

ТУРБОВАЛЬНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ
ТВ3-117ВМ
Конструкция
и техническое обслуживание

Допущено управлением персонала и учебно-научных заведений
Государственной Службы гражданской авиации
Министерства транспорта России
в качестве учебного пособия
для авиационно-технических колледжей
гражданской авиации

Рецензент: док. техн. наук проф. Б. А. Соловьев

Заведующий редакцией Н. А. Саитова

Богданов А. Д., Калинин Н. П., Кривко А. И.

Турбовальный двигатель ТВЗ-117ВМ (Конструкция и техническое обслуживание): Учебное пособие, М.: Воздушный транспорт, 2000. — 392 с.

Изложены вопросы конструкции и общие сведения о техническом обслуживании двигателя ТВЗ-117 модификации ВМ (ВМА). Даны основные технические и эксплуатационные данные двигателя, краткое описание принципа работы двигателя и его основных узлов. Подробно приводится конструкция деталей основных узлов двигателя, дается анализ характерных неисправностей и методы их предупреждения. Дано описание двигателя: масляной и топливной систем, автоматического регулирования и запуска. Особое внимание уделено рассмотрению структурных и структурно-функциональных схем систем, взаимодействию их основных элементов.

Обосновывается программа регулирования двигателя и способы ее реализации, а также принцип управления силовой установкой вертолетов Ми-8МТВ и Ка-32. Даются сведения о методах проверки и регулировки автоматических устройств топливной системы. Большое внимание уделяется вопросам конструкции, эксплуатации и особенностям технического обслуживания вспомогательной силовой установки АИ-9В и ее отличия от установки АИ-9.

Пособие предназначено для курсантов авиационно-технических колледжей ГА, училищ ВВС, может быть использовано курсантами летных колледжей, студентами ВУЗов гражданской авиации, инженерно-техническим и летным составом, эксплуатирующим вертолеты с двигателями ТВЗ-117ВМ, а также для самостоятельного изучения или углубления знаний по данному двигателю.

Гл. I, II (кроме разд. 2.4), III, IV, V, VI написаны А. Д. Богдановым, разд. 2.4 гл. II и гл. IX, X — Н. П. Калинин, гл. VII и VIII — А. И. Кривко.

Глава I

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ДВИГАТЕЛЕ

Авиационный двигатель ТВЗ-117ВМ (рис. 1.1, см. вклейку) относится к числу турбовальных газотурбинных двигателей со свободной турбиной. Он представляет собой тепловую машину, в которой происходит преобразование энергии, выделяемой при сгорании топлива, в механическую работу на выходном валу свободной турбины, кинематически не связанной с турбиной компрессора. Являясь основным источником энергии, он служит для привода несущих (несущего и рулевого) винтов и агрегатов различных систем вертолета. По своим техническим данным и эксплуатационным качествам двигатель отвечает современным требованиям, предъявляемым к вертолетным газотурбинным двигателям (ГТД) данного класса. Двигатель имеет двенадцать модификаций.

В настоящее время промышленность выпускает для гражданской авиации двигатели ТВЗ-117 только двух модификаций ВМ и ВМА, которые устанавливаются на все отечественные типы вертолетов соответствующего класса. Поэтому в данном учебном пособии за основу принята модификация ВМ, а в главе XI даны конструктивные отличия двигателя модификации ВМА.

Силовая установка современного вертолета включает: два взаимозаменяемых (при условии разворота выхлопного патрубка) двигателя; системы и устройства, обеспечивающие нормальную работу двигателей или участвующие в преобразовании механической энергии на валах свободных турбин в силу тяги несущих винтов (НВ), необходимую для выполнения полета.

Наличие на вертолете двух двигателей повышает безопасность полетов, так как при отказе одного из них второй обеспечивает безопасное продолжение полета. Конструктивной особенностью двигателей ТВЗ-117 всех модификаций является наличие свободной турбины, кинематически не связанной с ротором турбокомпрессора. Мощность, развиваемая свободной турбиной, передается через редуктор на несущие (несущий и рулевой) винты вертолета и составляет эффективную мощность двигателя. Эта особенность имеет ряд конструктивных и эксплуатационных преимуществ;

позволяет получать желаемую частоту вращения ротора свободной турбины (СТ), независимо от частоты вращения ротора турбокомпрессора (ТК) двигателя;

облегчает раскрутку ротора ТК при запуске двигателя;

существенно улучшает эксплуатационные характеристики вертолета при отказе одного двигателя;

исключает необходимость наличия муфты сцепления в силовой установке вертолета.

Двигатели могут эксплуатироваться как с установленными пылезащитными устройствами (ПЗУ), так и без них.

1.1. КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОСНОВНЫХ УЗЛОВ И СИСТЕМ ДВИГАТЕЛЯ

Для двигателя ТВ3-117 принята двухвальная схема вертолетного ГТД со свободной турбиной, у которого входное устройство и редуктор относятся к числу устройств планера и в конструктивную схему двигателя не включается.

Основными узлами двигателя (рис. 1.2, см. вкл.) являются: компрессор — 1; камера сгорания — 2; газовые турбины — 3, 4; выходное устройство — 5.

Компрессор — осевой, двенадцатиступенчатый, высоконапорный, с поворотными лопатками входного направляющего аппарата (ВНА) и направляющих аппаратов (НА) первых четырех ступеней, с двумя клапанами перепуска воздуха из-за VII ступени компрессора.

Поворот лопаток осуществляется автоматически гидромеханизмом топливного насоса-регулятора и нижним гидромеханизмом с концевым выключателем, в зависимости от приведенной частоты вращения ротора ТК. Поворот лопаток улучшает запуск двигателя и обеспечивает высокий КПД и запас газодинамической устойчивости компрессора в широком диапазоне режимов работы двигателя.

Устойчивость работы компрессора в процессе запуска и работы на пониженных режимах обеспечивается также клапанами перепуска воздуха.

Детали корпуса первой опоры и лопатки ВНА при включении противообледенительной системы обогреваются горячим воздухом, отбираемым из камеры сгорания.

Камера сгорания — кольцевая, с двенадцатью головками. Внутри камеры сгорания смонтирован топливный коллектор с 12 топливными форсунками.

Узел газовых турбин состоит из двух кинематически не связанных между собой турбин: турбины компрессора (ТК) и свободной турбины (СТ).

Турбина компрессора — осевая, двухступенчатая, реактивная. Ротор при помощи специального узла соединяется с ротором компрессора.

Свободная турбина — также осевая, двухступенчатая, реактивная. Вращающий момент СТ через редуктор главного привода передается к главному редуктору вертолета.

Для обеих газовых турбин предусмотрена система охлаждения сопловых лопаток, дисков рабочих колес, хвостовиков рабочих лопаток и других элементов турбин. Для охлаждения используется воздух, подводимый из-за VII и XII ступеней компрессора.

Выходное устройство — нерегулируемое, расширяющееся. Оно обеспечивает снижение скорости газового потока и отвод отработавших горячих газов под углом 25° от оси двигателя за пределы силовой установки вертолета.

Система приводов (рис. 5.1, см. далее в гл. 5) двигателя обеспечивает передачу вращающего момента: от ротора ТК через центральный привод к маслоагрегату и к коробке приводов, на которой размещены топливный насос-регулятор и ряд других агрегатов, обеспечивающих нормальную работу двигателя; от ротора СТ через редукторы и гибкие валики к регулятору частоты вращения ротора СТ, а через редуктор главного привода к главному редуктору вертолета.

Жизнестойкость двигателя на земле и в полете обеспечивают его системы.

Масляная система выполнена по открытой, замкнутой схеме с принудительной циркуляцией масла под давлением. Подача масла из маслобака на смазку и охлаждение трущихся поверхностей деталей осуществляется нагнетающим насосом маслоагрегата. Откачка отработавшего масла производится откачивающими насосами маслоагрегата частично через маслорадиатор и частично непосредственно в маслобак вертолета.

Суфлирование масляных полостей опор двигателя осуществляется через маслососы откачки в маслобак, который суфлируется с проточной частью корпуса диффузора выходного устройства.

Топливная система и система автоматического регулирования обеспечивают подачу топлива в камеру сгорания двигателя в строгом соответствии с заданным режимом двигателя, условиями полета и принятой программой регулирования. При этом на всех режимах работы обеспечивается синхронизация мощностей двигателей, а на основных рабочих режимах — постоянство частоты вращения ротора СТ ($n_{СТ} = \text{const}$). В системе предусмотрены автоматические ограничители максимальной температуры газов перед ТК и максимальных частот вращения роторов ТК и СТ, которые защищают элементы двигателя от тепловых и механических перегрузок. Топливорегулирующая аппаратура осуществляет и управление элементами механизации компрессора.

Пусковая система — автономная, автоматическая, воздушная. Раскрутка ротора ТК в процессе запуска осуществляется воздушным турбостартером СВ-78БА, установленным на коробке приводов двигателя. В качестве источника сжатого воздуха для раскрутки воздушного турбостартера используется бортовая вспомогательная силовая установка — газотурбинный двигатель АИ-9В или АИ-9 для двигателя ТВ3-117 вертолетов соосной схемы.

Программа запуска обеспечивается автоматической панелью запуска АПД-78А, установленной на вертолете, и топливотрегулирующей аппаратурой двигателя

Противообледенительная система двигателя обеспечивает обогрев элементов входного устройства и лопаток ВНА горячим воздухом, отбираемым из камеры сгорания двигателя. Противообледенительная система может включаться вручную пилотом или автоматически по сигналу от электронного датчика РИО-3М.

Контроль за работой двигателя и его систем осуществляется путем измерения:

- частоты вращения ротора ТК;
- частоты вращения несущих винтов или несущего винта;
- температуры газов перед ТК;
- давления масла в нагнетающей магистрали двигателя;
- температуры масла на выходе из двигателя;
- режимов работы двигателя.

На двигателе устанавливаются только датчики, преобразующие его параметры в электрические сигналы. Все остальное оборудование: приборы, индикаторы, сигнальные лампы, табло, преобразователи — размещено в фюзеляже и кабине вертолета.

