом переход от закона подачи топлива регулятором расхода к закону огра-

ничения оборотов происходит при $M=0$ и температурах стандартной атмосферы. С увеличением скорости полета этот переход смещается на более низкие температуры.

ВЫСОТНО-СКОРОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

На фиг. 5 представлены высотно-скоростные характеристики на крейсерском (0,85 номинального) режиме работы двигателя в стандартной атмосфере. Скорость полета в характеристиках выражена числом Маха (M), представляющим отношение скорости полета к скорости звука в среде полета.



Фиг. 5. Высотно-скоростные характеристики.

Режим работы — 0,85 номинального. Параметры $n_{вд0}$; $n_{нд0}$; T_{T0}^* ; T_{T0}^* ; R_0 ; G_{T0} соответствуют работе двигателя на режиме 0,85 номинального при $H=0$ и $M=0$

При $M=0$ в стандартной атмосфере на всех высотах регуляторы оборотов и расхода топлива взаимно влияют друг на друга, уменьшая расход топлива, выдаваемый регулятором расхода (переходная зона).

На больших скоростях полета подача топлива осуществляется в основном регулятором оборотов (кроме малых высот), который поддер-

живает обороты ротора высокого давления постоянными независимо от высоты и скорости полета. С возрастанием высоты при заданном M уменьшается расход воздуха через двигатель из-за падения плотности. Температура газов перед турбиной при этом сначала незначительно уменьшается, так как несколько увеличивается степень расширения на турбине высокого давления вследствие увеличения степени повышения давления в компрессорах из-за понижения температуры воздуха на входе в двигатель.

С дальнейшим увеличением высоты температура газов перед турбиной начинает даже возрастать, так как ухудшаются характеристики узлов двигателя от уменьшения числа Рейнольдса. Изменение температуры газов перед турбиной в зависимости от высоты очень незначительно. Поэтому с увеличением высоты полета вследствие значительного падения расхода воздуха через двигатель уменьшается расход топлива и тяга двигателя. Уменьшение удельного расхода топлива объясняется увеличением степени повышения давления в компрессорах. Обороты ротора низкого давления с увеличением высоты возрастают, так как возрастает степень расширения на турбине низкого давления.

При постоянных оборотах ротора высокого давления на заданной высоте с увеличением скорости полета увеличивается расход воздуха через двигатель ввиду увеличения его плотности от скоростного напора. Температура газов перед турбиной при этом уменьшается, так как несколько увеличивается степень расширения на турбине высокого давления. Расход топлива возрастает, а тяга двигателя уменьшается, потому что падение удельной тяги больше, чем возрастание расхода воздуха через двигатель. Уменьшение удельной тяги и увеличение удельного расхода топлива объясняется большим ростом скорости полета, чем скоростей истечения воздуха и газа из реактивных сопел [$R_{уд} = \frac{1}{g}(W_c - V_{ц})$]. Обороты ротора низкого давления с увеличением скорости полета возрастают из-за увеличения степени расширения на турбине низкого давления.

На малых высотах подача топлива осуществляется регулятором расхода или совместной работой регуляторов оборотов и расхода (переходная зона). Это происходит от того, что на этих высотах полное давление воздуха на входе в двигатель от скоростного напора выше 760 мм рт. ст., и поэтому расход топлива — постоянный, т. е. не корректируется по полному давлению.

При постоянном расходе топлива с увеличением высоты полета на заданной скорости ($M=0,6$) резко возрастает температура газов перед турбиной вследствие уменьшения расхода воздуха через двигатель из-за падения его плотности. Это приводит к возрастанию оборотов роторов высокого и низкого давлений. Удельная тяга при этом резко возрастает, что приводит к возрастанию суммарной тяги, несмотря на падение расхода воздуха через двигатель.

Изменение параметров двигателя в высотно-скоростных условиях на других режимах идентично описанному на режиме 0,85 номинального.

Глава II

КОМПРЕССОР

Компрессор двигателя — осевой, дзвуковой, двухкаскадный, состоит из компрессора низкого давления (КНД) и компрессора высокого давления (КВД).

Компрессор низкого давления предназначен для создания тяги за счет энергии воздуха, проходящего через второй контур двигателя, и для предварительного поджатия воздуха, поступающего в компрессор высокого давления.

Компрессор высокого давления предназначен для окончательного сжатия воздуха, проходящего через первый контур двигателя, и подачи этого воздуха в камеру сгорания.

Компрессоры, состоящие из статоров и роторов, имеют три и восемь ступеней соответственно, разную производительность и степень сжатия.

Статоры компрессоров представляют собой жесткие корпуса, в точной части которых размещены лопатки спрямляющих аппаратов.

Роторы компрессоров — диско-барабанной конструкции, механически не связаны между собой и вращаются с разными числами оборотов. Опорами роторов являются подшипники качения. Ротор компрессора низкого давления приводится во вращение двухступенчатой турбиной низкого давления (ТНД), ротор компрессора высокого давления — одноступенчатой турбиной высокого давления (ТВД).

На входе в компрессор низкого давления установлен входной направляющий аппарат (ВНА КНД), предназначенный для снижения относительной скорости воздуха и получения оптимальных углов набегающего потока на профиль рабочей лопатки I ступени ротора компрессора.

Для согласования работы каскадов низкого и высокого давлений лопатки входного направляющего аппарата компрессора высокого давления (ВНА КВД) выполнены поворотными. Угол установки лопаток, обеспечивающий оптимальные параметры компрессора, зависит от индивидуальных особенностей двигателя и устанавливается после сборки двигателя.

Проточная часть компрессора выполнена в виде сужающегося кольцевого канала за счет уменьшения наружного и увеличения внутреннего диаметров тракта в компрессоре низкого давления и на первых двух ступенях компрессора высокого давления, а на участке III—VIII ступеней компрессора высокого давления — за счет увеличивающегося внутреннего диаметра при постоянном наружном диаметре тракта.

Лопатки роторов компрессоров передают воздуху внешнюю механическую работу, 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.

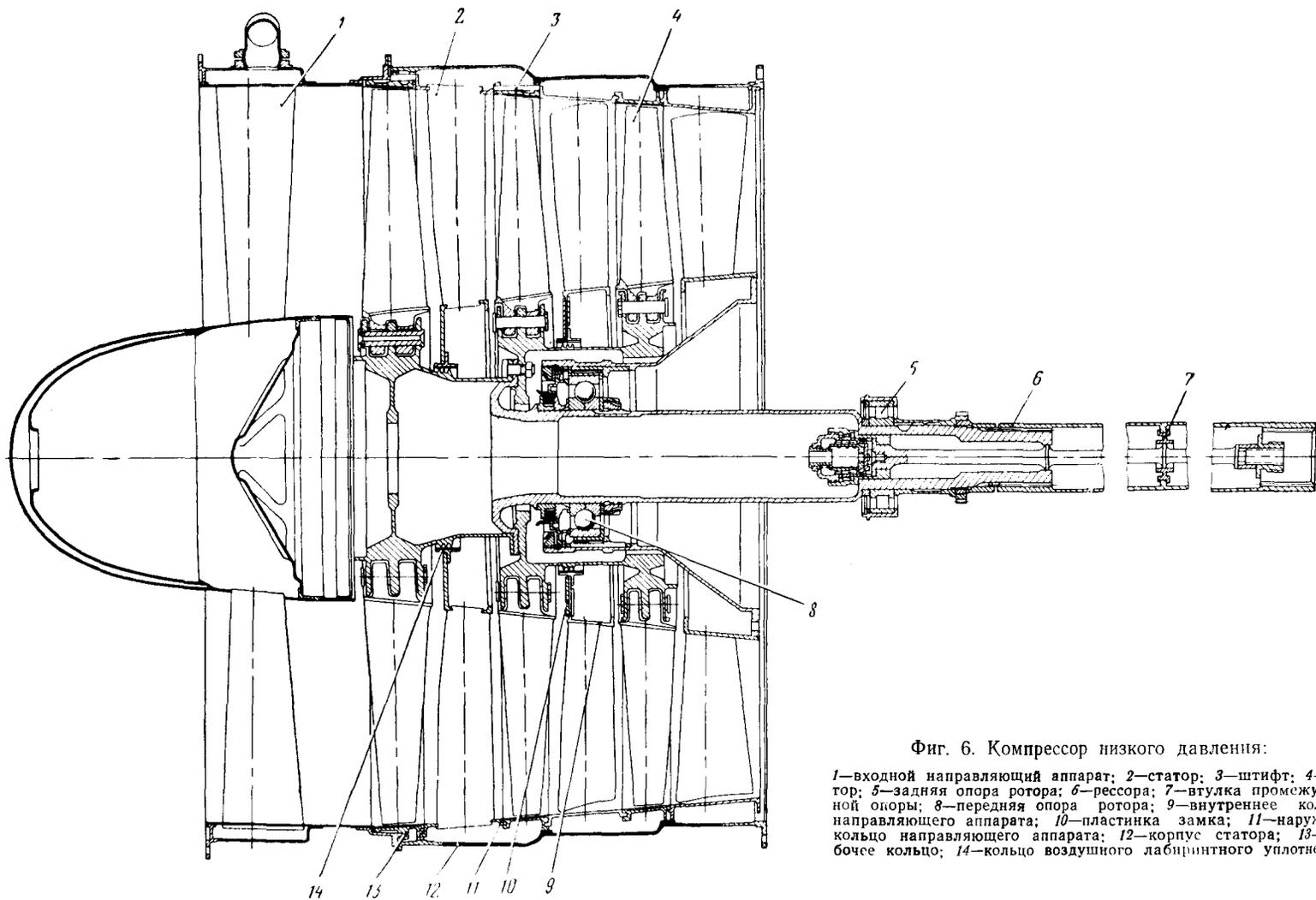
Для расширения диапазона устойчивой работы двигателя при запуске и на малых оборотах в компрессоре предусмотрена система перепуска воздуха.

КОМПРЕССОР НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ (КНД)

Компрессор низкого давления (фиг. 6) состоит из следующих основных узлов: входного направляющего аппарата 1, статора 2, ротора 4, передней 8 и задней 5 опор ротора и рессоры 6.

Входной направляющий аппарат выполнен как неразъемный сварной узел (фиг. 7). На переднем фланце 1 входного направляющего аппарата просверлено 16 равномерно расположенных отверстий 2 диаметром 6,5 мм для крепления самолетного воздухозаборника и четыре отверстия 3 диаметром 7 мм под кронштейны крепления труб обогрева.

Задним фланцем 6 входной направляющий аппарат прикреплен 36 болтами к корпусу компрессора низкого давления.

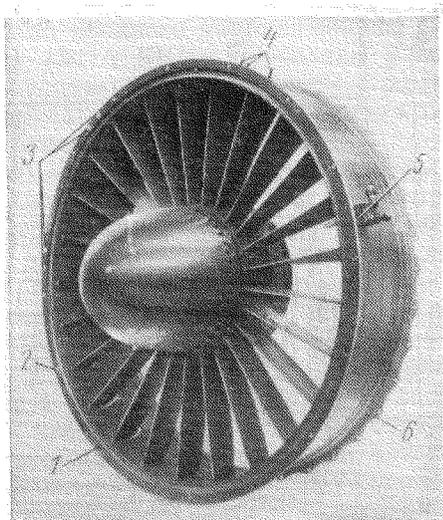


Фиг. 6. Компрессор низкого давления:

1—входной направляющий аппарат; 2—статор; 3—штифт; 4—ротор; 5—задняя опора ротора; 6—рессора; 7—втулка промежуточной опоры; 8—передняя опора ротора; 9—внутреннее кольцо направляющего аппарата; 10—пластинка замка; 11—наружное кольцо направляющего аппарата; 12—корпус статора; 13—рабочее кольцо; 14—кольцо воздушного лабиринтного уплотнения

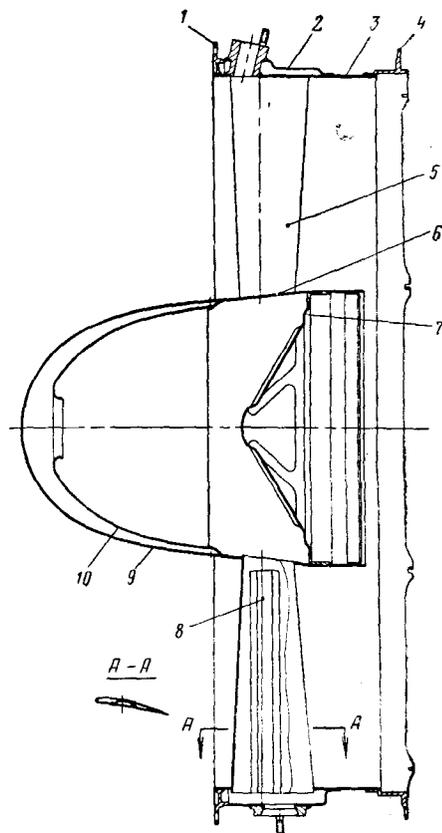
На внутреннем диаметре заднего фланца 6 выполнены борт и посадочный пояс. Борт, выфрезерованный для облегчения в семи местах, имеет восемь точно расположенных торцовых пазов для фиксации рабочего кольца I ступени статора и восприятия крутящего момента от газодинамических сил, действующих на лопатки направляющих аппаратов I и II ступеней статора. Посадочный пояс служит для центрирования входного направляющего аппарата относительно статора компрессора низкого давления.

Наружный кожух 2 входного направляющего аппарата (фиг. 8), приваренный одной стороной к переднему фланцу 1, а другой — к наружному кольцу 3, образует между кожухом и наружным кольцом круговую полость переменной сечення, куда поступает горячий воздух для обогрева входного направляющего аппарата. За счет конфигурации наружного кожуха сечение этой полости уменьшается по мере удаления от мест подвода воздуха и становится минимальным примерно через 90°.



Фиг. 7. Входной направляющий аппарат компрессора низкого давления:

1—передний фланец; 2—отверстия для крепления самолетного воздухозаборника; 3—отверстия под кронштейны крепления труб обогрева; 4—шпильки для подсоединения труб обогрева; 5—приемник полного давления; 6—задний фланец



Фиг. 8. Входной направляющий аппарат компрессора низкого давления:

1—передний фланец; 2—наружный кожух; 3—наружное кольцо; 4—задний фланец; 5—лопатка; 6—внутреннее кольцо; 7—диафрагма; 8—дефлектор лопатки; 9—обтекатель; 10—дефлектор обтекателя

Внизу, под углом $7^{\circ}12'$, справа от вертикали (смотря по полету), и вверху в вертикальной плоскости на наружном кожухе приварены два фланца, имеющие по три шпильки 4 (см. фиг. 7) и коническую седловину для подсоединения труб обогрева. Для герметичного сочленения по конической поверхности седловины фланцев на концах труб выполнены шаровидные утолщения.

Слева, вверху, под углом $57^{\circ}14'$ к вертикали (смотря по полету) в наружный кожух и наружное кольцо вварена полая бобышка с наклонным фланцем, имеющим две шпильки для крепления приемника полного давления 5.

К внутреннему кольцу 6 (см. фиг. 8) со стороны входа приварены обтекатель 9 и дефлектор 10, со стороны выхода с помощью 18 заклепок прикреплена диафрагма 7 с козырьком, продолжающим втулочную трактовую поверхность за задней кромкой лопатки входного направляющего аппарата.

Наружное и внутреннее кольца, изготовленные из листового материала, имеют по 25 профильных просечек, в которые вставлены и приварены лопатки.

Лопатки входного направляющего аппарата выдвинуты вперед и расположены относительно лопаток I ступени ротора КНД на расстоянии, равном приблизительно хорде лопатки. Это позволяет уменьшить силу возбуждения вибраций в элементах конструкции, возникающих от пульсаций воздушного потока, снизить шум и уменьшить вредные последствия от попадания птиц в тракт двигателя.

Лопатки 5 выполнены полыми из листового материала и имеют сварные швы по входной и выходной кромкам. При этом в передней и задней частях профиля лопатки предусмотрены отверстия для поступления горячего воздуха внутрь лопатки. Внутри к стенкам лопатки точечной сваркой приварен дефлектор, который служит для увеличения жесткости лопатки и направления потока обогревающего воздуха непосредственно вдоль входной и выходной кромок.

Горячий воздух, который поступает из труб обогрева в полость между наружным кожухом 2 и наружным кольцом 3, направляется в лопатку, пройдя ее, поступает в полость внутри дефлектора 10 обтекателя, дальше движется по щелевому каналу между внутренней поверхностью обтекателя 9 и дефлектором 10 и выходит наружу через радиальные отверстия в обтекателе вблизи от входных кромок лопаток.

Все детали входного направляющего аппарата компрессора низкого давления выполнены из титанового сплава.

Статор компрессора низкого давления (см. фиг. 6) состоит из корпуса 12, рабочих колец 13 и направляющих аппаратов 1.

Корпус компрессора низкого давления — цельный, выполнен из листового материала методом штамповки взрывом, имеет два приваренных фланца: передний для соединения 36 болтами с входным направляющим аппаратом и задний для крепления 34 болтами к разделительному корпусу.

Слева, сзади, под углом 30° , вверх от горизонтали на корпусе компрессора низкого давления приварены три бобышки с внутренней резьбой. Во время работы двигателя отверстия, которые служат для осмотра деталей ротора, закрыты заглушками.

На внутренних поверхностях корпуса компрессора низкого давления выполнено четыре центровочных пояска: два на фланцах и два на приваренных кольцах. Три пояска служат для центрирования рабочих колец в корпусе и четвертый — для центрирования корпуса на разделительном корпусе.

Рабочее кольцо I ступени имеет два бурта: со стороны входа, по которому центрируется входной направляющий аппарат компрессора низкого давления, и со стороны выхода, которым оно центрируется в корпусе компрессора низкого давления и соединяется с наружным кольцом направляющего аппарата I ступени. Между буртами имеются радиальные выступы с торцевой канавкой, в которую входит торцевой бурт фланца входного направляющего аппарата.

Рабочее кольцо II ступени, кроме круговых канавок на торцевых поверхностях для сочленения с наружными кольцами направляющих аппаратов I и II ступеней, имеет посадочный поясок со стороны выхода для центрирования в корпусе компрессора низкого давления.

Рабочее кольцо III ступени радиальным буртом на заднем торце

центрируется в корпусе компрессора низкого давления. На переднем торце кольцо имеет круговую канавку, в которую входит ответный торцовый выступ наружного кольца направляющего аппарата II ступени. Фиксация рабочего кольца III ступени в окружном направлении осуществляется с помощью штифта на переднем торце, входящего в ответный паз на торцовом круговом выступе наружного кольца направляющего аппарата II ступени.

Рабочие кольца и кольца межступенчатых лабиринтных уплотнений на рабочих поверхностях имеют мягкое, легко прирабатываемое покрытие, позволяющее выдерживать минимальными радиальными зазорами между ротором и статором, что благоприятно сказывается на параметрах компрессора и всего двигателя.

Все направляющие аппараты (НА) компрессора низкого давления — разъемные и состоят каждый из двух половин. Наружные 11 и внутренние 9 кольца направляющего аппарата — точеные, имеют профильные прорези, в которые вставлены лопатки. Выступающие из прорезей концы лопаток расклепаны и залиты клеем.

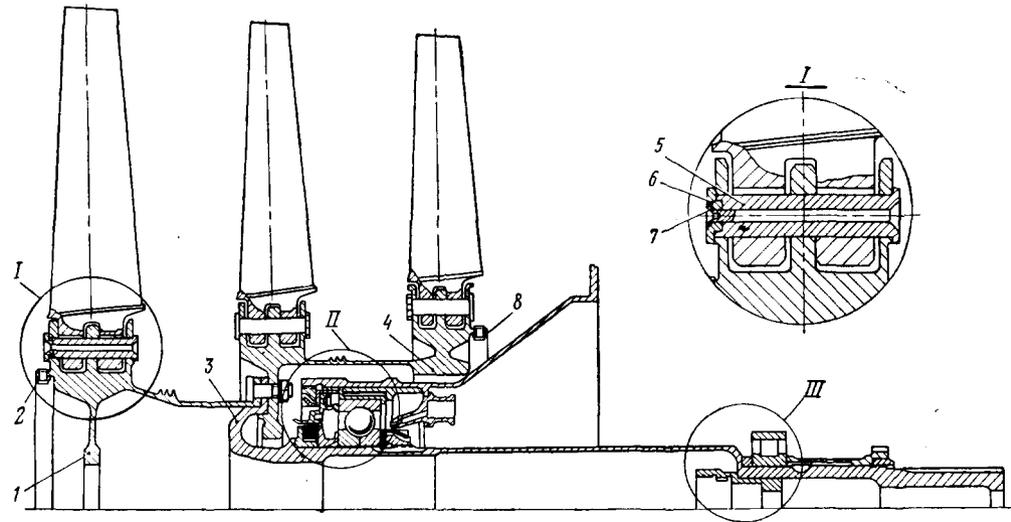
Внутренние кольца I и II ступеней в передней части переходят в плоские стенки, к которым контактной сваркой приварены кольца межступенчатых воздушных лабиринтных уплотнений. В месте разъема направляющего аппарата к этим стенкам приклепаны стальные пластинки 10 замка, предотвращающего взаимное осевое перемещение половин аппарата. Наружные кольца направляющих аппаратов I и II ступеней конструктивно выполнены идентично.

Наружное кольцо направляющего аппарата II ступени спереди и с задней стороны имеет торцовые круговые бурты, с помощью которых оно сочленяется с рабочими кольцами. На этих буртах выполнено шесть радиальных пазов, которые служат для передачи крутящего момента от аэродинамических сил. Для этой же цели служат штифты 3, запрессованные в рабочее кольцо II ступени и входящие в пазы при монтаже. Эти же штифты другим своим концом входят в ответные пазы наружного кольца направляющего аппарата I ступени. Таким образом, крутящий момент передается от направляющего аппарата II ступени через рабочее кольцо II ступени на направляющий аппарат I ступени, здесь добавляется крутящий момент от аэродинамических сил, действующих на лопатки направляющего аппарата I ступени, и этот суммарный крутящий момент передается далее на рабочее кольцо I ступени способом, аналогичным описанному, но уже через восемь штифтов, запрессованных в рабочее кольцо I ступени.

Наружное кольцо направляющего аппарата III ступени имеет спереди посадочные пояски для центрирования в корпусе компрессора низкого давления и по рабочему кольцу III ступени ротора компрессора низкого давления, со стороны выхода — несколько радиальных выступов, входящих в соответствующие пазы на корпусе компрессора низкого давления, имеющих посадочные места для центрирования по бурту разделительного корпуса и предназначенных для передачи крутящего момента и аэродинамических сил. Направляющий аппарат III ступени не имеет кольца межступенчатого воздушного лабиринта.

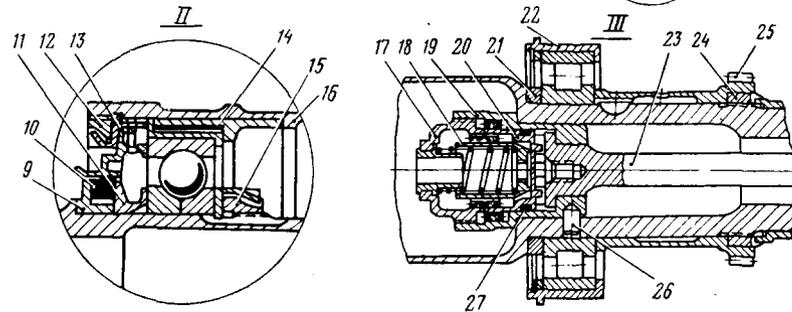
Ротор компрессора низкого давления (фиг. 9) — трехступенчатый, консольного типа, диско-барабанной конструкции, состоит из диска I ступени 1 с лопатками, объединенного диска II и III ступеней 4 с лопатками и вала 3.

Диск I ступени 1 имеет фланец для крепления с валом 3. На конической поверхности, соединяющей обод диска и фланец, выполнено три гребешка межступенчатого воздушного лабиринтного уплотнения. Диски II и III ступеней объединены в одну деталь 4 и соединены тонко-



Фиг. 9. Ротор компрессора низкого давления:

1—диск I ступени; 2, 8—балансировочные грузы; 3—вал; 4—диск II и III ступеней; 5—палец; 6—съемная шайба; 7—заклепка; 9—распорное кольцо; 10—разрезное графитовое кольцо; 11—кольцо; 12, 15, 17, 24—гайки; 13—втулка контактного уплотнения; 14—упругое кольцо; 16—корпус подшипника передней опоры; 18—подвижный замок; 19—шлицевая втулка; 20—втулка; 21—регулирующее кольцо; 22—обойма подшипника задней опоры; 23—стяжной болт; 25—шестерня; 26—штифт; 27—резиновое кольцо



стенной оболочкой, на которой также выполнены три гребешка межступенчатого воздушного лабиринтного уплотнения.

Диски I и III ступеней на торцах ободов имеют бурты с радиальными отверстиями, в которых на заклепках установлены балансирующие грузы 2 и 8, выполненные в виде сектора. На полотне диска II ступени выполнены отверстия и центровочный бурт для сочленения с валом. Диск I ступени и объединенный диск II—III ступеней прикреплены к фланцу вала 3 двенадцатью призонными болтами.

Рабочие лопатки и диски ротора компрессора низкого давления выполнены из титанового сплава, вал — из стали.

Рабочие лопатки крепятся к дискам шарнирными замками. На ободе диска каждой ступени выполнено по три реборды, расположенные симметрично относительно полотна диска и имеющие ряд осевых точно изготовленных отверстий по количеству лопаток. В пазы между ребордами входят проушины замков лопаток. Стальные пальцы 5, вставленные в отверстия реборд и проушин, шарнирно соединяют лопатки с дисками. Сами пальцы ограничены от осевого перемещения в отверстиях с одной стороны радиальными выступами, играющими роль шляпки, с другой — съемной шайбой 6, закрепленной на пальце заклепкой 7.

Ротор компрессора низкого давления установлен на двух опорах.

Передняя опора ротора КНД — шариковый радиально-упорный трехточечный подшипник с разрезной внутренней обоймой. Подшипник установлен в корпусе 16, который задним фланцем прикреплен к разделительному корпусу на 18-ти шпильках. Наружная обойма шарикоподшипника и втулка 13 контактного уплотнения затянуты гайкой 12. Внутренняя обойма подшипника, кольцо 11 и распорное кольцо 9 стянуты гайкой 15 на валу ротора. Между кольцом 11 и стенкой распорного кольца 9 помещено разрезное графитовое кольцо 10, которое при наддуве воздуха из-за рабочего колеса III ступени компрессора низкого давления прижимается торцом к плоской поверхности кольца 11, а наружной поверхностью — к цилиндрической поверхности втулки 13, предотвращая таким образом попадание масла из полости подшипника в воздушный тракт. Смазка шарикоподшипника осуществляется двумя форсунками, расположенными в верхней половине корпуса шарикоподшипника и соединенными трубопроводами с масляными каналами разделительного корпуса.

Между наружным кольцом и обоймой подшипника установлено упругое кольцо 14 с выступами по наружному и внутреннему диаметрам.

Задняя опора ротора КНД — роликоподшипник, установлена в стальной обойме 22, запрессованной в разделительном корпусе. От осевого перемещения наружная обойма подшипника зафиксирована стопорным разжимным кольцом. Внутренняя обойма, регулировочное кольцо 21 и шестерня 25 привода датчика оборотов затянуты на валу ротора гайкой 24. Фиксация шестерни от проворота осуществляется шпонкой. Смазка роликоподшипника — барботажем.

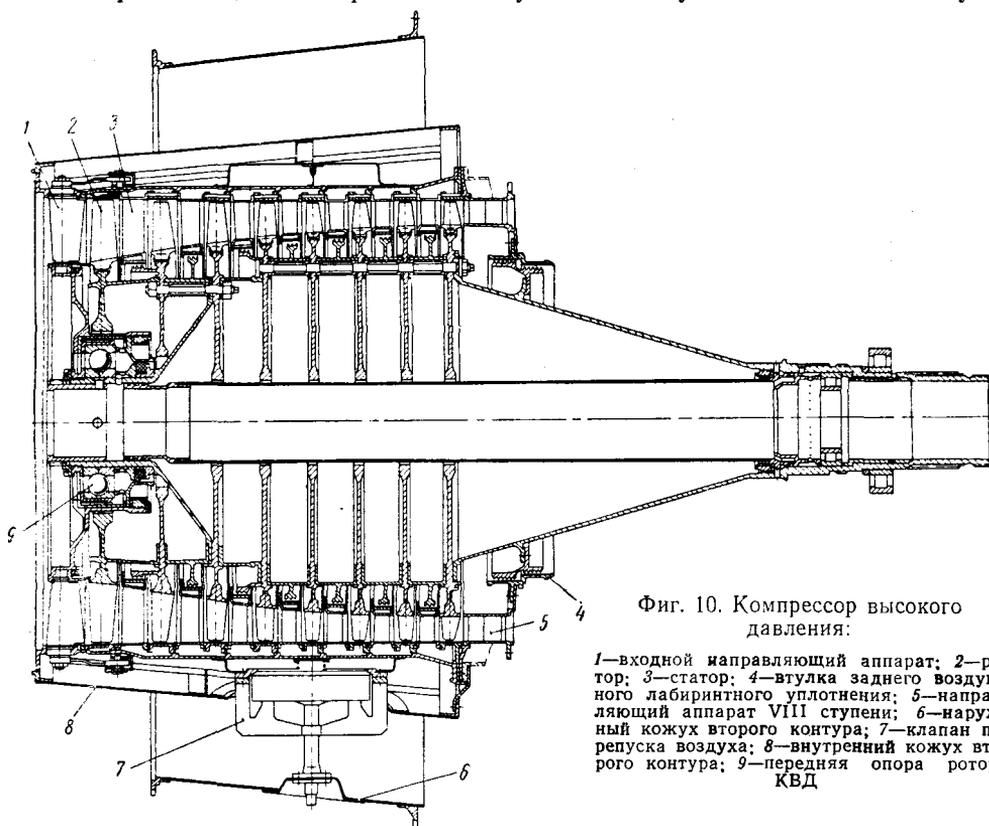
Внутри вала запрессована и зафиксирована одним штифтом 26 втулка 19 с внутренней резьбой и шлицами. Она служит для восприятия усилия от стяжного болта 23, соединяющего вал ротора компрессора низкого давления с валом ротора турбины низкого давления, кроме того, она является корпусом замка, фиксирующего болт от проворота и осевого перемещения. Шлицевая втулка 20 своими торцовыми выступами входит в пазы на головке стяжного болта 23, а радиальными — входит в зацепление со шлицами втулки 19. Таким образом осуществляется контровка стяжного болта от проворота. Гайка 17 прижимает втулку 20 и головку болта 23 к торцу втулки 19, фиксируя болт от осевого перемещения. Подвижный замок 18 под действием пружины, перемещаясь, входит в зацепление своими наружными шлицами с внутренними шли-

цами гайки 17 и втулки 20 и контрит, таким образом, гайку от проворота. Резиновое кольцо 27 служит для разделения масляной и воздушной полостей вала.

Рессора 6 ротора компрессора низкого давления (см. фиг. 6), изготовленная из стали, служит для передачи крутящего момента от турбины низкого давления и с обеих сторон имеет внутренние шлицы для сочленения с валами ротора компрессора низкого давления и турбины низкого давления. Внутри рессоры, посередине ее длины, выполнен бурт, на который напрессована и завальцована втулка 7, служащая промежуточной опорой для стяжного болта.

КОМПРЕССОР ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ (КВД)

Компрессор высокого давления (фиг. 10) состоит из следующих основных узлов: входного направляющего аппарата 1 (ВНА), статора 3, направляющего аппарата VIII ступени 5 с втулкой 4 заднего воздушного



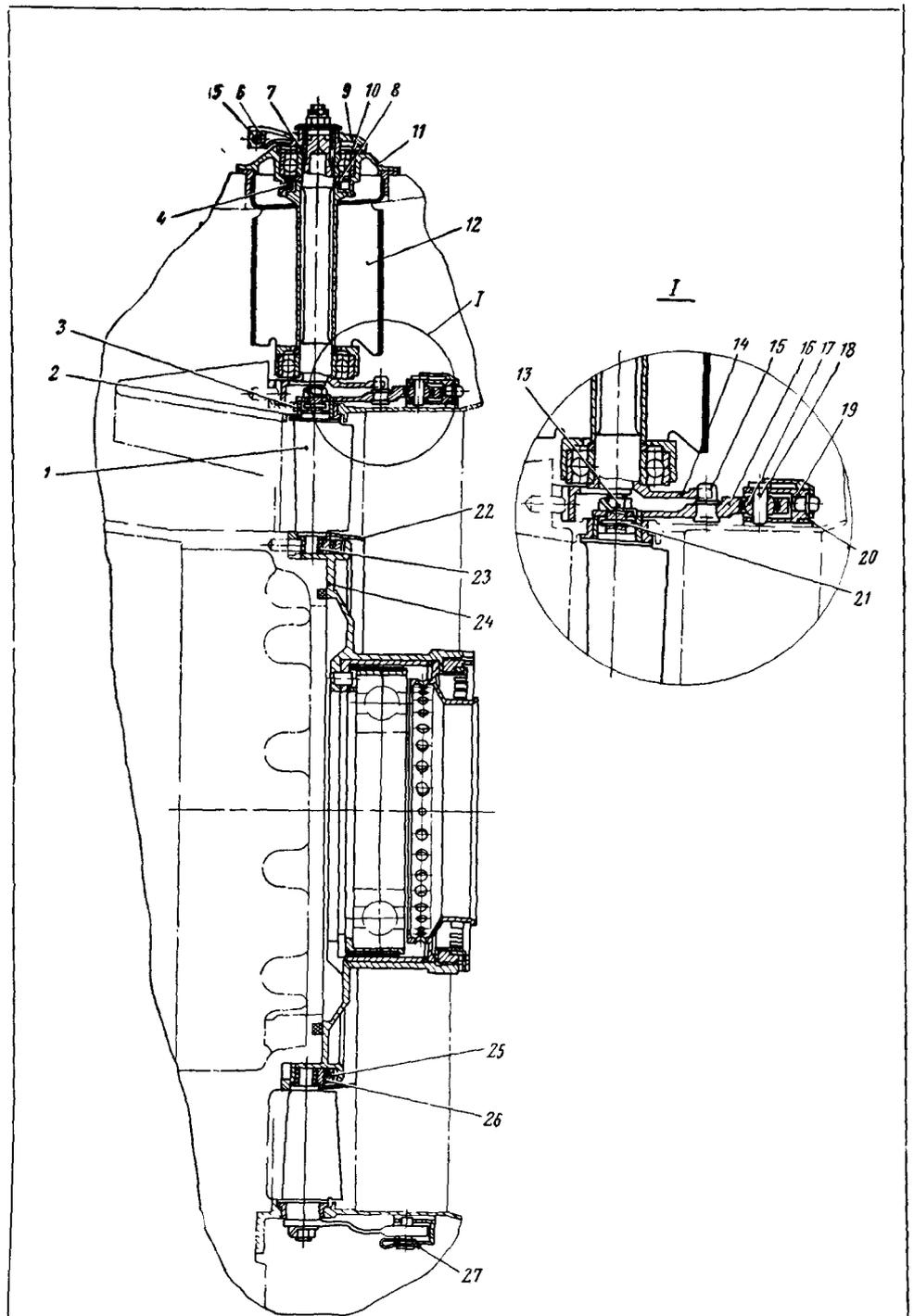
Фиг. 10. Компрессор высокого давления:

1—входной направляющий аппарат; 2—ротор; 3—статор; 4—втулка заднего воздушного лабиринтного уплотнения; 5—направляющий аппарат VIII ступени; 6—наружный кожух второго контура; 7—клапан перепуска воздуха; 8—внутренний кожух второго контура; 9—передняя опора ротора КВД

ного лабиринтного уплотнения, ротора 2, передней 9 опоры ротора и клапанов перепуска воздуха 7, установленных за III и V ступенями.

Входной направляющий аппарат компрессора высокого давления расположен в передней части КВД. Своим внутренним кольцом 22 (фиг. 11) входной направляющий аппарат установлен в разделительном корпусе и прижат к нему фланцем корпуса 24 шарикоподшипника передней опоры ротора компрессора высокого давления при помощи двух колец — регулировочного 26 и упругого 25.

Внутреннее кольцо — разъемное в плоскости, проходящей через оси радиальных отверстий под лопатки. Половинки внутреннего кольца зацентрированы между собой четырьмя осевыми штифтами.



Фиг. 11. Входной направляющий аппарат КВД:

1—лопатка; 2—втулка-подшипник; 3—втулка; 4—графитовое кольцо; 5—регулирующий винт; 6—контргайка; 7, 9, 16—рычаги; 8—распорная втулка; 10—шайба; 11—крышка; 12—корпус; 13—гайка; 14—ведущий валик; 15, 21—штифты; 17—подшипник; 18—палец; 19—плавающее кольцо; 20—соединительная планка; 22—внутреннее кольцо; 23—фторопластовая втулка; 24—корпус шарикоподшипника передней опоры ротора КВД; 25—упругое кольцо; 26—регулирующее кольцо; 27—пружинный замок

Конструкция входного направляющего аппарата компрессора высокого давления позволяет регулировать угол установки лопаток на собранном неработающем двигателе и фиксировать их в нужном положении.

Лопатки 1 ВНА компрессора высокого давления имеют цилиндрические цапфы, которыми они установлены в ответные радиальные отверстия, выполненные в корпусе компрессора высокого давления и во внутреннем кольце 22 входного направляющего аппарата.

В качестве подшипников для периферийных цапф лопаток служат бронзовые втулки 2, запрессованные в отверстия корпуса компрессора высокого давления, а для корневых цапф — фторопластовые втулки 23, вставленные в отверстия внутреннего кольца 22.

Периферийная цапфа каждой лопатки имеет втулку 3, по внутреннему диаметру которой зацентрирован один конец рычага 16, закрепленный на резьбовом хвостовике цапфы гайкой 13. Взаимная фиксация лопатки и рычага осуществляется штифтом 21, запрессованным в лопатке и ответном пазу на рычаге. Другой конец рычага 16 шарнирно связан с плавающим кольцом 19 при помощи подшипника 17, установленного и завальцованного в теле рычага, и пальца 18. От выпадания палец 18 зафиксирован пружинным замком 27. Плавающее кольцо 19 имеет разъем в диаметральной плоскости. Половинки кольца соединены между собой с помощью двух планок 20 и винтов.

При корректировке угла установки лопаток входного направляющего аппарата плавающее кольцо 19 поворачивается вокруг своей оси с помощью двух ведущих валиков 14 и силовых рычагов, расположенных диаметрально противоположно в горизонтальной плоскости.

Ведущий валик 14 смонтирован на двух шарикоподшипниках, установленных в сварном корпусе 12 и крышке 11. Одним концом, имеющим вилку, валик соединен со штифтом 15 силового рычага 16, а другим, имеющим шлицы, — с фиксирующим рычагом, выполненным в виде двух рычагов 7 и 9 и неподвижно связанным с крышкой 11. Рычаг 7 связан шлицами с ведущим валиком 14, а рычаг 9 имеет шарнирную связь с рычагом 7 и фиксируется относительно него в разных положениях с помощью регулировочных винтов 5 и контргайки 6, что позволяет корректировать угловое положение валика, а следовательно, и угол установки лопаток.

Шайба 10, графитовое разрезное кольцо 4 и распорная втулка 8 вместе с крышкой 11 являются деталями уплотнения, препятствующего утечке воздуха из второго контура в атмосферу.

На крышке 11 нанесена шкала делений, одно деление соответствует одному градусу поворота лопатки. С помощью стрелки-шайбы, закрепленной гайкой на ведущем валике 14, и шкалы можно видеть, в каком положении установлены лопатки, когда двигатель собран.

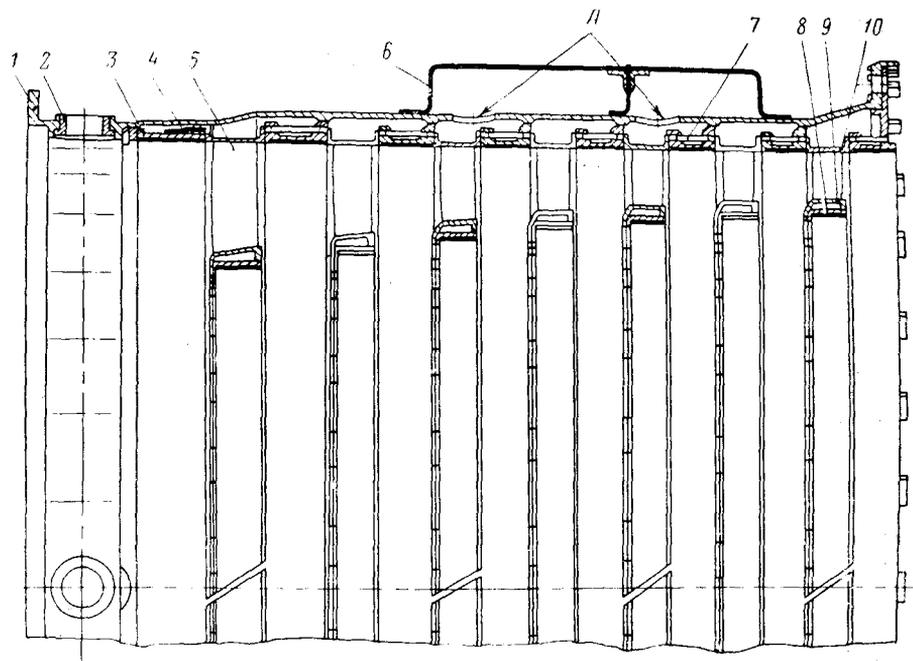
Лопатки, рычаги, плавающее кольцо, соединительные планки и детали фиксирующего рычага выполнены из титана. Силовые рычаги, ведущие валики — из стали, внутреннее кольцо входного направляющего аппарата — из алюминиевого сплава.

Статор компрессора высокого давления (фиг. 12) состоит из корпуса 1, рабочих колец 3 и направляющих аппаратов 5.

Корпус 1 компрессора высокого давления — цельный, точеный. На переднем фланце, которым корпус подсоединен к разделительному корпусу, выполнено тридцать два отверстия под шпильки и одно — для фиксирующего штифта, на заднем — тридцать шесть отверстий под болты для соединения с корпусом камеры сгорания. Со стороны переднего фланца корпус компрессора имеет утолщение с радиальными отверстиями, в которые запрессованы и поставлены на клею бронзовые втулки 2, являющиеся подшипниками лопаток входного направляющего аппарата.

В корпусе выполнен ряд радиальных отверстий *A* перепуска воздуха из-за III и V ступеней компрессора высокого давления.

К корпусу контактной сваркой приварен ресивер *б* с четырьмя фланцами для постановки клапанов перепуска воздуха (КПВ). Расположение отверстий в корпусе и стенках ресивера таково, что отбор воздуха как



Фиг. 12. Статор компрессора высокого давления:

1—корпус; 2—втулка-подшипник; 3—рабочее кольцо; 4—сухарь; 5—направляющий аппарат; 6—ресивер; 7—штифт; 8—кольцо воздушного межступенчатого лабиринтного уплотнения; 9—внутреннее кольцо; 10—наружное кольцо; *A*—отверстия перепуска воздуха из-за III и V ступеней КВД

из-за III и V ступеней осуществляется равномерно почти по всей окружности. Справа, сверху (под углом $7^{\circ}30'$ к горизонтали) к ресиверу приварена бобышка с отверстием для отвода воздуха из-за III ступени на наддув уплотнения задней опоры ротора турбины низкого давления.

Фланцы крепления клапанов перепуска воздуха имеют коническую поверхность — седловину, по которой происходит уплотнение во время закрытия клапана, и по два выступа, расположенные диаметрально по оси двигателя, в которых выполнено по два резьбовых отверстия для крепления клапана и по одному отверстию для центровочных штифтов. Полость, образованная корпусом компрессора и ресивером, разграничена так, что воздух из-за III ступени собирается и выходит через фланцы, расположенные под углом 45° к горизонтали, а из-за V ступени — через два других, симметрично расположенных фланца.

На внутренней поверхности корпуса выполнены девять поясков для центрирования рабочих колец.

Направляющие аппараты (НА) всех ступеней имеют разъемы в диаметральных плоскостях. Разъем каждого последующего направляющего аппарата смещен на 90° относительно предыдущего.

Наружные *10* и внутренние *9* кольца направляющих аппаратов — точеные. Лопатки соединены с кольцами электроклеевой. К внутренним кольцам *9* направляющих аппаратов приварены кольца *8* воздушных межступенчатых лабиринтных уплотнений. Соединение наружных и ра-

бочих колец направляющего аппарата аналогично соединению в статоре компрессора низкого давления. Взаимное центрирование их между собой осуществлено с помощью торцовых буртов на наружных кольцах аппаратов и соответствующих торцовых канавок на рабочих кольцах. Рабочее кольцо I ступени зафиксировано от проворота с помощью сухаря 4, приваренного к нему и входящего в паз на наружном кольце направляющего аппарата I ступени. Рабочие кольца и кольца межступенчатых воздушных уплотнений имеют мягкие, легко прирабатываемые покрытия. Все детали статора компрессора высокого давления выполнены из титанового сплава.

Передача крутящего момента от газодинамических сил, действующих на венцы лопаток направляющего аппарата, осуществляется с помощью осевых штифтов 7, запрессованных в тело рабочих колец и входящих в ответные пазы наружных колец направляющего аппарата. При этом крутящий момент передается с направляющего аппарата I ступени на рабочее кольцо II ступени, далее на направляющий аппарат II ступени, рабочее кольцо III ступени, направляющий аппарат III ступени и т. д., на рабочее кольцо VIII ступени и далее на корпус компрессора высокого давления. Поскольку крутящий момент от ступени к ступени суммируется, то и количество штифтов, передающих его, увеличивается с четырех на I ступени до двенадцати на VII ступени.

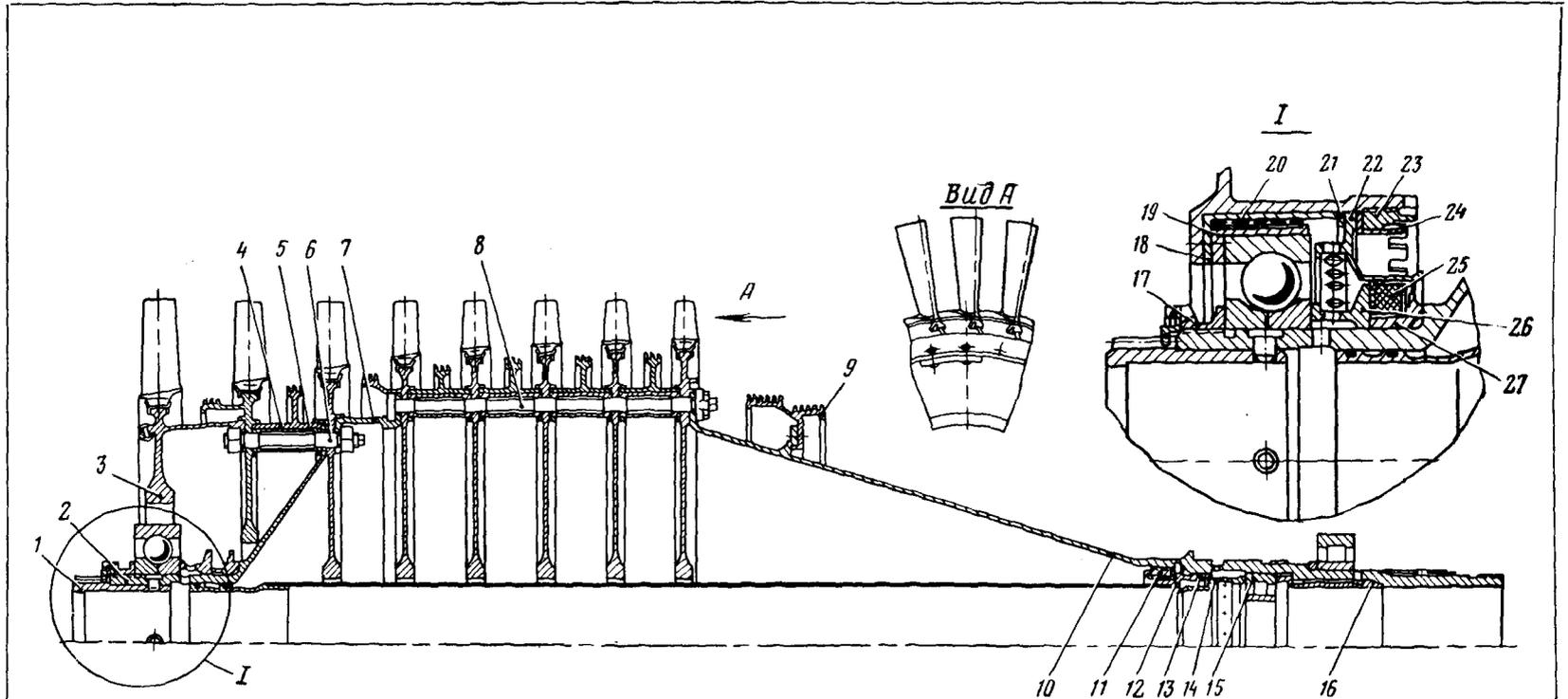
Направляющий аппарат VIII ступени служит для выравнивания потока воздуха до осевого направления при входе в диффузор камеры сгорания, имеет два ряда лопаток, соединенных с кольцами электроклепкой. Наружное кольцо 10 VIII ступени имеет фланец для крепления на нем деталей диффузора камеры сгорания; а внутреннее кольцо 9— фланец для крепления к корпусу камеры сгорания. Вместе с направляющим аппаратом VIII ступени к тому же фланцу на корпусе камеры сгорания закреплена втулка заднего воздушного лабиринтного уплотнения.