Параметры работы двигателя и его систем на вертолете контролируются:

- приборами, позволяющими оценить величины параметров, характеризующих режим работы и состояние двигателя и его систем;
- сигнальными устройствами, извещающими о нормальной работе двигателя и его систем или о нарушении нормальной работы (табл. 1.1).

Таблица 1.1

Перечень сигналов контроля работы двигателя и его систем

Предупредительный сигнал (светосигнальное табло или сигнальная лампа)	Датчик, аппаратура	Контролируемый параметр	Величина параметра, при которой срабатывает сигнализация
1. «ОТКЛЮЧЕНИЕ ЭРД ЛЕВ. (ПРАВ.) ДВИГ.»	ЭРД-ЗВМ	Работа ЭРД	Запуск двигателя при $n_{ст} \leq 60\%$. Отказ ЭРД
2. «РТ (ЭРД) ЛЕВ. (ПРАВ.) РАБОТАЕТ.»	РТ-12-6 ЭРД-ЗВМ	Температура газов перед ТК Частота вращения ротора ТК	975...990°C Согласно графику «Аэрд», приложенному к формуляру двигателя
3. «СТРУЖКА ЛЕВ. (ПРАВ.) ДВИГ.»	СС-78	Наличие стружки в маслосистеме двигателя	Появление стружки

4. «ПРЕВЫШЕНИЕ $n_{\text{ст}}$ ЛЕВ. (ПРАВ.) ДВИГ.»	ДТА-10 ЭРД-ЗВМ	Предельная частота вращения $n_{\text{ст}}$	$118 \pm 2\%$
5. «ЗАСОРЕН ФИЛЬТР ЛЕВ. (ПРАВ.) ДВИГ.»	СП-0, 4Э	Перепад давлений на топливном фильтре	$0,4 \pm 0,08$ кгс/см ²
6. «ВИБРАЦИЯ ОПАСНАЯ ЛЕВ. (ПРАВ.) ДВИГ.»	ИБ-500Е	Скорость вибрации корпуса двигателя	60 мм/с
7. «ВИБРАЦИЯ ПОВЫШЕННАЯ ЛЕВ. (ПРАВ.) ДВИГ.»	ИБ-500Е	Скорость вибрации корпуса двигателя	45 мм/с
8. «ЧР ЛЕВ. (ПРАВ.) ДВИГ.»	ЭРД-ЗВМ	Включение режима «ЧР»	На $1 + 0,2\%$ выше настройки взлетного режима
9. «ПОС. ПЗУ ЛЕВ. (ПРАВ.) ДВИГ.»	Заслонка 1919Т	Включение ПОС ПЗУ и двигателя	Полностью открытое положение
10. «МАЛО p МАС-ЛА ЛЕВ. (ПРАВ.) ДВИГ.»	МСТВ-2,5	Давление масла в двигателе	$p_{\text{м}} \leq 2,5$ кгс/см ²

Примечание. В зависимости от типа вертолета текст предупредительного сигнала может отличаться от приведенных текстов в табл. 1.1.

Управление двигателями осуществляется из кабины пилотов: рычагом стоп-крана, предназначенным для подачи топлива к топливным форсункам двигателя при запуске и прекращения подачи топлива при останове двигателя;

рычагом объединенного управления (рычагом «Шаг-газ» с рукояткой коррекции), предназначенным для совместного управления общим шагом несущих винтов (винта) вертолета и режимами работы двигателей от режима «АВТОМАТИКА» (полная правая коррекция) до чрезвычайного режима (ЧР);

рычагами отдельного управления двигателями;

электромагнитными кранами управления открытием — закрытием пожарных кранов вертолета, обеспечивающими подачу топлива от насосов расходного бака вертолета к подкачивающему топливному насосу двигателя.

1.2. ПРИНЦИП РАБОТЫ ДВИГАТЕЛЯ

Двигатель ТВ3-117 представляет собой тепловую машину, в которой располагаемая тепловая энергия, полученная при сгорании топлива, преобразуется в механическую работу на валах роторов турбин, имеющих только газодинамическую связь. Примерно 2/3

этой работы приходится на долю турбины компрессора, которая приводит в действие ротор компрессора и ряд агрегатов, и $1/3$ — на долю свободной турбины, обеспечивающей привод несущих (несущего и рулевого) винтов и агрегатов. Превращение тепловой энергии в механическую работу происходит в результате осуществления процессов сжатия — расширения рабочего тела (воздуха и газа) при его движении по газовоздушному тракту двигателя. Рассмотрим принцип работы турбовального ГТД путем анализа изменений параметров рабочего тела (газа) по тракту двигателя при его работе на взлетном режиме на стенде (рис. 1.3).

Условимся, что основные элементы двигателя ограничены следующими сечениями:

входное устройство	О-О и В-В
компрессор	В-В и К-К
камера сгорания	К-К и Г-Г
турбина компрессора	Г-Г и ТК-ТК
свободная турбина	ТК-ТК и СТ-СТ
выходное устройство	СТ-СТ и ВУ-ВУ

При этом в каждом сечении, которым ограничены элементы двигателя (см. ранее), будут приводиться усредненные по данному сечению значения параметров рабочего тела.

За начальное состояние принимаются параметры рабочего тела в невозмущенном потоке, где они соответствуют стандартным атмосферным условиям: $p_0 = 0,103$ МПа ($1,033$ кгс/см²), $t_0 = 15^\circ\text{C}$ и осевая скорость $c_0 = 0$. При работе двигателя воздух из окружающей среды всасывается во входное устройство двигателя, которое выполнено в виде сужающегося канала (конфузора). Такая форма входного устройства способствует выравниванию поля скоростей и давлений на входе в компрессор. Учитывая малую длину канала в корпусе передней опора компрессора, а также переход от статических значений параметров к значениям в заторможенном потоке, давление и температура воздуха во входном устройстве (в сечении В-В) практически не изменяются, т. е. они будут составлять: $p_* = 0,103$ МПа ($1,033$ кгс/см²), $t_* = 15^\circ\text{C}$. При этом разгон потока будет происходить в основном вне входного устройства, и частично во входном устройстве. Осевая скорость воздуха на входе в компрессор достигает $c_* \approx 150$ м/с. Величина осевой скорости выбрана из условия обеспечения требуемого массового секундного расхода воздуха через двигатель.

С точки зрения энергетических преобразований компрессор представляет собой лопаточную машину, в которой внешняя механическая энергия, подводимая от турбины компрессора, затрачивается на сжатие воздуха и его осевое перемещение. Сжатие воздуха сопровождается ростом его давления и температуры, и на выходе из компрессора (в сечении К-К) они будут соответственно равны: $p_K \approx 0,976$ МПа ($9,76$ кгс/см²) и $t_K \approx 337^\circ\text{C}$. Проточную часть компрессора профилируют так, чтобы на выходе из него осевая скорость уменьшилась до $c_K \approx 110$ м/с. Это позволяет увеличить длину лопаток последних ступеней компрессора (по

сравнению со случаем, когда $c_b = c_k$) с целью радиальных перетеканий воздуха, а значит, повышения КПД компрессора, а также способствует организации устойчивого сгорания топливовоздушной смеси в камере сгорания.

Из компрессора сжатый воздух поступает в диффузор камеры сгорания, где происходит дальнейшее снижение его осевой скорости до 60—70 м/с. На входе в жаровую трубу воздушный поток разделяется на два потока. Часть воздуха (~20% общего расхода воздуха) через двенадцать завихрителей и отверстия в головках жаровой трубы поступает в начальную часть зоны горения. Сюда же через двенадцать основных топливных форсунок поступает топливо в тщательно распыленном виде. Здесь при коэффициенте избытка воздуха $\alpha = 1,05 + 1,10$ происходит сгорание топливовоздушной смеси. Температура в зоне горения достигает 2177 — 2377°C. Такие высокие температуры не способны выдержать существующие жаростойкие и жаропрочные материалы, из которых выполняются жаровые трубы. Поэтому появилась необходимость в локализации зоны горения, т. е. в изоляции ее от стенок жаровой трубы. Для охлаждения элементов жаровой трубы используется ~30% общего расхода воздуха. Оставшаяся часть (~50%) воздуха через отверстия в жаровой трубе поступает в зону смешения. Здесь воздух, смешиваясь с горячими газами, понижает их температуру до значения $t_r^* = 920^\circ\text{C}$, допускаемого из условия жаропрочности лопаток турбины. Кроме того этот воздух, размывая горячие слои газа, выравнивает температурное поле перед сопловыми лопатками турбины. В целях лучшего использования тепла желательно, чтобы процесс горения происходил при неизменном давлении. Однако за счет гидравлических сопротивлений, связанных с трением о стенки, перетеканием газа через завихрители и отверстия жаровой трубы и т. д., давление газа перед турбиной уменьшается до $p_r^* \approx 0,925$ МПа ($\approx 9,2$ кгс/см²). Осевая скорость вследствие увеличения объема газа и сужения проточной части возрастает до $c_r \approx 160$ м/с.

На выходе из камеры сгорания газовый поток, обладая огромным значением энтальпии газового потока, приобретенной за счет сжатия воздуха в компрессоре и подвода тепла в камере сгорания, направляется к турбине компрессора.

Газовая турбина представляет собой лопаточную машину, в которой в процессе расширения сжатого и нагретого газа преобразуется в механическую работу на ее валу. В сопловых аппаратах (СА) турбины происходит преобразование части энтальпии газового потока в его кинетическую энергию. Таким образом в СА давление и температура газа уменьшаются, а скорость растет. В рабочих колесах (РК) турбины кинетическая энергия газового потока, полученная в сопловых аппаратах, и часть энтальпии преобразуются в механическую энергию на валу турбины. При этом давление, температура и скорость газа в абсолютном дви-

* Энтальпией газового потока называется суммарный запас потенциальной энергии сжатого газа и его внутренней энергии.