Ротор компрессора высокого давления (фиг. 13)— восьмиступенчатый, диско-барабанной конструкции, состоит из следующих основных деталей: восьми рабочих колес 3, пяти проставок 4 с распорными втулками 5, переходного кольца 7, переднего вала 2, заднего вала 10, экрана 12, заднего лабиринта 9 и деталей передней опоры ротора турбины низкого давления.

Каждое рабочее колесо ротора состоит из диска и рабочих лопаток, установленных в ободу диска с помощью замков типа ласточкина хвоста. От осевого перемещения лопатки зафиксированы пластинчатыми замками. Диск I ступени имеет фланец, которым он стыкуется с диском II ступени. Диски II и III ступеней, проставка 4 с распорными втулками 5, фланец переднего вала 2, фланец диска I ступени и передний фланец переходного кольца 7 стянуты шестнадцатью призонными шпильками 6. Диски IV, V, VI, VII, VIII ступеней, проставки 4 с распорными втулками 5, задний фланец переходного кольца 7, передний фланец заднего вала 10 стянуты шестнадцатью призонными болтами 8. Все проставки, а также диски II и IV ступеней имеют по три гребешка межступенчатых лабиринтных уплотнений. В переднем валу 2 запрессована и зафиксирована четырьмя штифтами шестереня 1 привода агрегатов.

На заднем валу 10 выполнен фланец, к которому закреплён лабиринт 9 заднего воздушного уплотнения.

Внутри заднего вала запрессована втулка 16 контактного масляного уплотнения турбины и установлены роликоподшипник 15 передней опоры ротора турбины низкого давления, втулка 14 и экран 12. Пакет указанных деталей стянут гайкой 11, законтренной чашечным замком. Между хвостовиком экрана 12, втулкой 14 и внутренним диаметром заднего вала поставлено мягкое уплотнительное кольцо 13 из алюминия,



Фиг. 13. Ротор компрессора высокого давления:

1—шестерня привода агрегатов; 2—передний вал; 3—рабочее колесо; 4—проставка; 5—распорная втулка; 6—шпилька; 7—переходное кольцо; 8—болт; 9—лабиринт; 10—задний вал; 11—гайка; 12—экран; 13—кольцо; 14—втулка; 15—ролик подшипника передней опоры ротора турбины низкого давления; 16—

втулка контактного масляного уплотнения турбины; 17, 23—гайки; 18—стакан; 19—гладкое кольцо; 20—упругое кольцо; 21—регулирующее кольцо; 22—втулка уплотнения; 24, 26—втулки; 25—графитовое кольцо; 27—распорная втулка

которое, деформируясь под усилием затяжки гайки 11, создает герметичность между экраном и задним валом. Передний конец экрана 12 размещен внутри переднего вала 2. Два резиновых кольца создают герметичность сочленения переднего вала с экраном.

Для динамической балансировки ротора компрессора высокого давления спереди на диске I ступени в радиальные отверстия торцового бурта приклепаны балансировочные грузы, выполненные в виде секторов, а также предусмотрена постановка болтов с увеличенной длиной в месте крепления лабиринта 9 к заднему валу. В каждом диске, кроме шестнадцати отверстий под шпильки, на том же диаметре расположено шестнадцать отверстий для размещения балансировочных грузов. Каждое рабочее колесо балансируется отдельно до постановки на ротор.

Диски, проставки, втулки, лопатки, шпильки, болты, задний воздушный лабиринт и экран выполнены из титанового сплава, задний и передний валы — из стали.

Передняя опора ротора компрессора высокого давления (см. уз. 1) — трехточечный шарикоподшипник. Спереди корпус шарикоподшипника прикреплен двенадцатью шпильками к внутреннему конусу разделительного корпуса.

В корпусе шарикоподшипника запрессован стакан 18 со специальными окнами для слива масла и буртом для восприятия осевых нагрузок, действующих на шарикоподшипник. В торце бурта запрессован штифт, который фиксирует от проворота гладкое кольцо 19, посаженное с натягом на наружную обойму подшипника. Стакан 18, регулировочное кольцо 21, втулка 22 стянуты в корпусе шарикоподшипника гайкой 23, законтренной замком и тонкостенной втулкой 24. Детали, сидящие на переднем валу 2 ротора компрессора высокого давления: внутренняя обойма подшипника, втулка уплотнения 26 и распорная втулка 27 стянуты гайкой 17, законтренной на зубьях шестерни 1 замком и проволочным разжимным кольцом.

Для уменьшения влияния динамических нагрузок на статор КВД между наружной обоймой подшипника и корпусной деталью предусмотрено упругое кольцо с выступами на наружном и внутреннем диаметрах. Причем выступы на наружном диаметре приходятся посередине между выступами на внутреннем. Упругое кольцо 20 установлено между стаканом 18 и гладким кольцом 19 и зафиксировано от проворота относительно последнего двумя торцовыми выступами, входящими в ответные пазы, выполненные на заднем бурте гладкого кольца.

Уплотнение масляной полости передней опоры ротора компрессора высокого давления осуществляется графитовым кольцом 25, которое под действием статического давления воздуха из-за III ступени компрессора низкого давления прижимается своим торцом к стальной втулке 26, сидящей на валу ротора, а наружным диаметром — к неподвижной втулке 22, закрепленной в корпусе шарикоподшипника, закрывая кольцевую щель между этими деталями.

Гарантированный минимальный зазор между торцом наружной обоймы подшипника и втулкой 22 масляного контактного уплотнения, конструкция которого аналогична уплотнению передней опоры ротора компрессора низкого давления, обеспечивает регулировочное кольцо 21.

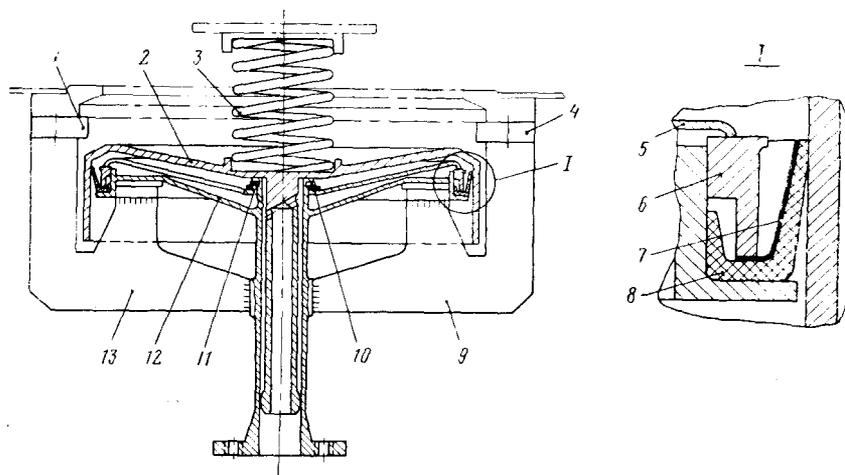
Распорная втулка 27 одновременно является местом для постановки графитового кольца и элементом, регулирующим необходимые осевые зазоры между статорными и роторными деталями компрессора высокого давления. Необходимый осевой размер втулки получают путем подрезки ее заднего торца.

Корпус подшипника, распорная втулка 27 и замки выполнены из

титанового сплава. Все остальные детали передней опоры ротора КВД выполнены из стали.

Клапаны перепуска воздуха. Для обеспечения устойчивой работы двигателя за III и V ступенями компрессора высокого давления предусмотрено по два клапана перепуска воздуха за каждой ступенью.

Клапан перепуска воздуха (фиг. 14) состоит из крышки 12 с двумя приваренными к ней стойками 9 и 13 прямоугольного сечения. Крышка имеет полый хвостовик, переходящий во фланец с двумя резьбовыми отверстиями для крепления трубопровода, и посадочный пояс с упорным буртом, на котором размещены элементы уплотнительного устройства: уплотняющая эластичная манжета 8, распорная пружина 7, кольцо 6, секторная пружина 5, шайба 11 и стопорное кольцо 10.



Фиг. 14. Клапан перепуска воздуха:

1, 4—накладки; 2—грибок; 3—пружина; 5—секторная пружина; 6—кольцо; 7—распорная пружина; 8—манжета; 9, 13—стойки; 10—стопорное кольцо; 11—шайба; 12—крышка

К стойкам 9 и 13 приварены накладки 1 и 4, в которые запрессованы центровочные штифты и выполнены отверстия для крепления клапана к фланцу ресивера корпуса компрессора высокого давления.

Грибок 2 представляет собой цилиндр с днищем. На наружной поверхности днища имеется конический пояс, которым (при закрытом клапане) грибок плотно прилегает к соответствующей конической поверхности на фланце ресивера, препятствуя проникновению воздуха из полости ресивера во второй контур двигателя. Внутренняя поверхность днища переходит в полый хвостовик с двумя отверстиями у днища. К внутренней поверхности цилиндра грибка прижимается уплотняющая эластичная манжета 8, образуя замкнутую герметичную полость между днищем грибка и крышкой.

На неработающем двигателе и при работе на малых оборотах клапаны перепуска воздуха открыты. Грибок 2 отжат от ресивера пружиной 3 в крайнее положение — полость ресивера сообщается с воздушным трактом второго контура.

При достижении определенных оборотов топливный регулятор 762МА открывает доступ воздуха из-за VIII ступени компрессора высокого давления к полному хвостовику крышки. Воздух через отверстия в хвостовике грибка попадает в герметичную полость между крышкой и днищем грибка. По мере возрастания давления в этой полости грибок начинает перемещаться в сторону ресивера, преодолевая усилие пружины 3. Дойдя до фланца ресивера, грибок перекрывает путь воздуху из полости ресивера во второй контур.

При переходе двигателя на малые обороты воздух из герметичной полости клапана стравливается в атмосферу, а грибок 2 отжимается пружиной 3 и клапан открывается.

Детали клапана: грибок 2, пружина 3, распорная пружина 7, секторная пружина 5 и стопорное кольцо 10 изготовлены из стали. Шайба 11, крышка со стойками и накладками — из титанового сплава.

Второй контур двигателя на участке компрессора высокого давления образован наружным кожухом 6 (см. фиг. 10) и внутренним кожухом 8.

Наружный кожух представляет конус, выполненный из листового материала. Передний фланец, приваренный к конусу, служит для крепления к разделительному корпусу 36 шпильками, задний — для соединения 16 болтами с промежуточным кожухом камеры сгорания. В четырех местах равномерно по окружности под углом 45° к горизонтали к кожуху контактной сваркой приварены выштамповки с отверстиями для соединения с фланцами клапанов перепуска воздуха и подвода управляющего воздуха к клапанам. Справа выше горизонтали на угол $7^\circ 30'$ приварен фланец для постановки трубы отвода воздуха из-за III ступени компрессора низкого давления на наддув уплотнения опоры турбины низкого давления.

Внутренний кожух 8, служащий для уменьшения потерь при прохождении воздуха по второму контуру над корпусом компрессора высокого давления, имеет коническую форму. Передний фланец торцовым круговым буртом центрируется в ответной канавке на разделительном корпусе. Задним фланцем с шестью проушинами кожух прикреплен с помощью винтов и кронштейнов к корпусу компрессора высокого давления и корпусу камеры сгорания.

Внутренний кожух имеет четыре отверстия в местах постановки клапанов перепуска воздуха, обеспечивающих свободный выход перепускаемого воздуха во второй контур, и одно отверстие в месте постановки трубы отбора воздуха из-за III ступени компрессора высокого давления для подпора масляных полостей опоры ротора турбины.

Передний фланец перерезан двумя отверстиями, расположенными диаметрально противоположно в горизонтальной плоскости. Через эти отверстия проходят сварные стойки, в которых помещены валики-рычаги поворотной системы входного направляющего аппарата компрессора высокого давления.

На внутренней поверхности внутреннего кожуха приварены четыре осевых и два поперечных уголка для увеличения жесткости детали. Для этой же цели служат отбуртовки в местах отверстий и накладки, окантовывающие эти отверстия.

Все детали наружного и внутреннего кожухов второго контура выполнены из алюминиевого сплава.

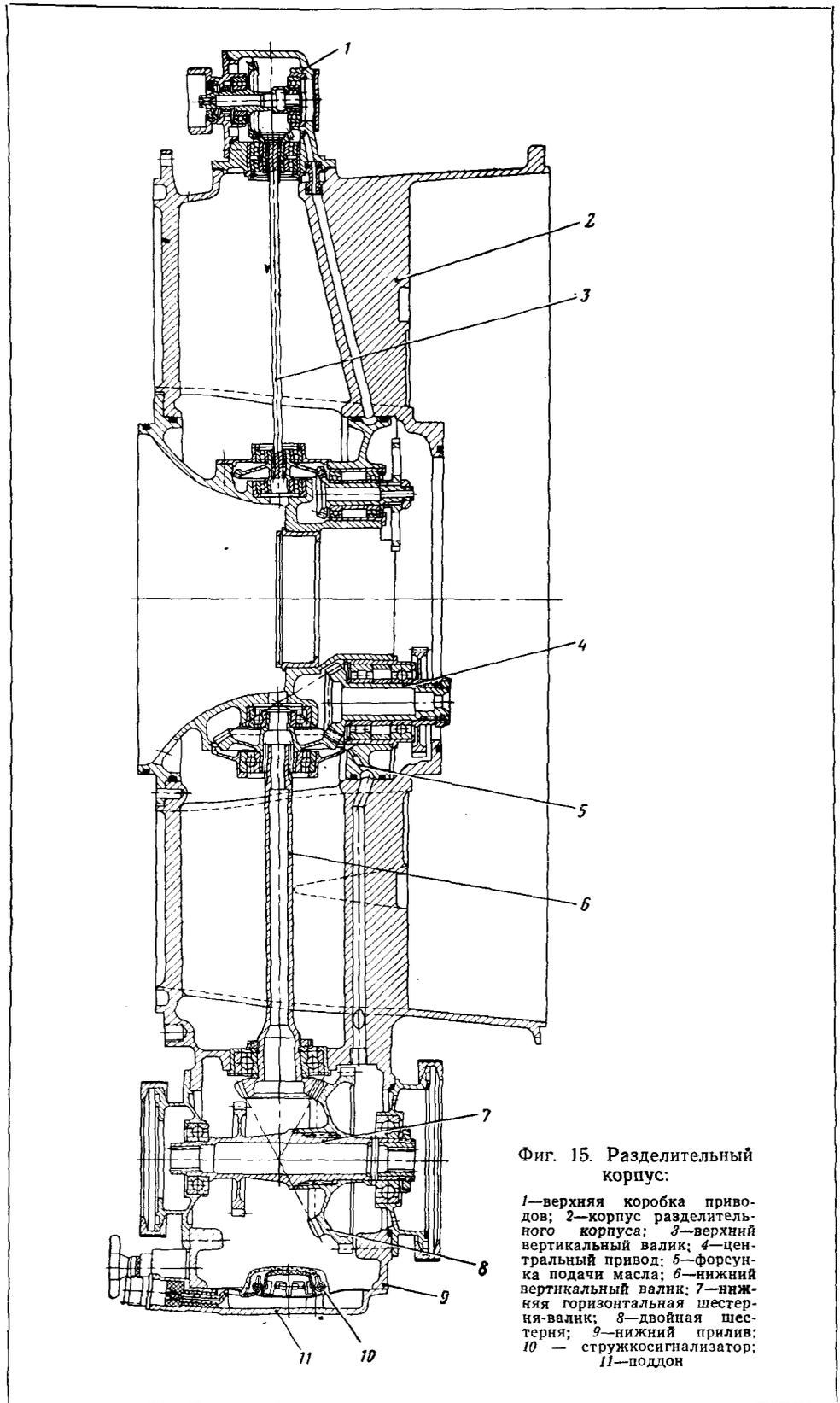
Глава III

РАЗДЕЛИТЕЛЬНЫЙ КОРПУС

Разделительный корпус (фиг. 15), расположенный между компрессорами низкого и высокого давлений, служит двум целям.

Во-первых, он предназначен для разделения воздушного потока, который поступает из компрессора низкого давления, на два — внутренний и наружный потоки, поступающие в первый и второй контуры двигателя.

Во-вторых, разделительный корпус служит для размещения опор компрессоров, агрегатов и приводов к ним, приборов и устройств, обслу-



Фиг. 15. Разделительный корпус:

1—верхняя коробка приводов; 2—корпус разделительного корпуса; 3—верхний вертикальный вал; 4—центральный привод; 5—форсунка подачи масла; 6—нижний вертикальный вал; 7—нижняя горизонтальная шестерня-вал; 8—двойная шестерня; 9—нижний прилив; 10 — стружкосигнализатор; 11—поддон

живающих и контролирующих работу двигателя и самолета, а также узлов подвески двигателя к самолету.

Разделительный корпус состоит из следующих узлов: корпуса 2, верхней коробки приводов 1, центрального привода 4 и приводов агрегатов и устройств, расположенных в нижнем приливе 9 разделительного корпуса.

На разделительном корпусе размещены следующие агрегаты и устройства, обслуживающие двигатель и самолет: топливный насос 760Б, топливный регулятор 762МА, маслоагрегат МА-25, воздушный стартер СВ-25, воздухоотделитель ВО-25, стружкосигнализатор СД-25, магнитная пробка МП-25, две катушки зажигания 1КНИ-11Б-Т, электромагнитный клапан пускового топлива, коллектор электропроводов, генератор постоянного тока ГСБК-9А, гидронасос НП-72М, датчики электрического тахометра ДТЭ-1, датчик замера давления масла ИД-8, датчик давления топлива ИД-100.

Конструктивно корпус разделительного корпуса, отлитый из магниевого сплава, выполнен в виде двух усеченных конусов, соединенных между собой шестью силовыми ребрами-стойками 33 (фиг. 16). Наружный и внутренний конусы образуют воздушный тракт двигателя, который разделительным кольцом 36 делится на два контура.

Спереди к фланцу 34 наружного конуса 30-ю болтами прикреплен статор компрессора низкого давления, а к фланцу 32 внутреннего конуса на 18-ти шпильках установлены корпуса центрального привода и передней опоры ротора компрессора низкого давления. Фланец 34 имеет 16 сквозных и 14 резьбовых отверстий. В нижней части фланца 32 выполнен фиксирующий штифт 47.

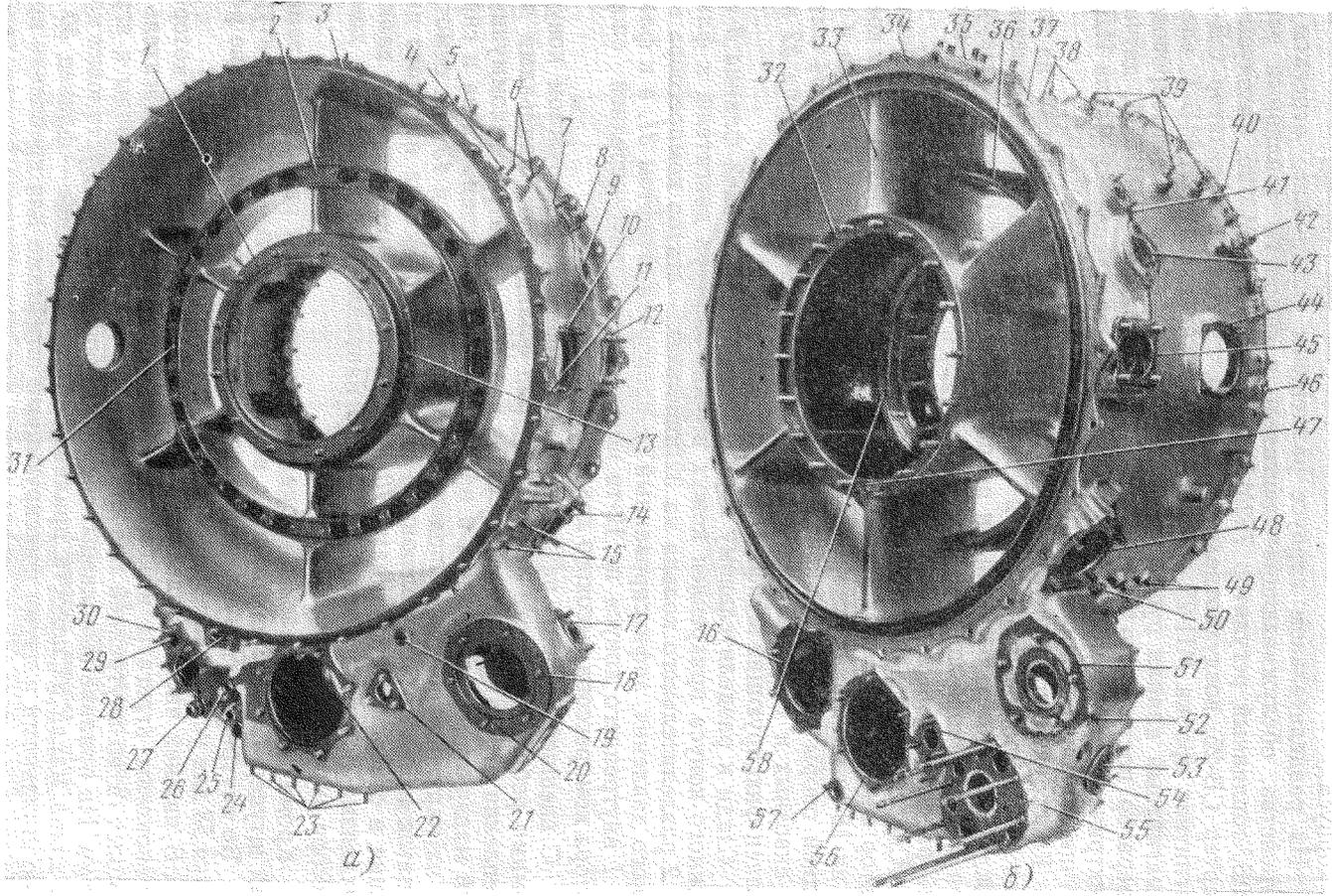
Сзади к разделительному корпусу на 36-ти шпильках фланца 3 наружного конуса прикреплен кожух второго контура двигателя, к фланцу 2 разделительного кольца на 32 шпильках — статор компрессора высокого давления, зафиксированный от проворота штифтом 31, а к фланцу 1 внутреннего конуса на 12-ти шпильках — корпус передней опоры ротора компрессора высокого давления.

С внешней стороны разделительного корпуса на наружном конусе, помимо ребра жесткости 37, имеется ряд фланцев со шпильками для крепления агрегатов двигателя, узлов подвески двигателя и коммуникаций масляной, суфлирующей и противопожарной систем. Слева и справа на наружном конусе выполнены смотровые окна 9 и 43 для осмотра лопаток входного направляющего аппарата компрессора высокого давления и отверстия с фланцами 10 и 44 для крепления ведущего валика механизма поворота лопаток входного направляющего аппарата компрессора высокого давления.

Кроме того, на левой стороне наружного конуса расположен запасный штуцер 42, сообщающийся с воздушной полостью второго контура.

Во внутреннем конусе разделительного корпуса выполнены две расточки 58 для установки корпуса центрального привода.

В нижней части разделительный корпус имеет прилив, на котором установлены агрегаты и коммуникации, обслуживающие двигатель и самолет, а во внутренней полости прилива размещены приводы к агрегатам. На приливе выполнены: спереди площадка 57 для установки крана слива масла из полости прилива; на задней стенке — фланец 30 с 17-ю шпильками и двумя фиксирующими штифтами для крепления крышки, штуцера подвода и отвода масла для подшипников ротора двигателя; на правой боковой стенке прилива крепится фирменная табличка с товарным знаком предприятия-изготовителя, обозначением, номером и серией двигателя. На крышке, закрывающей фланец 30, размещены агрегаты и фланец крепления переходника ручной прокрутки ротора компрессора высокого давления.



Фиг. 16. Корпус разделительного корпуса:

a—вид сзади, справа; *б*—вид спереди, слева;
 1—фланец крепления корпуса передней опоры ротора КВД; 2—фланец крепления статора КВД; 3—фланец крепления наружного кожуха второго контура; 4, 11, 40, 46—шпилька крепления электроколлектора; 5, 14, 35, 48—фланец крепления кронштейна подвески двигателя; 6—шпильки крепления катушки зажигания; 7—фланец крепления противопожарного штуцера; 8—штуцер системы замера давления воздуха в полости разделительного корпуса; 9—смотровое окно; 10, 44—фланец крепления ведущего валика механизма поворота лопаток ВНА КВД; 12—фланец крепления тягового шарнирного подшипника; 13, 31, 47—фибышки крепления кронштейна штепсельного разъема; 16—фланец крепления генератора; 17—фланец крепления трубы отвода воздуха в

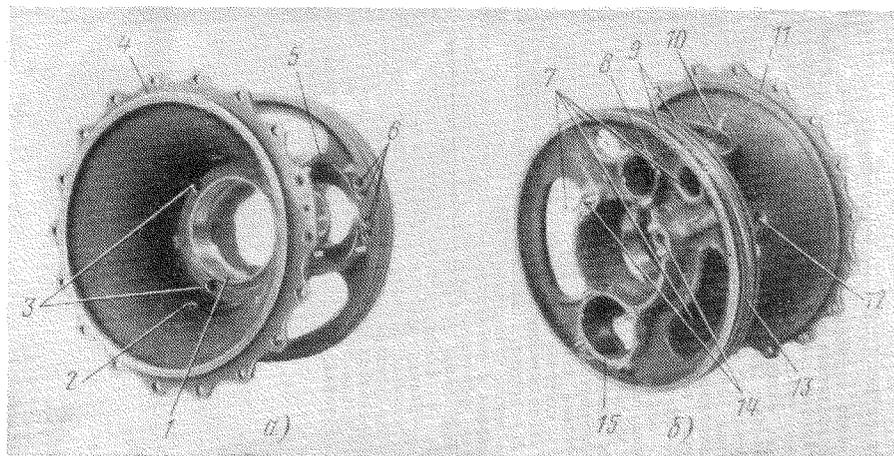
эжекторный патрубок; 18—фланец крепления воздушно-го стартера; 19—шпилька крепления трубы отвода воздуха из воздухоотделителя в маслобак; 20—суфлирующее отверстие; 21—фланец крепления оси промежуточной шестерни; 22—фланец крепления топливного регулятора; 23—шпильки крепления поддона; 24—место установки магнитной пробки; 25—штуцер системы откачки масла от подшипника компрессора; 26—технологический штуцер; 27—штуцер системы откачки масла от подшипников турбин; 28—штуцер системы подвода масла к подшипникам турбины и компрессора; 29—канал перепуска масло-воздушной смеси из маслоагрегата в воздухоотделитель; 30—фланец крепления крышки коробки приводов; 32—фланец крепления корпусов центрального привода и передней опоры ротора КНД; 33—ребро-стойка; 34—фланец

крепления статора КНД; 36—разделительное кольцо; 37—ребро жесткости; 38—шпильки крепления труб отбора воздуха от двигателя; 39—шпильки крепления катушки зажигания; 41—фланец крепления суфлирующей трубы; 42—запасный штуцер; 43—смотровое окно; 45—фланец крепления тягового шарнирного подшипника; 49—шпильки крепления кронштейна электромагнитного клапана пускового топлива; 50—штуцер замера давления масла на входе в двигатель; 51—фланец крепления гидронасоса; 52—шпилька крепления трубы подвода топлива к электромагнитному клапану пускового топлива; 53—запасный фланец; 54—фланец крепления маслоперепускной крышки; 55—фланец крепления маслоагрегата; 56—фланец крепления переходника топливного насоса; 57—площадка установки сливного краца; 58—расточка для установки корпуса центрального привода

Снизу к приливу на шпильках 23 прикреплен поддон, смонтированный вместе со стружкосигнализатором.

Сверху на разделительном корпусе выполнен фланец с шестью шпильками для крепления **верхней коробки 1** (см. фиг. 15) **приводов агрегатов**. На верхней коробке приводов имеются три фланца: нижним фланцем коробка установлена на разделительный корпус; к переднему фланцу прикреплен датчик ДТЭ-1 числа оборотов ротора компрессора низкого давления; задний фланец запасной и закрыт крашкой. В верхней коробке предусмотрен и запасной привод.

Узел центрального привода 4 состоит из корпуса, верхней и нижней шестеренчатых передач. Корпус центрального привода (фиг. 17) — литой из магниевго сплава, центрирующими поясками 9 и 11 установлен в расточках разделительного корпуса и прикреплен к нему 18-ю шпильками фланцем 4.



Фиг. 17. Корпус центрального привода:

а—вид спереди; *б*—вид сзади; 1—обойма роликоподшипника задней опоры ротора КНД; 2, 12—отверстия подвода огнегасящего состава; 3—отверстия подвода масла к подшипнику передней опоры ротора КНД; 4—фланец крепления корпуса центрального привода к разделительному корпусу; 5, 8, 10, 15—фланцы крепления обойм подшипников шестерен; 6—сливные отверстия; 7—отверстия для облегчения конструкции; 9, 11—центрирующие пояски; 13—кольцевая канавка; 14—отверстия подвода масла к форсункам

На передних и заднем центрирующих поясках корпуса выполнены кольцевые канавки под резиновые уплотнительные кольца.

К фланцам 5, 8, 10 и 15 шпильками прикреплены обоймы подшипников шестерен.

В центральной расточке корпуса запрессована и зафиксирована штифтами обойма 1 роликоподшипника задней опоры ротора компрессора низкого давления.

Между поясками 9 имеется литая кольцевая канавка 13, в которую по сверлениям в разделительном корпусе подводится масло от маслоагрегата. Далее масло, пройдя по двум сверлениям в корпусе центрального привода, подводится к отверстиям 3, откуда оно поступает на смазку подшипника передней опоры ротора компрессора низкого давления и к отверстиям 14, где установлены форсунки смазки подшипника передней опоры ротора компрессора высокого давления. Смазка конической пары шестерен, передающей вращение нижнему горизонтальному шестерне-валику, осуществляется через жиклерное отверстие 5 (см. фиг. 15), соединенное с кольцевой канавкой.

Конструктивно центральный привод представляет конические и цилиндрические пары шестерен и валиков, смонтированных на подшипниках качения в расточках корпуса центрального привода и передающих вращение агрегатам, расположенным на разделительном корпусе, его нижнем приливе и верхней коробке приводов.

В нижнем приливе разделительного корпуса расположены приводы к топливному насосу, топливному регулятору, генератору, датчику числа оборотов ротора КВД, гидронасосу, маслоагрегату, воздухоотделителю, и привод от воздушного стартера к ротору компрессора высокого давления (фиг. 18).

Кинематическая схема приводов разделительного корпуса представлена на фиг. 19.

Примечание. Далее по тексту цифрами обозначены шестерни, приведенные на фиг. 18, а буквами и в скобках — шестерни, приведенные на фиг. 19.

При запуске двигателя вращение от воздушного стартера СВ-25 передается ротору компрессора высокого давления через храповую муфту 14, три упора 15, оси 16, валик 13 (привод 1), шестерни 12 (z_{23}), 17 (z_{22}), 19 (z_{21}), двойную шестерню 20, нижнюю горизонтальную шестерню-валик 9 (z_{20} — z_{12}), шестерни z_{11} и z_{10} нижнего вертикального валика, шестерню центрального привода z_9 — z_8 и шестерню z_7 , посаженную на шлицы вала ротора компрессора высокого давления.

На неработающем двигателе храповая муфта 14 находится в зацеплении с тремя упорами 15, посаженными с зазором на оси 16. В прорез упоров 15 вставлена спиральная пружина 25, один конец которой находится в продольном пазу оси 16, а другой упирается в тело упоров, постоянно удерживая их в зацеплении с зубьями храповой муфты 14 при неработающем двигателе.

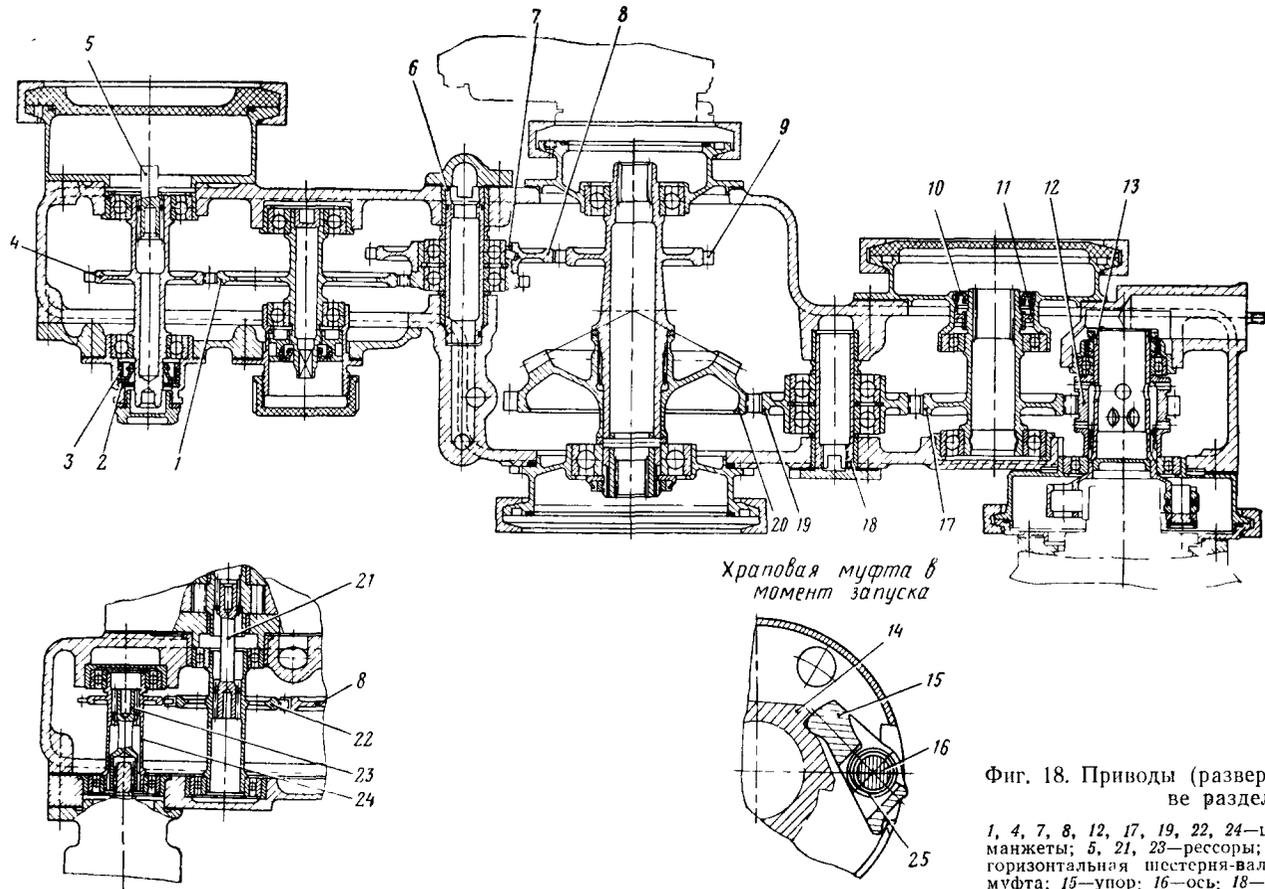
Для того чтобы при раскрутке двигателя упоры не выходили из зацепления, пока обороты храповой муфты стартера больше, чем обороты валика 13, на зубьях храповика предусмотрен угол поднутрения 15° и ответный угол на упоре. После выхода двигателя на обороты $n_{квд} = 41 \div 44\%$ стартер отключается электрической системой запуска, а упоры 15 под воздействием центробежных сил от ротора компрессора высокого давления выходят из зацепления.

Агрегаты систем, обслуживающих двигатель и самолет, получают вращение от ведущих шестерен центрального привода z_6 и z_7 . Ведущая шестерня z_6 установлена на валу ротора компрессора низкого давления и передает вращение агрегатам, размещенным в верхней коробке приводов. Ведущая шестерня z_7 посажена на вал компрессора высокого давления и передает вращение агрегатам, расположенным в нижнем приливе разделительного корпуса.

В верхней коробке приводов агрегатов установлен датчик ДТЭ-1 числа оборотов ротора компрессора низкого давления. Привод к датчику осуществляется от ведущей шестерни z_6 , через шестерни центрального привода z_5 , z_4 , z_3 , верхний вертикальный валик, коническую шестерню z_2 на ведомую коническую шестерню z_1 привода датчика (привод X).

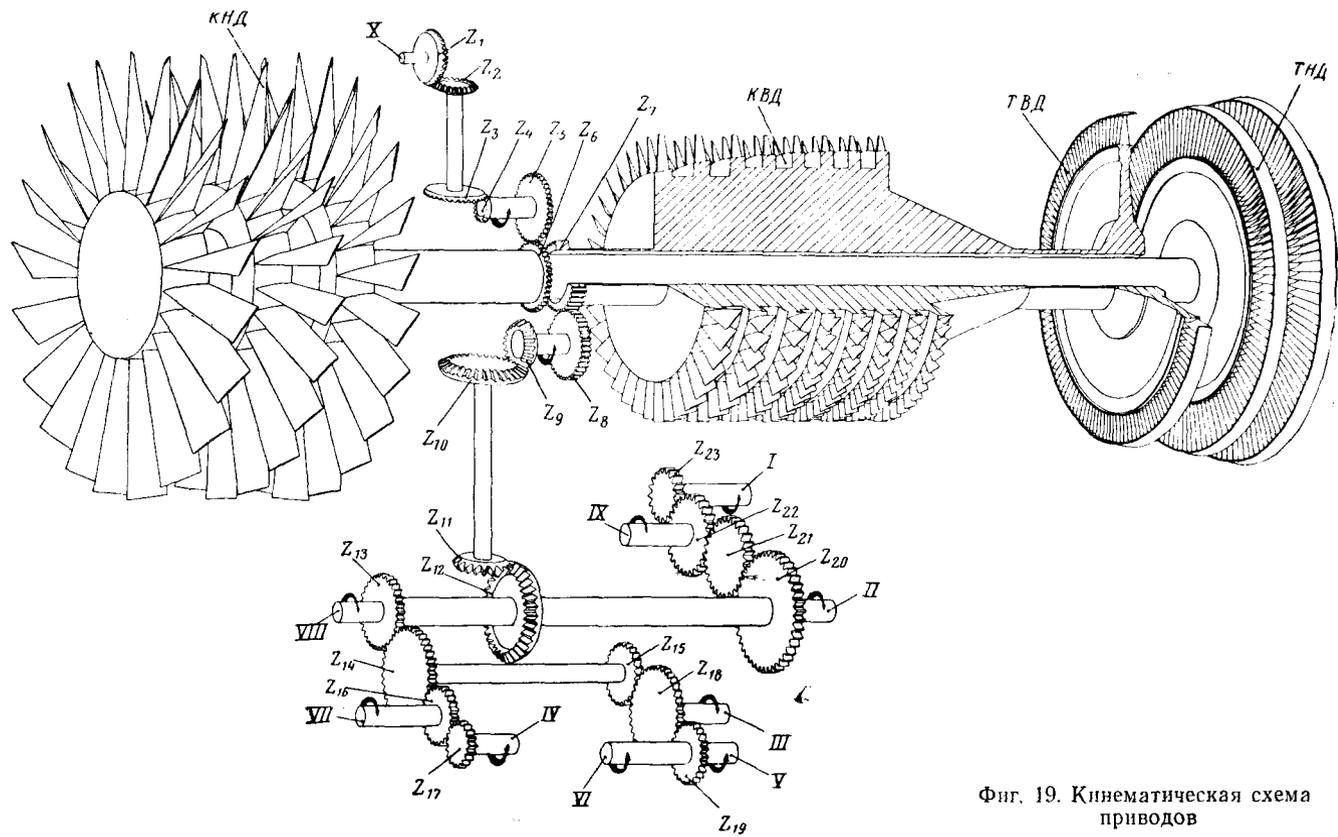
Агрегаты систем, расположенные в нижнем приливе разделительного корпуса, получают вращение от ведущей шестерни z_7 , через шестерни центрального привода z_8 — z_9 , шестерни z_{10} и z_{11} нижнего вертикального валика к нижнему горизонтальному шестерне-валику 9 (z_{12}), на котором установлены шестерни z_{13} и z_{20} .

Топливный насос 760Б и топливный регулятор 762МА получают вращение непосредственно от нижнего горизонтального шестерни-валика 9 (приводы VIII и II) и далее через двойную шестерню 20 и шестерню-валик 7, установленную на двух шарикоподшипниках. Шестерня-валик 9 шлицами соединена с валиками топливного насоса и регулятора.



Фиг. 18. Приводы (развертка), размещенные в нижнем приливе разделительного корпуса:

1, 4, 7, 8, 12, 17, 19, 22, 24—шестерни; 2—отражатель; 3, 10—резинные манжеты; 5, 21, 23—рессоры; 6—маслоперпускной палец; 9—нижняя горизонтальная шестерня-валик; 11—штулка; 13—валик; 14—храповая муфта; 15—упор; 16—ось; 18—палец; 20—двойная шестерня; 25—пружина



Фиг. 19. Кинематическая схема приводов

Привод генератора ГСБК-9А состоит из двойной шестерни 20 (z_{20} — z_{12}), промежуточной шестерни 19 (z_{21}), установленной на двух шарикоподшипниках, насаженных на палец 18, шестерни 17 (z_{22}), установленной на двух шарикоподшипниках и имеющий шлицы для соединения с рессорой генератора (привод IX). На хвостовике шестерни 17 нарезана маслосгонная резьба, которая вместе с манжетой 10 и втулкой 11 выполняет роль масляного уплотнения.

Привод к датчику ДТЭ-1 числа оборотов ротора компрессора высокого давления осуществляется шестерней 1 (z_{18}), входящей своим хвостовиком в сочленение с валиком датчика (привод III) и получающей вращение от нижнего горизонтального шестерни-валика 9 (z_{13}) через промежуточную шестерню 8 (z_{14}) и шестерню 7 (z_{15}). Шестерня 7 с напрессованной на нее шестерней 8 установлена на двух шарикоподшипниках, смонтированных на маслоперепускном пальце 6. Привод датчика имеет масляное уплотнение, аналогичное уплотнению привода генератора.

От шестерни 1 (z_{18}) через шестерню 4 (z_{19}), сочленяющуюся шлицами с рессорой 5, вращение передается гидронасосу (привод VI). На другом хвостовике шестерни 4 (z_{19}) имеется шестигранник под ключ для ручной прокрутки ротора компрессора высокого давления (привод V). Для предотвращения вытекания масла и попадания грязи в полость прилива разделительного корпуса установлена резиновая манжета 3, которая в свою очередь защищена отражателем 2 от повреждения ее ключом при прокрутке.

От промежуточной шестерни 8 (z_{14}) через шестерню 22 (z_{16}) и рессору 21 вращение передается к маслоагрегату МА-25 (привод VII), а от шестерни 22 (z_{16}) через шестерню 24 (z_{17}) и рессору 23 — к воздухоотделителю (привод IV).

Глава IV

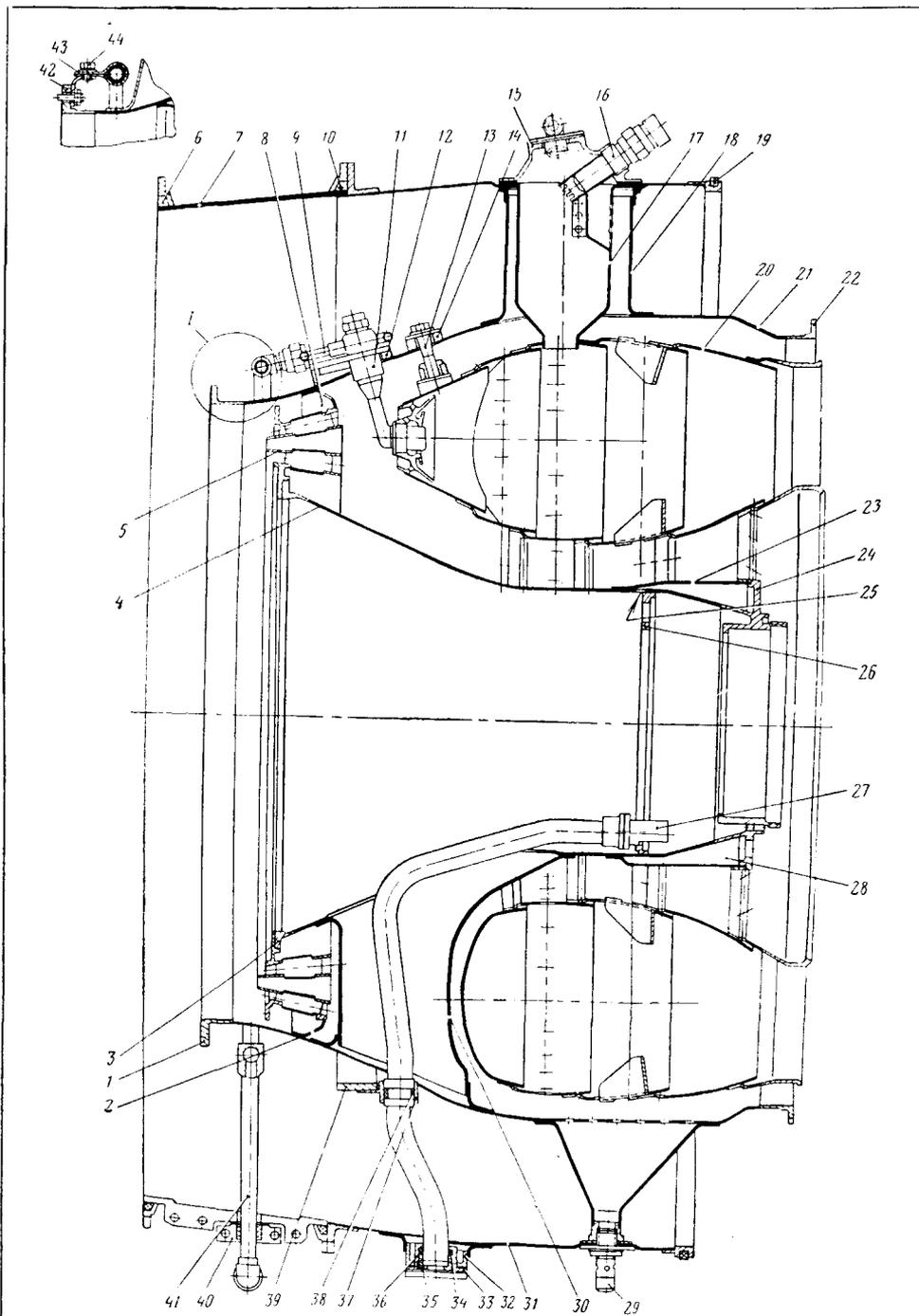
КАМЕРА СГОРАНИЯ

Камера сгорания предназначена для подвода тепловой энергии сжигаемого топлива к воздуху, сжатому в компрессоре.

Камера сгорания (фиг. 20) состоит из корпуса 21, жаровой трубы 20, разъемного кожуха 7, кожуха второго контура 31, диффузора 5, топливopодводящей системы — топливного коллектора 41, двух воспламенителей 15, 12- и рабочих форсунок 11 и трубопроводов.

Внутри корпуса камеры сгорания расположен задний вал и подшипник задней опоры ротора компрессора высокого давления. Для уменьшения осевой силы, действующей на шарикоподшипник передней опоры ротора компрессора высокого давления, внутренняя полость корпуса камеры сгорания суфлируется во второй контур и отделена от полости высокого давления лабиринтным уплотнением. Внутри заднего вала ротора компрессора высокого давления расположен подшипник передней опоры ротора турбины низкого давления. Радиальные нагрузки от обоих подшипников воспринимаются корпусом камеры сгорания.

Воздушный тракт первого контура выполнен следующим образом: направляющий аппарат VIII ступени компрессора высокого давления плавно переходит в диффузор 5 камеры сгорания, где происходит уменьшение скорости воздушного потока. Резкое (внезапное) увеличение площади проходного сечения на выходе из диффузора обеспечивает стабильность воздушного потока и дальнейшее уменьшение скоростного напора воздуха. Воздух, имеющий сравнительно небольшую ско-



Фиг. 20. Камера сгорания:

1, 22—фланцы наружного кожуха корпуса камеры сгорания; 2—диафрагма; 3—фланец конической балки; 4—коническая балка; 5—диффузор; 6, 10, 19—резиновые уплотнительные кольца; 7—разъемный кожух; 8—полость отбора воздуха; 9—труба; 11—рабочая топливная форсунка; 12—фланец крепления форсунки; 13—штифт; 14—фланец крепления штифта; 15—воспламенитель; 16—свеча; 17—юбка воспламенителя; 18—стойка; 20—жаровая труба; 21—наружный кожух корпуса камеры сгорания; 23—направляющий кожух; 24—стакан подшипника; 25—отверстия суфлирования; 26—фланец крепления уплотнений; 27—трубопровод отвода масла из полостей подшипников передних опор роторов турбины; 28—полость суфлирования; 29—дренажный штуцер; 30—ребро; 31—кожух второго контура; 32—фланец крепления трубопровода суфлирования; 33—стакан подвески трубопровода; 34, 38—резиновые кольца; 35—гайка; 36—дистанционное кольцо; 37—промежуточная опора трубопровода; 39—кронштейн установки промежуточной опоры трубопроводов; 40—муфта; 41—топливный коллектор; 42—кронштейн; 43—хомут; 44—винт

рость, распределяется в первичную и вторичную зоны жаровой трубы при помощи отверстий.

Воздушный тракт второго контура на участке камеры сгорания представляет кольцевой канал, образованный разъемным кожухом 7, кожухом второго контура 31 и наружным кожухом 21 корпуса камеры сгорания.

Корпус камеры сгорания (фиг. 21) является силовым узлом двигателя, воспринимающим газодинамические силы, нагрузки от жаровой трубы 20 (см. фиг. 20), передаваемые на корпус через фиксирующие штифты 13, нагрузки от задней опоры ротора компрессора высокого давления и нагрузки от подшипника передней опоры ротора турбины низкого давления.

Наружный кожух 21 корпуса камеры сгорания изготовлен из высокопрочной листовой стали. Передним фланцем 1 корпус камеры сгорания закреплен к статору компрессора высокого давления, а к заднему фланцу 22 прикреплен статор турбины.

В передней части к кожуху приварена диафрагма 2, которая образует полость 8 отбора воздуха для нужд самолета и двигателя. В диафрагме 2 по окружности имеется ряд отверстий, обеспечивающих равномерный отбор воздуха по всему периметру воздушного тракта.

На наружной поверхности кожуха 21 приварены: фланцы 12 крепления рабочих топливных форсунок; фланцы 14 крепления штифтов, фиксирующих жаровую трубу в корпусе; кронштейны 39 для крепления промежуточных упругих опор 37 трубопроводов.

В передней части кожуха под углом 30° к вертикальной оси двигателя приварены четыре ребра отбора воздуха из полости 8. Схема коммуникаций, расположенных в ребрах корпуса камеры сгорания, показана на фиг. 22.

В средней части кожуха под углом 15° вверх от горизонтальной оси приварены две стойки 18 (см. фиг. 20), в которых расположены воспламенители 15.

В нижней части корпуса камеры сгорания приварена коробка дренажа топлива, оканчивающаяся штуцером 29 для слива топлива, накапливающегося в корпусе камеры сгорания при неудавшемся запуске и холодной прокрутке.

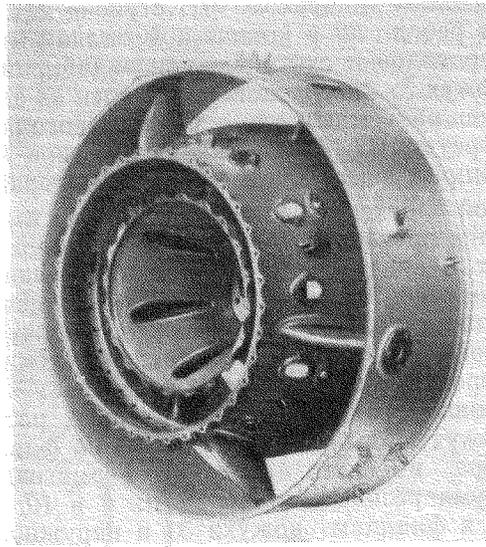
К фланцу 26 укреплен втулка переднего уплотнения масляной полости подшипника задней опоры ротора компрессора высокого давления, наружная обойма которого вместе с форсуночным кольцом установлена в стакане 24 подшипника и зафиксирована гайкой.

К фланцу стакана 24 подшипника закреплен внутренний кожух соплового аппарата I ступени турбины и корпус уплотнения, состоящий из двух втулок: втулки уплотнения масляной полости подшипника задней опоры ротора компрессора высокого давления и втулки уплотнения ротора турбины высокого давления. Тонкостенный направляющий кожух 23 является тепловым экраном масляной полости.

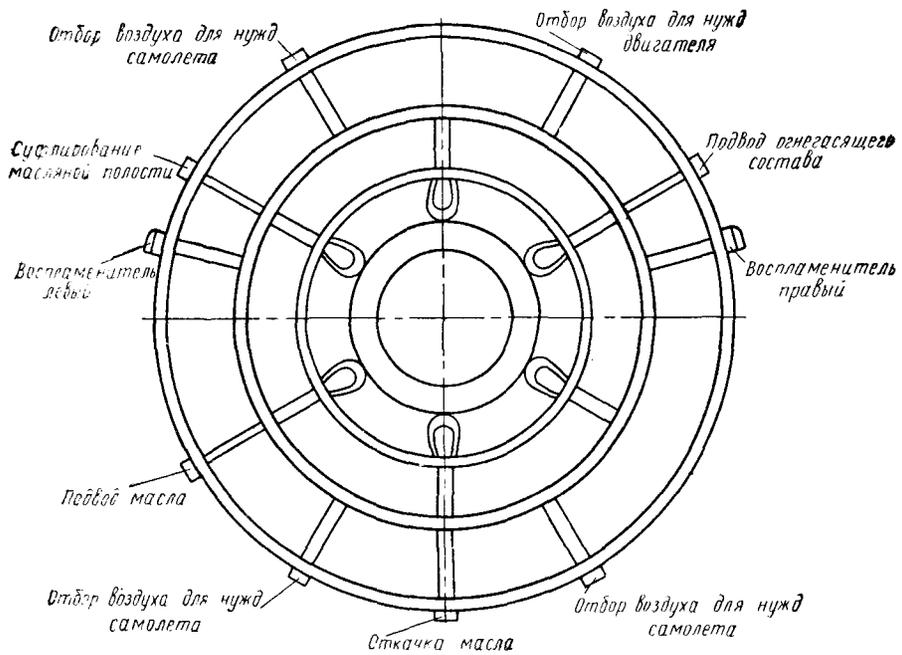
Полость между задним уплотнением масляной полости подшипника задней опоры ротора компрессора высокого давления и уплотнением ротора турбины высокого давления через полость 28, отверстия 25, внутреннюю полость конической балки, полые ребра 30 и отверстия в наружном кожухе 21 суфлируется во второй контур двигателя.

Силовая часть корпуса камеры сгорания, сваренная из нержавеющей стали, состоит из конической балки 4 и наружного кожуха 21, силовая связь между которыми осуществляется шестью полыми ребрами 30. Для увеличения жесткости и прочности соединения ребра в местах заделки расширены и приварены к наружному кожуху с применением манжет, увеличивающих площадь заделки.

Коническая балка 4 выполнена из высокопрочной листовой стали



Фиг. 21. Корпус камеры сгорания



Фиг. 22. Схема коммуникаций, расположенных в ребрах корпуса камеры сгорания (смотря со стороны реактивных сопел)

с передним фланцем 3, фланцем 26 крепления уплотнений и включает стакан 24 подшипника и направляющий кожух 23.

К переднему фланцу 3 прикреплены втулка заднего лабиринта ротора компрессора высокого давления и диффузора 5 камеры сгорания вместе с направляющим аппаратом VIII ступени компрессора высокого давления. Против ребер 30 в конической балке имеются вырезы для прокладки трубопроводов и суфлирования залабиринтной полости.

Разъемный кожух 7 — несилевой, изготовлен из алюминиевого сплава. Кожух выполнен разъемным для периодического осмотра топливного коллектора 41, форсунок 11, фиксирующих штифтов 13 и деталей крепления статора компрессора с корпусом камеры сгорания.

В вертикальной плоскости разъемного кожуха имеются продольные фланцы, по которым производится разъем. В нижней части продольные фланцы переходят в поперечный фланец крепления уплотнительной муфты 40, охватывающей через фторопластовое кольцо трубку подвода топлива к коллектору. Уплотнительная муфта служит для уплотнения полости второго контура в месте прохождения трубки подвода топлива к коллектору, фторопластовое кольцо обеспечивает возможность радиального перемещения трубок при температурных расширениях.

Разъемный кожух смонтирован подвижно на фланцах кожуха 31 и кожуха компрессора высокого давления. Герметичность соединения обеспечивается двумя резиновыми кольцами 6 и 10, прижатыми с помощью полуколец к фланцам кожуха 31 и наружного кожуха компрессора.

Наружный кожух 31 второго контура — несилевой. Он сварен из алюминиевого сплава и связан разъемным соединением с силовым корпусом при помощи ребер отбора воздуха, стоек воспламенителей и коробки дренажа топлива.

В передней части к фланцу кожуха прикреплены быстросъемное резиновое уплотнительное кольцо 10 и разъемный кожух 7, а в задней части к кольцу, имеющему канавку для резинового уплотнительного кольца 19, подвижно подсоединен разъемный кожух турбин.

На наружном кожухе расположены четыре фланца отбора воздуха: правый верхний — для отбора воздуха на обогрев входного направляющего аппарата компрессора низкого давления и управление клапанами перепуска воздуха, левый верхний — для отбора воздуха на систему кондиционирования самолета, два нижних — для отбора воздуха на противообледенительную систему самолета; фланец подсоединения трубы подвода масла к роликоподшипнику ротора компрессора высокого давления; фланец подсоединения трубы откачки масла из масляной полости корпуса; фланец подсоединения трубы суфлирования масляной полости; фланец подсоединения трубы подвода огнегасящего состава.

Диффузор 5 предназначен для уменьшения скорости воздуха на входе в жаровую трубу и стабилизации воздушного потока.

Диффузор выполнен из титанового сплава. По конструкции он является продолжением направляющего аппарата VIII ступени компрессора высокого давления. Распределительные кольца диффузора соединены между собой радиальными пластинками. Наружная часть диффузора — два наружных кольца закреплены к направляющему аппарату VIII ступени компрессора.

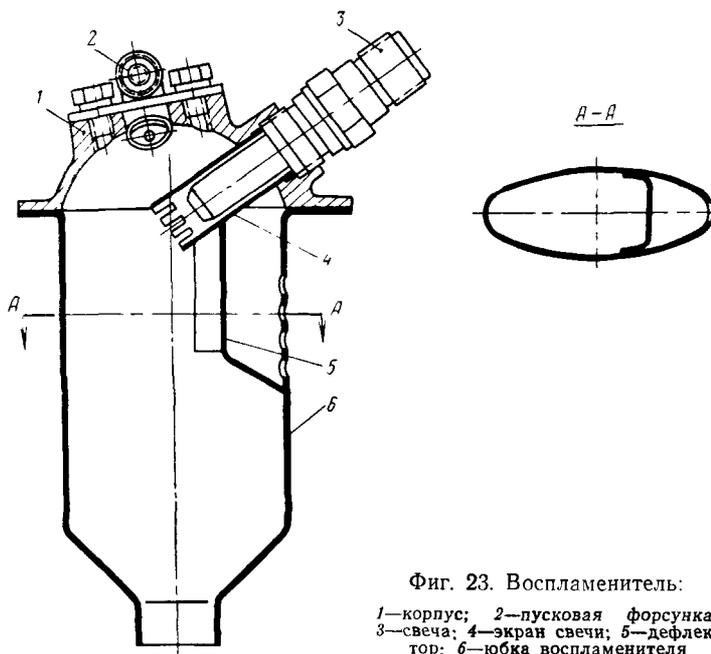
Внутренняя — два внутренних кольца вместе с направляющим аппаратом VIII ступени КВД прикреплены к переднему фланцу 3 конической балки.

Распределение воздуха по каналам диффузора выбрано из условия распределения скоростей на выходе из направляющего аппарата комп-

рессора. Крайние каналы пропускают примерно по 30% воздуха, остальной воздух идет через средний канал.

Воспламенитель (фиг. 23) предназначен для воспламенения топлива в жаровой трубе при запуске двигателя.

Жаровая труба снабжена левым и правым воспламенителями, расположенными под углом 15° вверх от горизонтальной оси. Воспламенитель состоит из центрорбежной пусковой форсунки 2, корпуса 1 воспламенителя, отлитого из нержавеющей стали, свечи низкого напряжения 3, жаропрочного экрана 4 свечи и тонкостенной съемной юбки 6 воспламенителя из листового жаропрочного сплава. Для лучшего смесеобразования юбка воспламенителя имеет дефлектор 5. Форма юбки воспламенителя обусловлена ее расположением в обтекаемой стойке 18 (см. фиг. 20).



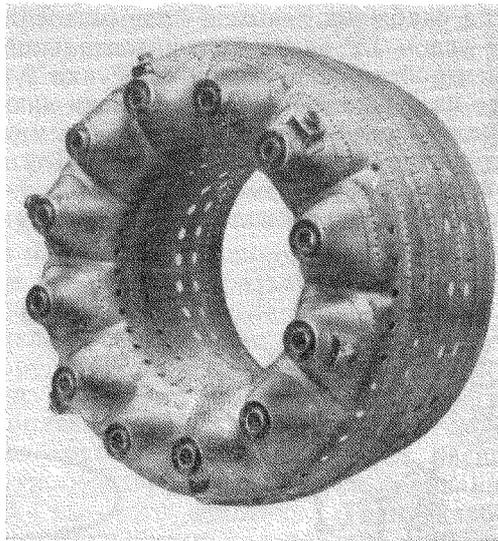
Фиг. 23. Воспламенитель:

1—корпус; 2—пусковая форсунка;
3—свеча; 4—экран свечи; 5—дефлектор;
6—юбка воспламенителя

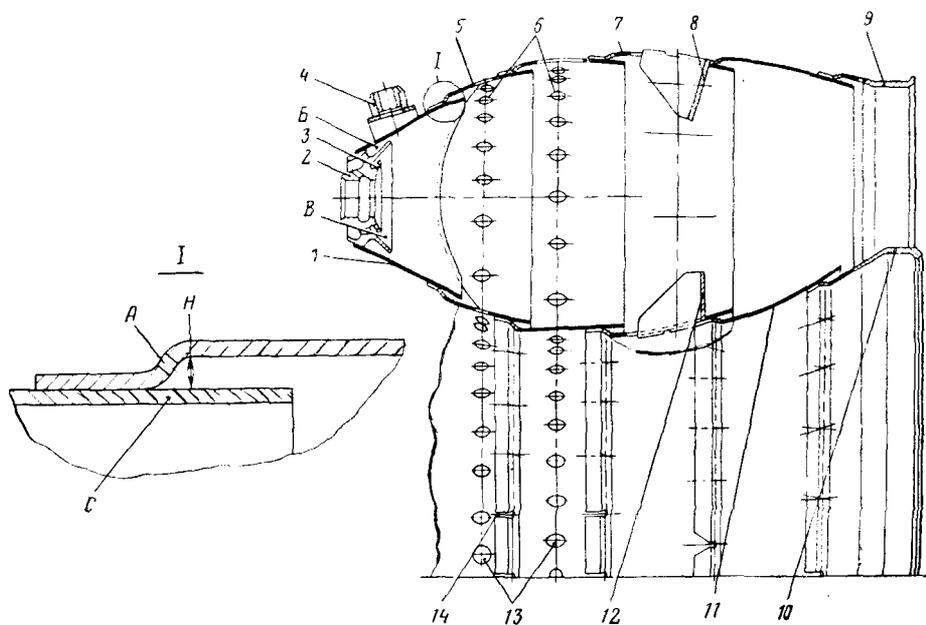
Жаровая труба (фиг. 24, 25) — кольцевого типа, с двенадцатью головками 1, выполнена из листового жаропрочного сплава. К корпусу камеры сгорания жаровая труба подвешена на шести штифтах 13 (см. фиг. 20), расположенных под углом 15° к поперечной плоскости двигателя. Расположение фиксирующих штифтов, а также рабочих топливных форсунок 11 под углом 15° к поперечной плоскости обеспечивает радиальное перемещение жаровой трубы при температурных расширениях без значительных дополнительных напряжений в штифтах и вызвано необходимостью уменьшить выступание наружных частей фиксирующих штифтов и рабочих топливных форсунок во второй контур двигателя. Посадка наружного и внутреннего кожухов жаровой трубы в сопловой аппарат I ступени турбины осуществлена по кольцам 9 и 10 (см. фиг. 25).

Основанием жаровой трубы является лобовое кольцо 5 тороидальной формы с двенадцатью выштампованными окнами, к которым точечной электросваркой приварены головки 1. Лобовое кольцо придает жесткость жаровой трубе и позволяет сохранять геометрические размеры в процессе длительной работы.

Кольцевая полость жаровой трубы создана наружным 7 и внутрен-



Фиг. 24. Жаровая труба (вид спереди)



Фиг. 25. Жаровая труба:

1—головка; 2—стабилизатор; 3—противонагарные отверстия; 4—втулка под фиксирующий штифт; 5—лобовое кольцо; 6—отверстия подвода воздуха; 7—наружный кожух; 8, 12—сопла; 9—наружное посадочное кольцо; 10—внутреннее посадочное кольцо; 11—внутренний кожух; 13—отверстия подвода вторичного воздуха; 14—компенсационные прорези; А—воздухоподводящее отверстие; В и С—воздухоподводящие щели

ним 11 кожухами. Кожухи выполнены составными из отдельных колец, сваренных между собой точечной электросваркой. Для компенсации температурных расширений, возникающих вследствие различных температур колец, в местах соединения выполнены продольные прорезы 14 и приварка каждого следующего кольца к предыдущему осуществляется по отдельным лепесткам. Такое сочленение обеспечивает минимальные температурные напряжения в местах сварки.

Стабильная зона горения обеспечивается стабилизаторами 2, приваренными к головкам 1 жаровой трубы, и двумя рядами отверстий 6 и 13, расположенными на наружном и внутреннем кожухах жаровой трубы. Стабилизатор 2 обеспечивает подвод воздуха вдоль поверхности головки жаровой трубы через щель Б, что способствует организации надежной зоны обратных токов, и сдув нагара с поверхностей стабилизатора и форсунки через отверстия 3 и щель В.

В первичную зону подводится примерно половина воздуха, выходящего из компрессора высокого давления, остальной воздух через сопла 8 на наружном кожухе и сопла 12 на внутреннем кожухе смешивается с горячими газами и создает требуемую эпюру температур.

Кожухи жаровой трубы принудительно охлаждаются воздухом. В местах сочленений колец кожухов вдоль всей жаровой трубы выполнен ряд кольцевых охлаждающих щелей, образующих систему подслоного заградительного охлаждения. Воздух из кольцевого канала через отверстия А в гофре проходит в кольцевую щель и, растекаясь по периметру, направляется вдоль стенок, защищая их от горячих газов. Расход охлаждающего воздуха определяется размерами отверстий А, направление — козырьком С, скорость — высотой Н канала. Скорость воздуха на выходе из щели подбирается примерно равной скорости газов в данном сечении жаровой трубы, что обеспечивает наибольший путь охлаждающего воздуха, т. е. наибольшую площадь охлаждения.

Топливный коллектор, предназначенный для подвода топлива, состоит из двух полуколец 1 и 2 (фиг. 26) и закреплен к корпусу камеры сгорания на шести кронштейнах 42 (см. фиг. 20) шестью хомутами 43 с винтами 44. На трубе коллектора под хомутами установлены резиновые прокладки.

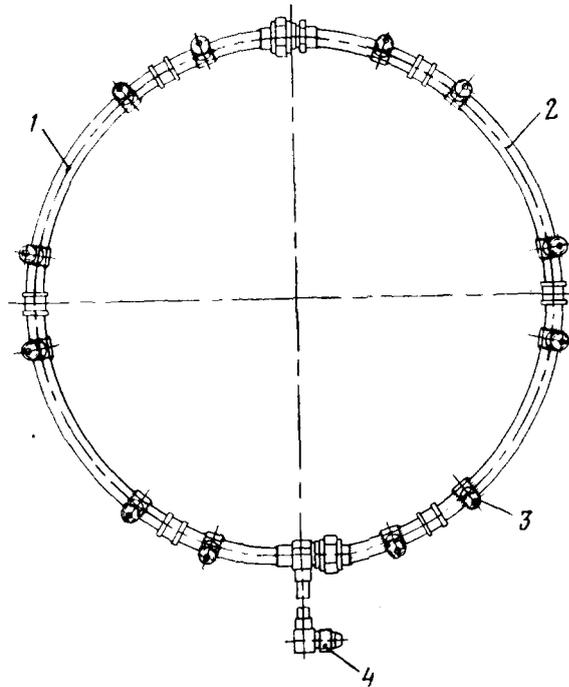
К полукольцам коллектора припаяны двенадцать штуцеров 3 (см. фиг. 26) для присоединения труб подвода топлива к рабочим форсункам и один штуцер 4 для подвода топлива из топливного регулятора. Трубы коллектора выполнены из нержавеющей стали.

Рабочие форсунки (фиг. 27) предназначены для распыла и распределения топлива по головкам жаровой трубы. В каждую головку жаровой трубы установлена рабочая форсунка, которая закреплена на корпусе камеры сгорания при помощи фланца 4. Фторопластовое кольцо 2 служит для свободы перемещения корпуса форсунки во время работы и предохраняет его от износа.

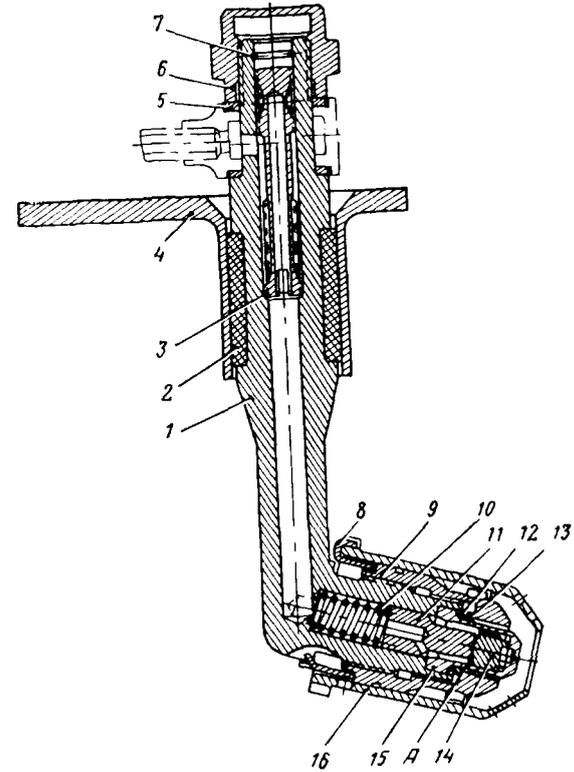
Из топливного коллектора по трубе и ниппелю топливо поступает в кольцевое пространство, образованное корпусом форсунки и резьбовым фильтром 3, который представляет цилиндр с резьбовой нарезкой по наружной поверхности. В теле фильтра выполнены продольные фрезерованные пазы: два — для входа топлива в фильтр и два — для выхода топлива в канал корпуса и далее к распыливающему пакету. При перетекании топлива по резьбовым канавкам из одних пазов в другие топливо фильтруется.

Очищенное топливо по каналу поступает к распыливающему пакету, состоящему из штока 11, поджатого пружиной к завихрителю, завихрителя 14 и распылителя 15.

По отверстиям в штоке топливо поступает в кольцевую полость А, а затем по тангенциальным каналам в завихрителе поступает в камеру



Фиг. 26. Топливный коллектор:
1, 2 — полукольца коллектора; 3, 4 — штуцера



Фиг. 27. Рабочая форсунка:
1—корпус; 2—фторопластовое кольцо; 3—фильтр; 4—фланец; 5—уплотнительное кольцо; 6—гайка; 7—стопорное кольцо; 8—замок; 9—кожух; 10—пружина; 11—шток; 12, 13—шайбы; 14—завихритель; 15—распылитель; 16—колпачок; А—топливная полость

завихрения и далее — через выходное сопло в жаровую трубу камеры сгорания двигателя.

Для герметичности распыливающий пакет уплотнен по посадочному диаметру в гнезде корпуса форсунки медной шайбой 12, поставленной в гнездо вслед за распылителем и раздавленной кожухом 9 форсунки при наворачивании его на корпус 1. Для более равномерного раздавливания медного кольца между ней и кожухом форсунки поставлена стальная шайба 13.

Кожух форсунки состоит из кожуха 9 и припаянного к нему колпачка 16. В полость между колпачком и кожухом подается воздух для охлаждения носка форсунки и предотвращения нагароотложений на торцах кожуха и распылителя.

Трубопроводы камеры сгорания (см. фиг. 20), выполненные из титанового сплава, имеют компенсационные изгибы и закреплены с одной стороны к фланцу 26 конической балки, с другой стороны — к фланцам 32 наружного кожуха второго контура. Фланцы 32 предназначены также для подсоединения трубопроводов, расположенных на наружной поверхности двигателя.

Для уменьшения температурных напряжений подвеска трубопроводов к фланцам кожуха второго контура выполнена эластичной и состоит из стакана 33, прикрепленного болтами к фланцу 32, трех резиновых колец 34, кольца 36 и гайки 35. Определенная величина сжатия резиновых колец 34 обеспечивает герметичность соединения и возможность радиального перемещения при температурных расширениях элементов узла камеры сгорания.

Для уменьшения вибраций трубопроводов, вызываемых воздушным потоком во втором контуре, каждый трубопровод подкреплен промежуточной упругой опорой 37. Демпфирующими элементами упругой опоры являются резиновые кольца 38. Для изоляции трубопроводов от полости давления они проложены внутри полых ребер 30.

Схема расположения фланцев подсоединения трубопроводов к наружным коммуникациям показана на фиг. 22.

Глава V

ТУРБИНА

Турбина двигателя (фиг. 28), предназначенная для преобразования энергии газового потока в механическую работу на валу турбины, состоит из турбины высокого давления и турбины низкого давления.

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

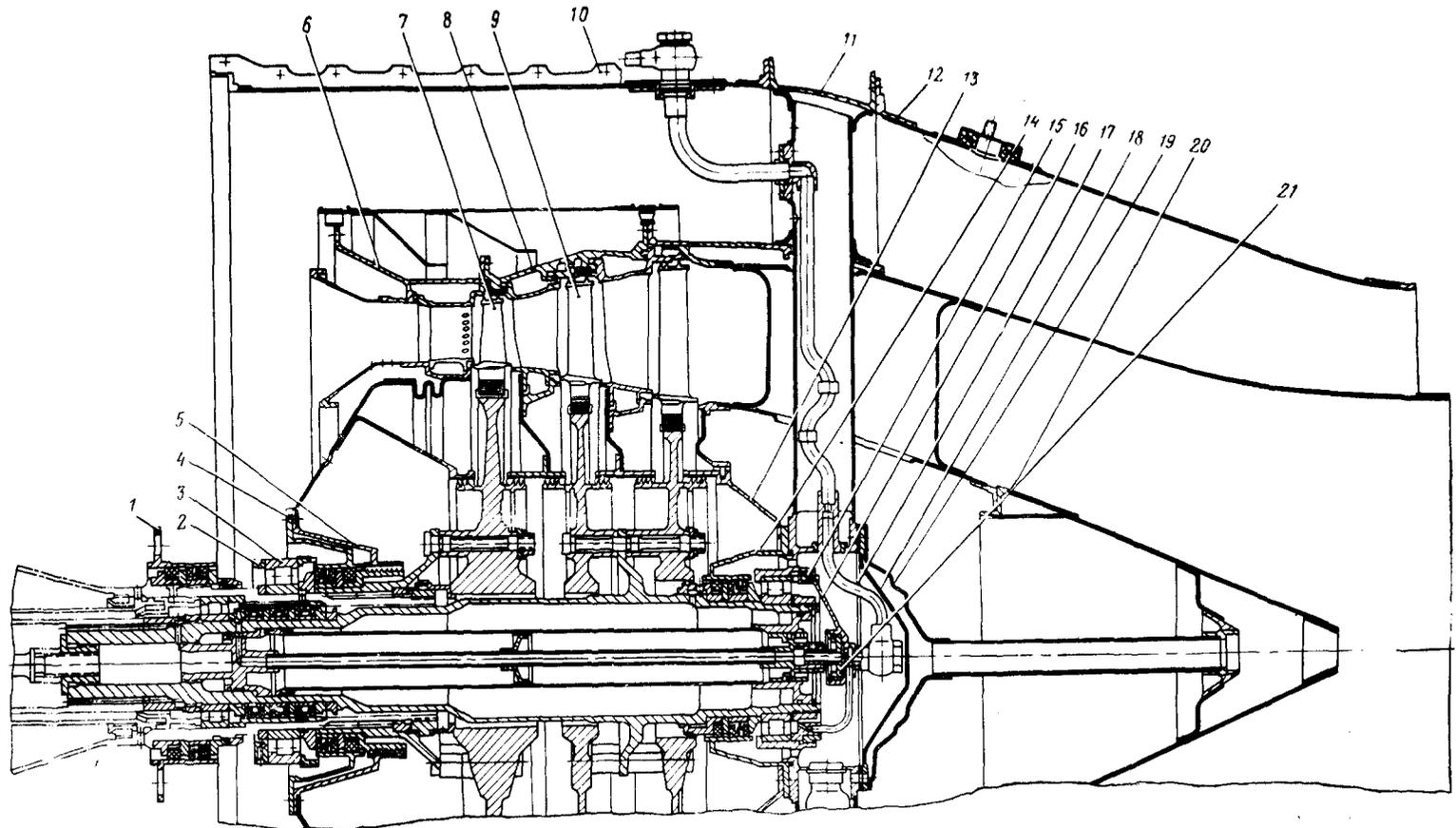
Турбина низкого давления — осевая двухступенчатая преобразует теплоперепад в механическую работу, идущую на привод компрессора низкого давления.

ТУРБИНА ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ (ТВД)

Турбина высокого давления включает статор и ротор.

Статор турбины высокого давления состоит из соплового аппарата 6 и деталей смазки и уплотнения подшипника: форсуночного кольца 2, наружной обоймы 1 переднего уплотнения, корпуса заднего уплотнения, состоящего из обоймы 4 и крышки 5 лабиринта с графитоталькированным покрытием, соединенных между собой четырьмя винтами.

В сопловой аппарат турбины высокого давления (фиг. 29) входят



Фиг. 28. Турбина:

1—наружная обойма переднего уплотнения; 2—форсуночное кольцо; 3—роliko-подшипник ротора ТВД; 4—обойма заднего уплотнения; 5—крышка лабиринта; 6—сопловой аппарат турбины высокого давления; 7—ротор турбины высокого давления; 8—стагор турбины низкого давления; 9—ротор турбины низкого

давления; 10—наружный кожух второго контура; 11—корпус задней опоры; 12—насадок; 13—кольцо; 14—наружное кольцо уплотнения; 15—гайка; 16—корпус форсунок; 17—трубопровод подвода масла; 18—крышка; 19—экран; 20—стекатель; 21—переходная втулка

сварной наружный корпус 1, 51 сопловая лопатка 3 и сварной внутренний корпус 4.

Наружный корпус 1 закреплен 44 болтами к наружному кожуху корпуса камеры сгорания и служит для центрирования наружного кольца жаровой трубы и крепления сопловых лопаток.

Внутренний корпус 4 соплового аппарата прикреплен к конической балке камеры сгорания четырнадцатью болтами. Для выдерживания необходимого положения внутреннего корпуса относительно наружного корпуса соплового аппарата поставлено дистанционное кольцо. Внутренний корпус служит опорой для сопловых лопаток 3, для центрирования внутреннего кольца камеры сгорания и имеет уплотнительное кольцо 5, покрытое для лучшей приработки металлокерамическим составом.

Сопловая лопатка — пустотелая, с полками. Внутри лопатки завальцован дефлектор 2 для поджатия охлаждающего воздуха к стенкам лопатки. Передний выступ наружной полки лопатки входит в проточку наружного корпуса, а задний выступ, находясь в радиальном пазу, фиксирует лопатку в окружном направлении.

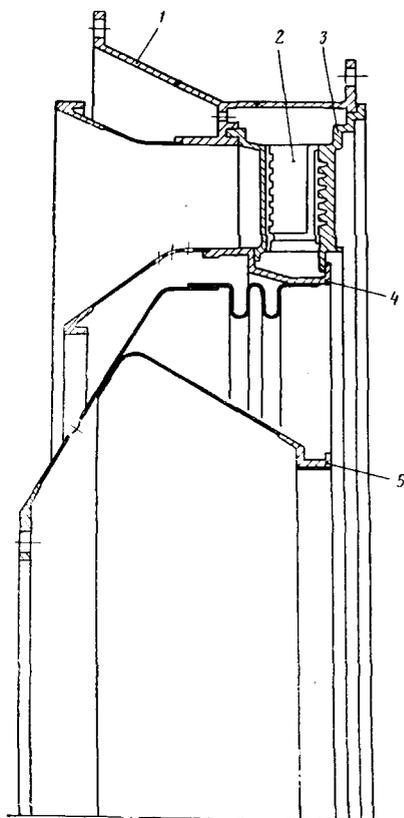
Ротор турбины высокого давления (фиг. 30) состоит из рабочего колеса 20, вала 19, роликоподшипника 10, регулировочного кольца 9, определяющего положение рабочего колеса турбины относительно статора, и элементов уплотнения.

К переднему уплотнению относятся: упорная втулка 1, разрезное графитовое кольцо 2, распорное кольцо 3, два графитовых кольца 4 и 6, пружина 5 между ними и ее обойма, кольцо 30 и упорное кольцо 7 с пазами для слива масла из внутренней полости вала компрессора. Кольца этого уплотнения, смонтированные на валу компрессора высокого давления, затянуты в осевом направлении гайкой 8, которая зафиксирована от проворота шайбой. Между гайкой и шайбой поставлена упорная шайба.

К заднему уплотнению относятся: упорное кольцо 11 с пазами для слива масла из внутренней полости вала компрессора, кольцо 27, два графитовых разрезных кольца 12 и 14 с пружиной 13 и ее обоймой, распорное кольцо 15, графитовое кольцо 16 и лабиринтное кольцо 17. Регулировочное кольцо 9, внутренняя обойма подшипника, кольца заднего уплотнения и вал турбины затянуты в осевом направлении гайкой 25, которая зафиксирована от проворота относительно вала кольцом 24.

В заднем валу ротора компрессора высокого давления размещены уплотнительная втулка 28 с отверстиями и пазами для слива масла из внутренней полости вала и наружная обойма с роликами и сепаратором переднего роликоподшипника 29 турбины низкого давления.

Вал турбины центрируется относительно заднего вала ротора комп-



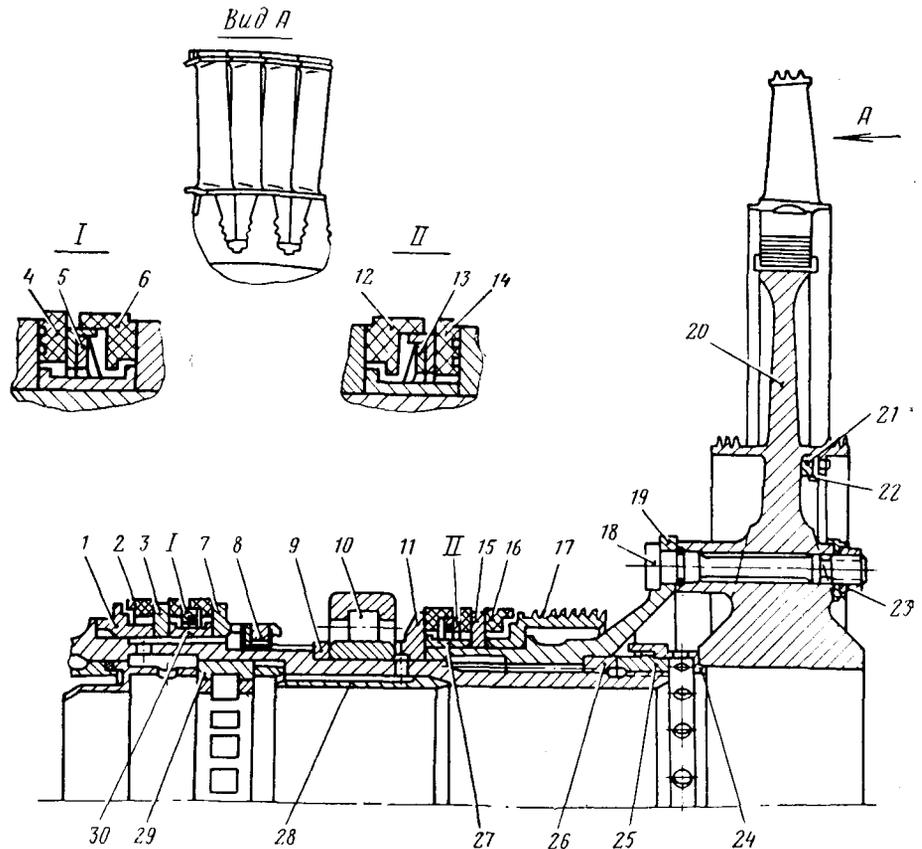
Фиг. 29. Сопловый аппарат турбины высокого давления:

1—наружный корпус; 2—дефлектор; 3—лопатка; 4—внутренний корпус; 5—уплотнительное кольцо

рессора высокого давления по цилиндрическим поясам вала 19 и упорного кольца 26. Эвольвентные шлицы вала 19 служат для передачи крутящего момента от ротора турбины к ротору компрессора высокого давления.

Рабочее колесо ротора турбины состоит из диска и 134 рабочих лопаток, которые закреплены попарно в елочном пазу диска и зафиксированы в осевом направлении пластинчатыми замками.

Рабочее колесо 20 соединено с валом 19 шестью болтами 18, конические призонные участки которых служат для центрирования рабочего



Фиг. 30. Ротор турбины высокого давления:

1—упорная втулка; 2, 4, 6, 12, 14, 16—графитовые кольца; 3, 15—распорные кольца; 5, 13—пружины; 7, 11—упорные кольца; 8—гайка; 9—регулирующее кольцо; 10, 29—роликподшипники; 17—лабиринтное кольцо; 18—болт; 19—вал; 20—рабочее колесо; 21—балансирующий груз; 22—контрольный замок; 23—гайка; 24—контрольное кольцо; 25—гайка; 26—упорное кольцо; 27, 30—кольца; 28—уплотнительная втулка

колеса относительно вала и для передачи крутящего момента. Диск турбины имеет шесть бобышек с отверстиями под стяжные болты и лабиринтные бурты с обеих сторон. На болтах 18, в стыке между валом и диском, в канавках поставлены стопорные кольца. Гайки 23 стяжных болтов зафиксированы от проворота шайбами.

Рабочие лопатки состоят из верхней полки, пера, нижней полки, ножки и замка. На верхней полке лопатки для уменьшения перетекания газа над рабочим колесом выполнены гребешки лабиринта. Нижняя полка спереди и сзади имеет выступы для перекрытия осевых зазоров между ротором и статором с целью уменьшения циркуляции горячего газа в междисковой полости.

При работе двигателя лопатки, смонтированные в одном пазу, при-

жимаются друг к другу плоскими поверхностями полок и замка, что способствует уменьшению вибрационных напряжений. Ножка лопатки выполняет роль термического сопротивления, уменьшающего нагрев обода диска.

Ротор турбины высокого давления балансируется перестановкой лопаток и балансировочными грузами 21, которые устанавливаются в проточку под лабиринтным буртом диска. Балансировочный груз зафиксирован в окружном и радиальном направлениях с помощью замка 22.

ТУРБИНА НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ (ТНД)

Турбина низкого давления включает статор и ротор.

Статор турбины низкого давления (фиг. 31) состоит из наружного корпуса 4, 83 лопаток 5 соплового аппарата II ступени, которые фиксируются в осевом направлении разрезным кольцом 6, внутреннего корпуса соплового аппарата II ступени турбины, 79 лопаток 7 соплового аппарата III ступени турбины и внутреннего корпуса соплового аппарата III ступени турбины.

Наружный корпус 4 закреплен 44 болтами к наружному кольцу соплового аппарата турбины высокого давления и поддерживает наружные полки лопаток турбины высокого давления.

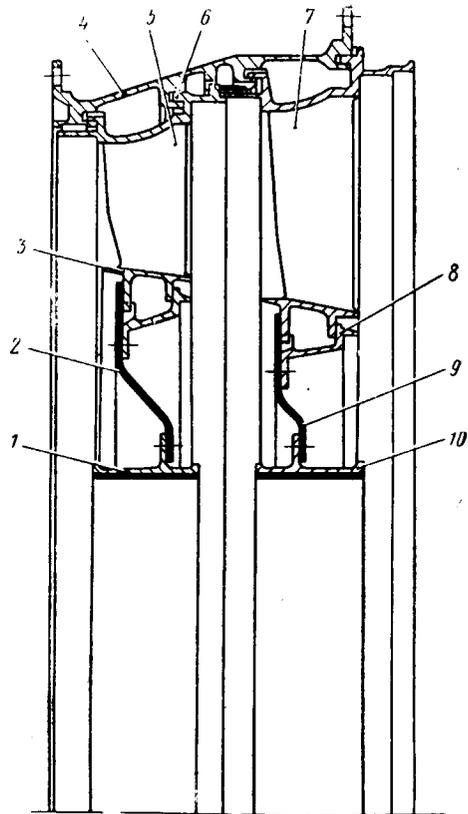
Сопловые лопатки II и III ступеней турбины двумя зубьями верхней полки входят в проточки наружного корпуса, в окружном направлении они фиксируются выступами, заходящими в пазы корпуса.

Внутренние корпуса сопловых аппаратов II и III ступеней турбины состоят из колец 3 и 8, пазы которых служат для центрирования этих колец с помощью лопаток относительно наружного корпуса 4, диафрагм 2 и 9, уплотнительных колец 1 и 10 с внутренними поверхностями, покрытыми для лучшей приработки металлокерамическим составом.

Ротор турбины низкого давления (фиг. 32) состоит из рабочих колес II ступени 14 и III ступени 15, вала 2 с роликоподшипниками, элементами уплотнений, маслопроводом и кожухом.

Эвольвентные шлицы на переднем конце вала 2 турбины служат для передачи крутящего момента через рессору к ротору компрессора низкого давления, при этом осевое усилие от ротора турбины передается на стяжной болт через резьбовую втулку 1, законтренную от проворота штифтом.

Рабочие колеса турбины соединены с валом шестью болтами 12, конические призонные участки которых служат для центрирования рабо-



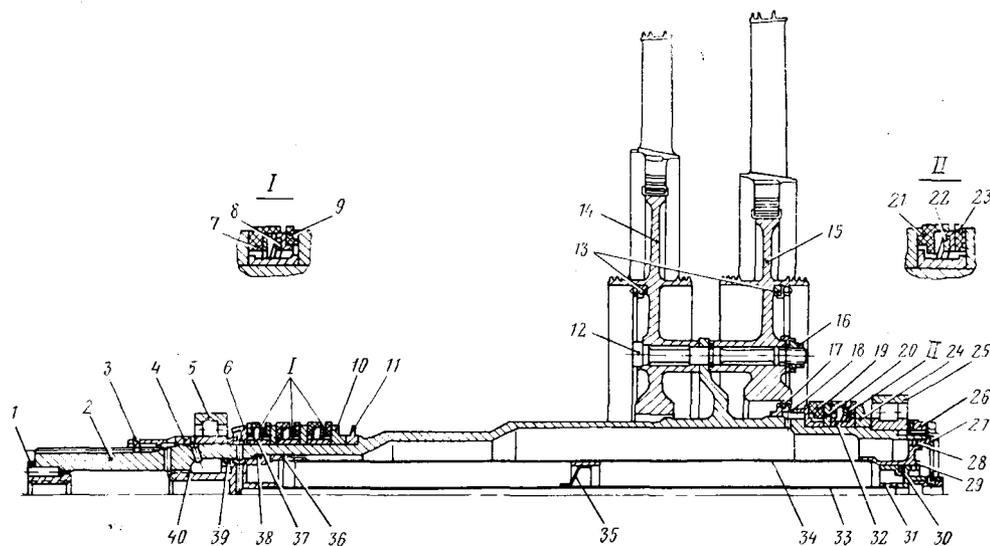
Фиг. 31. Статор турбины низкого давления:

1, 10—уплотнительные кольца; 2, 9—диафрагмы; 3, 8—кольца внутренних корпусов сопловых аппаратов; 4—наружный корпус; 5—лопатка соплового аппарата II ступени; 6—кольцо; 7—лопатка соплового аппарата III ступени

чих колес относительно вала и передачи крутящего момента. На болтах 12 в стыке между валом и диском III ступени турбины в канавках поставлены стопорные кольца. Гайки 16 стяжных болтов зафиксированы от проворота шайбами.

Конструкция рабочих колес II и III ступеней турбины аналогична конструкции рабочего колеса турбины высокого давления.

Внутри вала 2 ввернут маслопровод, состоящий из передней втулки 40, маслопроводящей трубы 33, кольца 35 и задней втулки 31, в которую запрессована бронзовая втулка, зафиксированная от проворота стопором. В месте перехода масла из передней втулки 40 в вал 2 уплотнение осуществляется с одной стороны, двумя разрезными уплотнительными кольцами 39, с другой стороны, — с помощью медного кольца 38.



Фиг. 32. Ротор турбины низкого давления:

1—резьбовая втулка; 2—вал; 3—дистанционная втулка; 4, 16, 26—гайки; 5, 25—роликподшипники; 6—форсуночное кольцо; 7, 9, 19, 21, 23—графитовые кольца; 8, 22—пружины; 10, 20, 35, 38—кольца; 11—регулирующее кольцо; 12—болт; 13—балансирующие грузы; 14—рабочее колесо II ступени; 15—рабочее колесо III ступени; 17, 28, 30, 39—уплотнительные кольца; 18, 29, 31, 32, 36, 40—втулки; 24—упорное кольцо; 27—стопорное кольцо; 33—маслоподводящая труба; 34—труба кожуха; 37—распорная втулка

Маслоподводящая труба 33 законтрена от проворота и поддерживается от прогиба кожухом, состоящим из втулки 36 с двумя выступами, трубы 34 кожуха с опорным кольцом 35 посередине и втулки 29, внутренний выступ которой заходит в паз задней втулки маслоподводящей трубы, а наружный — в торцовый паз вала. В осевом направлении кожух зафиксирован стопорным кольцом 27. Для уплотнения по внутренней и наружной посадочным поверхностям задней втулки кожуха установлено по два разрезных уплотнительных кольца 28 и 30.

На переднем конце вала размещены кольцо 11, регулирующее положение внутренней обоймы роликподшипника 5 относительно наружной при сборке узла турбины; три элемента уплотнения, каждый из которых состоит из кольца 10, распорной втулки 37, двух графитовых разрезных колец 7 и 9, пружины 8 между ними и двух обойм пружины, форсуночного кольца 6 и внутренней обоймы роликподшипника 5. Кольца, сидящие на валу, и обойма роликподшипника затянуты в осевом направлении гайкой 4, которая зафиксирована от проворота дистанционной втулкой 3.

На заднем конце вала находятся: втулка 18 с разрезным уплотни-

тельным кольцом 17, графитовое уплотнительное кольцо 19, распорное кольцо 20, втулка 32, два графитовых разрезных кольца 21 и 23 с пружиной 22 и обоймой пружины, упорное кольцо 24, внутренняя обойма подшипника 25 с роликами и сепаратором. Кольца, сидящие на валу, и обойма роликоподшипника затянуты в осевом направлении гайкой 26, которая зафиксирована от проворота шайбой.

Ротор турбины низкого давления балансируется путем перестановки лопаток и постановки балансировочных грузов 13 в проточки под лабиринтными буртами дисков II и III ступеней турбины.

ОХЛАЖДЕНИЕ ТУРБИНЫ

Теплонапряженные детали турбины (диски, замковые соединения и ножки рабочих лопаток) охлаждаются вторичным воздухом камеры сгорания. К диску турбины высокого давления воздух поступает через отверстия 1 (фиг. 33) во внутреннем корпусе соплового аппарата.

Через отверстия 7 в контровочном кольце воздух попадает в полость между диском турбины высокого давления (I ступени) и диском II ступени турбины низкого давления, затем через зазор 6 между валом турбины низкого давления и диском II ступени турбины низкого давления воздух попадает в полость между дисками II и III ступеней турбины.

Со стороны реактивного сопла диск III ступени турбины охлаждается воздухом, поступающим от III ступени компрессора высокого давления через трубопровод 4, проходящий внутри стойки корпуса задней опоры. Охлаждающий воздух, заполняя полость у диска, препятствует поступлению горячих газов к полотну диска.

Сопловые лопатки турбины высокого давления охлаждаются вторичным воздухом, который входит с наружного торца 3 лопатки внутрь дефлектора, через окна в дефлекторе охлаждает входную кромку и стенки лопатки и выходит через отверстия у выходной кромки лопатки.

Внутренний корпус соплового аппарата турбины высокого давления в наиболее теплонапряженных местах охлаждается вторичным воздухом камеры сгорания, проходящим через отверстия 2. Наружные кольца сопловых аппаратов турбины охлаждаются воздухом второго контура двигателя, который поджимается к кольцам кожухом.

Корпус подшипника задней опоры турбины охлаждается воздухом из второго контура двигателя, поступающим через отверстия 5 в стойках.