жении снижаются. При работе двигателя на взлетном режиме турбина компрессора развивает мощность $N_{\text{тк}} = 3080$ кВт (4190 л. с.), которая потребляется компрессором и агрегатами, получающими привод от ротора турбокомпрессора. Параметры газа на выходе из турбины компрессора (в сечении ТК-ТК) составляют $p_{\text{тк}}^* = 0,25$ МПа ($\sim 2,5$ кгс/см²) и $t_{\text{тк}}^* \approx 627^\circ\text{C}$.

В свободной турбине происходят те же преобразования, что и в турбине компрессора. Мощность, развиваемая свободной турбиной, составляет $N_e = 1618$ кВт (2200 л. с.) и расходуется на привод несущих (несущего и рулевого) винтов, а также агрегатов, получающих привод от ротора свободной турбины и от главного редуктора.

На выходе из свободной турбины (в сечении СТ-СТ) газы обладают давлением $p_{\text{ст}}^* \approx 0,098$ МПа (0,98 кгс/см²), температурой $t_{\text{ст}}^* \approx 437^\circ\text{C}$, осевой скоростью $c_{\text{ст}} = 154$ м/с.

Выходное устройство двигателя выполнено диффузорным, нерегулируемым, охлаждаемым с отводом газового потока под углом 25° к оси двигателя. В выходном устройстве происходит торможение потока газа, в результате чего статическое давление возрастает до атмосферного, а абсолютная скорость снижается до 50 м/с.

Таким образом, выходящие из двигателя газы, обладающие некоторым запасом тепловой энергии, практически не создают реактивную тягу. Это одна из специфических особенностей вертолетного ГТД с поворотом потока в выходном устройстве.

1.3. ПОНЯТИЕ О РЕЖИМАХ РАБОТЫ

Режим работы газотурбинного двигателя — вполне определенное состояние работающего двигателя, характеризующее совокупностью конкретных значений мощности, а также параметров при принятом законе регулирования, определяющих происходящие в нем процессы, тепловую и динамическую напряженность его деталей.

Режимы работы ГТД могут быть установившимися и неуставившимися. Установившимся режимом работы ГТД является режим работы, при котором его параметры не изменяются во времени, и неуставившимся — режим, параметры которого во времени изменяются. Существующим государственным стандартом для газотурбинных авиационных двигателей в зависимости от их типов определено более 15 режимов работы: чрезвычайный, максимальный (взлетный), максимальный продолжительный (номинальный), крейсерские, земного малого газа и т. д.

Сравнительная оценка эксплуатационных однотипных ГТД, как правило, производится по значениям сочетаний основных параметров конкретных режимов работы в стандартных стендовых условиях ($t_0^* = 15^\circ\text{C}$, $p_0^* = 0,103$ МПа), при которых эффективная мощность и удельный эффективный расход топлива будут оптимальными.

Для двигателя ТВ3-117ВМ основными режимами работы являются: чрезвычайный, максимальный (взлетный), максимальный продолжительный (номинальный), крейсерские, земного малого газа.

Чрезвычайный — установившийся режим работы, характеризующийся максимально допустимой мощностью, развиваемой двигателем. Этот режим используется в течение ограниченного времени и только в случае отказа одного из двигателей. На чрезвычайном режиме гарантируется надежная, непрерывная, но кратковременная (ограниченная до 6 мин) работа двигателя. Ограничивается также и общая наработка за ресурс (1%). В критической ситуации допускается время непрерывной работы на данном режиме от 6 до 15 мин. Общая наработка в подобных случаях должна быть 0,25%, что входит в 1% допустимого времени работы на чрезвычайном режиме. В особых случаях один раз за ресурс допускается использование этого режима в течение 15...60 мин, после чего двигатель подлежит замене. Ограничения использования двигателя по времени работы на данном режиме обусловлены значительными по величине механическими и температурными нагрузками на элементы конструкций двигателя.

Максимальный (взлетный) — установившийся режим работы на земле при взлете летательного аппарата, характеризуемый максимальной мощностью в течение ограниченного времени.

На этом режиме гарантируется надежная, непрерывная, обычно не более 6 мин, работа двигателя. Общая наработка за ресурс на данном режиме не должна превышать 12 %. Если взлетный режим использовался непрерывно в течение 6...15 мин, то общая наработка за ресурс должна составлять до 3 %, что входит в 12 % наработки за ресурс на взлетном режиме. Ограничения использования взлетного режима по времени также обусловлены довольно высокими механическими и температурными нагрузками на детали двигателя.

Максимальный продолжительный (номинальный) режим — установившийся режим работы, характеризуемый пониженными по сравнению с максимальными значениями частоты вращения роторов и температуры газа перед турбиной, при которых двигатель может работать с ограниченной по времени общей наработкой. На этом режиме гарантируется надежная, непрерывная работа двигателя не менее 60 мин. Общая наработка допускается до 33 % за ресурс. Указанный режим используется для осуществления взлета и висения вертолета в нормальных условиях.

Крейсерский режим — установившийся режим работы, характеризуемый пониженными по сравнению с номинальными значениями частоты вращения ротора и температуры газов перед турбиной, при которых двигатель может работать в течение неограниченного времени за ресурс. Данный режим предназначен для осуществления различного рода полетов (горизонтального, набора высоты, снижения и т. д.) и широко используется в процессе летной эксплуатации.

Режим земного малого газа — установившийся режим работы на земле при минимальных частоте вращения роторов и мощности, при которых обеспечивается устойчивая работа и заданная приемистость двигателя. Время непрерывной работы на режиме земного малого газа для двигателя ТВЗ-117ВМ ограничено до 20 мин, так как при сравнительно высокой температуре газов охлаждение деталей турбин недостаточно эффективно.

Основными параметрами, характеризующими состояние работающего двигателя, в соответствии с принятыми законами регулирования, для ТВЗ-117ВМ принято считать: эффективную мощность двигателя N_e , часовой или удельный эффективный расход топлива C_e , температуру газа перед турбиной компрессора $t_{г*}$, частоту вращения ротора турбокомпрессора $n_{тк}$ и несущего винта $n_{нв}$.

Сочетание этих параметров для конкретных режимов приведено далее.

1.4. ОСНОВНЫЕ ДАННЫЕ ДВИГАТЕЛЯ

А. Технические

1. Условное обозначение	ТВЗ-117ВМ
2. Тип двигателя	турбовальный ГТД со свободной турбиной
3. Направление вращения роторов ТК и СТ	левое (см. по полету)
4. Компрессор	дозвуковой, осевой, двенадцатиступенчатый
5. Мощность, потребляемая компрессором при работе двигателя на максимальном земном режиме, кВт (л. с.)	3080 (4190)
6. Способы регулирования компрессора	перепуском воздуха из-за VII ступени в атмосферу и поворотом лопаток ВНА и НА первых четырех ступеней
7. Степень повышения давления воздуха в компрессоре	9,45
8. Секундный расход воздуха, кгс/с	8,85
9. Камера сгорания.	прямоточная, кольцевая с двенадцатью рабочими форсунками
10. Коэффициент сохранения полного давления $\sigma_{гс}$	0,948
11. Коэффициент полноты сгорания $\eta_{г}$	0,98

12. Суммарный коэффициент избытка воздуха $\alpha_{кс}$	4,26
13. Турбина компрессора	осевая, двухступенчатая, реактивная
14. Степень понижения давления газа в ТК	3,64
15. Максимальная мощность ТК, кВт (л. с.)	3080 (4188)
16. Свободная турбина.	осевая, двухступенчатая, реактивная
17. Степень понижения давления газа в СТ.	2,4
18. Максимальная мощность СТ, кВт (л. с.)	1618 (2200)
19. Выходное устройство.	диффузорное, нерегулируемое с отводом отработавших газов под углом 25° к оси двигателя
20. Сухая масса двигателя без топливного фильтра низкого давления с трубопроводами коллектора термопар и датчиков, кг	285 + 5,7
21. Габаритные размеры двигателя, мм:	
длина с агрегатами и выходным патрубком	2055
ширина	650
высота	728

В. Эксплуатационные данные

1. Режим работы и значения основных параметров двигателя ТВЗ-117ВМ (на земле при САУ) приведены в табл. 1.2..

2. Работоспособность двигателя обеспечивается при:

температуре воздуха на входе, °С	от минус 60 до 60
скорости полета, км/ч	от 0 до 350
высоте полета, м	от 0 до 6000

3. Частота вращения ротора ТК в зависимости от температуры воздуха в окружающей среде должна соответствовать данным графика.

рис. 1.4

4. Максимально допустимая частота вращения ротора ТК на всех скоростях и высотах полета, %:

на чрезвычайном режиме	101,15
на максимальном (взлетном) режиме.	101,15
на максимально продолжительном (номинальном режиме). . . .	99,0
на I крейсерском режиме.	97,5
на II крейсерском режиме.	95,5
5. Кратковременное (до 20 с) повышение частоты вращения НВ в полете, %:	
на режимах выше II крейсерского	не более 101
на режимах ниже II крейсерского.	не более 103
6. Максимально допустимый заброс частоты вращения НВ (но не более 20 с и не более двух раз за межремонтный ресурс) на всех режимах, %	108
7. Кратковременное (до 30 с) понижение частоты вращения НВ на переменных режимах в полете, % . . .	не ниже 88
8. Разница частот вращения роторов ТК при совместной работе двигателей, %:	
на максимально продолжительном (номинальном) и I крейсерском режимах	не более 2
при срабатывании регулятора температуры газов.	не более 3
на переходных режимах.	не регламентируется
9. Максимально допустимая замеренная температура газов перед ТК на всех скоростях и высотах полета, °С:	
на чрезвычайном и максимальном (взлетном) режимах	990
на максимально продолжительном (номинальном) режиме	955
на I крейсерском режиме	910
на II крейсерском режиме . . .	870
10. Время приемистости при перемещении рычага управления двигателя за 1—2 с от режима малого газа до максимального (взлетного) режима, с	не более 9
11. Время вращения ротора ТК с момента прекращения подачи топлива в двигатель (выбег ротора), с	не менее 50
12. Допустимое время непрерывной работы двигателя, мин:	
на чрезвычайном режиме.	до 6

на максимальном (взлетном) режиме	до 6
на максимально продолжительном (номинальном) режиме . . .	60
на режиме малого газа	20
13. Минимальное время между повторными выходами на максимальный и максимальный продолжительный режимы после отработки допустимого времени непрерывной работы, мин	5
14. Ресурс двигателя.	в соответствии с записями в формуляре двигателя
15. Допустимое время работы двигателя за ресурс, %:	
на чрезвычайном режиме	1
на максимальном (взлетном) режиме	12
на максимально продолжительном (номинальном) режиме . . .	33
на остальных режимах	не ограничено
16. Применяемые масла	синтетические, полиэфирные: Б-3В по ТУ 38.101295-75 или ЛЗ-240 по ТУ 38.4015-89-86
17. Максимально допустимый уровень масла (по маслосмерному стеклу), л	11
18. Минимально допустимый уровень масла:	
перед работой, л	8
19. Давление масла, МПа (кгс/см ²):	
на режиме малого газа	не менее 0,2 МПа (2)
на рабочих режимах, включая чрезвычайный	0,35±0,05 (3,5±0,5)
20. Температура масла на выходе из двигателя, °С:	
максимальная	150
минимальная для выхода на режим выше малого газа	30
минимальная для длительной работы на режимах от II крейсерского и выше	70
21. Часовой расход масла, л/ч . . .	не более 0,3

22. Применяемые топлива	керосин Т-1, ТС-1 по ГОСТ 10227-62, РТ по ГОСТ 16564 – 71 с присадкой 0,003% ионола. Разрешается смешивание топлив в любых пропорциях
23. Давление топлива в системе низкого давления, МПа (кгс/см ²)	0,04...0,12 (0,4...1,2)
24. Давление топлива в первом контуре рабочих форсунок, МПа (кгс/см ²)	до 6,0 (60)
25. Часовой расход топлива на оба двигателя.	устанавливается приказами вышестоящих органов в зависимости от типа вертолета и вида полета
26. Запуск двигателя обеспечивается в диапазоне температур наружного воздуха, °С:	
при $H = 0$ м	от минус 60 до 60
при $H = 4000$ м	от минус 60 до 30

Примечание. При температуре масла на выходе из двигателя ниже минус 40°С запуск производится только после предварительного подогрева.

27. Время выхода двигателя на режим малого газа с момента нажатия на кнопку "Запуск", с	не более 60
28. Максимальная замеренная температура газов перед ТК при запуске, °С	не выше 780, определяется по графику
29. Количество запусков, следующих один за другим	не более 5, после чего перерыв в течение не менее 15 мин

Основные параметры двигателя ТВЗ-117ВМ
(без отбора воздуха на нужды вертолета и ПОС двигателя)

Основные параметры	Мощность на выходном па- лу, кВт/л. с.	Частота вращения, %	Температура газов перед ТК по прибо- ру, °С, не выше	Удельный расход топлива кг / (кгВт·ч) (з.с.ч) не более
	без ПЗУ	с ПЗУ	без ПЗУ	с ПЗУ
1. Чрезвычай- ный	$\frac{1618}{2200}$	$\frac{1544}{2100}$	920	$\frac{0,313}{(0,230)}$
2. Взлетный	$\frac{1470}{2000}$	$\frac{1397}{1900}$	890	$\frac{0,321}{(0,236)}$
3. Номиналь- ный	$\frac{1250}{1700}$	$\frac{1250}{1700}$	845	$\frac{0,337}{(0,248)}$
4. I крейсер- ский	$\frac{1103}{1500}$	$\frac{1103}{1500}$	815	$\frac{0,351}{(0,258)}$
5. II крейсер- ский	$\frac{882}{1200}$	$\frac{882}{1200}$	770	$\frac{0,378}{(0,278)}$
6. Малый газ	$\frac{147}{116 \text{ более } 200}$		780	$\frac{1,115}{(0,82)}$

Примечания: 1. Частота 100% по указателю лтк соответствует лтк = 19537,5 об/мин.

2. Частота 95,4% по указателю лнв соответствует лст = 15000 об/мин или 100% лст.

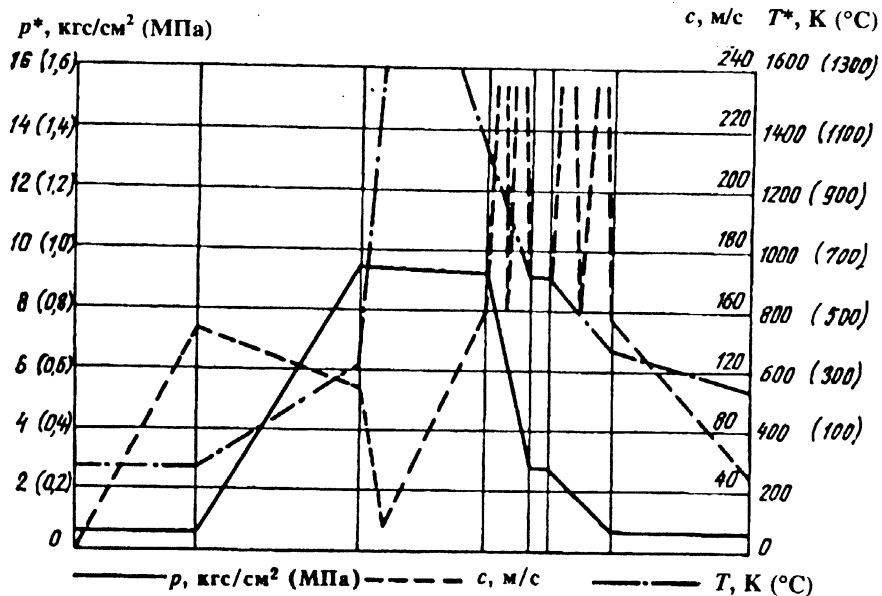
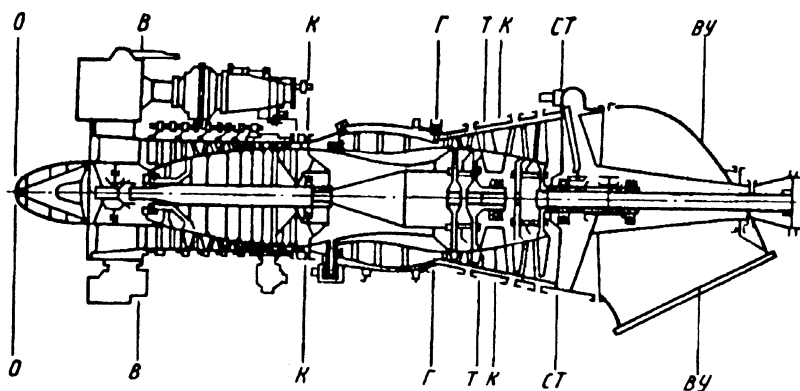


Рис. 1.3. Изменение параметров газа по тракту двигателя

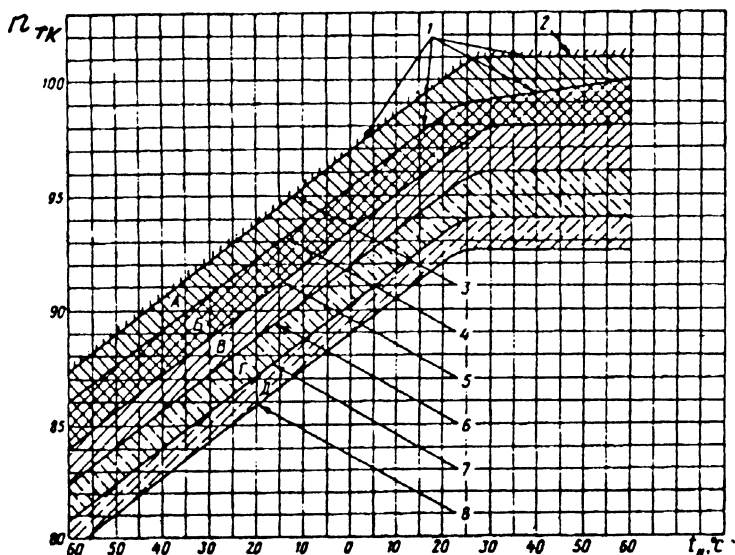


Рис. 1.4. График зависимости n_{TK} от температуры воздуха на входе в двигатель (при $H=0$, $V=0$, $p_n=760$ мм рт. ст.):

- 1 — максимально допустимая n_{TK} при $p_n < 760$ мм рт. ст.; 2 — автоматическое ограничение n_{TK} с коррекцией по $t_{н, в}$ на входе в двигатель при $p_n=760$ мм рт. ст.; 3 — автоматическое ограничение максимальной n_{TK} ; 4 — максимально допустимая n_{TK} чрезвычайного режима; 5 — максимально допустимая n_{TK} взлетного режима; 6 — максимально допустимая n_{TK} номинального режима; 7 — максимально допустимая n_{TK} I крейсерского режима; 8 — максимально допустимая n_{TK} II крейсерского режима; 9 — минимальная n_{TK} II крейсерского режима; А — зона чрезвычайного режима; Б — зона взлетного режима; В — зона номинального режима; Г — зона I крейсерского режима; Д — зона II крейсерского режима

Глава II

КОМПРЕССОР

Компрессором называется лопаточная машина, в которой механическая энергия, подводимая от газовой турбины, идет на повышение полного давления воздушного потока.

Компрессор является одним из основных элементов газотурбинного двигателя, во многом определяющим его мощность, экономичность, габариты, массу и ряд других конструктивных показателей и особенностей двигателя. Он обеспечивает сжатие поступающего из атмосферы воздуха и подачу его в камеру сгорания. Сжатый и подогретый в процессе сжатия воздух способствует быстрому сгоранию большого количества топлива в относительно малом объеме камеры сгорания с высоким коэффициентом полезного действия. Применение высоконапорного компрессора позволяет уменьшить габариты камеры сгорания и двигателя в целом, при заданной величине мощности двигателя, а также существенно повысить его экономичность.