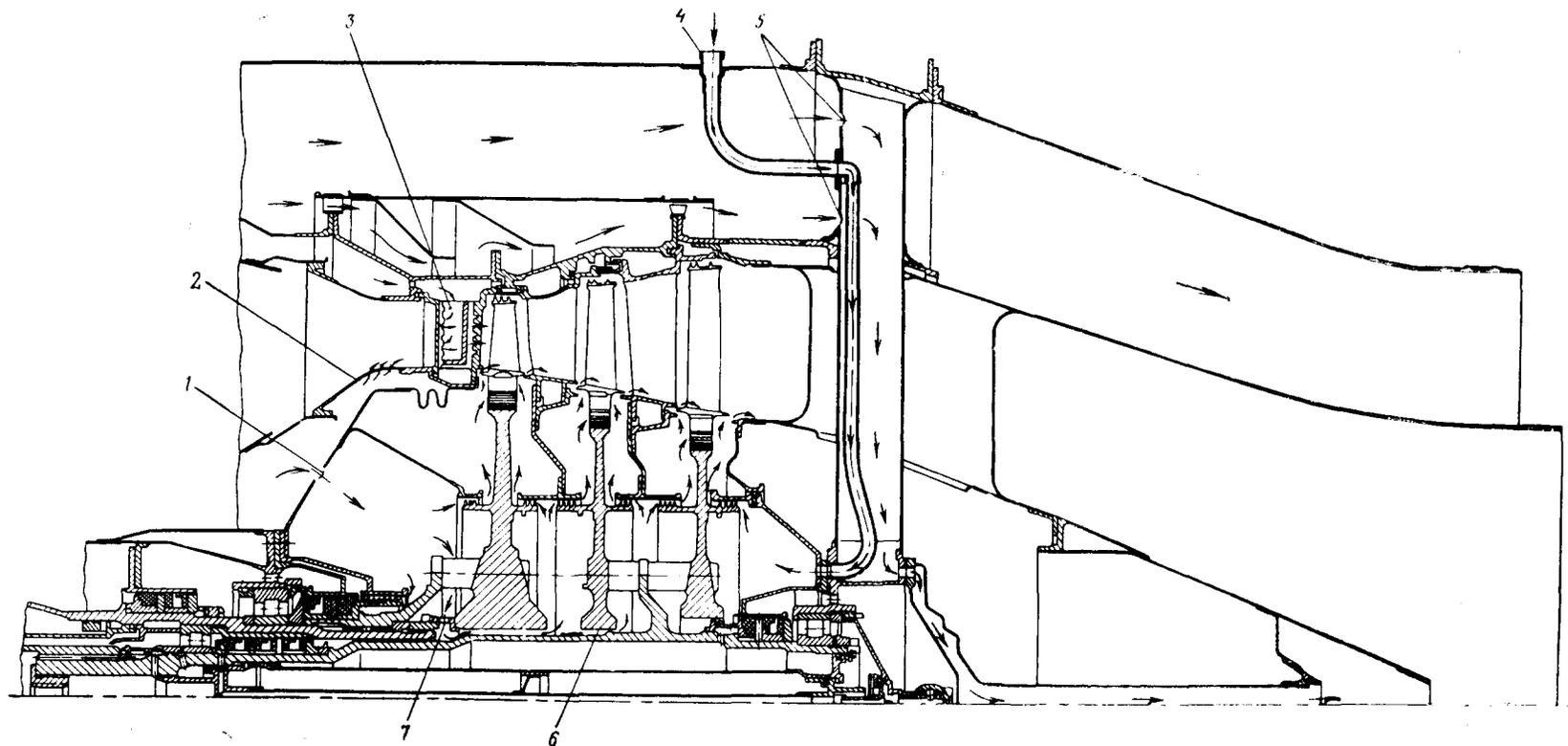
КОРПУС ЗАДНЕЙ ОПОРЫ И РЕАКТИВНОЕ СОПЛО

Корпус задней опоры 11 (см. фиг. 28), выполненный за одно целое с реактивным соплом внутреннего контура, вместе с наружным кожухом 10, насадком 12 и стекателем 20 образует газо-воздушный тракт на выходе из двигателя.

В реактивных соплах двигателя происходит преобразование тепловой энергии и энергии давления газа и воздуха в кинетическую энергию потока, создающего тягу.

Корпус задней опоры (фиг. 34, 35) состоит из корпуса 1 подшипника, к которому приварены шесть полых радиальных стоек 8, образующих своими основаниями кольцевую полость. С наружной стороны стойки приварены через манжеты к корпусу 14 задней опоры. В средней части к стойкам через манжеты приварен силовой кожух 11 и реактивное сопло.

Реактивное сопло состоит из кольца 10, наружного кожуха 12 с накладкой 18, шести обтекателей 9, внутреннего кожуха 6, диафрагмы 4, кольца 3 и фланца 17 с шестью приваренными гайками для крепления стекателя.



Фиг. 33. Схема охлаждения турбины:

1—отверстия подвода воздуха на охлаждение ротора турбины высокого давления; 2—отверстия выхода воздуха, охлаждающего внутренний корпус соплового аппарата ТВД; 3—место входа воздуха, охлаждающего лопатку соплового аппарата ТВД; 4—трубопровод подвода воздуха из-за III ступени КВД на охлаждение диска III ступени

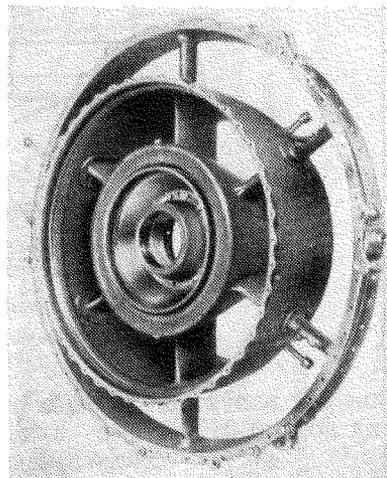
ТВД; 5—отверстия подвода воздуха, охлаждающего корпус подшипника задней опоры; 6—зазор для подвода охлаждающего воздуха в полость между дисками II и III ступеней турбины; 7—отверстия подвода охлаждающего воздуха за диск ТВД

В стойках 8 корпуса задней опоры проходят трубопроводы подвода масла к подшипнику задней опоры ротора турбины высокого давления и отвода его из полости подшипника, суфлирования полости подшипника, подвода огнегасящего состава, подвода воздуха для охлаждения диска III ступени турбины и для подпора элементов графитового уплотнения.

В верхней части переднего фланца корпуса задней опоры 14 завальцованы две такелажные втулки 16 с кольцами 15.

К переднему фланцу корпуса 1 подшипника задней опоры турбины прикреплено болтами наружное кольцо 14 (см. фиг. 28) уплотнения подшипника и кольцо 13 с металлокерамическим покрытием в месте работы гребешков лабиринта диска III ступени турбины. В проточке кольца 13 установлено разрезное уплотнительное кольцо. Наружная обойма подшипника задней опоры турбины с корпусом 16 форсунок в осевом направлении затянуты гайкой 15. В корпус 16 форсунок впаены две маслоподводящие трубки. Спереди для подвода масла в вал в корпус форсунок вставлена переходная втулка 21 с уплотнительным кольцом, зафиксированная в осевом направлении стопорным кольцом. Масло к корпусу 16 форсунок подводится через трубопровод 17.

К заднему фланцу корпуса подшипника через прокладку прикреплены крышка 18 и экран 19, состоящий из крышки и трубы со втулкой, которая заходит в центральное отверстие стека 20.



Фиг. 34. Корпус задней опоры (вид спереди)

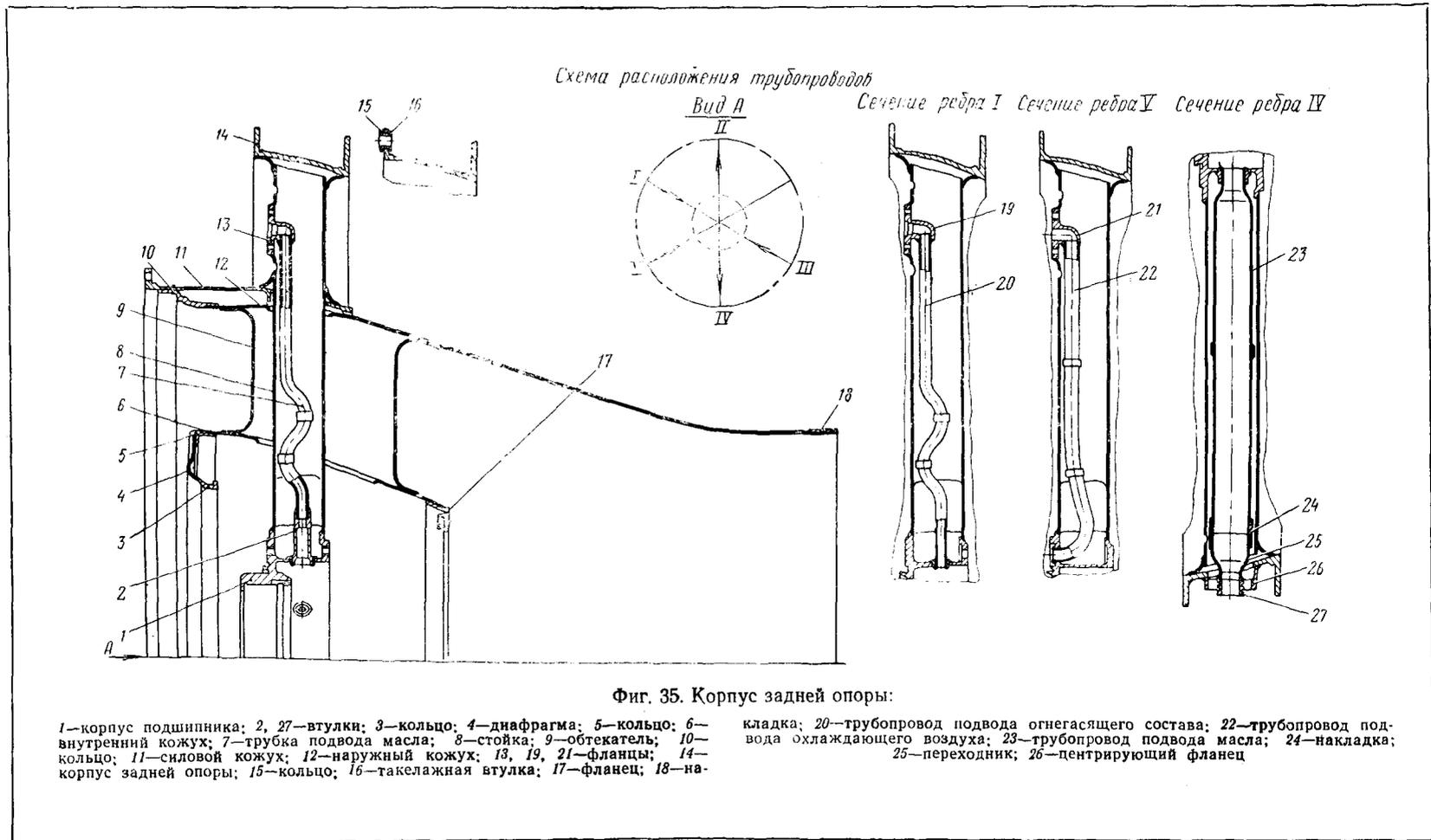
Стекатель 20, прикрепленный к внутреннему фланцу реактивного сопла шестью болтами, состоит из фланца 1 (фиг. 36), кожуха 2, конуса 3 с накладкой 6, диафрагмы 4 и кольца 5.

Передним фланцем корпус задней опоры 50 болтами прикреплен к наружному кожуху второго контура 10 (см. фиг. 28), имеющему осевой разъем в вертикальной плоскости. Наружный кожух второго контура состоит из переднего фланца, кожуха, заднего фланца и продольных фланцев на каждой половине кожуха. На кожухе приварены фланец для крепления трубопровода суфлирования дренажного бачка, фланец для крепления трубопровода суфлирования разделительного корпуса двигателя и бобышка со шпилькой для крепления трубопровода подвода масла к задней опоре турбины низкого давления.

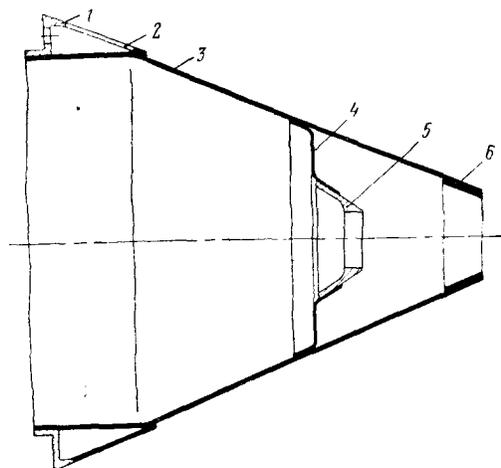
На наружном кожухе выполнен ряд отверстий для прохода и крепления переходников трубопроводов, подводящих масло и огнегасящий состав, и воздуха для охлаждения диска III ступени турбины и подпора уплотнения.

Внутренний фланец переходника двумя болтами прикреплен к фланцу соответствующего трубопровода, проходящего внутри стойки корпуса задней опоры. Для уплотнения в этом месте трубопроводов подвода масла и огнегасящего состава поставлено резиновое кольцо, для уплотнения трубопровода подвода воздуха — прокладка.

К заднему фланцу корпуса задней опоры болтами прикреплен насадок 12. Насадок состоит из переднего фланца, заднего кольца жесткости и конуса насадка с четырьмя прикрепленными амортизаторами, в кото-



рых залиты резиной по два болта для крепления термопар. На конусе насадка имеются два отверстия для крепления трубопровода суфлирования дренажного бачка и накладка с двумя отверстиями для крепления



Фиг. 36. Стекатель:

1—фланец; 2—кожух; 3—конус; 4—диафрагма; 5—кольцо; 6—накладка

трубопровода суфлирования разделительного корпуса двигателя. На заднем фланце кольца подвески и фланце насадка имеется 16 болтов для крепления кольца хвостовой части гондолы двигателя.

Глава VI

МАСЛЯНАЯ СИСТЕМА И СИСТЕМЫ СУФЛИРОВАНИЯ И ДРЕНАЖА ДВИГАТЕЛЯ

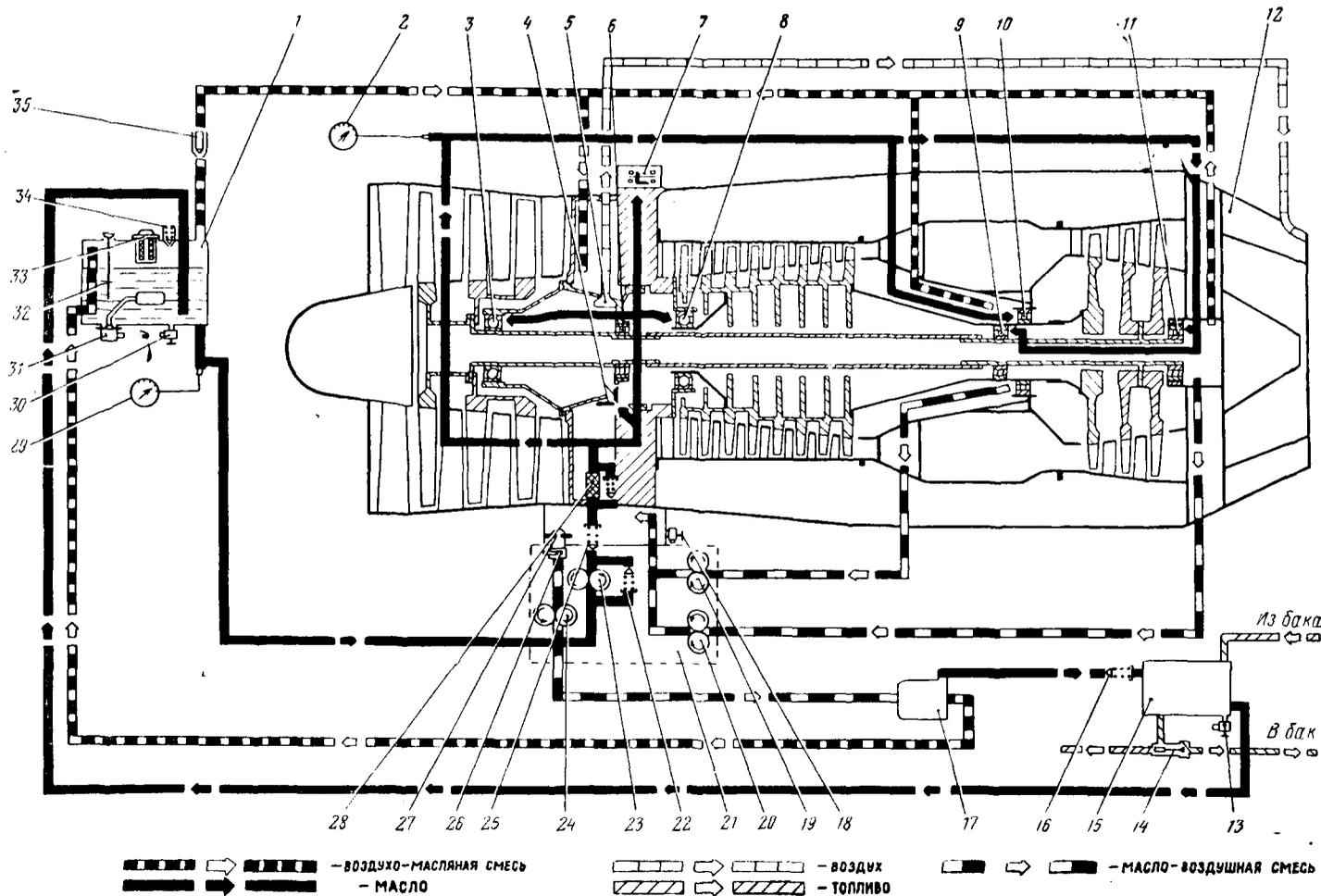
Масляная система — циркуляционная, замкнутая, под давлением, конструктивно выполнена автономной, т. е. все узлы системы смонтированы непосредственно на двигателе. Масляная система обеспечивает постоянную подачу масла к трущимся поверхностям подшипников роторов компрессора и турбин, вращающимся деталям центрального привода, верхней коробки приводов и нижнего прилива разделительного корпуса и охлаждение их.

В масляную систему двигателя входят следующие основные узлы (фиг. 37): маслобак 1, топливно-масляный агрегат 15, маслоагрегат 21, воздухоотделитель 17, стружкосигнализатор 27, магнитная пробка 26, датчик 29 замера температуры масла и датчик 2 замера давления масла на входе в двигатель; трубопроводы и каналы масляной системы.

МАСЛОБАК

Маслобак (фиг. 38), предназначенный для пополнения маслом системы двигателя по мере его расходования, установлен на кронштейнах 23 и 26 и закреплен при помощи лент с правой стороны корпуса компрессора низкого давления.

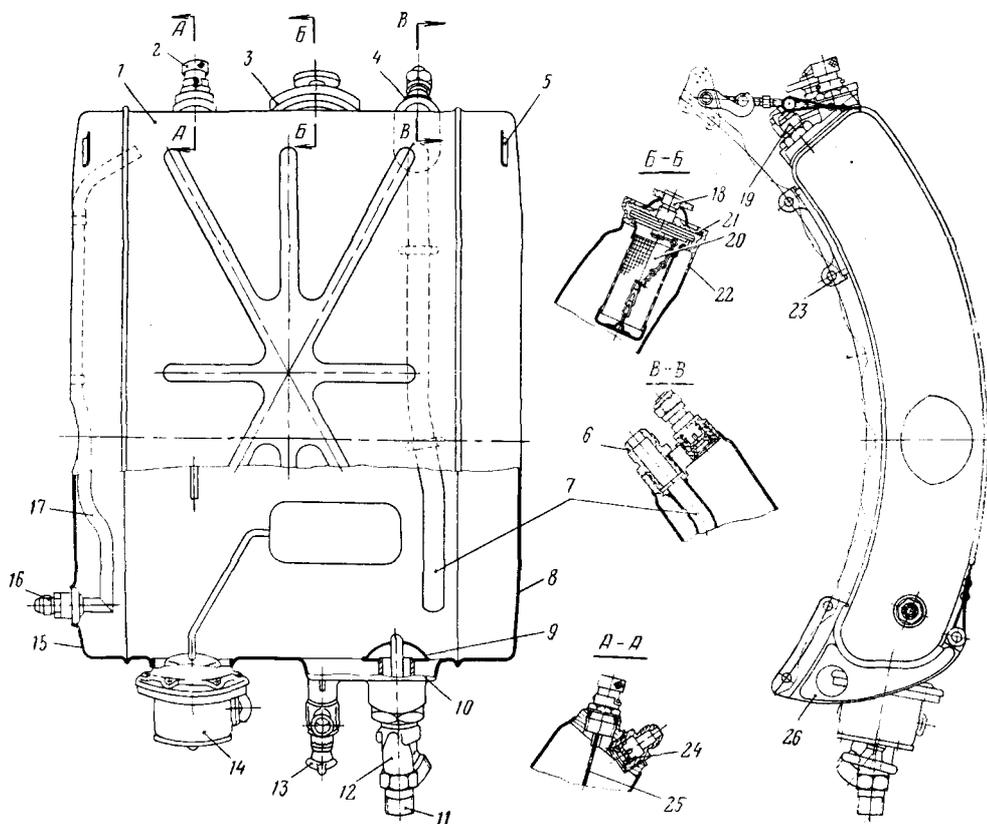
Маслобак состоит из обечайки 1 и двух днищ 8 и 15, изготовленных



Фиг. 37. Схема масляной системы двигателя:

1—маслобак; 2—датчик замера давления масла; 3—шарикоподшипник передней опоры ротора КВД; 4—шестерни центрального привода; 5—центробежный суфлер; 6—роликподшипник задней опоры ротора КВД; 7—верхний привод; 8—шарикоподшипник передней опоры ротора КВД; 9, 11—роликподшипники опор ротора ТВД; 10—роликподшипник опоры ротора ТВД; 12—эжектор; 13, 18, 30—сливные краны; 14—термостатический клапан; 15—топливно-масляный агрегат; 16—обратный клапан; 17—воздухоотделитель; 19—секция откачки масла из полостей подшипников передних опор ротора турбины; 20—секция откачки масла из полости подшипника подшипника задней опоры ротора турбины; 21—маслоагрегат; 22—редукционный клапан; 23—нагнетающая секция; 24—основная откачивающая секция; 25—обратный клапан; 26—магнитная пробка; 27—стружкосигнализатор; 28—маслофильтр; 29—датчик замера температуры масла; 31—сигнализатор минимального уровня масла; 32—мерная линейка; 33—заливная горловина; 34, 35—предохранительные клапаны

из алюминиевого сплава. Для увеличения жесткости на обечайке нанесены рифления. Для предотвращения сползания крепежных лент в верхней части днищ приварены упоры 5. Под кронштейны 23 и 26, а также под ленту крепления подложены резиновые прокладки. Лента крепления стянута при помощи винтов.



Фиг. 38. Маслобак:

1—обечайка; 2—мерная линейка; 3—заливная горловина; 4—предохранительный клапан; 5—упор; 6, 12, 16—штуцера; 7—труба подвода масла; 8—переднее днище; 9—колпак; 10—заборник; 11—датчик температуры масла; 13—сливной кран; 14—сигнализатор минимального уровня масла; 15—заднее днище; 17—трубопровод подвода воздуха из воздухоотделителя; 18—винт; 19—штуцер отвода воздуха; 20—фильтр; 21—траверса; 22—крышка фильтра; 23, 26—кронштейны; 24—предохранительный клапан; 25—мерный стержень

К штуцеру 16 подводится воздух из воздухоотделителя, который по трубопроводу 17, проложенному внутри бака, попадает в верхнюю часть бака. В верхней части маслобака находятся заливная горловина 3, мерная линейка 2, штуцер подвода масла 6, штуцер отвода воздуха 19 и предохранительный клапан 4.

Заливная горловина состоит из крышки 22 с траверсой 21 и крепежным винтом 18, фильтра 20, прикрепленного к крышке цепочкой, и резинового уплотнительного кольца. Мерная линейка состоит из мерного стержня 25, приклепанного к державке. Из топливно-масляного агрегата масло подводится в маслобак по трубе 7 в зону заборника, что сокращает время прогрева масла в системе. В штуцер отвода воздуха 19 вмонтирован клапан 24, предохраняющий полость маслобака от наддува при срабатывании противопожарной системы двигателя.

В нижней части маслобака расположены сигнализатор 14 минимального уровня масла, сливной кран 13, штуцер 12 отвода масла к нагнета-

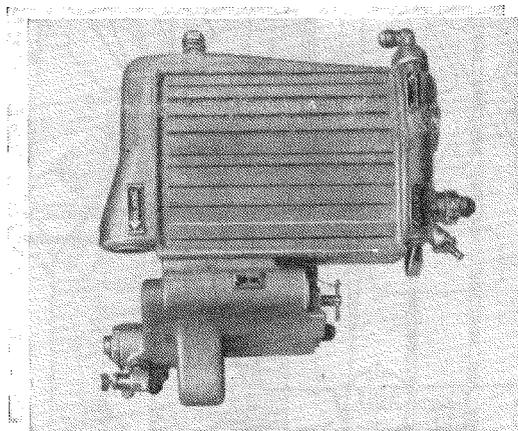
ющей секции с датчиком 11 температуры на входе в двигатель и заборник 10.

Датчик сигнализатора 14 минимального уровня масла предназначен для фиксации минимального уровня масла, необходимого для продолжения полета к ближайшему аэродрому, и состоит из коробки переключателя со штепсельным разъемом и поплавка.

Для устранения воронки масла над заборником 10 установлен колпак 9, имеющий в нижней части перегородки окна.

ТОПЛИВНО-МАСЛЯНЫЙ АГРЕГАТ 4717Т

Топливо-масляный агрегат (фиг. 39) предназначен для охлаждения масла, циркулирующего в масляной системе двигателя, фильтрации и подогрева топлива для предупреждения льдообразования на топливном фильтре.



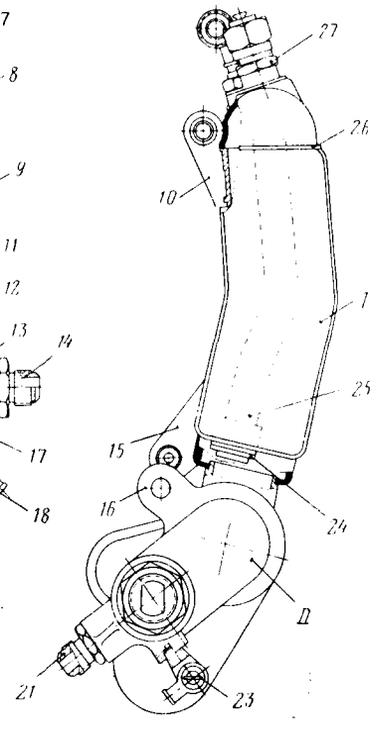
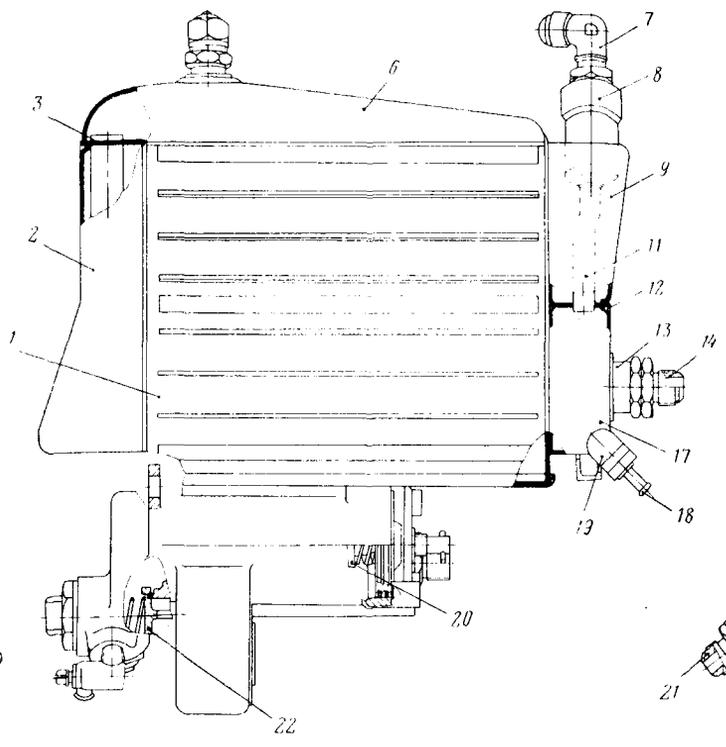
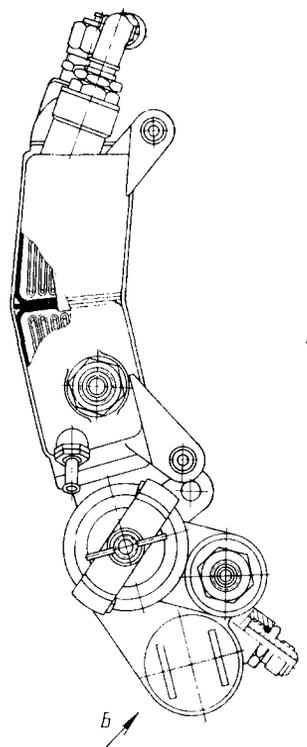
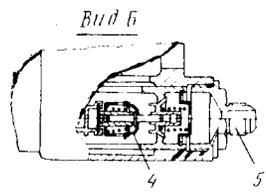
Фиг. 39. Топливо-масляный агрегат

Топливо-масляный агрегат (фиг. 40) закреплен на кронштейнах к корпусу компрессора низкого давления и состоит из двух основных частей: топливо-масляного радиатора и топливного фильтра. Крепление радиатора на двигателе осуществлено при помощи трех проушин, приваренных к корпусу радиатора, и одной проушины 16, выполненной в форме прилива на корпусе фильтра.

Все детали и узлы агрегата (за исключением некоторых деталей термостатического и предохранительного клапанов) выполнены из алюминиевых сплавов. Топливо-масляный радиатор состоит из корпуса 1 радиатора, крышек 2, 6, 9 и 17 и охлаждающего элемента.

Охлаждающий элемент — соты представляет собой два пакета, набранные из плоских трубок. Трубки изготовлены из алюминиевого листа. Для увеличения поверхности охлаждения и придания сотам большей жесткости внутри трубок и между ними помещены гофрированные пластины. К крышке 17 аргоно-дуговой сваркой приварено гнездо 13, в которое ввернут штуцер 14 входа масла, собранный с обратным клапаном. К верхней части крышки 9 приварен корпус 8 предохранительного клапана, в который ввернут штуцер 7 для выхода масла.

Масляная полость радиатора образована внутренней (трубной) полостью корпуса 1 радиатора, крышками 2, 9 и 17. Масло циркулирует в радиаторе по каналу, образованному перегородками 3 и 12. Через отверстие в перегородке 12 и внутреннюю полость крышки 9 проходит труба 11, приваренная своим верхним концом к корпусу 8 предохранительного



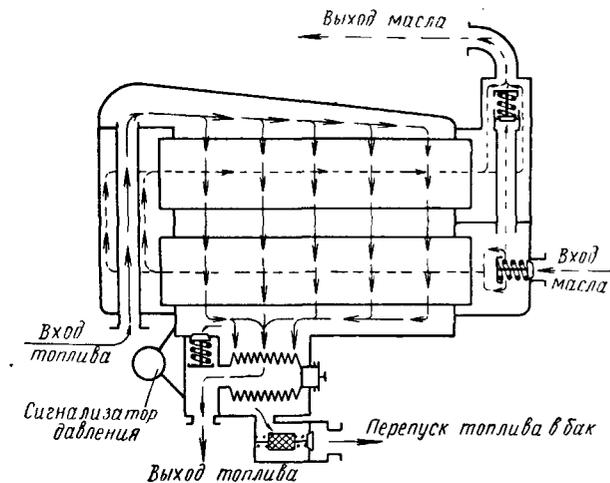
Фиг. 40. Топливо-масля-
ный агрегат:

1—корпус; 2, 6, 9, 17—крыш-
ки; 3, 12—перегородки; 4—
термостатический клапан; 5—
штуцер перепуска топлива в
бак; 7—штуцер отвода мас-
ла в бак; 8—корпус предо-
хранительного клапана; 10,
15—кронштейны; 11—труба
перепуска масла; 13—гнездо;
14—штуцер подвода масла;
16—проушина; 18—кран сли-
ва масла; 19—патрубок; 20—
фильтрующий пакет; 21—
штуцер выхода топлива в
двигатель; 22—перепускной
клапан; 23—кран слива топ-
лива; 24—фланец; 25—
труба подвода топлива; 26—
гнездо; 27—клапан страв-
ливания воздуха

тельного клапана. Для слива масла из масляной полости радиатора предусмотрен кран 18.

Топливная полость агрегата образована крышкой 6, внутренней полостью корпуса 1 радиатора и полостью корпуса топливного фильтра. Подвод топлива осуществляется через трубу 25, проходящую через внутреннюю полость крышки 2. Верхний конец трубы проходит через отверстие в верхней перегородке 3. Нижний конец трубы 25 заканчивается фланцем 24, который приварен в нижней части крышки 2. В верхней части крышки 6 приварено гнездо 26, на которое навернут клапан 27 стравливания воздуха.

В корпусе топливного фильтра установлены фильтрующий пакет 20, предназначенный для фильтрации выходящего из агрегата топлива, которое поступает в двигатель через штуцер выхода 21; перепускной клапан 22 и термостатический клапан 4 со штуцером 5 перепуска топлива в бак. Полость, в которой установлен термостатический клапан, сообщается через окно с полостью фильтрующего пакета.



Фиг. 41. Схема работы топливно-масляного агрегата

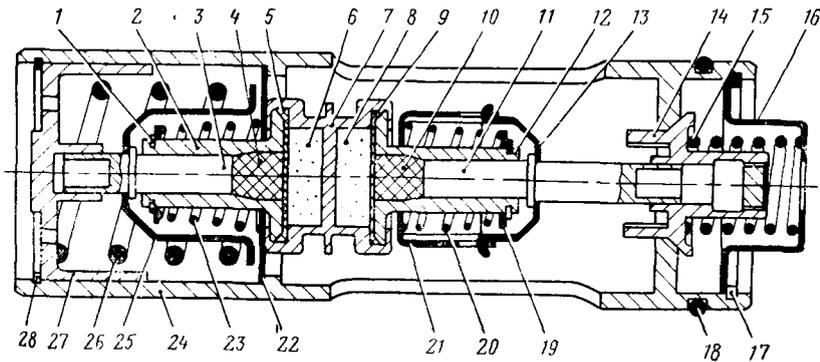
Для слива топлива в нижней части агрегата установлен сливной кран 23.

Схема циркуляции топлива и масла в агрегате показана на фиг. 41. Горячее масло из двигателя через штуцер 14 (см. фиг. 40) и обратный клапан поступает в радиатор, проходит последовательно по трубкам обоих пакетов, отдавая при этом тепло холодному топливу, проходящему между трубками. Пройдя радиатор, охлажденное масло через штуцер выхода 7 направляется в маслобак. При повышении перепада давлений масла в радиаторе до $1 \pm 0,1$ ати открывается предохранительный клапан и часть масла, минуя трубки радиатора, направляется из входной полости через перепускную трубу 11 непосредственно на выход из радиатора.

Топливо через отверстие во фланце 24 и трубу 25 поступает в крышку 6, заполняет всю полость радиатора, проходит между трубками и направляется в полость корпуса топливного фильтра, в котором установлены фильтрующий пакет 20 и термостатический клапан 4. Пройдя фильтрующие элементы пакета 20, топливо через штуцер выхода 21 направляется в магистраль двигателя. В случае засорения фильтрующих элементов пакета и увеличения перепада давлений на фильтрующем пакете до $0,4-0,5$ ати часть топлива, минуя фильтрующий пакет, направляется из радиатора через перепускной клапан 22 непосредственно в двигатель.

При поступлении в полость термостатического клапана 4 холодного топлива клапан находится в закрытом состоянии.

При повышении температуры топлива термочувствительная масса 6 и 8 (фиг. 42), заполняющая патрон 7, увеличивается в объеме и начинает давить на мембраны 5 и 9. Через пробки 4 и 10 усилие передается на штоки 3 и 11. Преодолевая усилие конической пружины 20, шток 11 перемещается внутри расточки грибка 14. Одновременно происходит движение штока 3, стремящегося преодолеть усилие цилиндрической пружины 26. Поскольку усилие пружины 26 больше усилия пружины 20, коническая пружина 23 сжимается. При этом происходит перемещение клапана в корпусе 24 в сторону грибка 14.



Фиг. 42. Термостатический клапан:

1, 19—кольца; 2, 12—направляющие; 3, 11—штоки; 4, 10—пробки; 5, 9—мембраны; 6, 8—термочувствительная масса; 7—патрон; 13, 25—тарелки; 14—грибок; 15, 26—цилиндрические пружины; 16—штулка; 17—стопорное кольцо; 18—уплотнительное кольцо; 20, 23—конические пружины; 21, 27—стаканы; 22—шайба; 24—корпус; 28—стопорное кольцо

При температуре 60°С шток 11 доходит до упора в грибке 14 и начинает двигать его. По мере увеличения температуры топлива проходное сечение в корпусе 24 клапана увеличивается. Топливо из полости клапана через проходное отверстие поступает в штуцер перепуска топлива.

С понижением температуры топлива объем термомассы уменьшается, усилие, действующее на штоки, уменьшается и конические пружины 20 и 23 разжимаются, возвращая штоки 3 и 11 в исходное положение. Пружина 15 прижимает грибок 14 к гнезду штока 11 и закрывает проходное отверстие, прекращая перепуск топлива в бак.

МАСЛОАГРЕГАТ МА-25

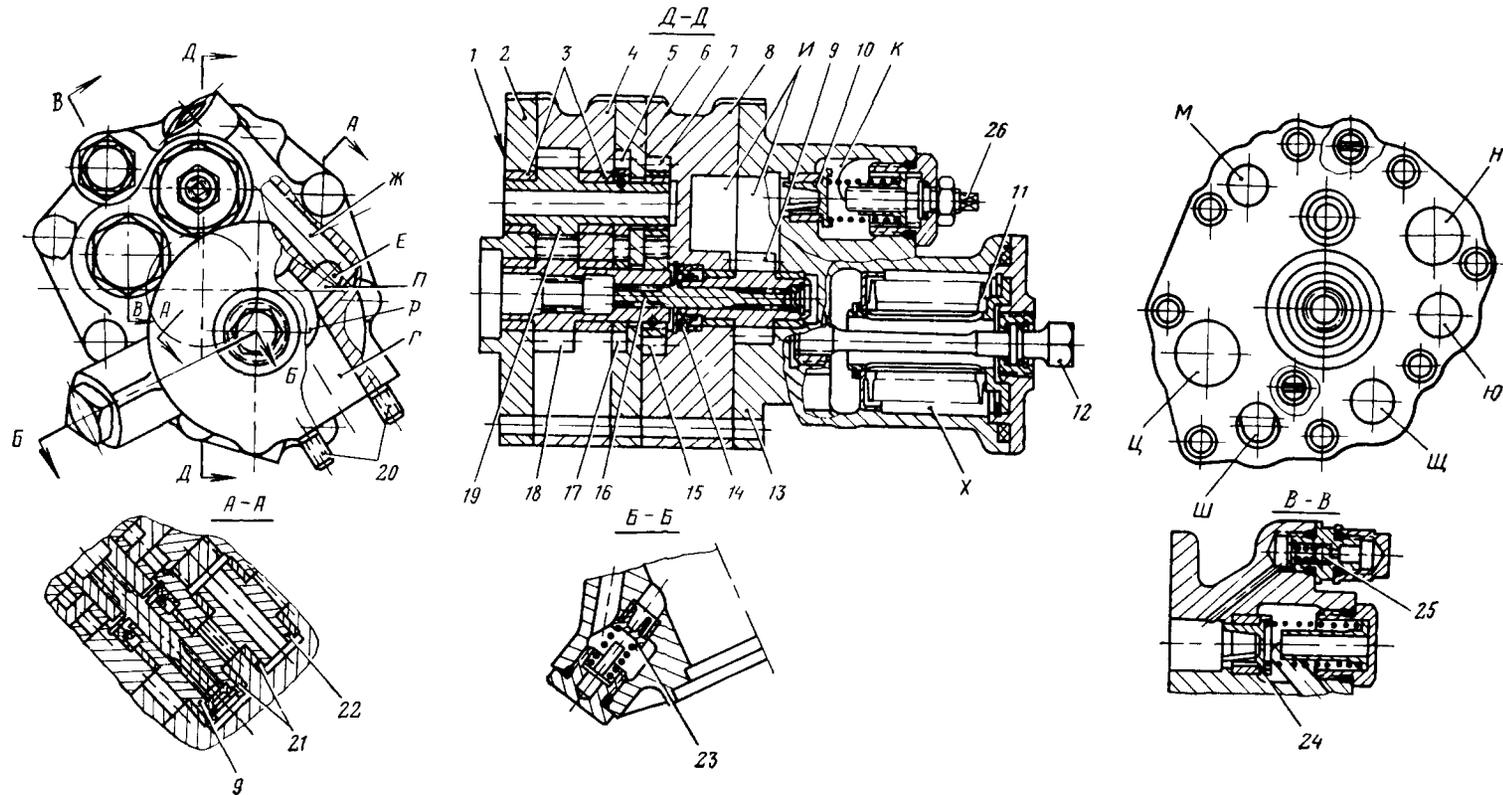
Маслоагрегат (фиг. 43) расположен в нижней части разделительного корпуса с левой стороны и прикреплен к нему при помощи шпилек.

Маслоагрегат состоит из четырех вмонтированных в один корпус секций — маслонасосов шестерчатого типа:

- основной откачивающей секции;
- секции откачки масла из полости подшипника задней опоры турбины;
- секции откачки масла из полостей подшипников передних опор роторов турбин;
- нагнетающей секции.

Кроме того, в маслоагрегате имеются редукционный и обратный клапаны и фильтр очистки масла.

Привод маслоагрегата осуществляется от рессоры 16, сочлененной шлицами с валом ведущей шестерни 18.



Фиг. 43 Маслоагрегат МА-25

1—прокладка, 2—нижняя крышка, 3, 21—втулки-подшипники; 4—нижний корпус, 5—ведущая шестерня секции откачки масла из полости подшипника задней опоры ротора ТНД, 6—промежуточный корпус; 7—ведомая шестерня секции откачки из полости подшипников передних опор ротора турбины, 8—верхний корпус, 9—ведущая шестерня нагнетающей секции; 10—редукционный клапан; 11—фильтр; 12—болт съёмник; 13—верхняя крышка, 14—уплотняющая манжета; 15—ведущая шестерня секции откачки из полости подшипников передних опор роторов турбин; 16—рессора 17

ведомая шестерня секции откачки масла из полости подшипника задней опоры ротора ТНД; 18—ведущая шестерня основной откачивающей секции; 19—ведомая вал-шестерня основной откачивающей секции, 20—шпильки крепления трубопровода подвода масла в нагнетающую секцию, 22—ведомая шестерня нагнетающей секции, 23—перепускной клапан; 24—обратный клапан; 25—клапан стравливания воздуха; 26—регулирующий винт

Основная откачивающая секция расположена в расточках нижнего корпуса 4 и состоит из ведущей шестерни 18, выполненной за одно целое с валиком, и ведомого вала-шестерни 19, вращающегося в бронзовых втулках-подшипниках 3, запрессованных в крышке 2 и корпусе 4.

Секция откачки масла из полости подшипника задней опоры ротора турбины низкого давления находится в расточке промежуточного корпуса 6 и состоит из ведущей 5 и ведомой 17 шестерен.

Секция откачки масла из полости подшипников передних опор роторов турбин размещена в расточке корпуса 8 и состоит из ведущей 15 и ведомой 7 шестерен. Шестерня 7 с запрессованной в нее бронзовой втулкой смонтирована на валу-шестерне 19. Ведущие шестерни 5 и 15 обеих секций приводятся во вращение от валиков основной откачивающей секции, при этом в качестве шпонок, передающих крутящий момент, использованы шарики, расположенные в гнездах валика и канавках шестерен.

Подвод масла к секции откачки масла из полости подшипника задней опоры ротора турбины осуществляется через канал *М*, а к секции откачки масла из полости подшипников передних опор роторов турбин — через канал *Ш*. Насосы имеют общий выход в разделительный корпус через канал *Ю*. Из откачивающей секции масло через канал *Н* в крышке 2 и канал в разделительном корпусе поступает в воздухоотделитель.

Нагнетающая секция предназначена для нагнетания масла, расположена в расточках верхней крышки 13 маслоагрегата и состоит из ведущей шестерни 9 и ведомой 22, вращающихся в бронзовых втулках-подшипниках 21, редукционного 10 и обратного 24 клапанов, расположенных в верхней части агрегата, и клапана 25 стравливания воздуха.

Масло из маслобака по трубопроводу, прикрепленному к фланцу при помощи шпилек 20, и по каналу *Г* поступает к шестерням нагнетающей секции и выходит в полость нагнетания *И*, где разделяется на два потока. Основной поток, миновав обратный клапан 24, по каналу *Е* попадает в полость *Х* фильтра 11. Избыточное количество масла перепускается редукционным клапаном 10 в полость *К* и далее по каналам *Ж* и *П* попадает в полость *Р* входа в нагнетающую секцию.

Редукционный клапан 10 поддерживает давление масла в двигателе в пределах 2,5—4,0 кг/см². Его регулируют вращением регулировочного винта 26, который, перемещая подвижную втулку, изменяет усилие сжатия пружины, т. е. усилие, прижимающее клапан к седлу.

Обратный клапан 24 предназначен для устранения перетекания масла из маслобака через зазоры в нагнетающей секции в двигатель при длительной стоянке самолета с неработающим двигателем.

При первоначальном заполнении двигателя маслом воздух, находящийся в нагнетающей секции, образует пробку, которая препятствует поступлению масла в двигатель. Для заполнения маслом полости нагнетающей секции необходимо отжать шарик клапана стравливания воздуха 25.

Маслофильтр МФ-25, предназначенный для очистки масла, поступающего к трущимся поверхностям деталей двигателя, от механических примесей, расположен в колодце верхней крышки 13 маслоагрегата.

Основные технические данные фильтра

1. Фильтрующая сетка секции имеет 8270 ячеек на 1 см²
2. Количество фильтрующих секций в фильтре 12—13
3. Общая площадь сеток фильтра 39,5—42,8 см²
4. Площадь сетки в свету 34,6% общей площади 13,8—14,9 см²

Маслофильтр 11 состоит из набора сетчатых фильтрующих секций, посаженных на сердечник с продольными прорезями и закрепленных на

нем при помощи разжимного замка. Сердечник с набором секций укреплен в крышке фильтра при помощи плоского разжимного замка.

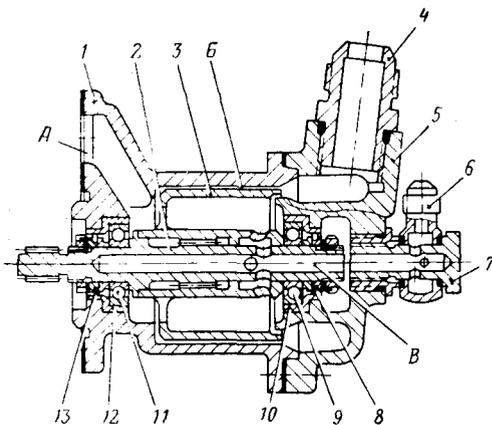
Фильтрующая секция состоит из двух пар латунных сеток, грубой (каркаса) и тонкой (фильтра), окантованных внутренними обоймами. Окантованные сетки собраны совместно с гофрированным каркасом в фильтрующую секцию и завальцованы в общую наружную обойму.

К маслоагрегату маслофильтр 11 закреплен при помощи болта-съемника 12. При отворачивании болт упирается в стопорное кольцо и фильтр снимается. Стопорное кольцо вмонтировано в футорку с конической резьбой, которая ввернута в крышку фильтра. Для герметичности подсоединения фильтра под буртом болта-съемника 12 установлены уплотнительные резиновое и медное кольца.

Перепускной клапан 23 обеспечивает поступление масла в двигатель при сильном загрязнении сеток фильтра.

ВОЗДУХООТДЕЛИТЕЛЬ ВО-25

Воздухоотделитель (фиг. 44) — центробежного типа, установлен в нижней левой части разделительного корпуса и предназначен для отделения воздуха от масла, поступающего из основной откачивающей секции маслоагрегата.



Фиг. 44. Воздухоотделитель ВО-25:

1—корпус; 2—валик ротора; 3—крыльчатка; 4—штуцер отвода масла в топливно-масляный агрегат; 5—крышка; 6—штуцер отвода воздуха в бак; 7—болт; 8, 13—уплотнения; 9, 11—шарикоподшипники; 10, 12—обоймы шарикоподшипников

Воздухоотделитель состоит из корпуса 1, крышки 5 и крыльчатки 3 закрытого типа, изготовленных из магниевого сплава. Корпус и крышка воздухоотделителя соединены шпильками и гайками с шайбами. В корпус и крышку воздухоотделителя запрессованы стальные обоймы 10 и 12, которые являются опорами подшипников 11 и 9 ротора и элементами кольцевых уплотнений 8 и 13. Для исключения перетекания масла из воздухоотделителя в разделительный корпус, а также в полость отвода воздуха служат кольцевые уплотнения 8 и 13, состоящие из кольцедержателей и уплотнительных колец.