Основными элементами осевого компрессора являются ротор и статор. Ротор представляет собой вращающийся барабан, на котором в несколько рядов закреплены рабочие лопатки. Статор представляет собой корпус с несколькими рядами неподвижных лопаток. Один ряд лопаток ротора образует рабочее колесо (РК), а один ряд неподвижных лопаток статора — направляющий аппарат (НА). Совокупность РК и следующего за ним НА называется ступенью осевого компрессора.

Ряд неподвижно установленных лопаток, расположенных перед первым рабочим колесом, называется входным направляющим аппаратом (ВНА), который является неотъемлемой частью первой ступени. Все ступени осевого компрессора работают аналогично, поэтому, для объяснения принципа работы компрессора в целом достаточно рассмотреть принцип работы одной его ступени.

2.1. ПРИНЦИП РАБОТЫ СТУПЕНИ ОСЕВОГО КОМПРЕССОРА

Рассмотрим случай, когда входное устройство обеспечивает осевой вход воздуха на РК. Рассечем лопатки ступени цилиндрической поверхностью, соосной компрессору, и полученное сечение развернем на плоскость чертежа (рис. 2.1). При вращении ротора, в результате активного воздействия лопаток на частицы воздуха, находящиеся в каналах, образованных лопатками РК, воздушный поток приобретает движение, направленное назад, параллельно оси вра-

шения ротора. При этом, на входе в РК создается разрежение, способствующее подосу воздуха из окружающей среды с абсолютной скоростью c_b . Так как РК вращается с окружной скоростью u , то воздух в рабочем колесе движется с относительной скоростью w_b и приобретает закрутку в сторону вращения РК. Лопатки РК образуют расширяющиеся криволинейные каналы (диффузоры), где относительная скорость w_b уменьшается до значения w'_b . При этом давление и температура воздуха соответственно возрастают от p_b до p'_b и от T_b до T'_b , а за счет закрутки воздушного потока абсолютная скорость возрастает от c_b до c'_b . Таким образом в РК происходит преобразование механической энергии, подводимой от турбины, в энтальпию и кинетическую энергию воздушного потока.

Из РК воздух попадает в НА, неподвижные лопатки которого образуют расширяющиеся криволинейные каналы. Здесь абсолютная скорость уменьшается от c'_b до c''_b , а давление и температура воздушного потока соответственно растут до p''_b и T''_b , т. е. в НА происходит преобразование кинетической энергии абсолютного движения в энтальпию воздушного потока. Обычно проточную часть осевого компрессора профилируют так, чтобы абсолютная скорость c''_b на выходе из ступени была бы несколько меньше скорости c_b на входе в ступень.

Таким образом повышение давления и температуры воздуха в ступени происходит как в РК, так и в НА. В целом в ступени осевого компрессора происходит преобразование механической энергии, получаемой от турбины, в энтальпию воздушного потока.

В ступени осевого компрессора без ВНА давление воздуха повышается незначительно на 15—20 %, т. е. степень повышения давления* $\pi_{ст} = 1,15 \dots 1,20$.

Распределение адиабатической работы сжатия воздуха между РК и НА оценивается степенью реактивности ступени** $\rho_{ст}$. При осевом направлении абсолютной скорости воздуха на входе в ступень и выходе из нее степень реактивности ступени равна $\rho_{ст} = 0,7-0,8$. В случае установки ВНА перед РК степень реактивности ступени изменяется. С увеличением предварительной закрутки воздушного потока в сторону вращения РК степень реактивности ступени уменьшается и получается более равномерное распределение адиабатической работы сжатия между РК и НА.

Предварительная закрутка воздушного потока (рис. 2.2) в сторону вращения РК позволяет, при заданной (дозвуковой) отно-

* Степенью повышения давления ступени называется отношение давления воздуха за ступенью к давлению воздуха перед ступенью: $\pi_{ст} = \frac{p''_b}{p_b}$.

** Степенью реактивности ступени называется отношение адиабатической работы сжатия воздуха в РК к адиабатической работе сжатия ступени в целом:

$$\rho_{ст} = \frac{L_{ад. РК}}{L_{ад. ст.}}$$

сительной скорости w , движения воздуха в межлопаточных каналах, увеличить окружную скорость ротора от $u = 280...320$ м/с до $u' = 330...340$ м/с, а следовательно и напорность ступени, причем в дозвуковых ступенях компрессора предварительная закрутка воздуха должна быть такой, чтобы относительная скорость w , перед РК и абсолютная скорость c , за РК (перед НА) не превышали местной скорости звука. В таких ступенях удается получить $\pi_{ст} = 1,25...1,30$, т. е. повысить давление воздуха на 25...30 %. Однако для эффективной организации термодинамических процессов, протекающих в ГДТ, такие давления явно недостаточны. Поэтому осевые компрессоры современных ГТД выполняются многоступенчатыми.

В осевом компрессоре воздух последовательно сжимается во всех его ступенях, при этом предварительная закрутка воздуха в последующих ступенях обеспечивается НА предыдущих ступеней.

2.2. КОНСТРУКЦИЯ КОМПРЕССОРА

Компрессор двигателя — дозвуковой, осевой двенадцатиступенчатый, высоконапорный ($\pi_{\Sigma} = 9,45$) с поворотными лопатками ВНА и НА I, II, III и IV ступеней и с двумя клапанами перепуска воздуха из-за VII ступени компрессора в атмосферу. Проточная часть компрессора выполнена с постоянным наружным диаметром. Широкое применение титановых сплавов для изготовления деталей компрессора значительно сократило их массу при сохранении прочности. Компрессор двигателя (рис. 2.3) состоит из следующих основных узлов: ротора 3, статора 2, передней 1 (первой) и задней 4 (второй) опор ротора, механизма поворота лопаток, клапанов перепуска воздуха и узла соединения ротора компрессора с валом ТК.

РОТОР

Ротор компрессора — барабанно-дискового типа, двухопорный. Такого типа роторы обладают достаточно высокой изгибной жесткостью и прочностью, сравнительно малой массой и простой конструкции. Ротор является основным рабочим элементом компрессора. В процессе работы двигателя на него действуют: центробежные силы собственных масс и масс рабочих лопаток; аэродинамические силы, возникающие на лопатках рабочих колес, силы тяжести собственной массы; силы инерции, возникающие при эволюциях вертолета; крутящие моменты; осевые силы; силы от разности давлений воздуха в проточной части и внутри ротора компрессора.

Кроме того, на элементы конструкции ротора последних ступеней, где температуры воздуха в проточной части достигают 327°C , воздействуют и тепловые нагрузки, которые

увеличивают напряжение в деталях. Таким образом, ротор является одним из высоконагруженных узлов двигателя.

Ротор (рис.2.4) состоит: из дисков 1, 3, 4, 5, 7, 8, 9, 10 РК с рабочими лопатками 6, конической проставки 2, задней цапфы 14, экрана 13, диска 12 лабиринтного уплотнения, заглушек 15, 17 со штифтами 16, 18, соединительных болтов 11, 19, вращающихся деталей опор ротора и деталей крепежа.

Диски 1, 3, 4, 5, 7, 8, 9, 10 РК изготовлены штамповкой из титанового сплава ВТ-8 с последующей механической обработкой. Они несколько отличаются друг от друга как конструктивно, так и по размерам.

Диски РК II—IX ступеней напрессовываются друг на друга и привариваются электронно-дуговой сваркой, образуя барабан ротора. Спереди на цилиндрический бурт диска РК II ступени напрессовываются и привариваются электронно-дуговой сваркой коническая проставка 2, к переднему фланцу которой болтами 19 крепится диск РК I ступени. Сзади в цилиндрическую расточку диска 7 РК IX ступени запрессовывается и приваривается диск 8 РК X ступени, в заднюю цилиндрическую расточку которого запрессовывается и приваривается диск 9 РК XI ступени. В заднюю цилиндрическую расточку диска РК XI ступени запрессовывается и приваривается диск 10 РК XII ступени. Таким образом диск 1 РК I ступени с конической проставкой 2 и диски 8, 9, 10 РК X, XI и XII ступеней крепятся к барабану консольно. Такое конструктивное решение позволило уменьшить длину и массу компрессора, а за счет уменьшения расстояния между опорами — повысить изгибную и осевую жесткость конструкции.

Диск 1 РК I ступени выполнен в виде массивного кольца, на ободе которого равномерно по окружности под углом к оси ротора выполнены пазы типа «ласточкин хвост» для монтажа рабочих лопаток. Спереди обод развит в цилиндрический бурт с гребешками лабиринтного уплотнения. Сзади в торцевой кольцевой расточке имеется фланец для крепления диска 1 к конической проставке 2. Соединение диска с конической проставкой осуществляется с помощью болтов 19 с самоконтрящимися гайками, запрессованными в отверстия конической проставки. На наружной цилиндрической поверхности коническая проставка 2 имеет два гребешка лабиринтного уплотнения.

Диск 3 РК II ступени изготовлен с передней цапфой как одно целое. Он имеет обод, коническую стенку и цапфу. На ободе равномерно по окружности под углом к оси ротора выполнены пазы типа «ласточкин хвост» для монтажа рабочих лопаток. Спереди обод развит в цилиндрический бурт, на который напрессовывается и приваривается коническая проставка 2. На передней цапфе устанавливаются вращающиеся детали передней (первой) опоры: регулировочное кольцо, упорное кольцо, внутреннее кольцо роликового подшипника, стопорная шайба, гайка. Внутрь цапфы спереди на шлицы устанавливается коническая пружина, а сзади — заглушка 17, зафиксированная штифтом 18.

Заглушка 17 с заглушкой 15 обеспечивают герметичность полотна барабана ротора.

Диск 4 РК III ступени состоит из обода и полотна, плавно переходящего в ступицу. На ободе равномерно по окружности под углом к оси выполнены пазы типа «ласточкин хвост» для крепления рабочих лопаток. Обод спереди имеет барабанную часть с гребешками лабиринтного уплотнения, а сзади кольцевой торцевой бурт для соединения с диском 5 РК IV ступени.