Ротор воздухоотделителя установлен на двух подшипниках качения 9 и 11, стянутых вместе с крыльчаткой и кольцедержателями гайками. Вращение валику 2 ротора и крыльчатке 3 передается от зубчатого колеса привода шлицевым валиком. Крыльчатка 3 посажена на стальной валик 2 ротора и связана с ним посредством шлицев.

Масло из основной откачивающей секции по каналу в разделительном корпусе попадает в канал А воздухоотделителя и далее во внутреннюю полость крыльчатки. Под действием центробежных сил масло отбрасывается к периферии внутренней полости крыльчатки и через зазор Б между крыльчаткой и крышкой поступает в улитку крышки воздухоотделителя. Очищенное от воздуха масло из воздухоотделителя отводится через штуцер 4 по трубопроводу в топливно-масляный агрегат для охлаждения, а воздух по каналу В в валике, по лому болту 7, штуцеру 6 и внешнему трубопроводу отводится в бак.

ДИСТАНЦИОННЫЙ СТРУЖКОСИГНАЛИЗАТОР СД-25

Дистанционный стружкосигнализатор (фиг. 45), выдающий автоматически сигнал о наличии стружки в двигателе, установлен в нижней части поддона масляной полости разделительного корпуса и закреплен к нему при помощи шпилек.

Стружкосигнализатор состоит из наклонного сборника 7 металлических частиц, на котором расположен корпус 6 магнитов, изготовленный из диэлектрика. Сборник 7 прикреплен к поддону 8 на винтах. Корпус 6 магнитов имеет по периферии восемь окон 5. В стойках между окнами расположены постоянные магниты 10, полосы которых установлены последовательно, благодаря чему образуется магнитное поле с поперебными потоку масла силовыми линиями.

Магниты расположены с определенным зазором, в котором собирается стружка. К магнитам 9 при помощи хомутов 4 подсоединены провода 3. Провода заканчиваются колодкой 1 штепсельного разъема, к которой подсоединены источник питания и сигнальная лампа 11.

Масло, увлекаая стружку, проходит через окна 5, при этом стальные частицы притягиваются магнитами и при определенном количестве создают контакт между магнитами, в результате чего электрическая цепь замыкается и сигнальная лампа загорается. Для этого достаточно заполнить стружкой зазоры одной из полуокружностей, т. е. четыре смежных зазора между контактными магнитами.

МАГНИТНАЯ ПРОБКА МП-25

Магнитная пробка (фиг. 46), предназначенная для обнаружения в масле стальных частиц, размещена в канале откачки масла из полости разделительного корпуса и состоит из корпуса 4, рукоятки 1, державки 2 магнита, магнита 10 и клапана 9.

Корпус 4, с одной стороны, имеет два ушка, к которым на оси 7 закреплен клапан 9, закрываемый пружиной 8, а с другой, — пазы штыкового соединения для фиксации в рабочем положении рукоятки 1 при помощи штифта 3 и пружины 5. Внутри корпус имеет расточку для размещения державки 2, рукоятки 1, пружины 5 и уплотнительного кольца 6. Для повышения герметичности прилегающий торец клапана 9 покрыт резиной. Герметичность канала обеспечивает уплотнительное резиновое кольцо 6, прижимаемое усилием пружины 5.

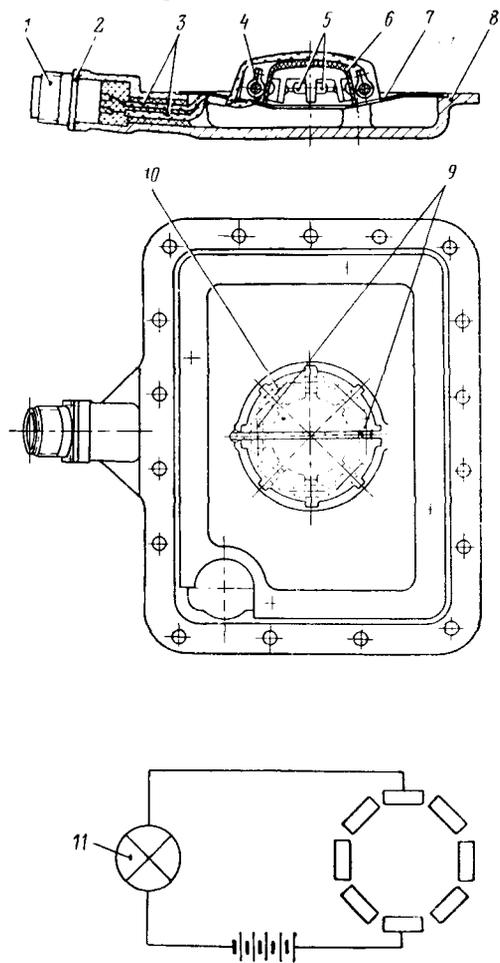
Масло, откачиваемое из масляной полости разделительного корпуса, омывает магнит 10, при этом имеющиеся в масле стальные частицы притягиваются им.

Для осмотра магнитной пробки необходимо снять контровочную проволоку и, слегка нажав на рукоятку 1, повернуть ее по часовой стрелке, а затем вынуть. При этом утечку масла из двигателя предотвращает клапан 9, который под действием пружины 8 прикрывает отверстие А.

РАБОТА МАСЛЯНОЙ СИСТЕМЫ

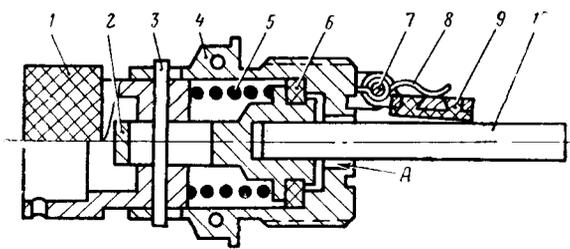
Масло из маслобака 1 (см. фиг. 37) поступает самотеком в нагнетающую секцию 23 маслоагрегата, откуда оно подается в маслофильтр 28, расположенный на маслоагрегате. Выйдя из маслоагрегата, масло по каналам в разделительном корпусе разделяется на два потока. Один поток идет на смазку подшипников роторов компрессоров, центрального привода и привода счетчика оборотов компрессора низкого давления, другой — на смазку и охлаждение подшипников турбин. Остальные узлы смазываются барботажным маслом.

Масло из полостей подшипников передних и задних опор роторов турбин откачивается секциями 19 и 20 маслоагрегата и по общему каналу



Фиг. 45. Дистанционный стружкосигнализатор СД-25:

1—колодка штепсельного разъема; 2—прокладка; 3—провода; 4—хомут; 5—окна в корпусе; 6—корпус; 7—сборник; 8—поддон; 9—контактные магниты; 10—магнит; 11—сигнальная лампа



Фиг. 46. Магнитная пробка:

1—рукоятка; 2—державка магнита; 3—штифт; 4—корпус; 5, 8—пружины; 6—уплотнительное кольцо; 7—ось; 9—клапан; 10—магнит

поступает в масляную полость разделительного корпуса. Сюда же сливается масло после смазки и охлаждения трущихся поверхностей деталей разделительного корпуса. Из поддона масло откачивается основной откачивающей секцией 24 и по каналам в разделительном корпусе направляется в центробежный воздухоотделитель 17. Отделенное от воздуха масло поступает для охлаждения в топливно-масляный агрегат 15 и оттуда возвращается в маслобак 1. Воздух из воздухоотделителя также отводится в маслобак.

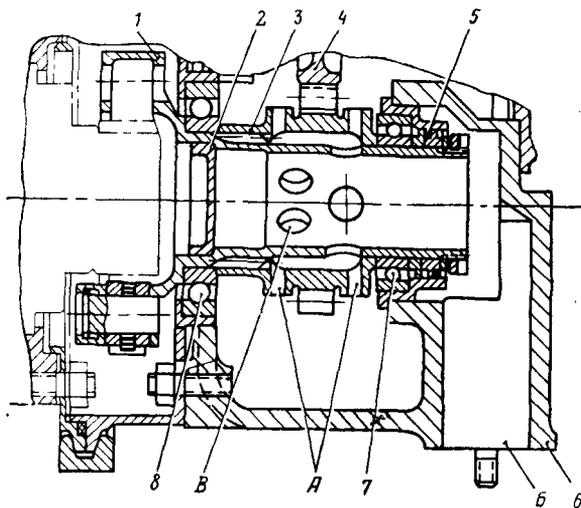
Для обеспечения охлаждения масла до температуры не выше 90°C и устранения перегрева топлива (при повышенных температурах охлаждающего топлива на входе в агрегат) осуществляется дополнительный перепуск топлива через топливно-масляный агрегат в бак при помощи ограничителя максимальной температуры топлива — термостатического клапана 14.

Давление масла на входе в двигатель замеряется датчиком 2, установленным на разделительном корпусе. В двигателе давление масла поддерживается редукционным клапаном 22 маслоагрегата в пределах $3,3\text{--}3,7\text{ кг/см}^2$ на режиме номинальной тяги на земле и при температуре масла на входе в двигатель $50\text{--}70^{\circ}\text{C}$. Температура масла на входе в двигатель контролируется датчиком 29, установленным в маслобаке.

Для слива масла на двигателе имеются кран 18 в нижней части разделительного корпуса, кран 30 на маслобаке и кран 13 на топливно-масляном агрегате.

СИСТЕМА СУФЛИРОВАНИЯ ДВИГАТЕЛЯ

Суфлирование всех масляных полостей необходимо для обеспечения нормальной работы масляной системы и уплотнений.



Фиг. 47. Центробежный суфлер:

1—вал привода воздушного стартера СВ-25; 2—пробка; 3—шестерня крыльчатки; 4—ведущая шестерня; 5—кольцевое уплотнение; 6—разделительный корпус; 7, 8—шарикоподшипники

Масляные полости подшипников опор роторов турбин и маслобака соединены общим трубопроводом с масляной полостью разделительного корпуса, которая суфлируется через центробежный суфлер 5 (см. фиг. 37). В полости разделительного корпуса за счет эжекции создается разрежение, улучшающее условия работы манжетных уплотнений.

Центробежный суфлер (фиг. 47) выполнен совместно с приводом

воздушного стартера СВ-25 и предотвращает потери масла во время суфлирования масляных полостей двигателя.

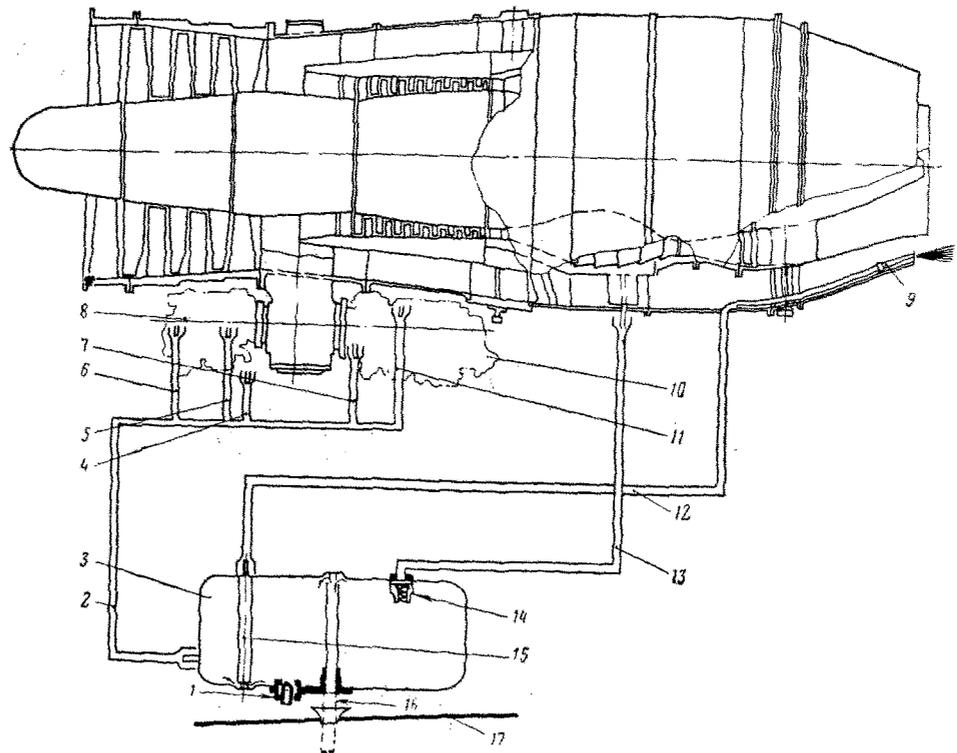
Функции центробежного суфлера выполняет шестерня 3, имеющая двадцать восемь радиальных отверстий А. Шестерня 3 связана с валом 1 привода от воздушного стартера при помощи шлицев.

В стенках вала 1 также имеется ряд отверстий В для прохода воздуха. Для устранения потерь масла из масляной полости в передней части вала установлена пробка 2, а в задней — уплотнение 5 из бронзовых колец, заключенных в кольцеведержатели. Вал с шестерней установлен на шарикоподшипниках 7, 8 и вращается ведущей шестерней 4. Воздушно-масляная смесь направляется к отверстиям А шестерни 3. По стенкам отверстий масло возвращается в полость нижнего прилива разделительного корпуса, а воздух через отверстия В в валу, полую часть вала и канал Б в разделительном корпусе 6 внешним трубопроводом отводится к эжектору реактивного сопла.

Для защиты газо-воздушного тракта от проникновения масла через опоры применяются безрасходные контактные уплотнения, причем для снижения давления перед контактным уплотнением подшипника турбины высокого давления применяется лабиринтное уплотнение, суфлируемое во второй контур двигателя.

ДРЕНАЖНАЯ СИСТЕМА ДВИГАТЕЛЯ

Дренажная система двигателя (фиг. 48) предназначена для сбора и отвода за капот двигателя следующих жидкостей: топлива, сливаемо-



Фиг. 48. Схема дренажной системы двигателя:

1—сливной кран; 2—трубопровод слива дренажных жидкостей в бак; 3—дренажный бак; 4—трубопровод слива жидкости из гидронасоса; 5—трубопровод слива жидкости из качающего узла насоса 760Б; 6—трубопровод слива жидкости из полости сообщения с атмосферой клапана пускового топлива насоса 760Б; 7—трубопровод слива жидкости из регулятора 762МА; 8—насос 760Б; 9—эжекторный насадок; 10—регулятор 762МА; 11—трубопровод слива топлива из коллектора; 12, 13—трубопроводы отвода дренажных жидкостей из бака; 13—трубопровод слива топлива из камеры сгорания; 14—запорный клапан; 16—труба отвода жидкостей за капот самолета при переолнении бака; 17—обвод капота самолета

го из коллектора, камеры сгорания, полости сообщения с атмосферой клапана пускового топлива агрегата 760Б; топлива и масла, сливаемых из дренажных полостей уплотнений агрегата 760Б и регулятора 762МА: гидросмеси, сливаемой из дренажных полостей уплотнения гидронасоса.

Дренажная система состоит из бачка 3, эжекторного насадка 9, которым оканчивается на срезе насадка второго контура трубопровод 12 отвода дренажных жидкостей из бачка и трубопроводов.

На бачке 3 расположены: клапан 14 для отсечки канала слива топлива из камеры сгорания, штуцеры для подсоединения трубопроводов подвода и отвода дренажей, труба 16 сообщения полости бачка с закапотным пространством и сливной кран 1.

Топливо из коллектора по трубопроводу 11 и из камеры сгорания по трубопроводу 13 сливается в бачок при останове двигателя, ложном или неудавшемся запуске. Этот слив прекращается при достижении избыточного давления топлива более $0,4 \text{ кг/см}^2$, при котором клапан 14 запирает канал слива. Слив топлива из качающего узла агрегата 760Б, топливного регулятора 762МА и гидронасоса производится по трубопроводу 2 в дренажный бачок 3. Слив топлива из полости сообщения с атмосферой клапана пускового топлива агрегата 760Б по трубопроводу 6 возможен при прорыве мембраны клапана.

Все сливаемые жидкости самотеком поступают в бачок 3 и отводятся от него за счет эжекции на срезе сопла на режимах работы двигателя от 0,6 номинальной тяги и более высоких. В полете эжекцию дополняет скоростной напор набегающего потока воздуха, подводимого в бачок через трубу 16. По этой же трубе собираемые жидкости при переполнении бачка отводятся за капот самолета. Жидкости принудительно сливаются через кран 1, расположенный в нижней части бачка.

Глава VII

ТОПЛИВНАЯ СИСТЕМА ДВИГАТЕЛЯ

Топливная система обеспечивает питание двигателя топливом, автоматическое регулирование двигателя и состоит из системы низкого давления, системы высокого давления и пусковой системы.

Система низкого давления состоит из топливных баков, подкачивающих насосов, сигнализаторов давления топлива, штуцера консервации и пожарного крана, расположенных на самолете, и двигательной части: подкачивающая ступень насоса 760Б, топливно-масляный агрегат 4717Т (ТМА) с основным топливным фильтром, сигнализатор перепада давлений топлива на фильтре, а также трубопроводы, соединяющие все элементы.

Система высокого давления включает шестеренчатый насос 760Б, топливный регулятор 762МА, топливный коллектор, рабочие форсунки и соединяющие их трубопроводы.

В пусковую систему входят электромагнитный клапан пускового топлива, пусковые форсунки воспламенителей и трубопроводы пускового топлива.

Питание топливной системы низкого давления происходит следующим образом. Топливо из самолетного топливного бака 66 (фиг. 49) подается самолетным подкачивающим электроприводным насосом 65 в подкачивающий насос 5 и затем поступает в топливно-масляный агрегат 51, где происходит подогрев топлива и охлаждение масла, поступающего из двигателя. На выходе топлива из топливно-масляного агрегата установлены сетчатый фильтр 59 и сигнализатор 56 предельного перепада давлений на топливном фильтре.

Из топливно-масляного агрегата 61 топливо поступает в насос высокого давления 6 системы высокого давления. Основной шестеренчатый 6 и подкачивающий центробежный 5 топливные насосы двигателя объединены в один насос 760Б. Из основного топливного насоса 6 топливо попадает в топливный регулятор 762МА, а затем на рабочие форсунки 55 двигателя. Количество топлива, поступающего на рабочие форсунки двигателя, в зависимости от режима работы двигателя и условий полета автоматически регулируется регулятором 762МА.

При работе двигателя в условиях высоких температур окружающего воздуха на малых режимах расход топлива в двигатель может оказаться недостаточным для охлаждения масла в топливно-масляном агрегате. Поэтому через топливно-масляный агрегат предусмотрена дополнительная прокачка топлива, которое снова возвращается в самолетный топливный бак 66, проходя через термоклапан 58, открывающийся при температуре топлива +60°С.

Для полного прекращения подачи топлива в двигатель на стоянке или в аварийных случаях между самолетным топливным баком и насосом 760Б установлен электроприводной пожарный кран 63. Кроме того, для прекращения подачи топлива и останова двигателя в конструкции регулятора 762МА предусмотрен механический переключной стоп-кран 40, а в насосе 760Б — электромагнитный клапан 4.

Питание пусковой системы топливом осуществляется от основного насоса высокого давления 6 через специальный клапан постоянного избыточного давления 3. В магистрали между насосом 6 и пусковыми форсунками 54 установлен электромагнитный клапан пускового топлива 53, который по команде от автоматической панели запуска осуществляет подвод или прекращение подачи топлива к пусковым форсункам 54.

Контроль за работой топливной системы осуществляется по давлению топлива на рабочих форсунках 55, сигнализатору 64 работы самолетного подкачивающего насоса и сигнализатору 56 предельного перепада давлений топлива на фильтре 59 топливно-масляного агрегата.

Дренаж насоса, регулятора и топливного коллектора производится через дренажный бак.

ПАРАМЕТРЫ ТОПЛИВНОЙ СИСТЕМЫ

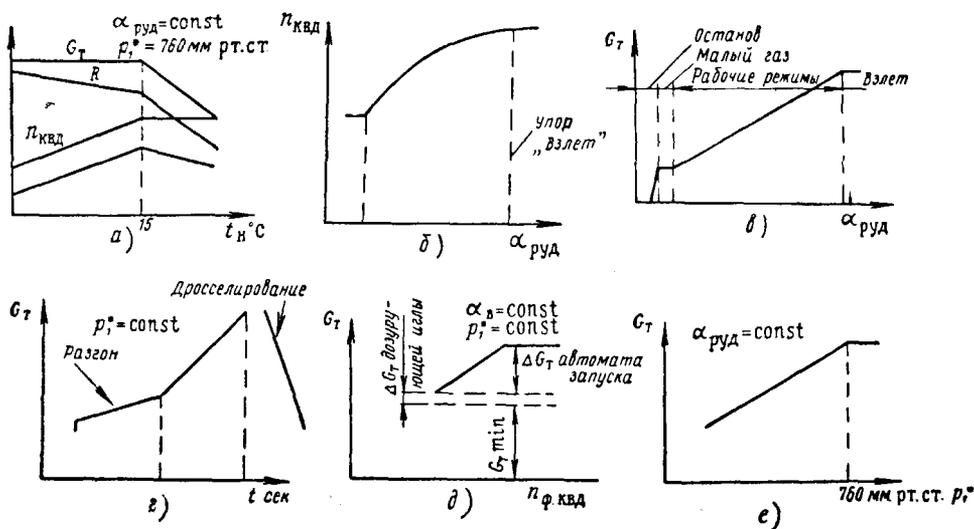
1. Сорт топлива (рабочее и пусковое)	ТС-1 (ГОСТ 10227—62), Т-1 (ГОСТ 10227—62) и их смеси
2. Давление топлива на входе в подкачивающий насос	0,9—2,7 кг/см ²
3. Продолжительность работы подкачивающего насоса при давлении на входе 0,32 ата	не более 10 час
4. Тонкость фильтрации топлива на входе в шестеренчатый насос	20—25 мк
5. Температура топлива на входе в подкачивающий насос	от —50 до +60°С
6. Температура топлива на входе в шестеренчатый насос	от —10 до +80°С на рабочих режимах; на режимах запуска и малого газа до —50°С
7. Перепад давлений на топливном фильтре, при котором загорается лампа сигнализатора засорения фильтрующих элементов	0,35—0,4 ата
8. Высотность системы	10 000 м

ТОПЛИВНО-РЕГУЛИРУЮЩИЕ АГРЕГАТЫ

Топливо-регулирующие агрегаты подают топливо в двигатель в соответствии с заданным режимом работы двигателя, режимом полета и давлением воздуха на входе в двигатель.

Автоматическая топливно-регулирующая система двигателя обеспечивает по команде программного механизма автоматической панели запуска:

- а) подачу пускового топлива;
- б) дозирование топлива при запуске и приемистости;
- в) дозирование топлива в зависимости от положения рычага управления двигателем;
- г) дозирование топлива в зависимости от высоты и скорости полета;
- д) поддержание постоянных оборотов каскада высокого давления в зависимости от положения рычага управления;
- е) поддержание постоянных оборотов на режиме малого газа;
- ж) ограничение предельных оборотов каскада высокого давления;



Фиг. 50. Характеристики автоматической системы регулир. вания двигателем АИ-25

- з) ограничение постоянного минимального расхода топлива на всех высотах;
- и) выдачу команд на управление клапанами перепуска воздуха из-за III и V ступеней компрессора;
- к) выдачу команды на отключение стартера;
- л) останов двигателя стоп-краном с механическим приводом от рычага управления и по команде автоматической панели запуска;
- м) слив топлива из коллектора рабочих форсунок после останова двигателя;
- н) дополнительную фильтрацию топлива, проходящего через агрегаты.

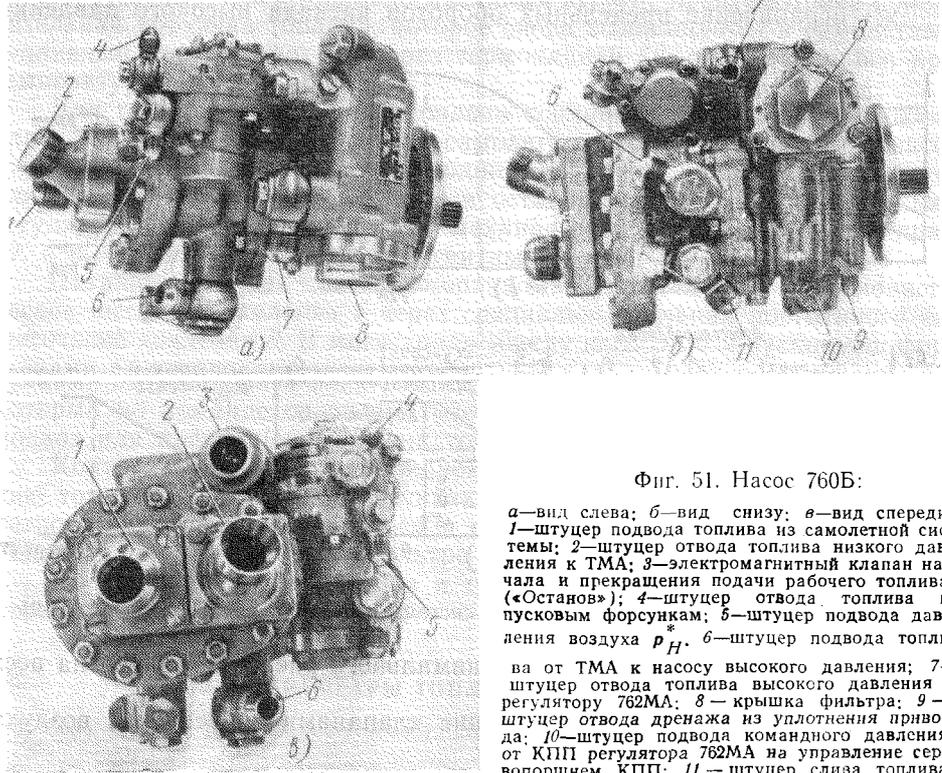
При работе двигателя на фиксированном режиме (по $\alpha_{руд}$) на земле при изменении температуры воздуха параметры двигателя изменяются в соответствии с графиком, приведенным на фиг. 50, а.

В диапазоне температур окружающего воздуха от -60 до $+15^\circ\text{C}$ топливно-регулирующая аппаратура поддерживает постоянный расход топлива, т. е. выполняет закон $G_T = \text{const}$, а в диапазоне температур $+15 \div +60^\circ\text{C}$ выполняется закон $n_{КВД} = \text{const}$. Подача топлива в двигатель при разгоне и дросселировании выполняется с замедлением по времени в соответствии с заданными законами $G_T = f(t)$, где t — время (см. фиг. 50, з).

Зависимость расхода топлива от положения рычага управления двигателем $G_T = f(\alpha_{КВД})$ (приведена на фиг. 50, в; изменение оборотов

ограничения ротора высокого давления $n_{квд} = f(a_{руд})$ — на фиг. 50, б; регулирование подачи топлива при запуске — на фиг. 50, д и коррекция расхода топлива при уменьшении давления воздуха на входе в двигатель — на фиг. 50, е.

В комплект топливно-регулирующих агрегатов входят насос 760Б (фиг. 51) и регулятор 762МА (фиг. 52, 53), обеспечивающие регулирование режимов двигателя путем изменения подачи топлива в камеру сгорания. Насос 760Б и регулятор 762МА установлены на нижнем привливе разделительного корпуса и закреплены к нему при помощи стяжных хомутов.



Фиг. 51. Насос 760Б:

а—вид слева; б—вид снизу; в—вид спереди; 1—штуцер подвода топлива из самолетной системы; 2—штуцер отвода топлива низкого давления к ТМА; 3—электромагнитный клапан начала и прекращения подачи рабочего топлива («Останов»); 4—штуцер отвода топлива к пусковым форсункам; 5—штуцер подвода давления воздуха p_H ; 6—штуцер подвода топлива от ТМА к насосу высокого давления; 7—штуцер отвода топлива высокого давления к регулятору 762МА; 8—крышка фильтра; 9—штуцер отвода дренажа из уплотнения привода; 10—штуцер подвода командного давления от КПП регулятора 762МА на управление сервопоршнем КПП; 11—штуцер слива топлива из регулятора 762МА

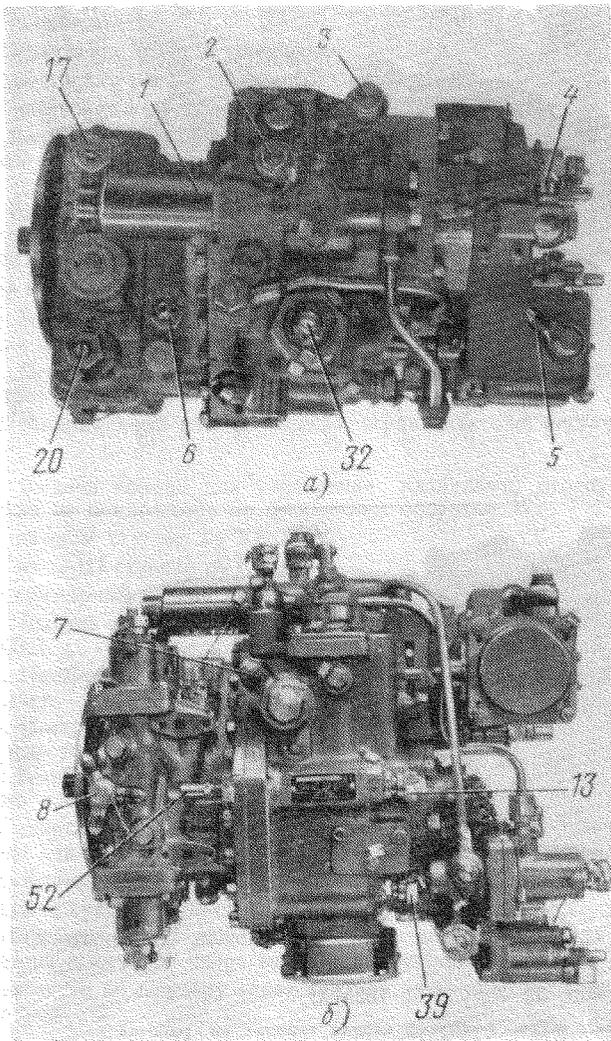
Управление топливной автоматикой осуществляется изменением положения рычага управления регулятора 762МА от рычага управления двигателем (РУД) из кабины экипажа и подачей питания на электромагнитный клапан насоса 760Б, который по сигналу от программного механизма автоматической панели запуска включает подачу рабочего топлива, а по сигналу, подаваемому вручную из кабины экипажа, прекращает подачу топлива в двигатель (электроостанов).

Рычаг управления двигателем служит для изменения режима работы двигателя и управления перекрывным краном топлива (механический останов).

ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ ТОПЛИВНЫХ АГРЕГАТОВ

НАСОС

1. Условное обозначение	760Б
2. Привод	от двигателя, $i = 0,304898$



Фиг. 52. Регулятор 762МА:

а—вид слева; б—вид снизу; 1—электромагнитный клапан ограничителя температуры газов; 2—штуцер слива топлива из коллектора рабочих форсунок; 3—клапан стравливания воздуха; 4—штуцер отвода командного давления на управление сервопоршнем КПП в агрегате 760Б; 5—штуцер подвода давления воздуха p_H^* к баростату; 6—штуцер отвода воздуха на управление КПП за V ступенью; 7—штуцер подвода топлива высокого давления из агрегата 760Б; 8—штуцер слива из уплотнения привода.

Примечание. Остальные позиции те же, что на фиг. 40

3. Направление вращения левое (ГОСТ 1630—46)
 4. Давление топлива на входе в центробежный насос 0,9—2,7 ата

Примечание. При давлении на входе в центробежный насос $p_{вх} \geq 0,32$ ата работа насоса допускается не более 10 час за ресурс

5. Дополнительный расход топлива, обеспечиваемый центробежным насосом при оборотах привода $n=5000$ об/мин и давлении за центробежным насосом, превышающем давление на входе на $\Delta p \geq 0,9$ кг/см² не менее 900 кг/час

6. Максимальное давление топлива на выходе из центробежного насоса 3,5 ата

7. Максимальное давление на выходе из шестеренчатого насоса 95 кг/см²

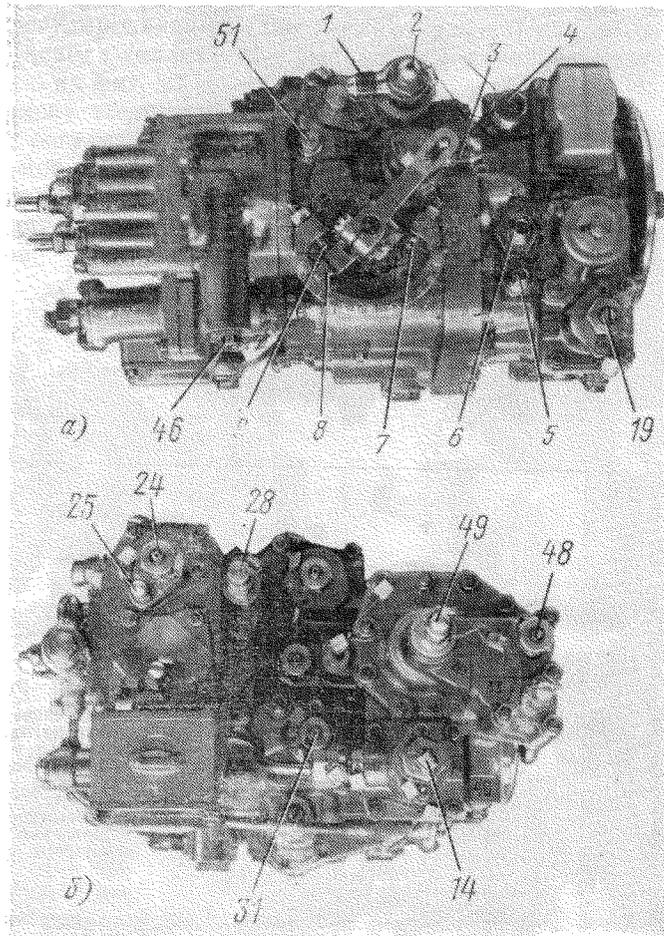
8. Расход пускового топлива при давлении $2,5^{+0,5}$ кг/см² и оборотах привода $n=320^{+15}$ об/мин не менее 16 кг/час

9. Вес сухого насоса не более 7 кг

10. Дренажные утечки не более 3 капле в мин

11. Напряжение электрической цепи 27 в $\pm 10\%$

12. Минимальное напряжение срабатывания электромагнитных клапанов 20 в



Фиг. 53. Регулятор 762МА:

а—вид справа; б—вид сзади; 1—штуцер отвода топлива на рабочие форсунки; 2—штуцер отвода топлива для замера давления на рабочих форсунках; 3—штуцер слива топлива в агрегат 760Б; 4—штепсельный разъем электрического сигнала на отключение стартера; 5—штуцер отвода воздуха на механизм клапана перепуска воздуха из-за III ступени КВД; 6—штуцер подвода воздуха из-за компрессора на механизм клапана перепуска воздуха; 7—упор «Стоп»; 8—стрелка указателя поворота рычага сектора газа; 9—упор «Взлет».

Примечание. Остальные позиции те же, что на фиг. 49

РЕГУЛЯТОР

1. Условное обозначение	762МА
2. Привод	от двигателя, $i=0,304898$
3. Направление вращения	правое (ГОСТ 1630—46)
4. Давление топлива:	
а) максимальное давление топлива на входе	95 кг/см^2
б) давление топлива на сливе	не более $3,5 \text{ кг/см}^2$
5. Режим останова соответствует положению рычага управления на упоре «Стоп» по углу поворота	$0^\circ—5^\circ$
6. Режим малого газа:	
а) положение рычага управления	$12^\circ—19^\circ$
б) настройка регулятора расхода топлива	7760 об/мин
в) минимальный расход топлива	$170 \pm 5 \text{ кг/час}$

г) максимальный расход топлива	220±10 кг/час
7. Режим взлета:	
а) положение рычага управления	100°—105°
б) настройка регулятора расхода топлива	839 кг/час
в) настройка регулятора оборотов по КВД	16 640 об/мин
8. Диапазон автоматической работы регулятора оборотов в об/мин	от n малого газа до n_{max}
9. Точность поддержания оборотов каскада высокого давления на всех режимах по оборотам регулятора:	
при $\alpha_{руд} = 12^\circ \div 19^\circ$	±1%
при $\alpha_{руд} = 36^\circ \div 105^\circ$	±0,4%
10. Эксплуатационный допуск на расход топлива на всех режимах и высотах полета в течение ресурса	±20 кг/час
11. Ограничение предельных оборотов КВД в случае выхода из строя регулятора оборотов	17 100 ⁺¹⁵⁰ об/мин
12. Минимальный расход топлива, ограничиваемый регулятором	115 $\frac{+10}{-5}$ кг/час
13. Выдача команд для управления клапанами перепуска воздуха из компрессора по физическим оборотам:	
а) из-за V ступени по КВД	12 215±100 об/мин
б) из-за III ступени по КВД	13 785±100 об/мин
в) суммарный расход воздуха	не более 5 г/сек
14. Выдача электрического сигнала на отключение стартера по КВД	6930 ⁺³⁵⁰ об/мин
15. Настройка клапана постоянного давления над давлением слива	10 ⁺¹ кг/см ²
16. Настройка клапана слива топлива из коллектора рабочих форсунок:	
а) закрытие при останове двигателя на оборотах ротора высокого давления	не более 1650 об/мин
б) открытие при останове двигателя на оборотах ротора высокого давления	не менее 6500 об/мин
17. Крутящий момент для поворота рычага управления	не более 20 кг·см
18. Вес сухого регулятора	не более 17 кг
19. Суммарные дренажные утечки (по дренажу привода регулятора и штуцеру слива топлива из коллектора)	не более 3 капли в мин
в том числе по штуцеру слива топлива из коллектора рабочих форсунок	не более 1 капли в мин

ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ СХЕМА РАБОТЫ ТОПЛИВНО-РЕГУЛИРУЮЩИХ АГРЕГАТОВ

На рабочие форсунки двигателя топливо подается тремя потоками. Основной поток топлива регулируется положением дозирующей иглы 43 (см. фиг. 49) регулятора. Помимо дозирующей иглы регулятора, топливо подается на рабочие форсунки через клапан минимального расхода топлива 31 и дозирующую иглу автомата запуска 34.

Между дозирующими сечениями регулятора и рабочими форсунками двигателя расположен стоп-кран 40, который при положении рычага управления двигателем (РУД) на упоре «Стоп» (углы от 0° до 5°) отсекает подачу топлива на форсунки, а в диапазоне углов от 12° до упора «Взлет» обеспечивает нормальную подачу топлива, сдозированную агрегатом, в двигатель.

При запуске двигателя рычаг 38 управления двигателем из положения «Стоп» переводится на 12°—19° по лимбу. При этом стоп-кран 40 открывается, топливо поступает к запорному клапану 44 и при давлении в системе — к форсункам.

В пусковые форсунки топливо поступает из основного насоса 6 через клапан 3 и электромагнитный клапан 53, который обеспечивает по-

стоянный перепад давлений в пусковом коллекторе на всех высотах. Управление электромагнитным клапаном пускового топлива 53 и электромагнитным клапаном 4 останова двигателя осуществляется автоматической панелью запуска двигателя.

От начала раскрутки ротора высокого давления до начала подачи рабочего топлива электромагнитный клапан 4 находится под током. При этом насос высокого давления сообщается с полостью слива, давление за насосом не может преодолеть гидравлическое сопротивление регулятора 762МА и топливо на рабочие форсунки не подается. При снятии питания с электромагнитного клапана 4 давление за насосом повышается, и топливо подается на рабочие форсунки через клапан 31 минимального расхода топлива и частично через дозирующую иглу 43 регулятора.

При достижении оборотов отключения стартера командное давление датчика 11 физических оборотов достигает величины, превышающей усилие затяжки пружины, и перемещает золотник клапана 17 отключения стартера. При этом постоянное давление, подводимое к золотнику, подается в полость мембраны микровыключателя 18, входящего в механизм отключения стартера. На мембрану действуют, с одной стороны, командное давление от датчика 11 физических оборотов и, с другой стороны, усилие затяжки пружины и давление слива. Мембрана через шток действует на контакт микровыключателя, замыкая электрическую цепь.

При нарастании оборотов ротора высокого давления дозирование топлива осуществляется автоматом запуска 34, который, открывая дозирующее сечение, увеличивает расход топлива до величины, соответствующей началу подачи рабочего топлива до величины расхода на режиме малого газа. При этом количество топлива, проходящего через клапан минимального расхода и дозирующую иглу регулятора, остается неизменным.

Управление клапанами перепуска воздуха из компрессора обеспечивают датчики 19 и 20, выдающие сигнал на механизмы 21 и 22, которые открывают сечение для прохода воздуха к клапанам перепуска. Датчик механизма управления КПВ представляет золотниковую пару с усилительной мембраной, на которую действуют усилие пружины и командное давление от датчика 11 физических оборотов.

При оборотах, соответствующих открытию клапанов перепуска воздуха, командное давление достигает величины, способной преодолеть усилие пружины, и золотник клапана, перемещаясь вниз, открывает слив топлива постоянного давления из полости сильфона механизма. Сильфон удлиняется, открывает клапан, и воздух от компрессора подается к клапану перепуска воздуха на двигателе. При сбросе оборотов работа механизмов происходит в обратном направлении, и клапаны перепуска воздуха на двигателе соединяются с атмосферой.

После выхода двигателя на режим малого газа дальнейшее увеличение подачи топлива определяется дозирующей иглой 43 регулятора при сохранении постоянного расхода топлива через клапан 31 минимального расхода и открытом дозирующем сечении автомата запуска 34. Поддержание постоянных оборотов ротора каскада высокого давления на режиме малого газа осуществляется изодромным регулятором оборотов, который определяет подачу топлива в двигатель и на рабочих режимах. При положении рычага управления двигателем на углах, соответствующих режиму малого газа, затяжка пружины регулятора оборотов (настройка регулятора) определяется положением регулировочного винта 52 (на рабочих режимах — профилем кулачка 50).

Дозирование расхода топлива при приемистости обеспечивается

ограничителем, который задает определенную скорость перемещения дозирующей иглы 43 на увеличение подачи топлива.

Дозирующая игла заканчивается поршнем, образующим вместе с гидроаккумулятором и стабилизатором замкнутый объем, заполненный топливом. Этот объем сообщается со сливом через два дроссельных пакета 51 и 46. При движении иглы на увеличение расхода топливо вытесняется поршнем через дроссельные пакеты. Скорость истечения топлива через дроссельные пакеты определяет время, в течение которого игла перемещается до упора максимального расхода.

Второй пакет 46 включается клапаном 48 слива топлива через дроссельный пакет. Образующийся перепад давлений на дроссельных пакетах воздействует на стабилизатор и аккумулятор, они временно аккумулируют часть энергии, которая передается с обратным знаком на рычаг 15 обратной связи, улучшая качество переходного процесса.

Работа топливной системы и системы регулирования на установившихся режимах сводится к поддержанию постоянных оборотов ротора компрессора высокого давления с заданной степенью точности с помощью изохромного регулятора оборотов при $t_H > +15^\circ \text{C}$ и поддержанию постоянного расхода топлива при $t_H < +15^\circ \text{C}$. Регулятор настраивается на заданное число оборотов рычагом 38 управления двигателем, который через кулачок 50 изменяет затяжку пружины регулятора.

На установившемся режиме усилие центробежных грузиков уравновешивается пружиной регулятора, и рычаг 15 обратной связи находится в равновесном состоянии. Дозирующая игла 43 занимает положение, обеспечивающее необходимый для данного режима работы расход топлива. Отсечная кромка рычага 15 обратной связи обеспечивает постоянный слив через струйный жиклер и постоянство давления в пружинной полости сервомотора дозирующей иглы. Это давление уравновешивает усилие от постоянного давления, действующего на поршень с противоположной стороны. Таким образом, все элементы регулятора находятся в уравновешенном состоянии.

Рассмотрим работу регулятора в случае увеличения оборотов ротора высокого давления в результате воздействия на него внешних сил. Вследствие нарушения равновесия (увеличения центробежной силы) центробежные грузики тахометра 10 регулятора воздействуют на рычаг 15 обратной связи. Это приводит к увеличению слива топлива через струйный жиклер и понижению давления в пружинной полости сервомотора. Дозирующая игла перемещается вправо на уменьшение расхода топлива, в результате чего обороты двигателя уменьшаются.

Процесс будет продолжаться до тех пор, пока обороты двигателя не уменьшатся до первоначальной величины и усилие центробежных грузиков не уравновесится пружиной регулятора. Рычаг 15 обратной связи также устанавливается в прежнее равновесное положение, фиксируя дозирующую иглу в новом, требуемом положении.

Клапан ограничения предельных оборотов ротора высокого давления вступает в работу в случае выхода из строя регулятора оборотов. Клапан 10 — золотникового типа, с усилительной мембраной, на которую в одном направлении действует усилие от пружины растяжения, а в другом — командное давление от датчика 11 физических оборотов ротора высокого давления.

При превышении предельных оборотов командное давление датчика физических оборотов преодолевает усилие затяжки пружины, и золотник открывает слив из пружинной полости сервомотора дозирующей иглы. Давление в пружинной полости падает, и дозирующая игла перемещается на уменьшение расхода топлива в двигатель.

Обороты привода регулятора используются для управления меха-

низмами, работающими в зависимости от изменения физических оборотов ротора компрессора высокого давления: дозирующим золотником автомата запуска 34, клапаном 17 отключения стартера, механизмами 21 и 22 управления клапанами перепуска воздуха из компрессора, клапаном 14 ограничения предельных оборотов.

Постоянный перепад давлений на дозирующей игле 43 в течение всего периода работы двигателя поддерживает регулятор постоянного перепада, входящий в изодромный регулятор. Он работает по принципу дозирования расхода во вторичной, шунтирующей магистрали пропорционально расходу в основной магистрали.

Топливо во вторичную магистраль отбирается из полости входа на дозирующие иглы и направляется через входной регулируемый жиклер 28 к мембране 30 регулятора перепада. С противоположной стороны к мембране 30 подводится топливо с давлением в полости за дозирующей иглой. Через клапан мембраны 30 топливо подводится к мембране 27 рычага 26. Воздействуя на мембрану, давление топлива уравнивает усилие пружины баростата. Далее через жиклеры 23 и 25 топливо попадает в полость слива.

На установившихся режимах мембрана 30 находится в равновесии, так как на жиклере 28 срабатывает перепад, равный перепаду давлений на дозирующих элементах.

При отклонении перепада на дозирующих элементах от заданной величины, а значит, и нарушении пропорции между расходом в основной и шунтирующей магистралях, мембрана 30 отклоняется от своего равновесного положения, давление под мембраной 27 изменяется, выводя из равновесия рычаг 26. Отклонение рычага вызовет изменение расхода через сливное сечение регулятора перепада, что ведет к изменению давления в поршневой полости клапана 2. Клапан 2 изменяет перепуск топлива на вход в насос до тех пор, пока с обеих сторон мембраны 30 давление не станет одинаковым, а на мембране 27 не установится перепад давлений, обеспечивающий равновесное положение рычага 26. При этом клапан 2 займет новое, определенное положение.

С уменьшением давления p_H^* рычаг 26 увеличивает слив через струйный жиклер и клапан 2 увеличивает слив топлива на вход в насос. Уменьшение расхода топлива на выходе нарушает равновесие мембраны 30 регулятора перепада. Давление под мембраной 27 уменьшается, восстанавливая равновесие рычага 26. Уменьшение давления под мембраной 27, в свою очередь, вызывает перемещение мембраны жиклера 23 в сторону уменьшения проходного сечения. Регулятор переходит в новое равновесное положение при уменьшенном расходе в основной и шунтирующей магистралях. Профиль жиклера 23 выполнен в соответствии с заданным законом изменения расходных характеристик в зависимости от полного давления воздуха на входе в двигатель.

Для обеспечения устойчивой работы системы «двигатель — регулятор» введены гидравлический стабилизатор 37 и гидроаккумулятор 36, которые работают по принципу ограничения скорости изменения расхода топлива в двигателе. Левая полость мембраны стабилизатора и гидроаккумулятора соединена с полостью слива. Правая полость стабилизатора и гидроаккумулятора отделена от слива дроссельным пакетом 51 и связана с переменным объемом, образованным цилиндром и поршнем дозирующей иглы. В результате изменения этого объема при перемещении дозирующей иглы 43 на дроссельном пакете 51 образуется перепад давлений, который воздействует на мембрану стабилизатора 37, и рычаг 15 обратной связи изменяет слив топлива через струйный жиклер. Это приводит к коррекции (ограничению скорости движения) хода дозирующей иглы. Действие стабилизатора всегда направлено в сторону, обратную полученному импульсу. Ограничивая скорость нарастания

расхода, т. е. устраняя резкие колебания и забросы, стабилизатор обеспечивает устойчивость системы «двигатель — регулятор».

Регулятор расхода топлива обеспечивает расходы топлива по углу поворота рычага управления двигателем, соответствующие дроссельной характеристике двигателя для $p_H = 760$ мм рт. ст. и $t_H \leq +15^\circ \text{C}$.