Диск 5 РК IV ступени конструктивно выполнен аналогично диску 4 РК III ступени, но отличается размерами, отсутствием гребешков лабиринтного уплотнения на барабанной части и способом крепления рабочих лопаток. На ободе диска выполнена кольцевая расточка типа «ласточкин хвост» с монтажным окном для установки рабочих лопаток.

Диски РК с V по VIII ступень конструктивно аналогичны диску 5 РК IV ступени и отличаются друг от друга только размерами. Каждый из них имеет обод и полотно, плавно переходящее в ступицу. На ободе выполнена кольцевая расточка типа «ласточкин хвост» и имеется специальное окно для монтажа рабочих лопаток.

Диск 7 РК IX ступени имеет обод с кольцевой расточкой типа «ласточкин хвост» и окном для монтажа рабочих лопаток. Обод изготовлен с конической диафрагмой как одно целое. К фланцу диафрагмы болтами 11 крепится задняя цапфа 14 ротора компрессора и экран 13, который предотвращает попадание масла со стороны задней (второй) опоры в полость между дисками РК IX—XII ступеней.

Диски РК X...XII ступеней конструктивно аналогичны дискам РК V...VIII ступеней и отличаются только размерами и диаметрами центральных отверстий. К полотну диска РК XII ступени винтами крепится диск 12 лабиринтного уплотнения, на задней стенке которого имеются цилиндрические бурты с гребешками лабиринтных уплотнений и резьбовые отверстия для постановки балансировочных грузиков.

Задняя цапфа 14 изготовлена из поковки высоколегированной стали ЭИ-961Л. Она имеет фланец для ее крепления совместно с экраном 13 к фланцу конической диафрагмы диска 7 РК IX ступени. На задней цапфе устанавливаются вращающиеся детали задней (второй) опоры: передняя уплотнительная втулка, регулировочное кольцо, внутреннее разъемное кольцо шарикоподшипника, задняя комбинированная уплотнительная втулка, стопорное кольцо и гайка. Внутри цапфы спереди устанавливается заглушка 15 зафиксированная штифтом 16, а сзади узел соединения роторов компрессора и турбины компрессора.

Узел соединения (рис. 2.5) — жесткий, легкоразъемный. Он обеспечивает осевую фиксацию роторов компрессора и турбины компрессора. Узел состоит из стяжной резьбовой втулки 7, шлицевого фиксатора 3, пружины 2 с опорной 4 и регулировочной 6 шайбами. Цапфа 1 и вал 5 соединяются стяжной резьбовой втулкой 7, имеющей: на переднем резьбовом пояске двухзаходную резьбу с шагом 4 мм, а на заднем — однозаходную резьбу с

шагом 1,5 мм. Внутри стяжной втулки 7 выполнен шлицевой пояс под шлицы фиксатора 3 и в передней стенке — шлицы под специальный ключ для ее заворачивания (отворачивания). Шлицевой фиксатор 3 имеет два шлицевых пояска: передний для соединения со шлицами стяжной резьбовой втулки 7 и задний для соединения со шлицами вала 5 ротора ТК. Соединение роторов турбокомпрессора производится следующим образом. Предварительно в вал 5 ротора ТК вворачивают стяжную резьбовую втулку 7. Затем вал ротора ТК заводят в полость задней цапфы 1 ротора компрессора. Внутрь вала ротора ТК сзади устанавливают специальное приспособление, которое состоит из полой длинной штанги с упорными кулачками и спецключа со шлицевым наконечником. При перемещении штанги назад (вправо по рис.) она, упираясь кулачками в переднюю расточку фиксатора 3 перемещает его назад, сжимая пружину 2. При этом шлицы фиксатора 3, рассоединяются со шлицами вала 5 ротора ТК. Затем спецключом со шлицевым наконечником поворачивают стяжную втулку 7 по часовой стрелке. При этом она ввинчивается в заднюю цапфу 1 ротора компрессора по двухзаходной резьбе с шагом 4 мм и вывинчивается из вала 5 ротора ТК по однозаходной резьбе с шагом 1,5 мм. В результате разницы в шагах резьбы происходит стягивание вала 5 ротора ТК с задней цапфой 1 ротора компрессора до полной выборки осевого зазора.

Рабочие лопатки являются основными самыми высоконагруженными элементами ротора компрессора, именно в лопаточных аппаратах рабочих колес происходит преобразования механической энергии, подводимой от турбины компрессора, в энтальпию и кинетическую энергию воздушного потока. Лопатки подвержены воздействию аэродинамических и центробежных сил собственных масс, сравнительно высоких температур и вибраций. Рабочие лопатки изготавливаются из прутка титанового сплава ВТ-8 путем прокатки пера лопатки с последующей механической обработкой хвостовика. По конструкции их можно разделить на две группы: лопатки I...III ступеней (рис.2.6), которые имеют перо и хвостовик; лопатки IV...XII ступеней (рис.2.7), имеющие перо, полку и хвостовик. Перо всех лопаток конструктивно выполнено в виде тонкого изогнутого симметричного профиля. Для снижения массы, напряжений растяжения и нагрузок на ротор толщина и хорда профиля по длине лопатки уменьшаются от корневого сечения к периферийному. При этом для получения наиболее выгодных углов атаки по сечению пера лопатки оно по длине закручивается, причем чем длиннее лопатка, тем больше угол закрутки. Перо лопаток изготавливается с большой точностью и с высоким классом чистоты поверхности, что повышает прочность лопаток и КПД компрессора.

Хвостовики рабочих лопаток I, II и III ступеней выполнены в форме «ласточкин хвост». Они вставляются в пазы ободов дисков (см. рис.2.6) с некоторым зазором, что дает возможность при работе двигателя лопаткам самоустанавливаться от действия собственных центробежных сил.

От осевых перемещений в пазах ободов РК I, II и III ступеней лопатки фиксируются пластинчатыми замками 3.

Рабочие лопатки IV..XII ступеней (см. рис.2.7) имеют перо, полку прямоугольной формы и хвостовик трапецевидной формы типа «ласточкин хвост», причем у этих лопаток хвостовики расположены перпендикулярно оси ротора, т. е. по направлению вращения. Хвостовики лопаток через специальные окна вставляются в кольцевые поперечные пазы ободов РК и разводятся по окружности. При монтаже рабочие лопатки опираются полками друг на друга, образуя внутреннюю поверхность проточной части компрессора. Между хвостовиками четырех пар рабочих лопаток 2 в каждом ряду устанавливаются специальные вкладыши 3, имеющие форму «ласточкин хвост» и радиальные резьбовые отверстия.

Полки четырех пар рабочих лопаток против вкладышей имеют радиальные полуотверстия, образующие отверстия для монтажа резьбовых штифтов 4. После установки последней лопатки весь ряд рабочих лопаток 2 с четырьмя вкладышами 3 поворачивают по окружности так, чтобы против монтажного окна обода I диска РК располагались две лопатки.

В таком положении этот ряд рабочих лопаток 2 фиксируется четырьмя резьбовыми штифтами 4, которые вворачиваются в резьбовые отверстия вкладышей 3, а своими цилиндрическими наконечниками входят в отверстие обода I диска РК. После заворачивания резьбовые штифты 4 развальцовываются.

Количество рабочих лопаток по ступеням равно:

№ ступени	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Количество рабочих лопаток	37	43	59	67	73	81	89	89	89	89	89	89

СТАТОР

Статор компрессора (рис. 2.8) представляет собой корпус, внутри которого установлены лопатки направляющих аппаратов и опоры ротора вместе с ротором, а снаружи — различные агрегаты, механизмы, устройства и коммуникации систем, обеспечивающие жизнедеятельность двигателя.

Корпус компрессора является одним из основных узлов силовой системы двигателя. По конструктивному исполнению он относится к числу разъемных корпусов, который имеет только поперечные разъемы. Такие корпуса отличаются высокой технологичностью изготовления и сборки, равномерной жесткостью по окружности, что обеспечивает минимальные радиальные зазоры в проточной части компрессора, а значит, повышает его КПД. В процессе работы двигателя на элементы конструкции статора действуют: аэродинамические силы, возникающие на лопатках НА; силы тяжести собственных масс и передаваемые от соседних узлов двигателя; силы инерции и их моменты, возникающие при эволюциях вертолета; осевые силы и вращающие моменты, передаваемые от других узлов двигателя; разность давлений воздуха в проточной части компрессора и в окружающей среде. Кроме того отдельные элементы корпуса компрессора подвержены воздейст-

вию сравнительно высоких температур. Поэтому корпус компрессора наряду с большой прочностью должен обладать высокой изгибной жесткостью и вибропрочностью. Это достигается использованием для изготовления деталей высоколегированных сталей и высокопрочных титановых сплавов, применением двухстеночной конструкции корпуса НА V...XI ступеней, жесткой заделкой лопаток направляющего и выходного спрямляющего аппаратов, в корпусе XII ступени.

Корпус компрессора состоит: из корпуса 8 (рис.2.9) передней (первой) опоры, промежуточного кольца 12, корпусов 1, 2, 3 (см. рис. 2.8) НА соответственно II, III и IV ступеней, корпуса 4 НА V ... XI ступеней и корпуса направляющего и выходного спрямляющего аппаратов XII ступени.

Корпус передней опоры (см. рис. 2.9) отлит из алюминиевого сплава АЛ-5, в виде двух (наружной и внутренней) обечайек, соединенных между собой четырьмя профилированными стойками. Обечайки образуют кольцевой сужающийся канал входного устройства двигателя. К переднему фланцу наружной обечайки винтами крепится силовое кольцо 18 с четырьмя шарнирными узлами 17 для монтажа двигателя на вертолете. К силовому кольцу 18 винтами крепится воздухозаборник. К заднему фланцу наружной обечайки болтами с самоконтрящимися гайками крепится промежуточное кольцо 12 и корпус НА II ступени.