Регулятор расхода работает следующим образом. Рычагом управления двигателем через профилированный кулачок 41 перемещается следящая втулка дозирующей иглы. Перемещаясь по игле, втулка открывает или закрывает отверстие, соединяющее пружинную полость сервомотора дозирующей иглы со сливом. При повороте рычага управления двигателем на уменьшение подачи топлива втулка перемещается вправо, при этом давление в пружинной полости сервомотора дозирующей иглы уменьшается и игла перемещается в сторону уменьшения расхода топлива. Движение иглы будет продолжаться до тех пор, пока не обеспечится соотношение давлений в левой и правой полостях сервомотора. Аналогичным образом производится увеличение подачи топлива.

Постоянный, независимый от высоты минимальный расход топлива обеспечивается клапаном 31 минимального расхода. Для этого клапан поддерживает постоянный перепад давлений на жиклере постоянного сечения. Мембрана клапана находится под усилием затянутой пружины и перепада давлений, равного перепаду на жиклере. Необходимый постоянный расход задается регулированием затяжки пружины.

Клапан постоянного давления 9 имеет золотник, который уравнивается давлением топлива, действующим на него, с одной стороны, и силой затяжки пружины и давлением слива — с другой стороны. При нарушении равновесия золотник смещается, увеличивая или уменьшая количество топлива, проходящего через клапан, восстанавливая равновесие сил на золотнике, в результате чего поддерживается постоянный перепад давлений топлива в полости за клапаном и в полости слива.

Механический останов осуществляется стоп-краном 40. При постановке рычага управления двигателем 38 в положение 0° — 5° по лимбу линия высокого давления за дозирующей иглой соединяется со сливом, а полость за стоп-краном перекрывается. В результате этого давление в системе падает, запорный клапан 44 усилием пружины закрывается, а клапан 45 слива топлива из коллектора открывается.

Электрический останов осуществляется электромагнитным клапаном 4 насоса 760Б. Электромагнитный клапан при подаче электрического питания соединяет полость сервомотора клапана 2 постоянного перепада давлений со сливом, и клапан открывается. Давление в системе падает, и клапан 44 регулятора 762МА закрывается.

Глава VIII

ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ ДВИГАТЕЛЯ

В электрооборудование двигателя входят: система автоматики запуска, агрегаты, обслуживающие запуск и режимную работу двигателя, а также агрегаты контроля параметров двигателя.

ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СИСТЕМА АВТОМАТИКИ ЗАПУСКА

Электрическая система автоматики запуска обеспечивает:

- запуск двигателя;
- ложный запуск двигателя;
- холодную прокрутку двигателя;

— прекращение запуска и останов двигателя;

— запуск двигателя в воздухе.

Агрегаты системы автоматики запуска подразделяются на агрегаты, устанавливаемые непосредственно на двигателе, и агрегаты, которые устанавливаются на самолете.

На двигателе установлены (фиг. 54):

— катушки зажигания 20;

— свечи зажигания 21;

— электромагнитный клапан 23 подачи воздуха на воздушный стартер;

— выключатель 22 воздушного стартера;

— электромагнитный клапан 19 останова двигателя;

— электромагнитный клапан 35 пускового топлива;

— электромагнитный клапан 34 уменьшения расхода топлива;

— сигнализатор 27 открытия заслонки воздушного стартера.

На самолете установлены:

— автоматическая панель 1 запуска двигателя;

— коммутационная, защитная и сигнальная аппаратура (переключатели, сигнальные лампы, реле, автоматы защиты сети и др.).

РАБОТА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ АВТОМАТИКИ ЗАПУСКА

Запуск двигателя производится автоматически от воздушного стартера. Автоматизация запуска обеспечивается автоматической панелью запуска двигателя АПД-45, которая выдает команды на включение агрегатов запуска по времени. Выдача команд по времени осуществляется программным механизмом У, который имеет семь профилированных шайб (О, А, В, В, Г, Д и Е).

При подготовке к запуску переключатель 5 «Запуск—Ложный запуск—Холодная прокрутка» поставить в положение «Запуск»; переключатель 7 «Выбор двигателя» поставить в положение, соответствующее выбранному для запуска двигателя, и включить питание постоянно-го тока.

При включении питания «плюс» бортсети через автомат защиты сети 3 подается:

— на кнопку 6 «Запуск» через клемму 5 Ш1, нормально-замкнутый контакт концевого выключателя шайбы О и клемму 2 Ш1;

— на контакты 2, 14 и 17 реле Р1, контакт 6 реле Р2 и контакт 3 реле Р3 через клемму 5 Ш1;

— на контакт 5 реле Р1 через кнопку прекращения запуска 4 и клемму 6 Ш1;

— на контакты 2 и 8 реле Р1 через переключатель 5 запуска и клеммы 8 и 7 Ш1.

Для запуска двигателя необходимо нажать и отпустить кнопку 6 «Запуск». При нажатии на кнопку «Запуск» включаются реле Р4 и Р6 и через контакты 3—2 реле Р6 и клемму 1 Ш2 включается командное реле Р1 автоматической панели запуска двигателя. Реле Р1 через нормально открытые контакты концевого выключателя шайбы А, собственные контакты 6—5, клемму 6 Ш1 и контакты кнопки 4 прекращения запуска самоблокируется. Через вышеуказанные контакты, клемму 1 Ш2 и контакты 2—3 реле Р6 самоблокируются реле Р6 и Р4.

При включении командного реле Р1 «плюс» бортсети подается:

— на включение реле Р2, через контакты 2—3 которого включается питание мотора М программного механизма У. Мотор начинает отработку программы запуска, загорается сигнальная лампа 2 работы автоматической панели запуска двигателя;

— на включение контактора 8 зажигания через контакты 11—12, нормально-замкнутые контакты концевого выключателя шайбы В,

клемму 11 Ш2 и контакты 5—6 реле Р6. На катушки зажигания 20 подается питание через автомат защиты сети 9, контактор 8, клеммы Д32-1 и К32-1 штепсельных разъемов 16—17 (Д и К). Начинается «тренировка» свечей 21;

— на включение клапана 19 останов двигателя через контакты 8—9, нормально-замкнутые контакты концевого выключателя шайбы Г, клемму 4 Ш2, контакты 8—9 реле Р6 и клемму Д19-1 штепсельного разъема 16—17. Топливо на рабочие форсунки не подается;

— на включение клапана 23 подачи воздуха в стартер — через контакты 14—15, клемму 2 Ш2, контакты 14—15 реле Р6 и клемму Д24-1 штепсельного разъема 16—17. Клапан открывает подачу воздуха в стартер, начинается раскрутка двигателя. Одновременно замыкаются контакты клапана 23, через которые подается питание на включение реле блокировки запуска Р7 — через автомат защиты сети 3, клеммы Д17-1, Д16-2 штепсельного разъема 16—17. Реле Р7 включается, загорается сигнальная лампочка 36, которая сигнализирует об открытии клапана 23, и разрывается цепь включения реле Р5, которое служит для прекращения запуска в случае заедания клапана 23 подачи воздуха в стартер;

— на клемму 20 концевого выключателя шайбы К — через контакты 17—18.

При работе мотора М программный механизм У выдает команды на включение и выключение агрегатов запуска:

— через 2 сек переключаются контакты концевого выключателя шайбы О, в результате чего снимается питание с кнопки «Запуск» и через нормально открытые контакты подается питание на обмотку включения реле Р2 (на клемму А). Таким образом, управление мотором программного механизма осуществляется через концевой выключатель шайбы О;

— через 8 сек переключаются контакты концевого выключателя шайбы Е, подается питание к контакту 1 реле Р7 через клемму 7 Ш2.

В случае, если клапан 23 подачи воздуха в стартер не откроется и, следовательно, не включится реле Р7, «плюс» бортсети поступит на включение реле Р5 через контакты 1—2 реле Р7. Реле Р5 включится и разорвет минусовую цепь реле Р6, в результате чего выключатся реле Р6 и Р4. При выключении реле Р6 отключаются агрегаты запуска. Запуск двигателя прекратится. При выключении реле Р4 разрывается минусовая цепь командного реле Р1; реле Р1 выключается и снимает питание с концевых выключателей шайб А, Б, В, Г и Е; подается питание на электромагнитный переключатель ЭМ программного механизма У через контакты 2—1 реле Р1 и контакты 3—2 реле Р2. Электромагнитный переключатель переключает редуктор на другую (высшую) степень редукции, в результате чего мотор программного механизма ускоренно дорабатывает программу, восстанавливая программный механизм в исходное положение для последующего запуска. Отключение питания мотора М осуществляет концевой выключатель шайбы О;

— через 9 сек переключаются контакты концевого выключателя шайбы В, подается питание на включение реле Р3. Через контакты реле Р3, клемму 12 Ш2, контакты 17—18 реле Р6 и клеммы К18-2 штепсельного разъема 16—17 двигателя питание подается на включение клапана пускового топлива 35. Топливо подается на пусковые форсунки. Происходит воспламенение топлива;

— через 15 сек переключаются контакты концевого выключателя шайбы Г. При этом снимается питание с клапана 19 останов, подается топливо на рабочие форсунки;

— через 25 сек переключаются контакты концевого выключателя шайб Б и В, снимается питание с контактора 8 зажигания и с клапана

35 пускового топлива. Катушки зажигания прекращают свою работу. В дальнейшем раскрутка двигателя идет за счет воздушного стартера и за счет работы турбин. По достижении двигателем (каскадом высокого давления) оборотов, равных 41—44%, размыкаются контакты выключателя 22 воздушного стартера, чем разрывается минусовая цепь командного реле Р1 в автоматической панели двигателя. Реле Р1 выключается и отключает воздушный стартер. Если за 45 сек двигатель не выйдет на обороты 41—44%, то воздушный стартер отключится по времени концевым выключателем шайбы А;

— через 45 сек переключаются контакты концевого выключателя шайбы А, снимается питание с реле Р1, Р6, Р4, прекращается процесс раскрутки двигателя воздушным стартером (снимается питание с клапана подачи воздуха в стартер, клапан перекрывает подачу воздуха). Двигатель выходит на режим малого газа за счет избыточной мощности турбины.

При отключении воздушного стартера по времени или по оборотам мотор М программного механизма У продолжает ускоренно дорабатывать программу, восстанавливая программный механизм в исходное положение для последующего запуска.

Ложный запуск отличается тем, что не включаются катушки зажигания и система запуска отключается по времени программным механизмом. Длительность ложного запуска 45 сек.

При холодной прокрутке не включаются катушки зажигания и не подается пусковое и рабочее топливо. Двигатель раскручивается воздушным стартером в течение 45 сек.

Прекращение запуска производится нажатием на кнопку 4. При этом снимается питание с реле Р1 и отключаются агрегаты запуска, а клапан останова находится в положении подачи топлива на рабочие форсунки.

Останов двигателя осуществляется выключателем 11, который подает питание на клапан 19 останова.

Для запуска двигателя в воздухе необходимо выключить выключатель 11 клапана останова и нажать на кнопку 10 «Запуск в воздухе». При этом «плюс» бортсети подается на включение клапана пускового топлива 35 и контактора зажигания 8. Контактор 8 включается и подает «плюс» на катушки зажигания. Начинается запуск двигателя.

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ АГРЕГАТЫ ДВИГАТЕЛЯ

Пусковая катушка зажигания 1КНИ-11Б-Т предназначена для преобразования напряжения бортсети в высокое напряжение (3000 в) и выдачи последнего на свечу.

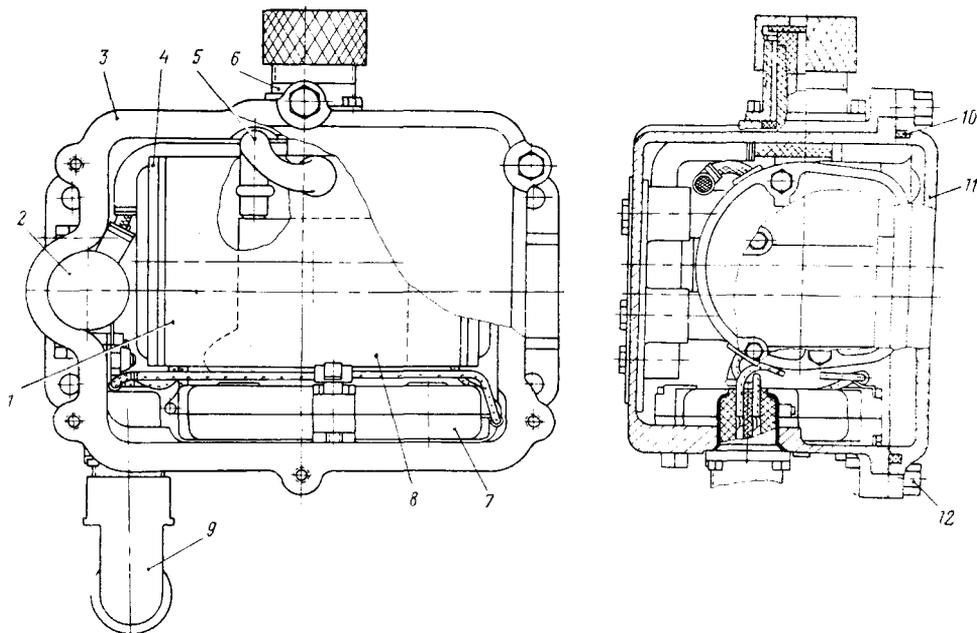
Основные технические данные катушки зажигания

Питание	постоянный ток от аккумуляторной батареи с параллельно подключенным генератором или без него
Напряжение питания на клеммах катушки в наземных условиях	12—30 в
Напряжение питания в условиях полета	18—30 в
Напряжение вторичной цепи	не менее 3000 в
Режим работы	повторно-кратковременный

Катушка зажигания 1КНИ-11Б-Т (фиг. 55) состоит из индукционной катушки 1, конденсаторов 7 и 8, выполненных в прессованных корпусах, высоковольтного вывода 5, контактного устройства 6, через которое высокое напряжение со вторичной обмотки подается на свечу,

селенового выпрямителя 2 с уплотнительной трубкой, штепсельного разъема 9. Все элементы катушки расположены в литом алюминиевом корпусе 3. Крышка 11 с резиновой герметизирующей прокладкой 10 закреплены к корпусу шестью винтами 12.

Индукционная катушка 1 представляет собой две катушки, намотанные на прессованный каркас, внутри которого размещен сердечник из магнитопроводящего материала. С обеих сторон катушки расположены



Фиг. 55. Катушка зажигания 1КНИ-11Б-Т:

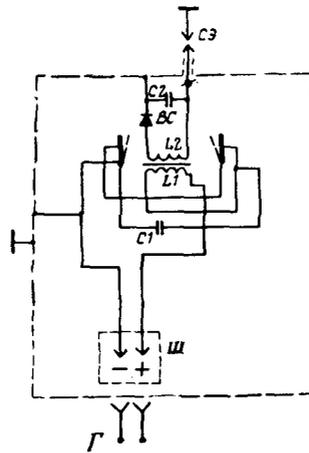
1—индукционная катушка; 2—селеновый выпрямитель; 3—корпус; 4—крышка; 5—высоковольтный вывод; 6—контактное устройство; 7, 8—конденсаторы; 9—штепсельный разъем; 10—резиновая прокладка; 11—крышка; 12—винт

прерыватели. Индукционная катушка и контакты прерывателя помещены в прессованный корпус, по бокам которого прикреплены винтами крышки 4.

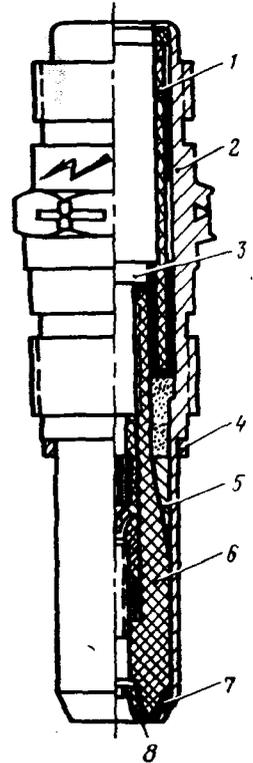
Пусковая катушка зажигания представляет низковольтную индукционную катушку с двумя магнитосвязанными обмотками L1 и L2 (фиг. 56), смонтированную в металлическом корпусе. В первичную цепь катушки включены два электромагнитных прерывателя и конденсатор С1, во вторичную — выпрямитель (ВС) и конденсатор С2. При подаче напряжения на клемму штепсельного разъема Ш по первичной обмотке L1 начинает протекать возрастающий по величине ток, создавая вокруг обмотки магнитное поле. Якорь прерывателя притягивается к сердечнику, цепь обмотки разрывается, тока в цепи обмотки L2 нет. Сила магнитного притяжения уменьшится, якорь прерывателя возвращается в исходное положение. Цепь обмотки при этом замыкается, снова начинает протекать ток и т. д.

В результате колебаний электромагнитной энергии в первичном контуре во второй обмотке катушки индуцируется электродвижущая сила (около 3000 в), достаточная для пробоя искрового промежутка запальной свечи.

Свеча СПН-4-з-Т (фиг. 57), работающая от катушки зажигания, осуществляет зажигание пускового топлива в воспламенительных блоках. Свеча — электроэрозионная, поверхностного разряда, выполнена

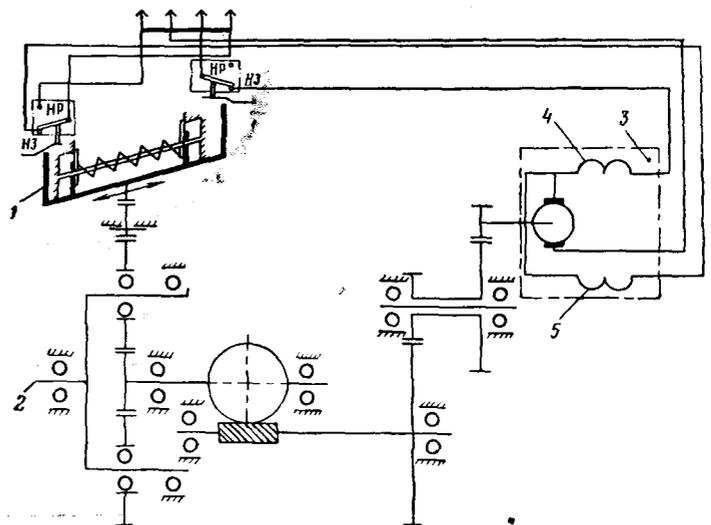


Фиг. 56. Электрическая схема катушки зажигания 1КНИ-11Б-Т



Фиг. 57. Свеча СПН-4-3-Т:

1—керамическая трубка экрана; 2—корпус; 3—контактная головка; 4—уплотнительное кольцо; 5—медная втулка; 6—изолятор; 7—боковой электрод; 8—центральный электрод



Фиг. 58. Схема электромеханизма МПК-14МТВ:

1 — каретка; 2 — выводной вал; 3 — электродвигатель; 4 — обмотка левого вращения; 5 — обмотка правого вращения

неразборной, экранированной и состоит из корпуса 2, изолятора 6, бокового 7 и центрального 8 электродов и деталей сборки.

Основные технические данные свечи

Искровой промежуток	0,8—1,0 мм
Максимальное пробивное напряжение	1500 в

Корпус 2 из нержавеющей стали на наружной поверхности в двух местах имеет резьбу для установки свечи в запальное устройство и присоединения провода высокого напряжения. В расточку корпуса вложен боковой электрод 7. Изолятор 6 с центральным серебряным электродом 8 установлен в нижней части корпуса на медную втулку 5 до упора в боковой электрод.

В верхней части корпуса на термоцементе посажена керамическая трубка 1 экрана. В гнездо, образованное трубкой 1 и контактной головкой 3, имеющей контакт с внутренним электродом 8, вставлено контактное устройство КУ-20Д с высоковольтным проводом, присоединенным к катушке зажигания. Таким образом осуществляется подача высокого напряжения на центральный электрод свечи. Корпус свечи, а значит, и боковой электрод 7 замкнуты «на массу».

Искровым промежутком служит поверхность керамического изолятора 6 между центральным и боковым электродами, на которую методом электроэрозии нанесен распыленный материал электродов (серебро). Для пополнения эрозийного слоя, выгорающего в процессе работы запального устройства, необходима «тренировка» свечи — работа без поступления топлива. Для обеспечения «тренировки» свечи система зажигания включается в работу на 8 сек раньше подачи пускового топлива.

Электромеханизм МПК-14МТВ (фиг. 58) предназначен для открытия и закрытия заслонки клапана подачи воздуха на обогрев входного направляющего аппарата компрессора низкого давления двигателя.

Основные технические данные электромеханизма

Номинальное напряжение питания	27 в
Номинальный нагрузочный противодействующий момент на оба направления вращения	5 кг·см
Потребляемый ток	не более 0,4 а
Максимальный нагрузочный противодействующий момент на оба направления вращения	8 кг·см
Потребляемый ток при нагрузочном моменте 8 кг·см	не более 0,45 а
Скорость вращения выходного вала при номинальных данных	0,8 об/мин

При подаче питания на обмотку правого вращения электродвигатель вращается вправо. Вращательное движение электродвигателя через редуктор передается на выводной вал механизма. Угол поворота выводного вала ограничивается жесткими упорами в клапане подачи воздуха на обогрев входного направляющего аппарата, при встрече с которыми выводной вал останавливается, при этом движение от электродвигателя начинает передаваться на каретку пружинного устройства, которая, перемещаясь, разрывает цепь питания электродвигателя и замыкает цепь сигнализации. Вращение электродвигателя прекращается.

При подаче питания на обмотку левого вращения электродвигатель закрывается подача воздуха на обогрев входного направляющего аппарата.

Электромагнитный клапан пускового топлива установлен в магистрали подвода топлива из насоса 760Б к пусковому блоку и предназначен

для управления подачей топлива к пусковым блокам при запуске двигателя. Управление клапаном осуществляется автоматикой запуска.

Основные технические данные электромагнитного клапана пускового топлива

Питание	постоянный ток
Система питания	однопроводная
Номинальное напряжение	27 в ± 10%
Минимальное напряжение	16 в
Потребляемая сила тока	не более 3 а
Перепад давлений рабочей жидкости между входом клапана в выключенном положении и в момент включения	2—4 кг/см ²
Расход рабочей жидкости через клапан при перепаде давлений 2,5 кг/см ²	не менее 140 л/час
Герметичность	клапан герметичный при давлении: топлива 5 кг/см ² , воздуха 7,5 кг/см ²
Режим работы	повторно-кратковременный, циклами. Цикл состоит из пяти включений продолжительностью до 20 сек каждый с перерывами между включениями не менее 90 сек. После пяти включений перерыв до полного охлаждения

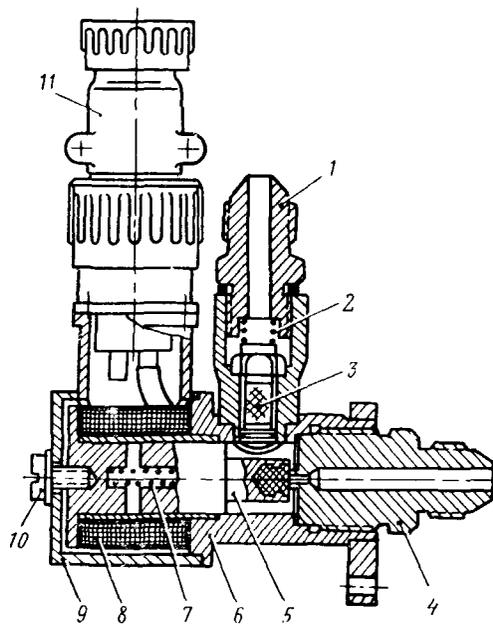
Электромагнитный клапан пускового топлива имеет электрическую и гидравлическую части. Электрическая часть клапана представляет сочетание бронированного плунжерного электромагнита с втяжным сердечником 5 и стандартного штепсельного разъема 11 (фиг. 59). Электромагнит состоит из корпуса 6 клапана, возвратной пружины 7, катушки 8 соленоида, корпуса 9 соленоида, который закреплен к корпусу 6 клапана винтом 10.

Катушка соленоида выполнена из медного провода с эмалевой изоляцией. По цилиндрической поверхности корпуса клапана и его торцам проложена лакоткань. Обмотка катушки пропитана шеллаком с поверхностным покровом из лакоткани. Выводы обмотки на колодку штепсельного разъема выполнены гибким многожильным проводом. В сердечнике имеется гнездо для возвратной пружины и специальная выточка, заполненная резиной, которая под действием пружины 7 прижимается к гнезду выходного штуцера 4.

На работающем двигателе и во время стоянки клапан пускового топлива находится в обесточенном состоянии. Под воздействием возвратной пружины 7 сердечник 5 резиновым уплотнением плотно прижат к гнезду выходного штуцера 4. Входной канал надежно перекрыт от выходного. Топливо к пусковому блоку не подается.

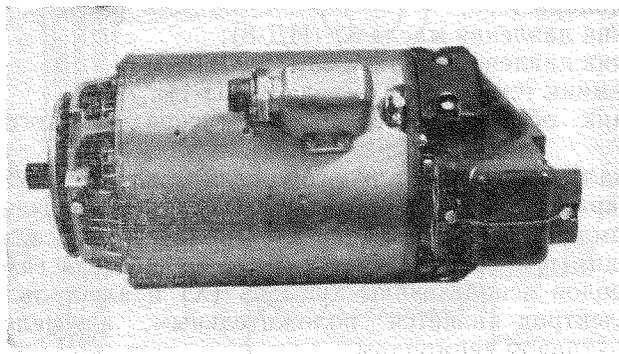
Во время запуска двигателя на катушку 8 соленоида электромагнита подается напряжение. Возникшее магнитное поле преодолевает усилие возвратной пружины 7, притягивает сердечник 5 к неподвижному якорю. Топливо, подведенное к штуцеру 1, проходит через фильтр 3 тонкой очистки во внутреннюю полость клапана, далее через открытый клапан, выходной штуцер 4 на пусковые блоки двигателя. При снятии напряжения клапан перекрывает топливную магистраль.

Генератор постоянного тока ГСБК-9А предназначен для питания бортсети самолета постоянным током стабилизированного напряжения.



Фиг. 59. Электромагнитный клапан пускового топлива:

1—входной штуцер; 2—пружина фильтра; 3—фильтр тонкой очистки; 4—выходной штуцер; 5—сердечник; 6—корпус клапана; 7—возвратная пружина; 8—катушка соленоида; 9—корпус соленоида; 10—винт; 11—штепсельный разъем



Фиг. 60. Генератор постоянного тока ГСБК-9А

Основные технические данные генератора

Напряжение	28,5 в
Сила тока	300 а
Номинальная мощность	9 кВт
Скорость вращения	от 4300 до 7900 об/мин
Режим работы	продолжительный
Система охлаждения	принудительная
Полный напор у входного патрубка	не менее 400 мм вод. ст.
Температура охлаждающего воздуха	не выше 60° С
Расход воздуха	не менее 200 л/сек
Условия эксплуатации:	
— высотность	до 12 000 м
— температура окружающей среды	от —60 до +100° С
— рабочее положение	горизонтальное
— вибрационные нагрузки	согласно вибрациям, имеющим место на двигателе
Вес генератора	не более 20 кг

Генератор ГСБК-9А (фиг. 60) — бесконтактный, с собственным возбудителем, встроенными кремниевыми диодами, выпрямляющими ток якоря возбудителя, и силовыми диодами, выпрямляющими выходной ток генератора. Обмотка возбуждения возбудителя и обмотка переменного тока генератора расположены на статоре, обмотка возбуждения генератора и обмотка якоря возбудителя — на роторе. Ротор приводится во вращение через гибкий вал.

Генератор прикреплен на двигателе хомутом и подсоединен к бортовой сети самолета клеммами и штепсельным разъемом.

Электрический коллектор двигателя состоит из двух труб. Внутри труб размещены токоведущие провода для питания электроаппаратуры. Вывода проводов из труб к агрегатам осуществлены через штуцера на трубах и торцы труб электрического коллектора. Жгуты проводов между штепсельными разъемами агрегатов и штуцерами коллектора экранируются плетенкой, затянутой в хлорвиниловую трубку светло-синего цвета. Штепсельные разъемы *Д* и *К* (см. фиг. 58) служат для подключения системы питания и запуска к бортовой сети самолета.

АГРЕГАТЫ КОНТРОЛЯ РАБОТЫ ДВИГАТЕЛЯ

К приборам контроля работы двигателя (см. фиг. 54) относятся:

- термомпара Т-99;
- датчик давления масла 32 (ИД-8);
- датчик давления топлива 28 (ИД-100);
- приемник температуры масла 29 (П-1);
- датчик оборотов ротора компрессора высокого давления 33 (ДТЭ-1);
- сигнализатор минимального уровня масла 26 (СУЗ-14Т).

Термомпара. Сдвоенная термомпара Т-99 предназначена для выдачи двух автономных сигналов в виде электродвижущей силы (ТЭДС), соответствующих температуре выходящих из двигателя газов. В качестве термоэлектродов использованы хромель (Х) и алюмель (А). Хромелевый термоэлектрод является положительным, алюмелевый — отрицательным электродом термомпары.

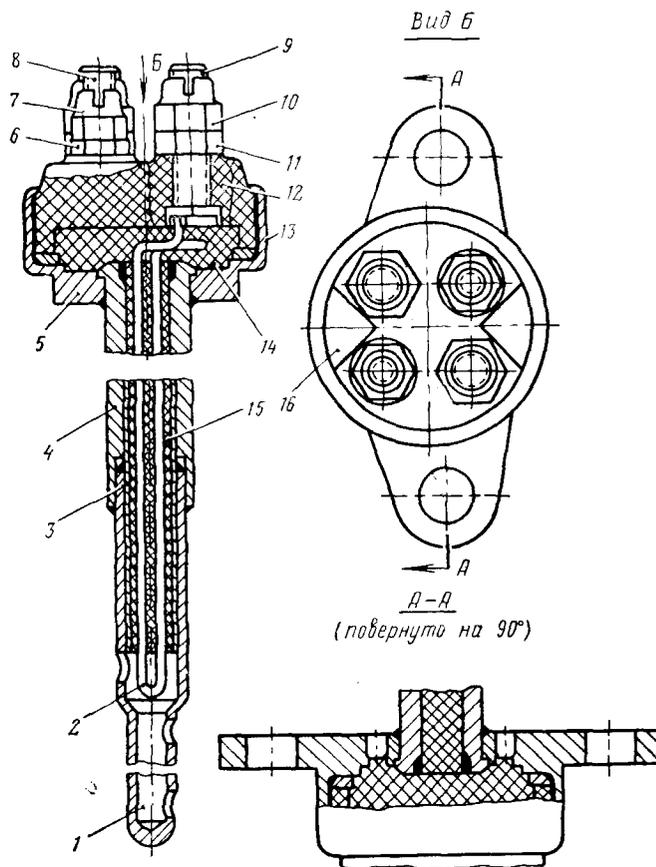
Основные технические данные термомпары

Диапазон измеряемых температур	0÷+900° С
Рабочий диапазон измеряемых температур	+300÷+600° С
Теплостойкость головки термомпары	до +200° С
Вес термомпары	не более 0,2 кг

ТЭДС термопары

Температура °С	ТЭДС термопары (мВ) при температуре свободных концов 0° С		Температура °С	ТЭДС термопары (мВ) при температуре свободных концов 0° С	
	хромель	алюмель		хромель	алюмель
	номинал	допуск		номинал	допуск
100	4,10	±0,16	800	34,32	±0,16
200	8,13		900	37,37	
300	12,21		1000	41,32	
400	16,40		1100	45,16	±0,20
500	20,65		1200	48,87	
600	24,91		1300	52,43	±0,30
700	29,15				

Втулка 3 (фиг. 61) с заармированными в нее в термоцементной массе термоэлектродами 2 сварена с камерой торможения 1. Камера



Фиг. 61. Термопара Т-99:

1—камера торможения; 2—термоэлектроды; 3—втулка; 4—штуцер;
5—корпус термопары; 6, 11—гайки; 7, 10—самоконтрящиеся гайки;
8, 9—контактные винты; 12—изолятор; 13—корпус; 14—термоцемент-
ная масса; 15—керамическая трубка; 16—отличительный знак зеле-
ного цвета

торможения, изготовленная из жаропрочной стали, имеет два входных отверстия (для получения осредненной температуры газового потока на высоте) и одно выходное отверстие. Штуцер 4 с приваренной к нему камерой торможения запрессован и припаян к фланцу корпуса 5 термопары. Термоэлектроды 2 приварены к контактным винтам 8 и 9. Изоляция термоэлектродов в штуцере 4 осуществляется керамическими трубками 15, а в корпусе 13 — термоцементной массой 14. Контактные винты установлены на термоцементной массе в керамический изолятор 12 и закреплены при помощи гаек 6 и 11. Изолятор 12 установлен на шайбе в корпусе 5 и закреплен при помощи завальцовки кромок корпуса.

Электрическое соединение между термопарами и вторичными приборами (указатель, регулятор температуры и т. п.) осуществляется гибкими компенсационными проводами. Провода подключены к контактным винтам термопары при помощи наконечников, припаянных к компенсационным проводам, и закреплены самоконтрящимися гайками 7 и 10. Крутящий момент, прикладываемый к гайкам во время крепления наконечников проводов к винтам термопары, не должен превышать $0,3 \text{ кг} \cdot \text{м}$.

Для удобства монтажа и во избежание перепутывания полярности контактные винты 8 (из хромеля) имеют резьбу М4, контактные винты 9 (из алюминия) — М5. На изоляторе 12 со стороны выводных концов спая термопар нанесен отличительный знак 16 в виде треугольника зеленого цвета.

Принцип работы термопары заключается в том, что при нагревании или охлаждении рабочего спая на свободных концах возникает термоэлектродвижущая сила, величина и знак которой зависят от материала термоэлектродов и разности температур между рабочим спаем и свободными концами. Оба сигнала могут быть использованы как для дистанционного измерения температуры, так и в системе регулирования или ограничения температуры в условиях полета и на земле. Термопара Т-99 может быть использована для работы в тропическом климате.

При работе термопары на указатель величина ТЭДС отсчитывается по шкале измерителя, отградуированной непосредственно в градусах Цельсия ($^{\circ}\text{C}$).

Дистанционные индуктивные манометры. Электрические дистанционные унифицированные индуктивные манометры типа ДИМ предназначены для измерения избыточного давления масла и топлива в системе двигателя. Давление масла в маслосистеме двигателя измеряется датчиком ИД-8, датчик ИД-100 измеряет давление топлива.

Основные технические данные манометров

Напряжение питания	36 $\sigma \pm 6\%$
Питание	переменный ток
Частота	400 гц
Потребляемый ток	не более 8,15 а
Пределы измерения:	
ДИМ-8	0—8 кг/см^2
ДИМ-100	0—100 кг/см^2

Под воздействием избыточного давления мембрана 1 (фиг. 62) деформируется. Через шток 2 эта деформация передается на якорь 3, который изменяет воздушные зазоры цепей катушек L1 и L2. В одной цепи зазор увеличивается, а в другой — уменьшается, что вызывает изменение индуктивности катушек L1 и L2. Изменение индуктивности ведет к перераспределению токов в рамке логометра, поэтому каждому поло-

жению якоря соответствует одно определенное положение стрелки. В приборе используется магнитоэлектрический логометр. Для выпрямления тока в схему введены два германиевых диода.

Приемник температуры П-1 предназначен для дистанционного измерения температуры масла.

Основные технические данные приемника температуры

Питание	постоянный ток
Напряжение	27 $\vartheta \pm 10\%$
Диапазон измеряемой температуры	от -50 до $+150^\circ \text{C}$
Вес	0,115 кг

Работа приемника основана на изменении сопротивления проводника с током при изменении температуры, т. е. в зависимости от изменения температуры измеряемой среды изменяется сопротивление никелевого проводника в приемнике, которое учитывается логометром со шкалой, отградуированной в градусах Цельсия.

Датчик оборотов ДТЭ-1 предназначен для преобразования скорости вращения вала двигателя в электродвижущую силу с частотой, пропорциональной скорости вращения вала (фиг. 63).

Основные технические данные датчика оборотов

Напряжение на зажимах между каждым двумя фазами датчика ДТЭ-1, нагруженного одним двигателем измерителя, при 1500 об/мин ротора (60% по шкале измерителя)	в пределах от 10,5 до 12,5 в после непрерывной работы измерителя в течение 1 мин
---	--

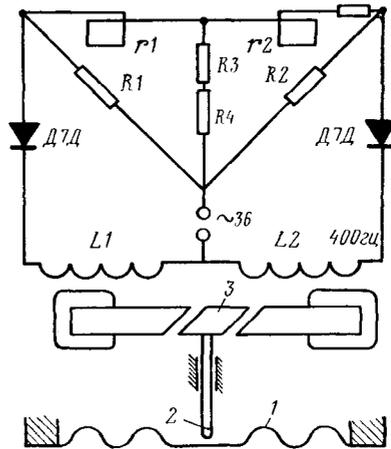
Температурный интервал работы датчиков от -60 до $+270^\circ \text{C}$

Преобразование скорости вращения вала в угловое перемещение стрелки магнитоиндукционным измерительным узлом основано на взаимодействии магнитного поля вращающихся постоянных магнитов с индукционными токами, наведенными этим полем в металлическом диске. В результате этого взаимодействия возникает вращающий момент диска (связанного со стрелкой), пропорциональный числу оборотов вращающихся магнитов, уравновешиваемый противодействующей пружиной. Момент пружины пропорционален углу ее закручивания.

Датчик работает следующим образом. В обмотке статора 1 (фиг. 64) датчика при вращении ротора 2 возбуждается трехфазный ток с частотой, пропорциональной скорости вращения вала двигателя. Ток по трем проводам подводится к обмоткам статора 3 синхронного двигателя измерителя. Скорость вращения магнитного поля статора измерителя пропорциональна частоте токов в фазных обмотках статора и, следовательно, скорости вращения вала двигателя. Ротор 9 двигателя измерителя вращается со скоростью, синхронной вращению магнитного поля статора.

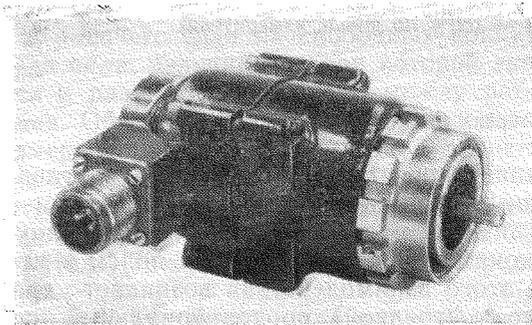
На конце вала ротора двигателя укреплен магнитный узел 4 с шестью парами постоянных магнитов, между полюсами которых расположен чувствительный элемент 5. В результате взаимодействия вихревых токов с магнитным полем магнитного узла создается вращающий момент чувствительного элемента, пропорциональный скорости вращения узла.

Вращающему моменту чувствительного элемента противодействует момент спиральной пружины 6, один конец которой укреплен на оси чувствительного элемента, а другой закреплен неподвижно. Так как момент спиральной пружины пропорционален углу ее закручивания, то

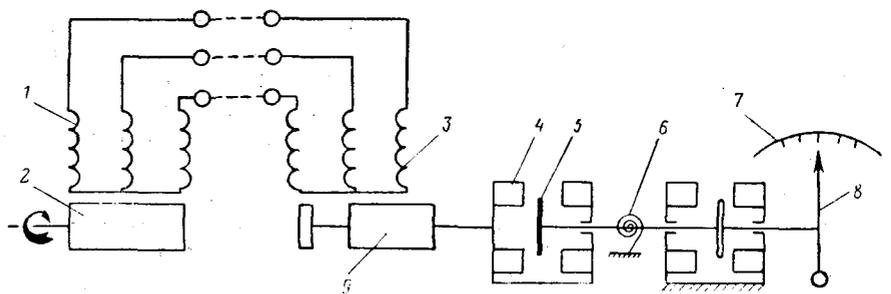


Фиг. 62. Принципиальная схема манометра:

1—мембрана; 2—шток; 3—якорь



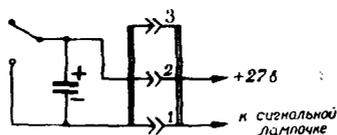
Фиг. 63. Датчик оборотов ДТЭ-1



Фиг. 64. Принципиальная электрическая схема датчика оборотов:

1—обмотка статора; 2—ротор; 3—статор; 4—магнитный узел; 5—чувствительный элемент; 6—спиральная пружина; 7—шкала измерителя; 8—стрелка; 9—ротор измерителя

угол поворота чувствительного элемента пропорционален скорости вращения магнитного узла и соответственно угловой скорости вращения вала двигателя. На другом конце оси чувствительного элемента укреплена стрелка 8, показывающая по шкале 7 измерителя число оборотов вала двигателя, выраженное в процентах от максимальных оборотов.



Фиг. 65. Сигнализатор уровня масла СУЗ-14Т

Сигнализатор уровня масла СУЗ-14Т предназначен для выдачи электрического сигнала на лампочку при достижении минимального уровня масла в маслобаке двигателя (фиг. 65).

Основные технические данные сигнализатора

Угол срабатывания на включение	от 4° до 7° ниже оси, проходящей через центр конца поплавка
Температура масла в баке	от —60 до +120° С
Рабочая жидкость	масло МК-6 (ГОСТ 10328—63) или масло МК-8 (ГОСТ 6457—66)
Питание	постоянный ток
Напряжение питания	27 в ± 10%
Потребляемый ток	не более 0,2 а

Поплавок сигнализатора уровня, находящийся на поверхности масла при изменении уровня, следует за ним, передавая свое перемещение через рычаг на сильфонную передачу, которая находится на одной оси с зубчатым сектором, переключающим сигнальное устройство. Сигнализатор СУЗ-14Т сигнализирует об объеме масла 1,2—2 л, обеспечивающем безопасный часовой полет при условии расхода масла двигателем не более 0,5 л/час.

Глава IX

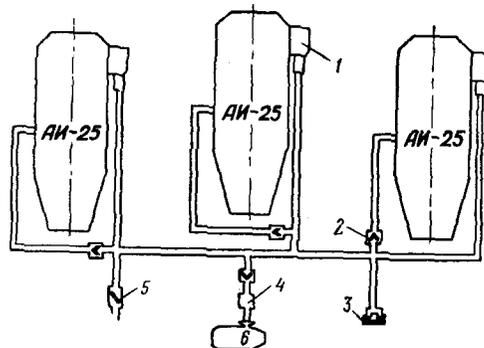
СИСТЕМА ЗАПУСКА ДВИГАТЕЛЯ

Запуск двигателя обеспечивается:

- воздушной системой;
- электрической системой автоматики (см. главу «Электрооборудование двигателя»);
- воспламенителями топлива (см. главу «Камера сгорания»);
- топливной системой (см. главу «Топливная система двигателя»);
- системой регулирования работы компрессора при запуске (см. главу «Компрессор высокого давления»).

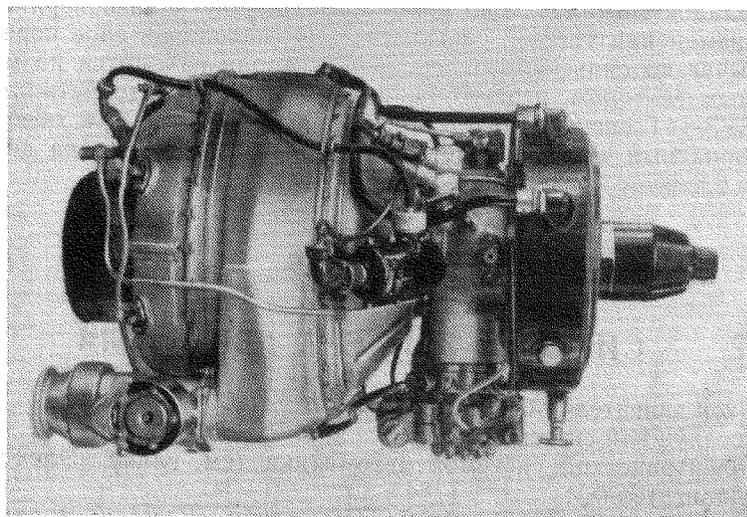
Воздушная система запуска (фиг. 66) обеспечивает запуск любого двигателя АИ-25, из установленных на самолете, от источника сжатого воздуха или от одного из работающих двигателей АИ-25 и состоит из следующих узлов:

- источника сжатого воздуха — газотурбинного двигателя АИ-9;



Фиг. 66. Схема воздушной системы запуска двигателя:

1—воздушный стартер СВ-25; 2—обратный клапан; 3—перепускной клапан КП-9 двигателя АИ-9; 4—штуцер подключения аэродромного питания; 5—клапан включения в самолетные системы противообледенения; 6—двигатель АИ-9



Фиг. 67. Пусковой двигатель АИ-9

- перепускного клапана КП-9, установленного на двигателе АИ-9;
- воздушного стартера СВ-25, установленного на двигателе;
- трубопроводов подвода сжатого воздуха к воздушному стартеру и трубопроводов отбора воздуха в воздушную систему;
- обратных клапанов 2, установленных на самолете.

ПУСКОВОЙ ДВИГАТЕЛЬ АИ-9

Пусковой газотурбинный двигатель АИ-9 (фиг. 67) является бортовым источником сжатого воздуха для систем самолета. Сжатый воздух, отбираемый от двигателя, используется для запуска основных двигателей АИ-25 и кондиционирования салона через систему кондиционирования самолета.