Промежуточное кольцо и корпус НА II ступени на торцевых поверхностях своих фланцев имеют радиальные полуотверстия, которые после сборки образуют отверстия для установки втулок 15 внешних цапф лопаток НА I ступени. Втулки цапф лопаток ВНА и НА изготавливаются из стекловолокнита, пропитанного фторопластом. Они выполняют роль подшипников скольжения для цапф поворотных лопаток ВНА и НА первых четырех ступеней. На наружной обечайке сверху отлита четырехугольная горловина с фланцем 9 для крепления коробки приводов. Справа от нее имеется прилив с отверстием для установки трубки откачки масла, отработавшего в коробке приводов. Сзади от фланца 9 установлен кронштейн для монтажа верхней рычажной планки механизма управления НА. Слева от него (от кронштейна) под углом 24° к вертикальной оси на наружную цапфу лопатки НА устанавливается и фиксируется штифтом двухплечий рычаг обратной связи. На нижнем ошпиленном фланце 16 корпуса 8 первой опоры крепится маслоагрегат. Сзади от фланца 16 установлен кронштейн для монтажа нижней рычажной планки механизма управления НА.

На левой стороне наружной обечайки сверху имеются две бобышки с удлиненными шпильками для установки топливного фильтра. Под ними против левой горизонтальной стойки имеются три фланца. Передний служит для дополнительного подвода горячего воздуха на обогрев передней кромки стойки и деталей сепаратора ПЗУ; средний — для наддува предмасляной полости первой опоры воздухом из-за V ступени компрессора; задний — для крепления лимба указателя положения поворотных лопаток.

Слева внизу выполнены четыре бобышки со шпильками для крепления кронштейна исполнительного механизма.

На правой стороне наружной обечайки против правой горизонтальной стойки имеется фланец для крепления трубы подвода горячего воздуха на обогрев деталей на входе в компрессор. Передний фланец трубы подвода горячего воздуха служит для отбора этого воздуха на противообледенительную систему воздухозаборника и на обогрев воздухопровода обдува термопатрона насоса-регулятора. Здесь же на правой стороне ниже горизонтальной оси имеются три бобышки со шпильками для крепления специального кронштейна датчиков сигнализатора минимального давления масла (передний) и замера давления масла (задний). На наружной обечайке сзади равномерно по окружности имеются 30 бобышек с отверстиями для монтажа втулок 15 цапф поворотных лопаток ВНА. За рядом бобышек расположен фланец для крепления осей роликов механизма управления компрессором. В профилированных стойках корпуса опоры выполнена система каналов различного назначения. Так, в верхней стойке имеются каналы для: размещения рессоры передачи вращающего момента к коробке приводов (передний); размещения трубки подачи масла на смазку и охлаждение деталей первой пары и центрального привода (задний). В нижней стойке имеются три канала: первый (считая спереди) и третий для слива отработавшего масла в маслоагрегат и обогрева стойки; второй — для размещения рессоры привода маслоагрегата. В правой горизонтальной стойке — два канала: первый — для обогрева передней кромки стойки и подачи горячего воздуха на обогрев деталей обтекателя или сепаратора ПЗУ; второй — для подачи горячего воздуха в коллектор и далее на обогрев лопаток ВНА.

В левой горизонтальной стойке также имеются два канала: первый — для обогрева передней кромки стойки (при наличии обтекателя) или для обогрева передней кромки стойки и дополнительной подачи горячего воздуха на обогрев сепаратора ПЗУ; второй — для подвода воздуха из-за V ступени компрессора на наддув предмасляной полости первой опоры.

В полости внутренней обечайки размещаются: центральный привод (спереди) и первая опора двигателя (сзади). Корпус центрального привода центрируется по двум цилиндрическим посадочным поясам внутренней обечайки. Внутри против горизонтальных стоек выполнены приливы, в осевые отверстия которых спереди запрессовываются втулки для монтажа трубок подвода горячего воздуха на обогрев обтекателя и его носка или сепаратора ПЗУ. В стенке внутренней обечайки сзади установлен (залит) стальной воздушный коллектор 10, с приваренными к нему стальными трубками, расположенными в горизонтальных стойках. В левой горизонтальной стойке установлены (залиты) также трубки для наддува предмасляной полости первой опоры. К переднему ошпигленному фланцу внутренней обечайки крепятся: фланец корпуса 7 центрального привода с двумя уплотнительными кольцами и передняя крышка 6, которая спереди имеет центральную бо-

бышку с резьбовым отверстием для крепления сепаратора ПЗУ и шесть бобышек с резьбовыми отверстиями для монтажа и крепления конуса 5 обтекателя.

Задний ошпильный фланец внутренней обечайки на торце равномерно по окружности имеет 30 радиальных полуотверстий, которые с соответствующими полуотверстиями прижимного кольца 13 образуют радиальные гнезда для монтажа внутренних цапф лопаток 11 ВНА. Полости этих гнезд осевыми отверстиями сообщаются с воздушным коллектором 10. К заднему фланцу внутренней обечайки крепятся прижимное кольцо 13 с двумя резиновыми уплотнительными кольцами и стакан 14 роликоподшипника.

Прижимное кольцо 13 спереди и сзади имеет кольцевые торцевые проточки для установки резиновых уплотнительных колец. На внутренней цилиндрической поверхности прижимного кольца нанесен слой уплотнительной мастики, который с гребенками диска РК I ступени образует лабиринтное уплотнение первой опоры. В стакане 14 (см. рис. 2.9) роликоподшипника устанавливаются неподвижные детали первой опоры (см. рис. 2.13): упруго-гидравлический демпфер 5, стакан 6 подшипника, наружное кольцо роликоподшипника 7, регулировочное кольцо 22, стопорное кольцо 21, корпус 11 уплотнительного устройства, пластинчатая пружина 13, прижимное кольцо 12, графитовое кольцо 10 с резиновым уплотнительным кольцом 14, стопорная пластина 8 и фиксатор 9.

В корпусе первой опоры смонтирован ВНА. Он состоит из 30 поворотных лопаток 11 (см. рис. 2.9), которые изготовлены из стали 12Х18Н9Т в виде пера с наружной и внутренней цапфами. Перо выполнено в виде тонкого изогнутого симметричного профиля с переменными хордами и разными изгибами профилей по сечениям вдоль лопатки. Этим обеспечивается подача воздуха на лопатки РК I ступени под заданным углом атаки, так чтобы относительная скорость движения воздуха была направлена по касательной к средней линии профиля лопатки РК I ступени у ее передней кромки. Перо лопатки ВНА (в сечении А—А) со стороны передней кромки срезано, а вдоль профиля с вогнутой стороны имеет фрезеровки. Спереди на лопатку устанавливается обтекатель, изготовленный из стальной ленты (Х18Н10Т) толщиной 0,2 мм, который припаивается к перу лопатки, после чего поверхность пера тщательно полируется. Таким образом, между пером и обтекателем образуются канал и щели, по которым проходит горячий воздух, обогревая их по всей площади. Наружные цапфы опираются на втулки, установленные в отверстия бобышек, переднего корпуса компрессора. На выступающие концы наружных цапф устанавливаются и закрепляются штифтами рычаги механизма поворота лопаток. Штифты, в свою очередь, развальцовываются. Внутренние цапфы лопаток ВНА полые, через них проходит горячий воздух на обогрев лопаток ВНА. Внутренние цапфы устанавливаются в радиальные полуотверстия на торце

внутренней обечайки корпуса первой опоры и фиксируются прижимным кольцом 13.

Корпуса 3, 4 и 5 (рис. 2.10) НА II, III и IV ступеней компрессора изготовлены литьем из титанового сплава ВТ5-Л с последующей механической обработкой. Конструктивно они одинаковы и отличаются друг от друга только размерами. Каждый из них имеет наружную обечайку с двумя фланцами. На фланцах корпусов выполнены отверстия под болты соединения корпусов. В промежутках между отверстиями выполнены радиальные полуготверстия, в которые закладываются втулки, изготовленные из стекловолокнита, пропитанного фторопластом, выполняющие роль подшипников скольжения для наружных цапф поворотных лопаток. Для обеспечения соосности корпусов они подвергаются окончательной механической обработке в собранном виде. Корпуса центрируются между собой с помощью призонных болтов (по шесть болтов в каждом разъеме) и соединяются болтами с самоконтрящимися гайками. Уплотнение по разъемам обеспечивается специальной мастикой.

Лопатки НА I и II ступени (рис.2.11, поз.4 и 6) изготовлены из титанового сплава ВТ3-1. Они имеют перо и две цапфы. Перо изготовлено в виде тонкого изогнутого симметричного профиля с переменными хордами и разными изгибами профилей по сечениям вдоль лопатки. Наружная поверхность пера тщательно полируется. Наружные цапфы вместе со втулками 3 устанавливаются в радиальные отверстия фланцев в плоскостях разъемов корпусов. На оставшуюся часть наружных цапф лопаток монтируются рычаги механизма поворота, которые фиксируются штифтами, а штифты развальцовываются.

Внутренние цапфы устанавливаются в радиальные гнезда внутренних кольцевых бандажей 13, изготовленных из алюминиевого сплава АК-4. Для уменьшения трения внутренние цапфы покрыты антифрикционным составом и имеют цилиндрическую бочкообразную форму.

Наружные поверхности кольцевых бандажей выполнены по профилю проточной части компрессора.

Внутренние поверхности с гребешками конусной проставки ротора и РК II ступени образуют лабиринтные уплотнения проточной части компрессора по внутреннему контуру.

Лопатки НА III и IV ступеней (9, 11) консольные. Они выполнены из титанового сплава ВТ3-1 путем механической обработки и имеют перо и наружную цапфу. Способ установки лопаток в корпусах аналогичен монтажу лопаток I и II ступеней.

Количество лопаток в НА по ступеням равно:

№ ступени	ВНА	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Количество лопаток НА	30	60	60	60	60	80	84	84	88	88	90	90	114

Корпус НА V...XI ступеней (рис.2.12) двухстеночной конструкции. Он состоит из обечайки 2 с фланцами, НА V...XI ступеней, промежуточных колец 4 рабочих колес и регулировочного кольца 1. Такая конструкция корпуса позволяет частично разгрузить обечайку от действия реактивных крутящих моментов, возникающих от окружных составляющих аэродинамических сил, действующих на лопатки НА V...XI ступеней и таким образом обеспечить достаточную прочность и жесткость конструкции при минимальной ее массе.