Основные технические данные двигателя

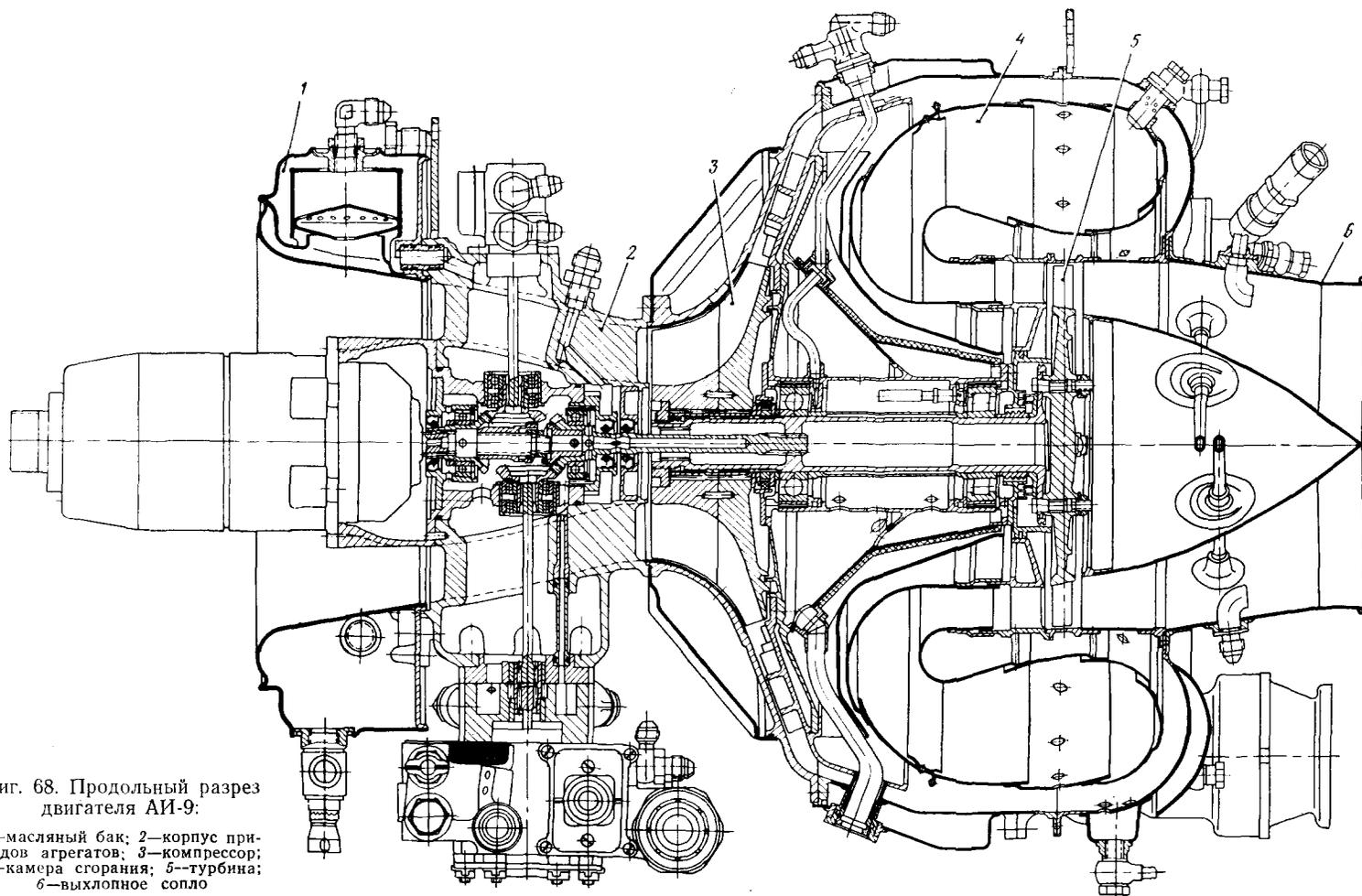
1. Условное обозначение двигателя АИ-9
2. Тип двигателя газотурбинный
3. Направление вращения (если смотреть со стороны выхлопного сопла) левое
4. Назначение наземное питание воздушной системы запуска двигателя АИ-25
5. Номинальное число оборотов $38\,500 \pm 500$ об/мин
6. Основные параметры двигателя на режиме отбора воздуха в земных стандартных условиях ($H=0$, $V=0$, $t_H = +15^\circ\text{C}$, $p_H = 760$ мм рт. ст.) при $n=38\,500$ об/мин:
 - количество отбираемого воздуха 0,38 кг/сек
 - полное давление отбираемого воздуха не менее 2,4 ата
 - температура отбираемого воздуха не менее 130°C
 - расходы топлива не более 75 кг/час
7. Режим работы три последовательных отбора воздуха в систему запуска двигателя АИ-25. Непрерывное время работы не более 13 мин. После этого охлаждения двигателя не менее 15 мин
8. Компрессор центробежный, одноступенчатый
9. Камера сгорания:
 - тип кольцевая
 - количество головок 8
 - количество форсунок 8
 - форсунка одноканальная
10. Турбина осевая, одноступенчатая
11. Реактивное сопло расширяющееся
12. Температура газов за турбиной:
 - на номинальном режиме ($n=38\,500 \pm 500$ об/мин) не более 720°C
 - максимально допустимая (заброс) при запуске не более 850°C
13. Топливная система:
 - сорт топлива (основное и пусковое) Т-1, ТС-1 (ГОСТ 10227—62) и их смеси
 - давление на входе в двигатель 0,6—1,7 кг/см²
14. Топливный насос-регулятор:
 - условное обозначение НР-9К
 - назначение а) регулирование подачи топлива от начала запуска до рабочих оборотов
б) прекращение подачи топлива в двигатель

	в) замыкание электрической цепи при выходе двигателя на режимные обороты
15. Пусковой топливный насос:	
— условное обозначение	НП-9
— назначение	подача топлива на пусковую форсунку при запуске
— направление вращения (по ГОСТ 1630—46)	правое
16. Масляная система:	
— тип	автономная, циркуляционная, под давлением
— сорт масла	Б-3В (МР ТУ-38-1-157—65)
— расход масла	не более 0,15 л/час
— количество заливаемого масла	2 ^{+0,2} л
17. Маслонасос:	
— тип	шестеренчатый, двухсекционный
— назначение	подача масла на смазку двигателя под давлением и откачка из корпуса ротора в маслобак
18. Система запуска:	
— тип	автономная, автоматическая
— питание	от двух аккумуляторных батарей 12САМ-28 или от аэродромного источника постоянного тока (напряжение 27 в ± 10%)
19. Пусковой электростартер:	
— условное обозначение	СТ-3ПТ
— тип	постоянного тока
— режим работы	3 включения с перерывами по 1 мин с последующим полным охлаждением
20. Пусковая катушка:	
— условное обозначение	КР-12СИ
— тип	вибраторная
21. Запальный агрегат:	
— количество пусковых форсунок	1
— условное обозначение запальной свечи	СД-55АНМ
— количество запальных свечей	1
22. Контроль за работой двигателя в эксплуатации осуществляется по следующим параметрам:	
— давлению масла	лампочка на приборной доске горит при номинальном давлении
— оборотам ротора двигателя	при $n=37\ 000 \pm 500$ об/мин на приборной доске загорается лампочка зеленого цвета и горит до $n=41\ 000 \pm 500$ об/мин, при достижении которых двигатель автоматически останавливается
23. Сухой вес	45 кг
24. Габаритные размеры:	
— длина	740,5 мм
— ширина	515 мм
— высота	490,3 мм

ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О ДВИГАТЕЛЕ

Пусковой двигатель АИ-9 состоит из следующих основных конструктивных узлов (фиг. 68):

- корпуса приводов агрегатов и масляного бака;
- центробежного одноступенчатого компрессора;
- камеры сгорания;



Фиг. 68. Продольный разрез двигателя АИ-9:

1—масляный бак; 2—корпус приводов агрегатов; 3—компрессор; 4—камера сгорания; 5—турбина; 6—выхлопное сопло

- одноступенчатой осевой турбины;
- выхлопного сопла;
- агрегатов, обеспечивающих запуск и работу двигателя.

Масляная система двигателя — автономная, циркуляционная, под давлением, состоит из маслобака, маслоагрегата и трубопроводов. Маслонасос шестеренчатого типа, с нагнетающей и откачивающей ступенями.

Топливная система двигателя состоит из пускового насоса, насоса-регулятора с электромагнитным клапаном, пусковой форсунки и рабочих топливных форсунок.

В электрическую систему двигателя входят электростартер, катушка зажигания, свеча и клапан пускового топлива, устанавливаемые на двигателе, а также автоматическая панель запуска, пусковое сопротивление, коммутационная, защитная и сигнальная аппаратура (реле, контакторы, автоматы защиты, переключатели и сигнальные лампы), устанавливаемые на самолете.

Работа двигателя полностью автоматизирована. Контроль за работой двигателя осуществляется с помощью указателя температуры газов и трех сигнальных ламп, расположенных на приборной доске.

КОНСТРУКЦИЯ ДВИГАТЕЛЯ

Корпус приводов агрегатов предназначен для размещения агрегатов двигателя и приводов к ним. Кроме того, наружная и внутренняя оболочки корпуса приводов агрегатов образуют воздушный тракт, обеспечивающий подвод воздуха к компрессору. Оболочки корпуса соединены между собой четырьмя ребрами. Вертикальные ребра выполнены полыми для размещения в них валиков приводов агрегатов.

Во внутренней полости корпуса приводов смонтирован центральный привод, в который входят приводы для запуска двигателя, пускового топливного насоса, маслонасоса и топливного насоса-регулятора.

Корпус приводов, отлитый из магниевового сплава, имеет две бобышки для крепления цапф подвески двигателя.

В верхней части корпуса выполнен прилив под пусковой топливный насос, а в нижней части — большой прилив с фланцем, на котором закреплены маслонасос и топливный насос-регулятор. Полость нижнего прилива является дополнительной масляной емкостью и сообщается с маслобаком.

На переднем фланце корпуса приводов установлен **маслобак** в форме тора, являющийся одновременно и воздухозаборником, а к заднему фланцу закреплен корпус компрессора. На переднем фланце центрального привода закреплен стартер, хвостовик которого соединен шлицами с ведущей шестерней привода пускового топливного насоса.

Компрессор — центробежный, одноступенчатый, с наклонным колесом полуоткрытого типа и радиальным диффузором.

В компрессор входят следующие основные узлы и детали: корпус ротора, наружный и внутренний кожухи, передний корпус, радиальный диффузор форсуночные кольца, трубопроводы маслопитания и суфлирования и др.

Корпус ротора — сварной. Внутри корпуса, в передней и задней его частях, выполнены цилиндрические поверхности для посадки деталей передней и задней опор ротора и форсуночных колец. К заднему фланцу корпуса закреплен сопловый аппарат и детали лабиринтного уплотнения, а к переднему фланцу — детали торцового уплотнения шарикоподшипника. К корпусу ротора крепятся трубопроводы для подвода масла к форсункам, слива его и суфлирования закомпрессорной полости с маслобаком.

Наружный корпус — обтекаемая оболочка двигателя в области компрессора и камеры сгорания. В кожухе выполнены просечки для силовых стоек, отверстия для прохода трубопроводов и отверстия для перепуска воздуха в ресивер. К заднему фланцу кожуха прикреплен наружный кожух корпуса камеры сгорания.

Передний корпус образует вместе с входным направляющим аппаратом, рабочим колесом и диффузором воздушный тракт двигателя. К переднему корпусу спереди закреплены корпус приводов и противопомпажное устройство (демпфер), которое образует с передним корпусом полость, сообщающуюся отверстиями с воздушным трактом рабочего колеса компрессора. Задним фланцем передний корпус прикреплен к наружному кожуху.

В узел ротора входят вал с турбиной и роликоподшипником, шарикоподшипник, детали безрасходного контактного уплотнения и рабочее колесо с шестнадцатью радиальными лопатками. Между рабочим колесом компрессора и внутренней обоймой шарикоподшипника расположено регулировочное кольцо, изменением толщины которого выдерживается зазор между рабочим колесом и передним корпусом компрессора.

На выходе воздуха из рабочего колеса расположен радиальный диффузор, представляющий конический диск с двадцатью торцовыми лопатками. Коническая поверхность диска диффузора вместе с передним корпусом образует за колесом компрессора щелевой и лопаточный диффузоры.

Камера сгорания состоит из следующих узлов: корпуса камеры сгорания, жаровой трубы, рабочих топливных форсунок, воспламенителя и топливного коллектора. В камере сгорания осуществляется подвод тепла к сжатому в компрессоре воздуху при сжигании топлива в жаровой трубе камеры.

Корпус камеры сгорания, являющийся силовым узлом и одновременно кожухом жаровой трубы, — сварной конструкции, имеет форму полутора и выполнен из листовой теплостойкой стали.

Жаровая труба — кольцевого типа, противоточная, сварной конструкции, изготовлена из листовой жаропрочной стали. Применение противоточной трубы с поворотом газо-воздушного потока на 180° значительно уменьшает длину и вес двигателя.

Топливо в полость жаровой трубы поступает через восемь взаимозаменяемых одноканальных центробежных форсунок с нерегулируемыми соплами. Подача и распределение топлива по форсункам осуществляется топливным коллектором, к которому топливо подводится из насоса-регулятора. Коллектор представляет собой неразъемный трубопровод, имеющий форму незамкнутого кольца.

Зажигание топливно-воздушной смеси в полости жаровой трубы производится одним воспламенителем, установленным на фланце корпуса камеры сгорания.

При запуске топливо от пускового насоса подводится к штуцеру пусковой форсунки. Вращающаяся струя топлива в виде полого конуса впрыскивается в полусферическую камеру воспламенителя, где оно воспламеняется от электрического разряда, возникающего в зазоре между свечой и разрядником. Поступающий через отверстия в юбке воспламенителя воздух, перемешиваясь с топливом, обеспечивает стабильное горение.

Пламя из воспламенителя выбрасывается в полость жаровой трубы двигателя, где происходит воспламенение основного топлива, поступающего из рабочих форсунок.

Турбина — осевая, реактивная, одноступенчатая, включает ротор и статор. В ротор турбины входят: рабочее колесо, вал, роликоподшип-

ник, детали уплотнения масляной полости, детали крепления диска с валом и регулировочные элементы.

Центрирование и крепление рабочего колеса турбины относительно вала осуществлено при помощи призонных конических болтов, через которые крутящий момент передается от колеса к валу. Рабочие лопатки выполнены за одно целое с рабочим колесом.

Для уменьшения влияния динамических нагрузок на статор между наружной обоймой подшипника и корпусом введен упругий элемент — кольцо, имеющее выступы по наружному и внутреннему диаметрам.

Смазка подшипника турбины осуществляется маслом, подводимым через форсунки.

Выхлопное сопло состоит из наружного кожуха, двух стержней и стекателя. На кожухе выхлопного сопла имеются фланцы крепления термомпар замера температуры газа на выходе из турбины.

Маслосистема двигателя (фиг. 69) — автономная, замкнутая, циркуляционная, под давлением, обеспечивает подвод масла для смазки и охлаждения ко всем высоконагруженным трущимся поверхностям. Малонагруженные поверхности смазываются барботажным маслом.

Непрерывная циркуляция масла происходит по следующей схеме: откачивающая секция 5 маслоагрегата, воздухоотделитель 14, маслобак 8, поддон 6 коробки приводов, нагнетающая секция 4 маслоагрегата, жиклеры для смазки и охлаждения трущихся поверхностей, откачивающая секция 5 маслоагрегата.

Работа маслосистемы осуществляется следующим образом.

Масло из бака 8 самотеком через соединительную муфту 9 сливается в поддон 6 корпуса приводов, откуда захватывается нагнетающей секцией 4 маслоагрегата и направляется в двигатель на смазку двумя потоками: один идет по сверленому каналу корпуса приводов на смазку конической пары шестерен 11 привода агрегатов, другой — по внешнему трубопроводу через фильтр 2 и внутренним трубопроводам в корпусе камеры сгорания и форсункам для смазки подшипников 21 и 22 ротора.

Давление масла в двигателе с помощью перепускного клапана 3 поддерживается в пределах 2,5—5 кг/см² на всех режимах работы двигателя.

Замер давления масла в двигателе осуществляется в трубопроводе подвода масла к подшипникам ротора после фильтра 2.

Из центрального привода масло сливается в поддон 6, а из полости подшипников ротора откачивается насосом 5 и подается в маслобак 8 через воздухоотделитель 14.

Заливают масло в двигатель через заливную горловину 13 с фильтром, а сливают через сливной кран 7. Уровень масла в двигателе определяют через мерное стекло 10.

Суфлирование двигателя. Полость подшипников ротора соединена трубопроводом с суфлером 15, расположенным в маслобаке. Отделенное в суфлирующей бачке масло возвращается в маслобак, а воздух по трубопроводу отводится к эжектору выхлопного сопла.

Воздух, попадающий в маслобак вместе с откачиваемым маслом, поступает в полость приводов через соединительную муфту 16.

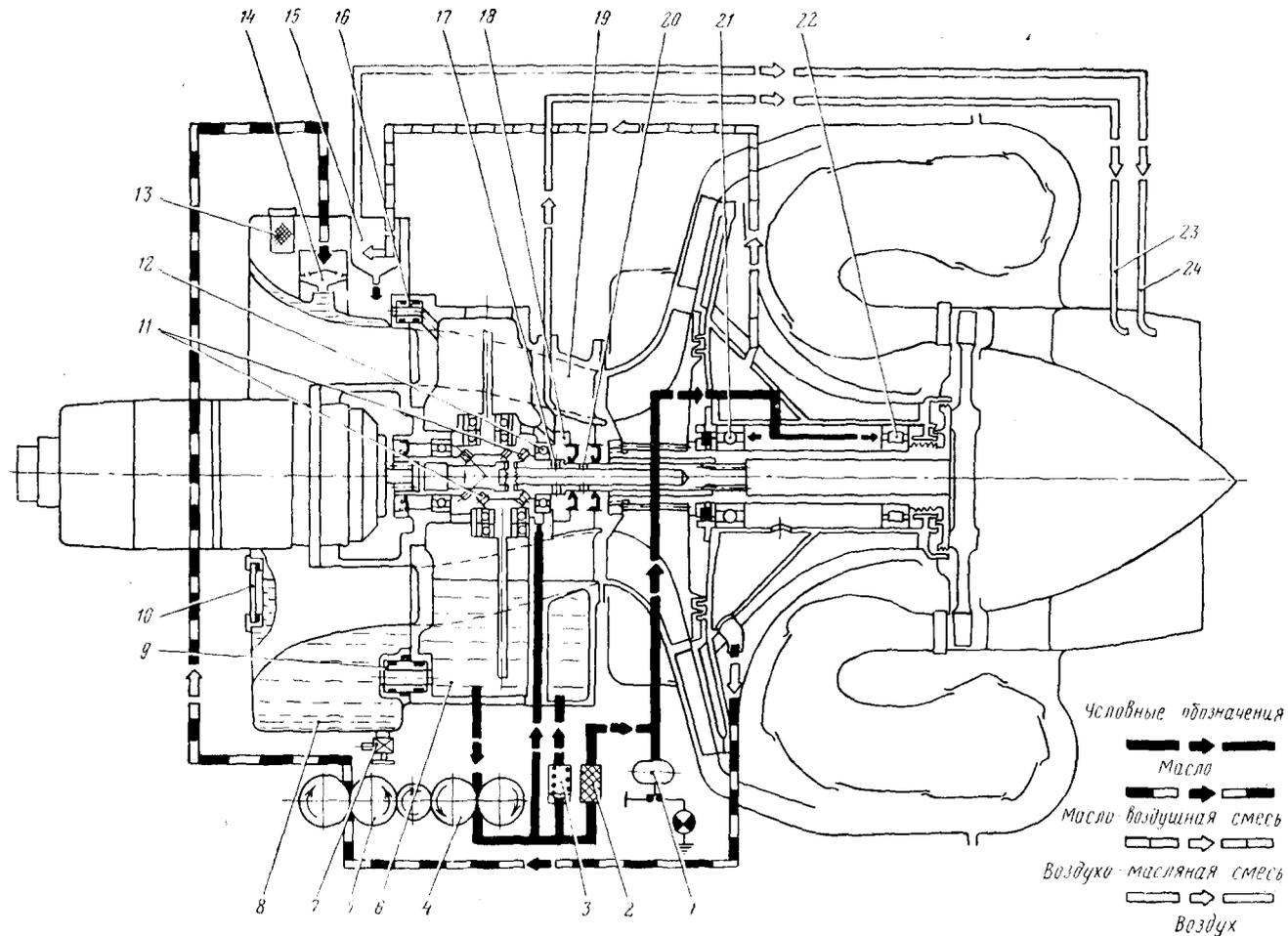
Часть воздуха через продольные пазы обоймы подшипника 12 поступает в полость 18 и далее через маслоотводящие отверстия 17 во внутреннюю полость валика, туда же через входной маслоотделяющий конус валика поступает вторая часть воздуха.

Через второй ряд отверстий 20 воздух попадает в полость 19 и далее по каналам и трубопроводу к эжектору выхлопного сопла.

Топливная система и система регулирования — автономные. Подача топлива в двигатель осуществляется пусковым насосом НП-9 и насо-

Фиг. 69. Схема маслосистемы и суфлирования пускового двигателя АИ-9:

1—сигнализатор минимального давления масла; 2—фильтр; 3—перепускной клапан; 4—нагнетающая секция маслоагрегата; 5—откачивающая секция маслоагрегата; 6—поддон; 7—сливной кран; 8—маслобак; 9—соединительная муфта; 10—мерное стекло; 11—конические шестерни привода агрегатов; 12—шарикоподшипник; 13—заливная горловина с фильтром; 14—воздухоотделитель; 15—суфлер; 16—соединительная муфта; 17—маслоотводящие отверстия; 18—полость входа эмульсии в суфлер; 19—полость очищенного воздуха; 20—отверстия выхода воздуха; 21—шарикоподшипник ротора; 22—роликподшипник ротора; 23, 24—эжекторы суфлирования



сом-регулятором НР-9К. Пусковой насос НП-9 подает топливо на пусковую форсунку с начала запуска до отключения электростартера.

Насос-регулятор НР-9К:

1. Регулирует подачу топлива в двигатель во всем диапазоне его работы от начала запуска до расчетных оборотов турбокомпрессора.

2. Поддерживает постоянными обороты двигателя на всех режимах от холостого хода до максимальной загрузки двигателя.

3. Прекращает подачу топлива в двигатель при снятии электрической команды с электромагнитного клапана вручную или автоматически при достижении двигателем предельных оборотов.

4. Замыкает электрическую цепь при выходе двигателя на режимные и предельные обороты (световые сигналы).

Насос-регулятор — центробежного типа. Топливо подводится к насосу через штуцер $p_{вх}$, расположенный в крышке-проставке, и отводится от агрегата на рабочие форсунки. Привод насоса-регулятора от двигателя осуществляется шлицевым валом. Топливо, подводимое в торец вала насоса, попадает в радиальные каналы центробежного колеса. Под действием центробежных сил топливо отбрасывается к стенкам расточки насоса, откуда отводится по двум каналам (фиг. 70):

1) по радиальному каналу топливо со статическим давлением p_n , являющимся в данном регуляторе командным, отводится к фильтру 8 и далее — к узлам коррекции сигнализаторов 4 и 7, срабатывающих по входному давлению, и к узлу регулятора оборотов 9;

2) по тангенциальному каналу отводится топливо, идущее через узел управления подачей топлива — жиклер 3, узел регулятора оборотов и фильтр 11 к штуцеру $p_{ф}$.

Жиклер 3 обеспечивает расход топлива по заданному закону на разгонном режиме. Регулирование расхода производится подбором диаметра отверстия жиклера.

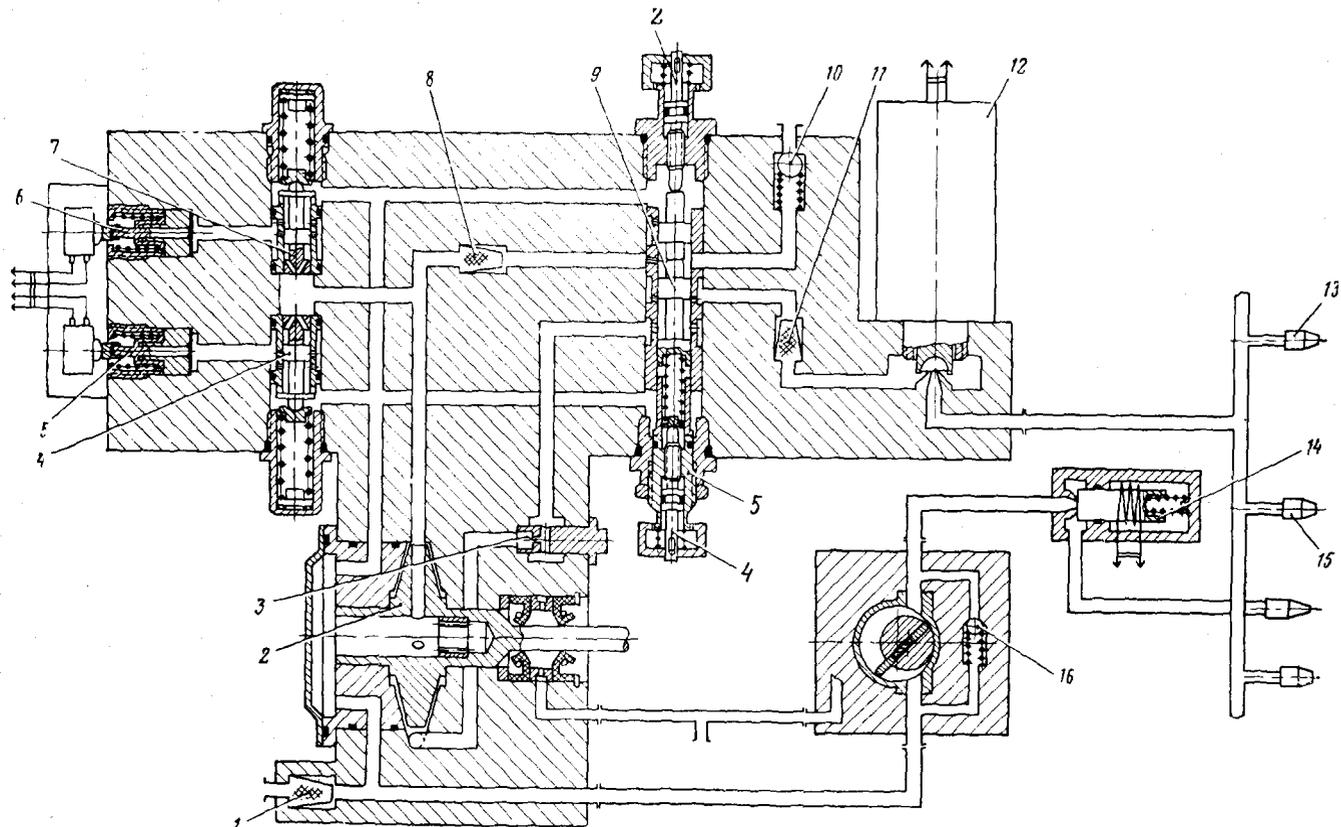
Регулятор оборотов 9 предназначен для изменения подачи топлива на рабочие форсунки 13 в зависимости от изменения оборотов турбокомпрессора. Регулирование производится следующим образом.

Командное давление p_n от топливного насоса по радиальному каналу через фильтр 8 подводится к регулятору оборотов 9. Проходя через жиклер во втулке регулятора оборотов, топливо с командным давлением дросселируется, давление его уменьшается до p'_n , при этом образуется сила, действующая на золотник регулятора оборотов. Величина этой силы изменяется в зависимости от оборотов вала насоса-регулятора. При увеличении оборотов давление p'_n увеличивается и золотник, преодолевая усилие пружины, перемещается, прикрывая отверстие выхода топлива к форсункам. Давление топлива на форсунках уменьшается. Если обороты уменьшаются, то давление p_n также уменьшается, и золотник под действием силы пружины перемещается вверх. При этом увеличивается площадь открытия отверстия выхода топлива на форсунки. Давление $p_{ф}$ увеличивается и обороты восстанавливаются. Регулирование величины управляющего давления p'_n производится перемещением регулировочного винта 2 золотника, который регулирует величину слива командного топлива в полость с давлением топлива на входе $p_{вх}$. Регулировочным винтом 4 устанавливается величина затяжки пружины регулятора оборотов. Величина минимального расхода топлива регулируется винтом 5.

Электромагнит 12 выполняет в агрегате следующие функции:

1) при достижении двигателем оборотов $n_{дв} = 41\,000 \pm 500$ об/мин автоматически прекращает подачу топлива в двигатель;

2) при ручном останове двигателя производится обесточивание обмотки электромагнита и останов двигателя на любом режиме.



Фиг. 70. Схема топливной аппаратуры двигателя АИ-9:

2, 4 и 5 — регулировочные винты; 1, 8, 11 — фильтры; 2 — качающий узел насоса-регулятора; 3 — жиклер; 4 — узел коррекции срабатывания сигнализатора номинальных оборотов; 5 — сигнализатор номинальных оборотов; 6 — сигнализатор предельных оборотов; 7 — узел коррекции сраба-

тывания сигнализатора предельных оборотов; 9 — регулятор оборотов; 10 — клапан стравливания воздуха; 12 — электромагнит; 13 — рабочие форсунки; 14 — электромагнитный клапан; 15 — пусковая форсунка; 16 — пусковой насос НП-9

При обесточивании обмотки электромагнита его пружина перемещает клапан, который закрывает торец седла клапана и прекращает выход топлива к рабочим форсункам. При оборотах двигателя $n_{дв} = 37\,000 \pm 500$ об/мин в регуляторе замыкается и при дальнейшем возрастании оборотов остается замкнутой цепь выдачи сигнала на контрольную лампочку зеленого цвета, находящуюся на приборной доске.

Узел коррекции срабатывания 7 и сигнализатор 6 предельных оборотов работают следующим образом. При достижении двигателем (в случае несрабатывания узла регулятора оборотов) оборотов $n_{дв} = 41\,000 \pm 500$ об/мин загорается красная лампа на приборной доске и обесточивается обмотка электромагнита 12, который прекращает подачу топлива в двигатель. Двигатель останавливается.

Стравливание воздуха и паров топлива из полостей агрегата производится принудительно при помощи клапана 10.

Топливный фильтр 1 и фильтр командного топлива 8 предохраняют золотниковые пары от попадания в них различных инородных частиц, которые могут нарушить работу узлов агрегата. Топливный фильтр 11 предохраняет электромагнит от попадания инородных частиц, обеспечивает полную герметичность при выключенном электромагните и подачу чистого топлива на форсунки двигателя при подаче питания к обмотке электромагнита. Фильтры представляют собой каркасы, на которые напаяны металлические сетки с величиной ячейки 0,01—0,035 мм.

Питание пусковой форсунки 15 топливом осуществляется от автономного пускового насоса 16 через электромагнитный клапан 14 пускового топлива, который управляется от панели запуска двигателя.

Электрическая система запуска. Запуск двигателя — электрический, автоматизированный. Автоматизация запуска обеспечивается автоматической панелью двигателя АПД-9, которая выдает команды на включение и выключение агрегатов системы запуска по времени (фиг. 71).

Подготовка к запуску. Подключить источник питания на бортовую сеть и проверить напряжение бортовой сети. При подключении источника питания к бортовой сети его «плюс» через автомат защиты цепей 3 подается:

а) на переключатель 8 «Холодная прокрутка — Запуск — Ложный запуск»;

б) через клемму 2 Ш на контакты 2, 5 и 8 реле Р1, контакты 2 и 5 реле Р2, контакты 5 и 8 реле Р3, контакт 3 моторного реле МР, контакт 5 реле Р4 и через нормально-замкнутые контакты концевого выключателя шайбы О и клемму 4 Ш1 на кнопку запуска 4;

в) через контакты 2—1 реле останова 6, кнопку останова двигателя 7, клемму 7 Ш1 на контакт 11 реле Р1;

г) в зависимости от положения переключателя 8 питание подается:
— в положении «Запуск» — через клемму 5 Ш1 на контакт 17 реле Р1;

— в положении «Ложный запуск» — через клемму 6 Ш1 на контакт 14 реле Р1;

д) через автомат защиты цепи зажигания 9 питание подается на контакт 3 реле Р5;

е) через автомат защиты 10 на сигнализатор номинального давления масла и сигнализаторы номинальных и предельных оборотов;

ж) через инерционный предохранитель 24 на контакты контактов 22 и 23.

Запуск двигателя. Переключатель 8 поставить в положение «Запуск». Раскрутка двигателя осуществляется электростартером СТ-ЗПТ (20). Включение и отключение агрегатов в процессе запуска осуществляется программным механизмом У1, который имеет семь двойных профилированных шайб, смонтированных на выводном валу редуктора мотора программного механизма. Выдача команд осуществляется путем

переключения контактов концевых выключателей, на которые воздействуют программные шайбы.

Для запуска двигателя необходимо нажать и отпустить кнопку запуска 4. При нажатии на кнопку запуска «плюс» источника питания через клемму 8 Ш1 питание подается на обмотку включения реле Р1, которое включается и через контакты 2—1 реле останова 6, кнопку останова 7, клемму 7 Ш1, свои контакты 11—12, клемму 1 Ш2 и контакты центробежного выключателя стартера, клемму 5 Ш2 и контакты концевого выключателя шайбы А — самоблокируется.

При включении реле Р1 «плюс» источника питания через его контакты подается:

а) на контакт 3 реле Р3, клемму 3 концевого выключателя шайбы О и на клемму А моторного реле МР через контакты 2—3. Моторное реле МР включается, включая в работу мотор М программного механизма У1.

Начинается обработка программы;

б) на клемму 14 концевого выключателя шайбы Г через контакты 5—6;

в) на клемму 17 концевого выключателя шайбы Д через контакты 8—9;

г) через контакты 17—18 на клемму 20 концевого выключателя шайбы Е, а также через диоды Д1 и Д2 на включение реле Р2. Реле Р2 включается и через контакты 2—3 подает «плюс» источника питания на включение топливного насоса-регулятора, а через контакты 5—6 на включение пожарного крана. К двигателю АИ-9 подается топливо.

В процессе обработки программы программный механизм выдает следующие команды.

1. Через 1,5 сек переключаются контакты концевого выключателя шайбы О. Концевой выключатель через свои замкнутые контакты управляет продолжительностью работы мотора М. Длительность работы — 30 сек.

2. Через 5 сек переключаются контакты концевых выключателей шайб В, Д и Е:

а) при переключении контактов концевого выключателя шайбы Д подается питание на включение контактора 22 — через клемму 8 Ш2. Питание подается на электростартер 20 через пусковое сопротивление 21;

б) при переключении контактов концевого выключателя шайбы Е питание подается на включение реле Р5, через контакты которого, клемму 2 Ш2 и клеммы 10—11 штепсельного разъема двигателя питание подается на катушку зажигания 19. На свечу 18 подается высокое напряжение;

в) при переключении контактов концевого выключателя шайбы В включается реле Р4. Через контакты 2—3 реле Р4 питание подается на клемму 8 концевого выключателя шайбы Б, а через контакты 5—6, клемму 6 Ш2 и клеммы 7—6 штепсельного разъема двигателя питание подается на клапан пускового топлива 17. Воспламеняется пусковое топливо.

3. Через 6 сек переключаются контакты концевых выключателей шайб Б и Г:

а) при переключении контактов концевого выключателя шайбы Б подается питание на включение реле Р3. Реле включается и через контакты 8—9, клемму 4 Ш2, клеммы 12—14 штепсельного разъема двигателя подает питание на включение клапана 16 останова двигателя. Топливо подается на рабочие форсунки. Кроме этого, через контакты 11—12 реле Р3 самоблокируется;

б) при переключении контактов концевого выключателя шайбы Г подается питание на включение контактора 23. Контактор включается,

подает питание на стартер и одновременно шунтирует пусковое сопротивление.

Двигатель энергично раскручивается.

Через 12 сек переключаются контакты концевых выключателей шайб *B* и *E*. При переключении контактов шайбой *B* отключается реле Р4, которое снимает питание с клапана пускового топлива.

Прекращается подача топлива на пусковые форсунки. При переключении контактов шайбой *E* отключается реле Р5, которое снимает питание с катушки зажигания.

Работа пускового блока прекращается.

Этапы запуска:

I этап — раскрутка двигателя идет от стартера СТ-ЗПТ;

II этап — раскрутка двигателя идет за счет мощности стартера СТ-ЗПТ и за счет мощности турбины;

III этап — раскрутка двигателя до выхода его на режим малого газа идет за счет избыточной мощности турбины.

При достижении турбиной избыточной мощности, достаточной для вывода двигателя на режим малого газа, необходимо отключить электростартер. Отключение электростартера осуществляется как по времени — программным механизмом У1, так и по оборотам — центробежным выключателем, встроенным в стартер СТ-ЗПТ.

При достижении двигателем 18 000—20 500 об/мин срабатывает центробежный выключатель в стартере СТ-ЗПТ, который разрывает цепь питания обмотки включения реле Р1. Реле отключает питание всех программных шайб, клапана пускового топлива, катушки зажигания, контакторов электростартера. В дальнейшем двигатель выходит на режим малого газа за счет избыточной мощности турбины.

Если в течение 20 сек двигатель не выйдет на обороты 18 000—20 500 об/мин, то контакты концевого выключателя шайбы *A* переключаются, в результате чего разорвется цепь включения реле Р1. Реле Р1 отключится и отключит вышеперечисленные агрегаты системы запуска.

Примечания. 1. Время исчисляется с момента нажатия на кнопку «Запуск».

2. Ш1 и Ш2 — штепсельные разъемы автоматической панели двигателя

Ложный запуск. При проведении ложного запуска переключатель 8 поставить в положение «Ложный запуск».

Ложный запуск происходит аналогично запуску двигателя, но зажигание двигателя не включается. Агрегаты системы запуска отключаются программным механизмом по времени. Длительность ложного запуска 20 сек.

Холодная прокрутка. Переключатель 8 поставить в положение «Холодная прокрутка».

В отличие от запуска и ложного запуска холодная прокрутка производится без включения зажигания и подачи пускового и рабочего топлива. Длительность холодной прокрутки 20 сек.

Останов двигателя. На запуске и режимной работе останов двигателя осуществляется путем нажатия на кнопку останова 7 двигателя. При нажатии на кнопку останова прерывается цепь включения реле Р1 и реле Р3, в результате чего отключаются все агрегаты системы запуска двигателя и клапан останова. Двигатель останавливается.

Кроме того, двигатель имеет аварийный останов по предельным оборотам.

При достижении двигателем оборотов $41\,000 \pm 500$ об/мин замыкаются контакты сигнализатора (датчика) предельных оборотов, через контакты которого подается питание на сигнальную лампу останова 5 и на включение реле останова 6. Реле включается и разрывает цепь самоблокировки реле Р3. Реле Р3 отключается и снимает питание с клапана останова двигателя 16.

Двигатель останавливается.

Лампа сигнализации останова двигателя 5 горит, так как реле 6 через свои контакты 2—3 самоблокируется.

Для запуска двигателя необходимо выключить и включить питание бортсети.

Контроль работы двигателя. При работе двигателя контролируются давление масла и номинальные обороты. Для этого на двигателе установлены сигнализатор давления масла 15 и сигнализатор номинальных оборотов 14. Когда давление масла достигает $2,5 \text{ кг/см}^2$, замыкаются контакты сигнализатора давления масла 15 и загорается сигнальная лампа 11. Когда двигатель выйдет на обороты $39\,000 \text{ об/мин} \pm 1\%$, замыкаются контакты сигнализатора номинальных оборотов 14 и загорается сигнальная лампа 12.

Примечание. Сигнализатор номинальных оборотов и сигнализатор предельных оборотов выдают сигналы по давлению $p=f(n)$.

Система воспламенения топлива состоит из воспламенителя, установленного на корпусе камеры сгорания и включающего пусковую форсунку и свечу СД-55АНМ, катушки зажигания КР-12СИ и клапана пускового топлива.

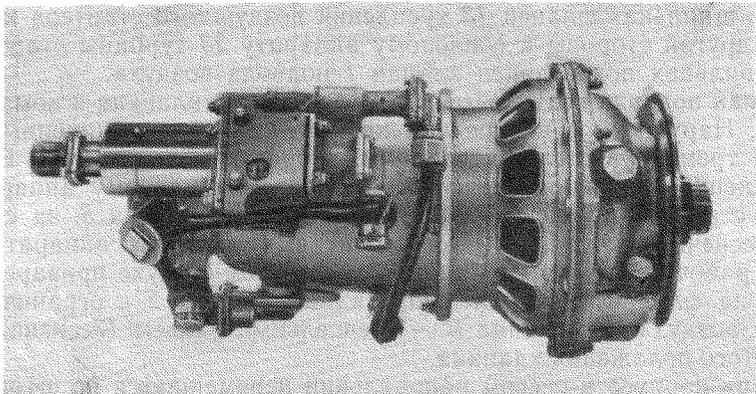
Порядок работы клапана пускового топлива и катушки зажигания регламентируется автоматической панелью АПД-9 в последовательности, описанной выше.

Система регулирования в процессе запуска обеспечивает подачу в двигатель топлива от пускового насоса через клапан пускового топлива, пусковую форсунку воспламенителя и рабочие форсунки до момента достижения оборотов, когда давление топлива за главным насосом достигнет величины, достаточной для дальнейшей работы двигателя, после чего происходит автоматическое переключение питания рабочих форсунок с пускового насоса на главный топливный насос. Отключение пускового насоса от привода осуществляется одновременно с отключением электростартера общей храповой муфтой.

Система перепуска воздуха обеспечивает устойчивую работу компрессора двигателя на режимах запуска, стравливая воздух за компрессором через перепускной клапан, установленный на корпусе компрессора.

ВОЗДУШНЫЙ СТАРТЕР СВ-25

Воздушный стартер СВ-25 (фиг. 72) предназначен для раскрутки ротора высокого давления в процессе запуска двигателя и представляет



Фиг. 72. Воздушный стартер СВ-25

малогабаритный турбинный двигатель, работающий на сжатом воздухе.

В конструкцию воздушного стартера входят следующие узлы: турбина, редуктор, клапан подвода воздуха, командный агрегат с ограничителем и регулятором давления воздуха.

Основные технические данные воздушного стартера

Условное обозначение	СВ-25
Максимальная мощность в л. с.	30
Параметры воздуха на входе в стартер, при которых развивается указанная выше мощность:	
— расход воздуха в кг/сек	0,35
— давление воздуха в ата	2,8
— температура воздуха в °С	150
Максимальные обороты ротора турбины в об/мин	46 000
Редуктор стартера:	
— тип	планетарный
— передаточное отношение	1 : 8,896
— смазка	барботажная, масло Б-3В по МР ТУ 38-1-157—65
Максимальные обороты выводного вала стартера в об/мин	5160
Направление вращения выводного вала стартера (если смотреть со стороны привода)	левое
Сухой вес стартера в кг:	
— без клапана	3,7
— с клапаном	5,8

Турбина воздушного стартера — активного типа. Ротор турбины опирается на два подшипника 6 и 11 (фиг. 73). Диск и лопатки ротора турбины выполнены за одно целое. На валу 21 турбины установлена на шлицах ведущая шестерня 7 редуктора.

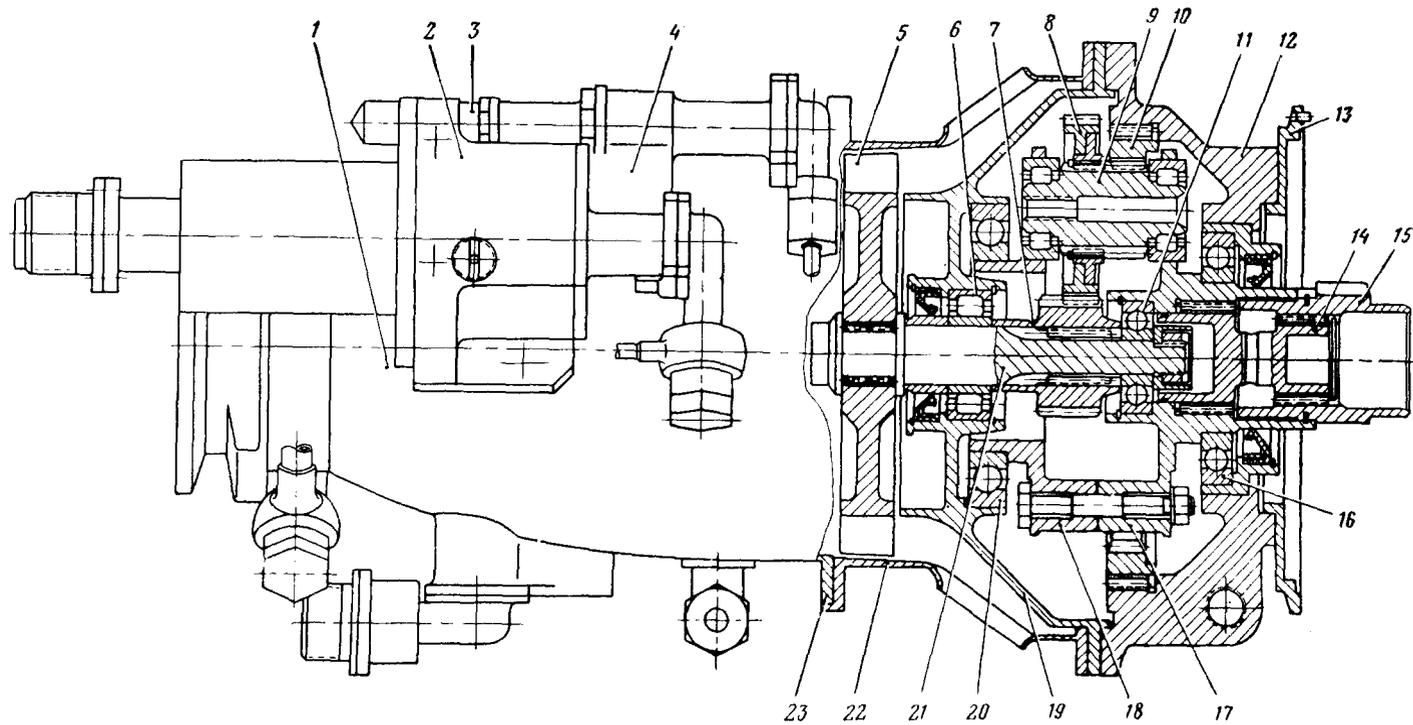
Редуктор стартера — планетарный, состоит из ведущей шестерни 7, трех сателлитов 8, шестерни 10 внутреннего зацепления, корпусов 17, 18 сателлитов, корпуса 12 редуктора и среднего корпуса 19.

Сателлиты 8 установлены в корпусе на двух роликоподшипниках. Внутренними обоймами роликоподшипников являются шейки сателлитов. Корпуса сателлитов 17 и 18 опираются на два шарикоподшипника 16 и 20. Шестерня 10 внутреннего зацепления установлена на шлицах в корпусе 12 редуктора. В передней части корпуса 17 сателлитов установлен предохранительный валик 14 и храповая муфта 15, соединяющая воздушный стартер с валом компрессора высокого давления.

На корпусе 12 редуктора, отлитом из магниевых сплава, закреплен на шести шпильках фланец 13 крепления воздушного стартера к двигателю. С другой стороны к сопловому аппарату 23 турбины стартера на шести шпильках подсоединен клапан 1 подвода воздуха.

Клапан подвода воздуха (фиг. 74) состоит из клапана и командного агрегата. Наружный и внутренний кожухи клапана, соединенные между собой тремя пустотелыми ребрами, образуют его корпус. В месте подсоединения наружного кожуха клапана к сопловому аппарату 6 турбины стартера проложена регулировочная прокладка 5, за счет которой обеспечивается зазор между лопатками соплового аппарата и лопатками рабочего колеса турбины. На наружном кожухе приварены два фланца: на фланце Г укреплен командный агрегат 2 с ограничителем давления воздуха; на фланце В — штепсельный разъем 17 сигнализатора открытого положения клапана.

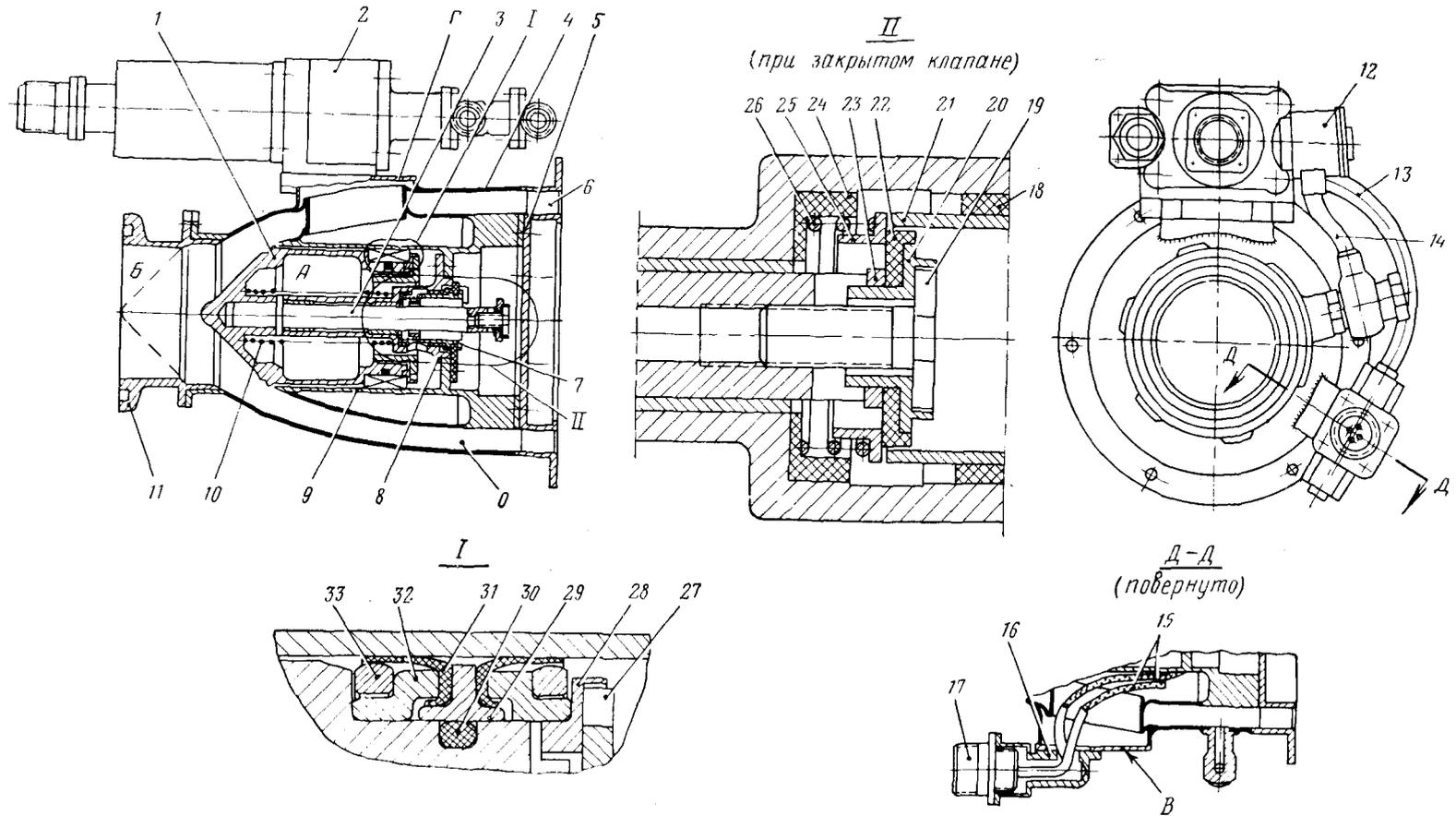
Внутри корпуса в осевом направлении перемещается по штоку поршень 1. При движении поршня по цилиндру 9 уплотнение создается пакетом, состоящим из зажимной втулки 27, стопорной чашки 28, проме-



Фиг. 73. Воздушный стартер СВ-25:

1—клапан подвода воздуха; 2—командный агрегат; 3—регулятор давления воздуха; 4—ограничитель давления воздуха; 5—рабочее колесо турбины; 6—ролик подшипник; 7—ведущая шестерня редуктора; 8—сателлит; 9—ось сателлита; 10—шестерня внутреннего зацепления; 11—шарикоподшипник; 12—корпус ре-

дуктора; 13—фланец крепления стартера к двигателю; 14—предохранительный валик; 15—храповая муфта; 16, 20—шарикоподшипники; 17, 18—корпуса сателлитов; 19—средний корпус; 21—вал турбины; 22—корпус турбины; 23—сопловой аппарат турбины



Фиг. 74. Клапан подвода воздуха:

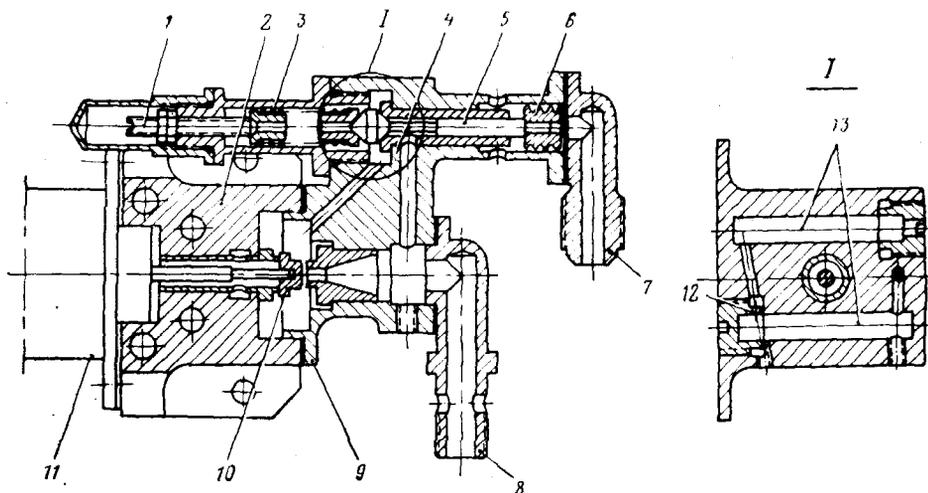
1—поршень; 2—командный агрегат с регулятором и ограничителем давления воздуха; 3—шток клапана; 4—корпус клапана; 5—регулирующая прокладка; 6—сопловой аппарат турбины; 7—корпус сигнализатора; 8—корпус поршня; 9—цилиндр; 10—пружина; 11—переходный корпус; 12—воздушный фильтр; 13—трубопровод подвода воздуха из полости перед сопловым аппаратом к ограничителю давления; 14—трубопровод подвода воздуха к командному агрегату; 15—электропровода; 16—кронштейн креп-

ления штепсельного разъема; 17—штепсельный разъем; 18—корпус полуцилиндров; 19—винт; 20—стопорная шайба; 21—контактный полуцилиндр; 22—упорная шайба; 23—регулирующее кольцо; 24—опорная шайба; 25—контактное кольцо; 26—пружина; 27—зажимная втулка; 28—стопорная чашка; 29—промежуточное кольцо; 30—уплотнительное кольцо; 31—манжета; 32—упорное кольцо; 33—пружинное кольцо

жуточного кольца 29, уплотнительного кольца 30, двух фторопластовых манжет 31, двух упорных колец 32 и двух пружинных колец 33.

В корпусе клапана и на штоке размещен узел сигнализатора открытого положения клапана. Узел сигнализатора состоит из корпуса 7, контактного кольца 25, подпираемого пружиной 26 к полуцилиндрам 21 опорной шайбой 24, стопорной шайбы 20, регулировочного кольца 23, обеспечивающего необходимый зазор между контактным кольцом 25 и корпусом 18 с двумя контактными полуцилиндрами 21, упорной шайбы 22, электропроводов 15 и штепсельного разъема 17.

Командный агрегат (фиг. 75) с ограничителем давления предназначен для выдачи команд на открытие и закрытие клапана подвода воздуха и обеспечения необходимого давления воздуха перед сопловым аппаратом турбины стартера.



Фиг. 75. Командный агрегат с ограничителем давления воздуха:

1—регулирующий винт; 2—корпус командного агрегата; 3—пружина; 4—корпус ограничителя давления; 5—шток; 6—лабиринтная втулка; 7—штуцер подвода воздуха из полости перед сопловым аппаратом; 8—штуцер подвода воздуха из полости перед поршнем клапана; 9—корпус ограничителя давления; 10—тарелка; 11—электромагнит; 12—жиклер; 13—каналы стравливания воздуха в атмосферу

На корпусе 2 командного агрегата установлены электромагнит 11 и корпус 4 ограничителя давления воздуха. К штуцеру 7 регулятора по трубопроводу подводится воздух из полости перед сопловым аппаратом турбины стартера, а к штуцеру 8 по трубопроводу — из полости Б (см. фиг. 74) перед поршнем клапана.

Винтом 1 (см. фиг. 75) регулируется усилие затяжки пружины 3, которое должно быть пропорционально давлению воздуха перед сопловым аппаратом турбины стартера.

ПРИНЦИП РАБОТЫ ВОЗДУШНОГО СТАРТЕРА

После нажатия на кнопку «Запуск» питание подается на электромагнит 11 командного агрегата. При этом шток электромагнита перемещает тарелку 10, которая перекрывает доступ воздуха из полости перед поршнем в полость под поршнем. Одновременно полость под поршнем сообщается с атмосферой через каналы в корпусе командного агрегата и жиклер 12. Жиклер обеспечивает медленное открытие поршня запорного клапана и, следовательно, плавное увеличение давления воздуха перед турбиной стартера. Турбина начинает вращаться и через планетарный редуктор передает крутящий момент на храповую муфту, соединяющую стартер с валом компрессора высокого давления двигателя.

При повышении давления воздуха перед сопловым аппаратом турбины стартера больше заданной величины увеличивается давление воздуха и перед лабиринтной втулкой 6 штока 5 ограничителя, в результате чего шток 5 ограничителя перемещается, преодолевая силу пружины 3, и пропускает воздух из полости перед поршнем в полость под поршнем.

Под давлением воздуха поршень перемещается в сторону уменьшения проходного сечения, в результате чего уменьшается давление воздуха перед сопловым аппаратом турбины. При этом уменьшается давление воздуха и перед лабиринтной втулкой 6 штока ограничителя. Пружина перемещает шток вправо, прикрывая отверстие, через которое поддувается полость под поршнем. Движение поршня продолжается до наступления равновесного состояния.

Отключение воздушного стартера осуществляется снятием электропитания с электромагнита 11. Команда на отключение поступает от центрального выключателя агрегата 762МА при $n_{\text{квд}} = 41 \div 44\%$ или от АПД-45 через 45 сек с момента начала запуска.

При снятии электропитания с электромагнита 11 пружина перемещает тарелку 10, открывая доступ воздуха из полости перед поршнем запорного клапана в полость под поршнем и одновременно прерывая сообщение полости под поршнем с атмосферой. Пружина 3 возвращает поршень в первоначальное положение, прекращая подвод воздуха к турбине воздушного стартера.

Глава X

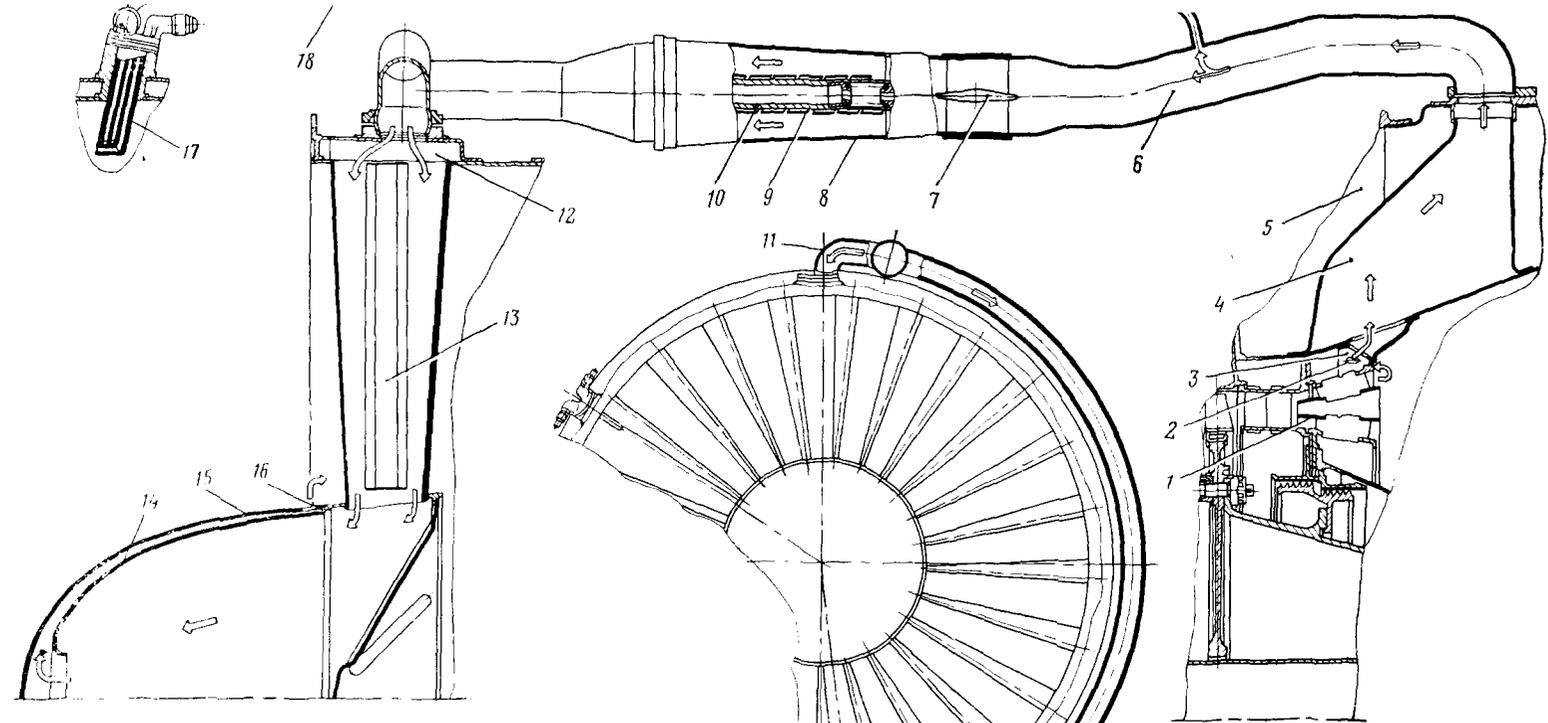
ПРОТИВООБЛЕДЕНИТЕЛЬНАЯ И ПРОТИВОПОЖАРНАЯ СИСТЕМЫ ДВИГАТЕЛЯ. ПОДВЕСКА ДВИГАТЕЛЕЙ НА САМОЛЕТЕ

ПРОТИВООБЛЕДЕНИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА

Противообледенительная система (фиг. 76) служит для предотвращения обледенения деталей двигателя, расположенных во входном тракте. Тип системы — воздушно-тепловой. Горячий воздух, отбираемый за компрессором высокого давления, используется для обогрева лопаток и обтекателя входного направляющего аппарата компрессора низкого давления, а также для обогрева приемника полного давления (зонда-датчика) системы регулирования. Количество воздуха, отбираемого за компрессором высокого давления, на всех режимах работы двигателя устанавливается терморегулятором 8.

Обогрев приемника полного давления 17 происходит непрерывно в течение всей работы двигателя. Обогрев лопаток и обтекателя входного направляющего аппарата проводится только в условиях обледенения и подключается при помощи электромеханизма МПК-14МТВ, который открывает заслонку 7 клапана обогрева.

Горячий воздух из кольцевой полости над диффузором 1 камеры сгорания через отверстия 2 в корпусе камеры сгорания и стойку 4 попадает в трубу 6 подвода воздуха к входному направляющему аппарату компрессора низкого давления. На участке от стойки 4 камеры сгорания до клапана обогрева часть воздуха отводится по трубке малого диаметра на обогрев приемника полного давления 17. Пройдя клапан обогрева и терморегулятор 8, поток воздуха разветвляется и по трубопроводам через два фланца, расположенные диаметрально противоположно, попадает в кольцевую полость 12, образованную наружным кольцом

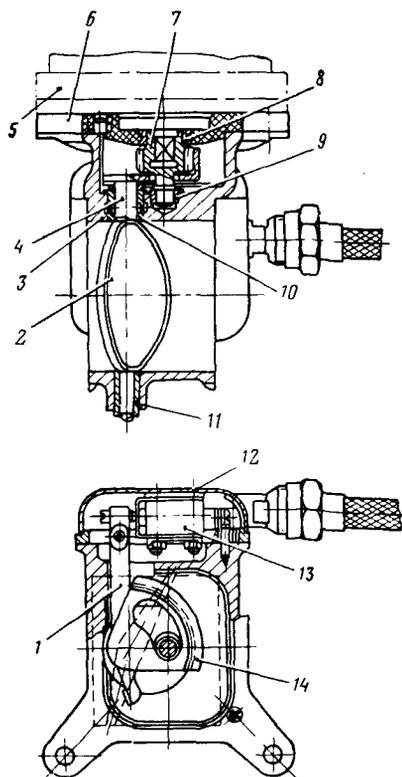


Фиг. 76. Схема противообледенительной системы:

1—диффузор; 2—отверстие для прохода воздуха; 3—кольцевая полость; 4—стойка корпуса камеры сгорания; 5—второй контур двигателя; 6—труба подвода горячего воздуха; 7—дрессельная заслонка; 8—терморегулятор; 9—биметаллическая пружина; 10—подвижный элемент дресселя; 11—коллектор; 12—полость наружного кольца ВНА; 13—дефлектор; 14—дефлектор обтекателя; 15—обтекатель; 16—отверстие для выхода воздуха в тракт двигателя; 17—приемник полного давления; 18—труба подвода воздуха на обогрев приемника полного давления

и кожухом входного направляющего аппарата. Такой подвод воздуха обеспечивает более равномерное распределение тепла по лопаткам. Далее воздух, проходя по каналам внутри каждой лопатки между дефлектором и кромками, отдает часть тепла стенкам лопатки и поступает в полость внутри обтекателя 15. Отсюда через центральное отверстие в дефлекторе 14 обтекателя воздух проходит по щелевому каналу между обтекателем и дефлектором, отдает остаток тепла обтекателю и выходит наружу через отверстия 16.

Клапан обогрева (фиг. 77) состоит из корпуса 3 и заслонки 2, жестко сидящей на оси 4. Подшипниками оси 4 являются бронзовые втулки 10 и 11, запрессованные в корпусе.



Фиг. 77. Клапан обогрева:

1—поводок; 2—заслонка; 3—корпус клапана; 4—ось; 5—электромеханизм МПК-14МТВ; 6—проставка; 7—шестерня; 8, 9, 10, 11—бронзовые втулки; 12—кожух; 13—микровыключатель; 14—сектор

Ось 4 заслонки имеет зубчатый сектор 14 и специальный приводной шлиц. Заслонка 2 приводится в движение с помощью шестерни 7, входящей в зацепление с внутренними зубьями сектора 14. Подшипниками цапф шестерни 7 служат бронзовая втулка 8, запрессованная в проставке 6, и бронзовая втулка 9, запрессованная в корпусе.

Верхняя цапфа шестерни 7 имеет четырехугольное отверстие, которым она посажена на ведущий вал электромеханизма МПК-14МТВ. Проставка 6 зафиксирована относительно корпуса и служит опорой шестерни 7 и уменьшает подвод тепла к электромеханизму 5.

Под кожухом 12 укреплен термостойкий микровыключатель 13, сигнализирующий о полностью открытом положении заслонки. При движении сектора 14 его боковой торец воздействует на поводок 1, другим концом поводок надавливает в это время на кнопку микровыключателя и последний срабатывает.

Заслонка 2 компенсирована аэродинамическими силами по моменту. Максимальный момент, необходимый для открытия заслонки, уменьшен за счет асимметричного расположения оси заслонки.

Для уменьшения нагрева электромеханизма МПК-14МТВ и устранения избыточного давления воздуха в полости микровыключателя 13 в верхней втулке оси и корпусе предусмотрены отверстия.

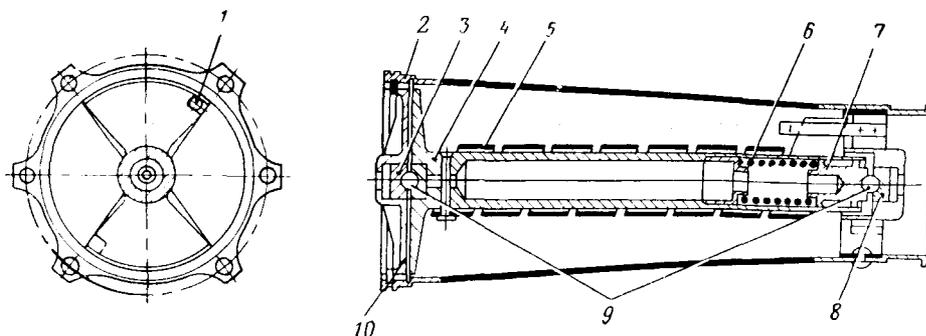
При полном открытии заслонки сектор 14 упирается в нижнюю цапфу шестерни 7 кромкой фигурного окна, которое выполнено в стенке сектора. Нижняя цапфа шестерни проходит через фигурное окно. Отключение электромеханизма МПК-14МТВ в положении закрытия заслонки или открытия осуществляется по предельному крутящему моменту, возникающему в этих крайних положениях.

Терморегулятор обогрева (фиг. 78) состоит из корпуса 2, подвижного сектора 4, сидящего на опорах 3 и 8, биметаллической пружины 5, неподвижного сектора 10, подвижной пяты 7 и пружины 6.

Биметаллическая пружина 5 одним концом соединена с подвиж-

ным сектором 4, вторым концом неподвижно закреплена относительно корпуса 2. Для уменьшения трения при повороте сектора 4 в его опоры помещены шарики 9. Для обеспечения стабильных нагрузок на шарики ось сектора 4 имеет подвижную пяту 7 и пружину 6. В неподвижном секторе 10 выполнены специально спрофилированные окна для перепуска горячего воздуха, проходные сечения которых изменяются в зависимости от угла поворота подвижного сектора 4.

По мере повышения температуры отбираемого воздуха при переходе двигателя на режимы выше малого газа биметаллическая пружина 5 поворачивает подвижный сектор 4, при этом перепускные окна на неподвижном секторе перекрываются лепестками подвижного сектора, ограничивая расход воздуха на обогрев входного направляющего аппарата.



Фиг. 78. Терморегулятор обогрева:

1—штифт; 2—корпус; 3, 8—опоры; 4—подвижный сектор; 5—биметаллическая пружина; 6—пружина; 7—подвижная пята; 9—шарики; 10—неподвижный сектор

Угловое положение окон неподвижного сектора 10 подбирается с помощью шлицев в корпусе 2 и на самом секторе. Посредством штифта 1, ограничивающего перемещение подвижного сектора относительно неподвижного, биметаллической пружине может быть сообщена предварительная закрутка, необходимая для получения оптимальных расходов горячего воздуха во всем диапазоне рабочих режимов двигателя.

По достижении температуры воздуха за компрессором высокого давления $T_{\text{квд}}^* = 45^\circ \text{C}$ терморегулятор начинает прикрывать проходное сечение. При $T_{\text{квд}}^* < 45^\circ \text{C}$ регулятор полностью открыт. При $T_{\text{квд}}^* \geq 225^\circ \text{C}$ регулятор прикрыт до минимальной площади регулируемого сечения.

ПРОТИВОПОЖАРНАЯ СИСТЕМА

Противопожарная система состоит из системы сигнализации о пожаре и системы тушения пожара.

Система сигнализации о пожаре включает датчики-термоизвещатели ДТБ-2АУ, исполнительный блок ССП-7-БИ и проводку. Тип системы — ССП-7. На двигателе предусмотрено два резьбовых отверстия для датчиков ДТБ-2АУ. Одно отверстие находится на передней стенке нижнего привода разделительного корпуса, второе — в трубопроводе суфлирования масляных полостей передних и заднего подшипников турбин.

При повышении температуры во внутренних масляных полостях двигателя ($200\text{—}350^\circ \text{C}$ — для полости разделительного корпуса, $300\text{—}450^\circ \text{C}$ — для полостей передних и заднего подшипников турбин) система ССП-7 выдает сигнал на приборную доску экипажа самолета.

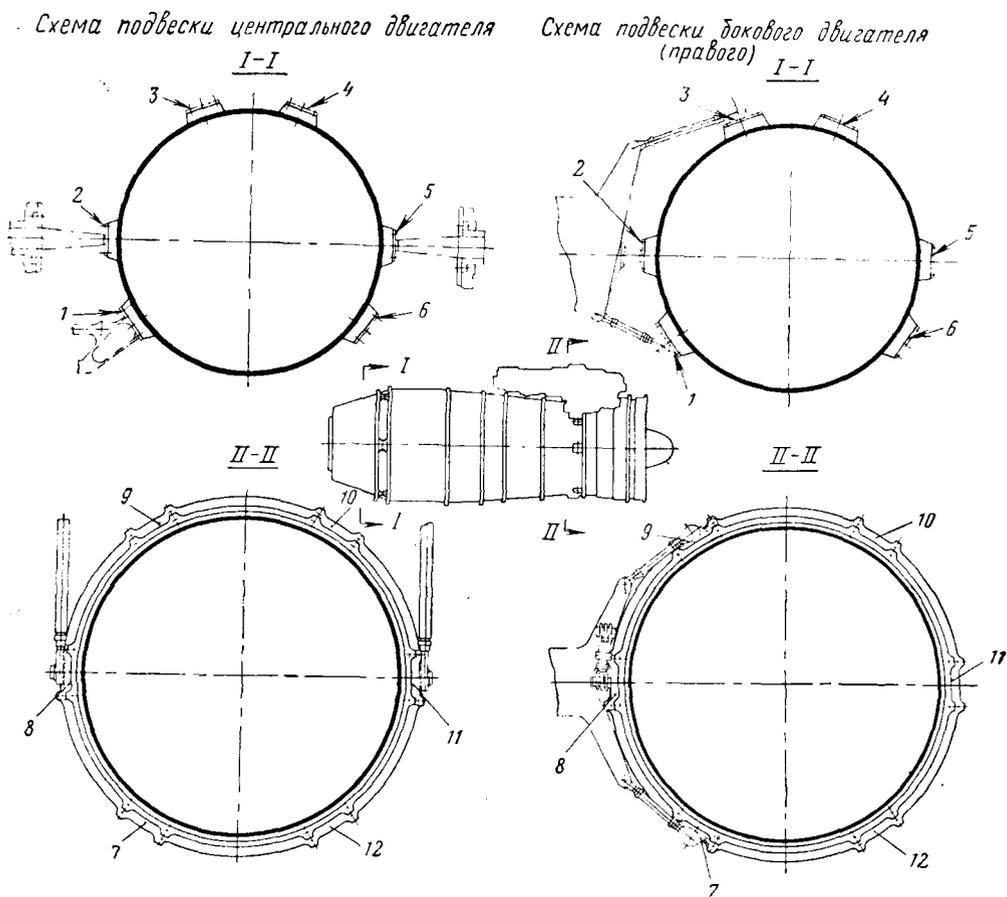
Система тушения пожара состоит из огнетушителей, электромагнитных клапанов, трубопроводов, жиклеров, диафрагм и др.

При получении сигнала о пожаре двигатель останавливается, а затем подается огнегасящий состав из огнетушителя одновременно в три полости: полость разделительного корпуса, полость передних подшипников турбин, полость заднего подшипника турбины. На входе в каждую полость установлены жиклер и диафрагма, которая разрывается при подаче огнегасящего состава. Жиклеры служат для уменьшения давления огнегасящего состава в полости и получения оптимального времени разрядки огнетушителя. Диафрагмы не допускают попадания масла из внутренних полостей двигателя в противопожарные трубопроводы.

Система ССП-7, огнетушители, электромагнитные клапаны, трубопроводы (до точки подвода огнегасящего состава во внутренние полости двигателя) установлены на самолете.

ПОДВЕСКА ДВИГАТЕЛЕЙ НА САМОЛЕТЕ

На самолете двигатели АИ-25 могут быть установлены в фюзеляже (центральная силовая установка) или на левом и правом боковых пилонах (боковые силовые установки). Конструкция элементов подвески



Фиг. 79. Схема подвески двигателей к самолету:

Центральный двигатель: 1, 2, 5—фланцы крепления двигателя в передней плоскости подвески (I-I); 8, 11—фланцы крепления двигателя в задней плоскости подвески (II-II). Правый боковой двигатель: 1, 2, 3—фланцы крепления двигателя в плоскости I-I; 7, 8, 9—фланцы крепления двигателя в плоскости II-II. Левый боковой двигатель: 4, 5, 6—фланцы крепления двигателя в плоскости I-I; 10, 11, 12—фланцы крепления двигателя в плоскости II-II

двигателя обеспечивает взаимозаменяемость двигателей, устанавливаемых в фюзеляже и на боковых пилонах.

Элементы подвески выполнены на двигателе в двух плоскостях: передней I—I и задней II—II (фиг. 79). Кроме того, двигатель имеет nivelировочные точки: три на переднем фланце компрессора низкого давления; три — на ребре силового кольца задней подвески и одну — на поддоне разделительного корпуса.

В передней плоскости подвески на разделительном корпусе имеются два симметричных фланца 2 и 5 для постановки шарнирных подшипников и четыре фланца 1, 3, 4, 6 — для постановки кронштейнов подвески.

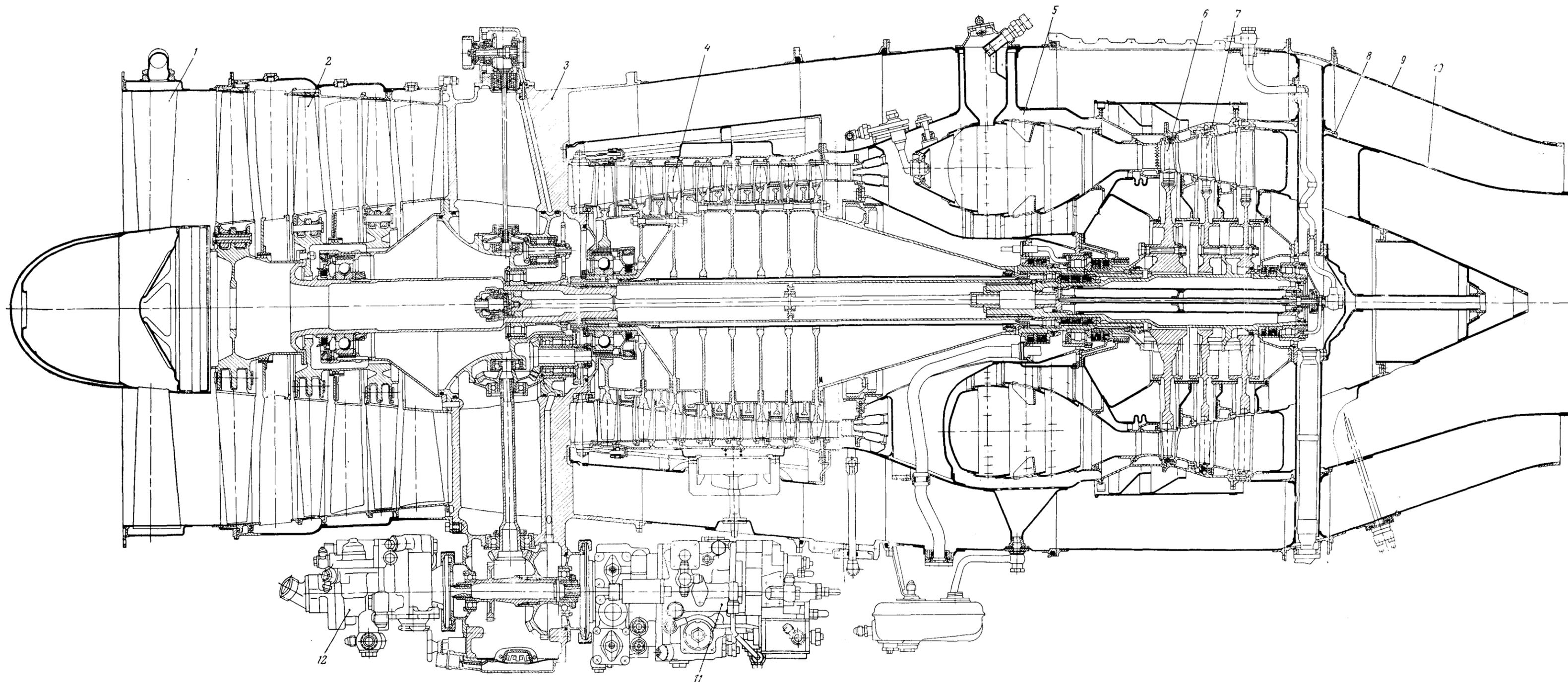
В задней плоскости подвески на силовом кольце имеется шесть групп отверстий на фланцах крепления кронштейнов 7, 8, 9 — с одной стороны и 10, 11, 12 — с другой стороны.

Подвеска центрального двигателя внутри фюзеляжа осуществляется в пяти точках за фланцы 1, 2, 5, 8, 11; три в передней части двигателя на разделительном корпусе и два фланца — в задней части на силовом кольце. Фланцы 2 и 5 воспринимают усилия, возникающие от веса передней части двигателя и инерционных сил, вызванных этим весом, от тяги, от гироскопических моментов. Боковые усилия воспринимаются фланцем 1. Два задних фланца 8 и 11, расположенные на силовом кольце, воспринимают усилия от веса и инерционных сил задней части двигателя.

Подвеска правого бокового двигателя осуществляется в шести местах на трех передних фланцах 1, 2, 3 и трех задних фланцах 7, 8, 9. Горизонтальный передний фланец 2 воспринимает усилия от тяги, веса и инерционных сил. Боковые усилия и момент от веса воспринимаются верхним и нижним фланцами 1 и 3. Задний горизонтальный фланец 8, расположенный на силовом кольце, воспринимает усилия от веса задней части двигателя и инерционных сил. Боковые усилия и моменты от сил веса воспринимаются верхним и нижним фланцами 7 и 9.

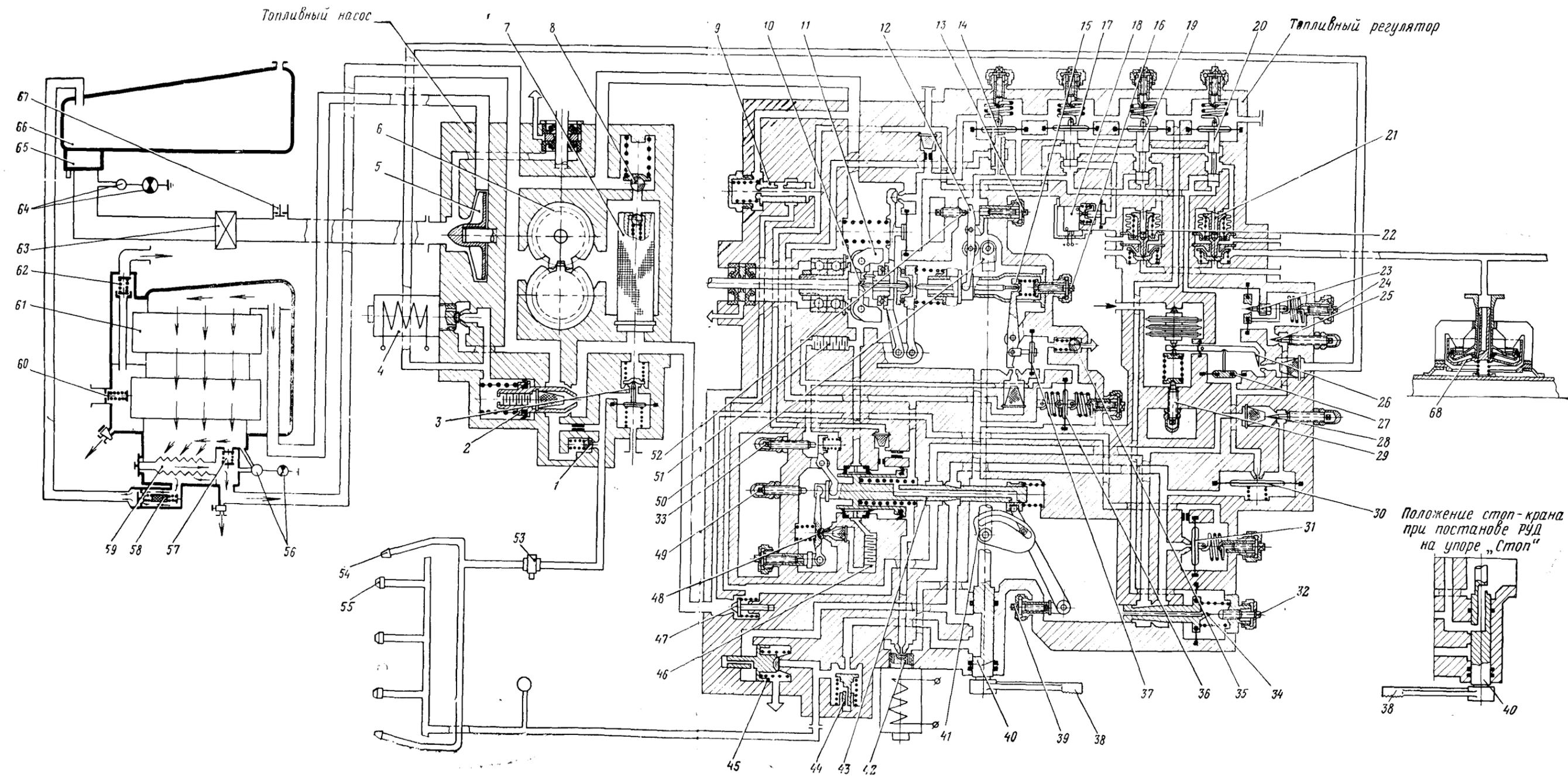
Подвеска левого бокового двигателя осуществляется шестью фланцами 4, 5, 6 и 10, 11, 12, расположенными симметрично (относительно вертикальной оси) фланцам подвески правого бокового двигателя.

Двигатель имеет четыре такелажных точки: две впереди — на фланце разделительного корпуса и две сзади — на переднем фланце силового кольца корпуса задней опоры турбины.



Фиг. 2. Продольный разрез двигателя:

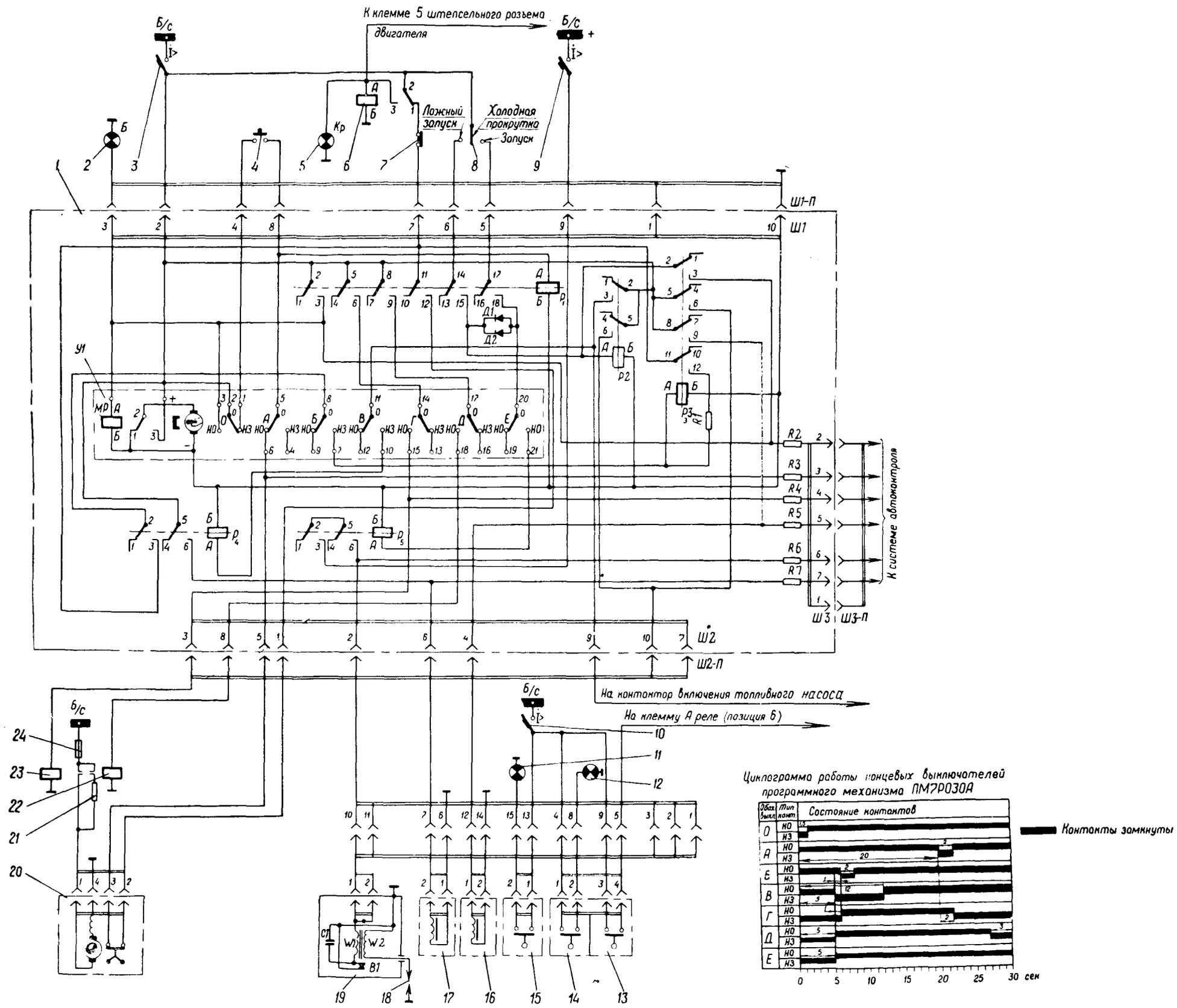
1—входной направляющий аппарат; 2—компрессор низкого давления; 3—разделительный корпус; 4—компрессор высокого давления; 5—камера сгорания; 6—турбина высокого давления; 7—турбина низкого давления; 8—корпус задней опоры; 9—реактивное сопло наружного контура; 10—реактивное сопло внутреннего контура; 11—топливный регулятор 762МА; 12—топливный насос 760Б



Фиг. 49. Схема топливной и топливно-регулирующих систем двигателя:

1—клапан ограничения давления пускового топлива; 2—клапан перепада; 3—клапан пускового топлива; 4—клапан аварийного останова; 5—подкачивающий насос; 6—основной насос высокого давления; 7—фильтр тонкой очистки; 8—клапан предельного давления; 9—клапан постоянного давления; 10—тахометр оборотного регулятора оборотов; 11—датчик физических оборотов; 12—рычаг загрузки пружины изолдатора; 13—клапан регулирования максимальных оборотов; 14—клапан ограничения предельных оборотов; 15—рычаг обратной связи; 16—регулирующий винт стабилизатора; 17—клапан отключения стартера; 18—рычаг обратной связи; 19—датчик механизма управления клапанами перепуска воздуха из-за III и V ступени КВД; 20—датчик механизма управления клапанами перепуска воздуха из-за III и V ступеней КВД; 21, 22—механизмы управления клапанами перепуска воздуха из-за III и V ступеней КВД; 23—профильный жиклер регулятора перепада; 24—регулирующий винт высотного корректора; 25—жиклер корректировки перепада; 26—рычаг регулятора перепада; 27—мембрана; 28—входной жиклер регулятора перепада; 29—винт настройки регулятора перепада; 30—мембрана регулятора перепада; 31—клапан минимального расхода; 32—регулирующий винт упора иглы автомата запуска; 33—регулирующий винт упора холостого хода; 34—автомат запус-

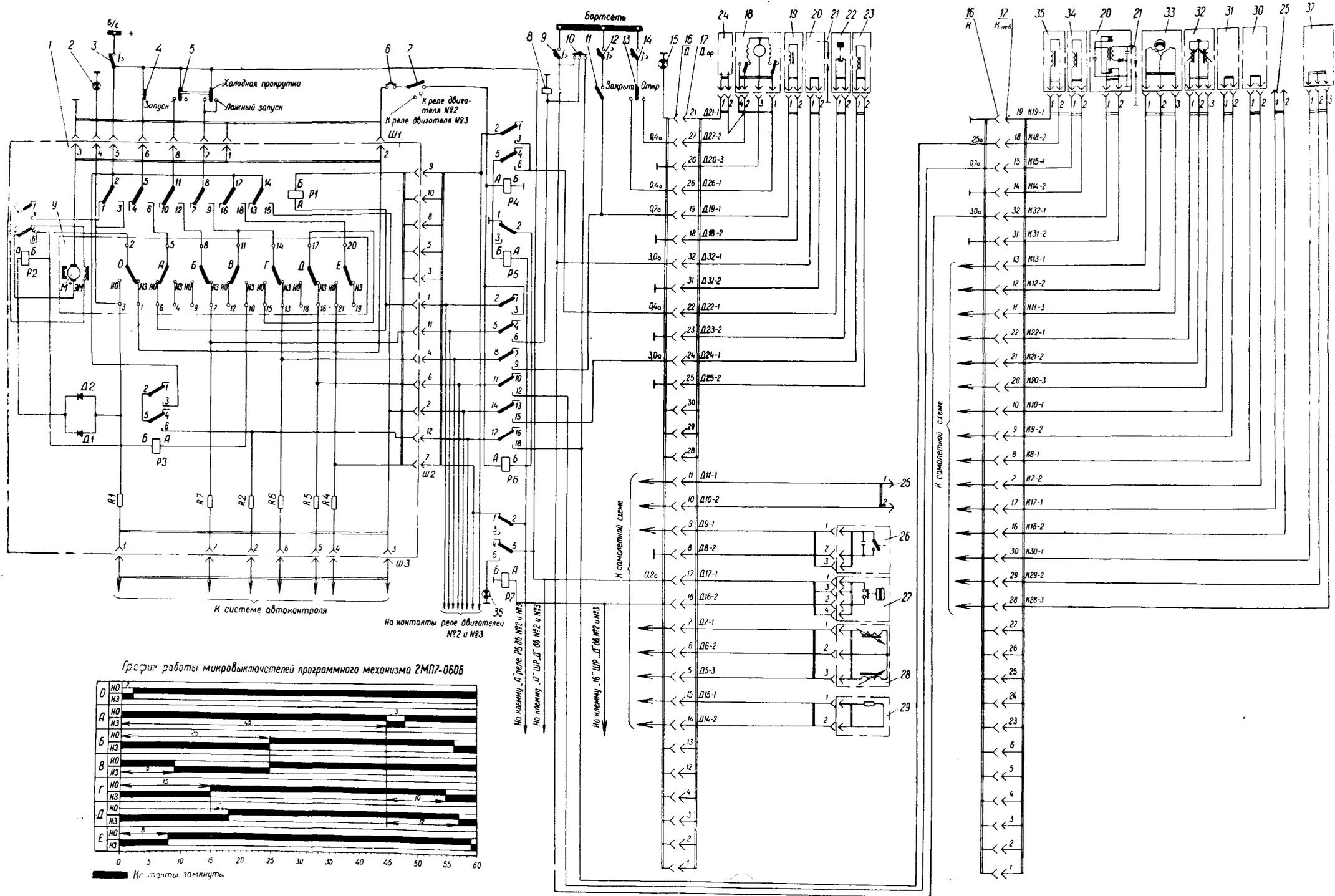
ка; 35—клапан стравливания воздуха; 36—гидроаккумулятор; 37—стабилизатор; 38—рычаг управления двигателем; 39—регулирующий винт дроссельной иглы; 40—стоп-кран; 41—кулачок перемещения втулки дозирующей иглы; 42—клапан, уменьшающий расход топлива в двигатель по сигналу ограничителя температуры; 43—дозирующая игла регулятора; 44—запорный клапан; 45—клапан слива топлива из коллектора; 46—дроссельный пакет; 47—обратный клапан; 48—клапан, обеспечивающий слив топлива через дроссельный пакет; 49—упор максимального расхода; 50—кулачок загрузки пружины центробежного регулятора; 51—дроссельный пакет; 52—регулирующий винт оборотов режима малого газа; 53—электромагнитный клапан пускового топлива; 54—пусковая форсунка; 55—рабочая форсунка; 56—сигнализатор перепада давлений на топливном фильтре; 57—перепускной клапан; 58—термоклапан; 59—топливный фильтр; 60—обратный клапан; 61—топливно-масляный агрегат; 62—перепускной клапан; 63—пожарный кран; 64—сигнализатор работы самолета; 65—электроприводной подкачивающий топливный насос; 66—самолетный топливный бак; 67—штуцер консервации топливной системы; 68—клапан перепуска воздуха из-за V ступени КВД



Фиг. 71. Электросхема двигателя АИ-9:

1—автоматическая панель запуска двигателя АИД-9; 2—сигнальная лампа работы АИД-9; 3—автомат защиты цепей АИД-9; 4—кнопка запуска; 5—сигнальная лампа останова двигателя по n_{max} ; 6—реле останова двигателя по n_{max} ; 7—кнопка останова двигателя; 8—переключатель запуска; 9—автомат защиты цепи зажигания; 10—автомат защиты цепей сигнализатора; 11—лампа сигнализа-

ции номинального давления масла; 12—лампа сигнализации номинальных оборотов; 13—датчик предельных оборотов; 14—сигнализатор номинальных оборотов; 15—сигнализатор номинального давления масла; 16—клапан останова двигателя; 17—клапан пускового топлива; 18—свеча; 19—катушка зажигания; 20—электростартер; 21—пусковое сопротивление; 22—контактор пускового сопротивления; 23—основной контактор питания стартера; 24—инерционный предохранитель



Фиг. 54. Электрическая схема двигателя:

7—автоматическая панель запуска; 2—сигнальная лампа; 3—автомат защиты цепей питания; 4—кнопка прекращения запуска; 5—переключатель запуска; 6—кнопка «Запуск»; 7—переключатель выбора запускаемого двигателя; 8—контактор зажигания; 9—автомат защиты цепей зажигания; 10—кнопка «Запуск в воздухе»; 11—выключатель клапана останова двигателя; 12—автомат защиты цепи клапана останова; 13—переключатель; 14—автомат защиты цепей; 15—сигнальная лампа; 16—штепсельный разъем-розетка; 17—штепсельный разъем-вилка; 18—электромагнитный клапан подачи воздуха на ВНА; 19—электромагнитный клапан останова двигателя; 20—катушка зажигания; 21—свеча; 22—выключатель воздушного стартера; 23—электромагнитный клапан; 24—микровыключатель

открытого положения заслонки клапана обогрева ВНА; 25—штепсельный разъем-вилка системы сигнализации о пожаре; 26—сигнализатор минимального уровня масла; 27—сигнализатор открытого положения клапана подачи воздуха в воздушный стартер; 28—датчик давления топлива; 29—приемник температуры масла; 30—сигнализатор появления стружки; 31—сигнализатор перепада давлений на фильтре; 32—датчик давления масла; 33—датчик счетчика оборотов КВД; 34—электромагнитный клапан уменьшения расхода топлива; 35—электромагнитный клапан пускового топлива; 36—сигнальная лампа; 37—датчик счетчика оборотов КНД

ОГЛАВЛЕНИЕ

	<i>Стр.</i>
Глава I. Общие данные двигателя	3
Основные сведения о двигателе	3
Основные технические данные двигателя	8
Характеристики двигателя	12
Глава II. Компрессор	15
Компрессор низкого давления (КНД)	16
Компрессор высокого давления (КВД)	23
Глава III. Разделительный корпус	31
Глава IV. Камера сгорания	40
Глава V. Турбина	49
Турбина высокого давления (ТВД)	49
Турбина низкого давления (ТНД)	53
Корпус задней опоры и реактивное сопло	55
Глава VI. Масляная система и системы суфлирования и дренажа двигателя	59
Маслобак	59
Топливо-масляный агрегат 4717Т	62
Маслоагрегат МА-25	65
Воздухоотделитель ВО-25	68
Дистанционный стружкосигнализатор СД-25	69
Магнитная пробка МП-25	69
Работа масляной системы	69
Система суфлирования двигателя	71
Дренажная система двигателя	72
Глава VII. Топливная система двигателя	73
Топливо-регулирующие агрегаты	74
Основные технические данные топливных агрегатов	76
Принципиальная схема работы топливо-регулирующих агрегатов	79
Глава VIII. Электрооборудование двигателя	83
Электрическая система автоматики запуска	83
Работа электрической системы автоматики запуска	84
Электрические агрегаты двигателя	86
Агрегаты контроля работы двигателя	92
Глава IX. Система запуска двигателя	97
Пусковой двигатель АИ-9	99
Воздушный стартер СВ-25	111
Глава X. Противообледенительная и противопожарная системы двигателя.	
Подвеска двигателей на самолете	116
Противообледенительная система	116
Противопожарная система	119
Подвеска двигателей на самолете	120

АВТОРСКИЕ ИСПРАВЛЕНИЯ

Стр.	Строка	Напечатано	Должно быть
Оборот титула	3 сверху	Зиенко А. Н.	Зленко А. Н.
13	6 сверху	компрессорами	компрессоров
36	8 сверху	крашкой	крышкой
75	1 снизу	α _{квд}	α _{руд}

Заказ 1731/6573

Издательский редактор *Т. А. Валединая*

Техн. ред. *Т. С. Старых*

Г-83040

Подписано в печать 3/III-1971 г.

Учетно-изд. л. 11,6

Формат бумаги $70 \times 108^{1/16} = 4,7$ бум. л. — 11,38 печ. л., в т. ч. 2 вкл.

Бесплатно

Изд. зак. 6573

Московская типография № 8 Главполиграфпрома
Комитета по печати при Совете Министров СССР.
Хохловский пер., 7. Тип. зак. 1731