Обечайка 2 корпуса НА V...XI ступеней сварной конструкции из титанового сплава ОТ4-1. Она выполнена в форме ступенчатого цилиндра с двумя фланцами. На переднем фланце равномерно по окружности в промежутках между отверстиями под болты крепления корпусов выполнены радиальные полуотверстия, куда устанавливаются втулки наружных цапф лопаток НА IV ступени. Соединения корпуса V...XI ступеней с корпусами IV и XII ступеней осуществляются болтами с самоконтрящимися гайками, центрирование — шестью призонными болтами, уплотнение — специальной мастикой. На наружной поверхности обечайки против НА VII ступени приварен кольцевой короб 5 (см. рис.2.12), а в стенке обечайки и наружной обойме НА VII ступени просверлены ряды отверстий для прохода воздуха из-за VII ступени компрессора в полость короба. На кольцевом коробе приварены: сверху справа — четырехугольный фланец датчика МСТВ-1,5АС (на двигателях ВК — заглушен), и далее по часовой стрелке — треугольный фланец для осмотра рабочих лопаток VII и VIII ступеней ротора компрессора; четырехугольный фланец (на двигателях ВМ — заглушен, а на двигателях ВК — служит для отбора воздуха в систему кондиционирования воздуха вертолета), треугольный фланец для отбора воздуха на охлаждение деталей СТ и наддув предмасляной полости III опоры; внизу симметрично вертикали два четырехугольных фланца для установки клапанов перепуска воздуха и далее четырехугольный фланец (на двигателях ВМ — заглушен, а на двигателях ВК — служит для отбора воздуха на наддув гидробака вертолета Ка-32). К обечайке перед кольцевым коробом сверху и внизу приварены кронштейны для монтажа (соответственно) верхней и нижней рычажных планок механизма управления НА. Слева против НА V ступени приварены два угловых штуцера для отбора воздуха на наддув предмасляных полостей: штуцер первой опоры двигателя (ниже горизонтали), под ним штуцер четвертой опоры. Внутри обечайки устанавливаются НА V...XI ступеней и промежуточные кольца соответствующих РК.

Направляющие аппараты 3 V...XI (см. рис.2.12) ступеней по конструкции аналогичны и отличаются лишь геометрическими размерами. Каждый НА состоит из разъемного наружного бандажного кольца и лопаток. Бандажные кольца изготавливаются из стали 12Х18Н9Т и имеют П-образный профиль с торцевыми центрирующими буртиками и отверстиями под штифты. На цилиндрической поверхности равномерно по окружности они имеют

сквозные профильные окна, куда запрессовываются и припаиваются по контуру лопатки НА, образуя прочное соединение. Лопатки НА V...XI ступеней консольного типа изготовлены из стали 1Х2Н2МФ в виде тонкого изогнутого симметричного профиля с переменными хордами и разными изгибами профилей по сечениям вдоль лопатки. По наружной поверхности они тщательно полируются. Собранные НА разрезаются на две половинки. Плоскости разъема размещаются под углом 45° к оси компрессора, но в разные стороны, что обеспечивает их высокую работоспособность.

Промежуточные кольца 4 (см. рис.2.12) конструктивно одинаковы (кроме промежуточного кольца РК XII ступени), отличаются только геометрическими размерами. Они изготовлены из титанового сплава ОТ4-1. На боковых поверхностях они имеют торцевые кольцевые канавки со штифтами соответственно для центровки и фиксации НА в окружном направлении. Количество штифтов от НА V ступени до корпуса НА XII ступени возрастает по мере увеличения крутящего момента. Наружные цилиндрические поверхности промежуточных колец 4 служат для их центровки по внутренней поверхности обечайки корпуса. На наружных цилиндрических поверхностях выполнены кольцевые проточки, обеспечивающие уменьшение массы кольца и повышение его жесткости. На внутренние поверхности промежуточных колец напыляется тонкий слой стали, что предотвращает их возгорание в случае касания этой поверхности торцами рабочих лопаток. Промежуточное кольцо 6 РК XII ступени, в отличие от остальных, не имеет наружной кольцевой проточки и на заднем торце имеет буртик, по которому центрируется корпус 7 НА и ВСА XII ступени.

Перед НА V ступени устанавливается регулировочное кольцо 1, обеспечивающее беззазорное соединение НА и промежуточных колец в корпусе.

Корпус направляющего и выходного спрямляющего аппаратов XII ступени как единый неразборный узел включает: собственно корпус 7 (см. рис.2.12), наружную 8 и внутреннюю 12 обоймы, лопатки направляющего 9 и выходного спрямляющего 11 аппаратов, внутреннее силовое кольцо 14 и кольцо 15 лабиринтного уплотнения. Корпус изготовлен из титанового сплава ВТ5-Л в виде обечайки с двумя фланцами. Передним фланцем с кольцевой расточкой он крепится болтами с самоконтрящимися гайками к фланцу корпуса НА V...XI ступеней и центрируется по заднему торцевому буртику промежуточного кольца 6 РК XII ступени. К заднему фланцу с центрирующим буртиком присоединяется болтами с самоконтрящимися гайками и центрируется наружный корпус 10 диффузора камеры сгорания. Внутри корпуса 7 устанавливается, центрируется и пропаивается по окружности с обеих сторон наружная обойма 8.

Наружная 8 и внутренняя 12 обоймы выполнены в виде колец с профилированными окнами для запрессовки лопаток НА и ВСА. Лопатки НА 9 и ВСА 11 выполнены из стали 13Х11Н2В2МФ в виде тонкого изогнутого симметричного профиля с переменными

хордами и закруткой по высоте лопаток. Они запрессовываются в профильные окна наружной 8 и внутренней 12 обойм и проплавляются по контуру профиля, образуя жесткий неразъемный узел направляющего и выходного спрямляющего аппаратов XII ступени компрессора.

Внутренняя обойма 12 устанавливается, центрируется и приплавляется по окружности с обеих сторон к внутреннему силовому кольцу 14, которое выполнено в виде Т-образного профиля. К фланцам внутреннего силового кольца 14 винтами крепятся: спереди кольцо лабиринтов 15, сзади — корпус задней (второй) опоры и внутренний корпус 13 диффузора камеры сгорания. Кольцо лабиринтов 15 состоит из двух склепанных между собой колец. На внутренних цилиндрических поверхностях буртов этих колец нанесен слой уплотнительной мастики, который с гребешками уплотнительного диска образует лабиринтное уплотнение.

ПЕРЕДНЯЯ (ПЕРВАЯ) ОПОРА РОТОРА КОМПРЕССОРА

Первая опора ротора компрессора представляет собой радиально-опорный роликовый подшипник, воспринимающий только радиальные нагрузки от массы ротора и неуравновешенных масс. Она является связующим звеном между силовой системой ротора ТК и силовой системой корпуса двигателя. Опора допускает свободное осевое перемещение ротора относительно корпуса, возникающее вследствие температурных расширений и воздействия осевых сил. Узел первой опоры условно можно разделить на неподвижные (невращающиеся) детали, установленные и закрепленные в корпусе и вращающиеся детали, которые монтируются на передней цапфе диска РК II ступени компрессора. К неподвижным деталям относятся: корпус 1 передней опоры (рис.2.13), корпус 4 подшипника, упруго-гидравлический демпфер 5, стакан 6 подшипника, наружное кольцо роликоподшипника 7, регулировочное кольцо 22, стопорное кольцо 21, корпус 11 уплотнительного устройства, пластинчатая пружина 13, прижимное кольцо 12, графитовое кольцо 10 с резиновым уплотнительным кольцом 14, стопорная пластина 8 и фиксатор 9.

Вращающимися деталями опоры являются: регулировочное кольцо 15, упорное кольцо 16 с резиновым уплотнительным кольцом 23, внутреннее кольцо роликоподшипника 7 с сепаратором и роликами, стопорное кольцо 17 и гайка 18.

Корпус 4 подшипника выполнен из стали в форме чаши с фланцем, который служит для крепления совместно с прижимным кольцом 3 к заднему фланцу внутренней обечайки корпуса 1 первой опоры. Передней наружной цилиндрической поверхностью корпус подшипника центрируется по расточке во внутренней обечайке корпуса первой опоры. В осевое отверстие, выполненное в стенке корпуса подшипника, устанавливается переходная втулка 20, по которой масло идет от масляной форсунки 19, к корпусу 4. Кроме того в корпусе подшипника выполнены масляные каналы для подвода масла к упругогидравлическому демп-

феру 5 и на охлаждение упорного кольца 16 и фрезеровка для слива отработавшего масла. В корпус 4 подшипника запрессовывается корпус 11 уплотнительного устройства, внутри которого устанавливаются: пластинчатая пружина 13, прижимное кольцо 12 и графитовое кольцо 10 с резиновым уплотнительным кольцом 14. От возможного проворачивания графитовое кольцо 10 удерживается фиксатором 9, а от осевого перемещения — стопорной пластиной 8. В корпусе 4 подшипника также устанавливается стакан 6 подшипника с упругогидравлическим демпфером 5, смонтированным на его наружной поверхности. Демпфер 5 обеспечивает снижение уровня вибраций ротора и, частично, компенсацию несоосности опор ротора компрессора. Он состоит из двух колец, установленных вплотную одно к другому между корпусом 4 подшипника и его стаканом 6. На наружной и внутренней цилиндрических поверхностях упругих колец по образующей выполнены выфрезеровки, причем наружные фрезеровки расположены против внутренних выступов, а внутренние — против наружных выступов. Упругие кольца обеспечивают радиальную податливость опоры. Полости между выступами упругих колец заполняются маслом, поступающим под давлением из масломагистрали двигателя. При деформациях упругих колец от действия неуравновешенных масс ротора и его изгибных колебаний масло выдавливается из полостей между выступами и поглощает энергию колебаний.

В стакан до упора в бурт устанавливается наружное кольцо роликоподшипника 7 с сепаратором и роликами и регулировочное кольцо 22, которые фиксируются стопорным кольцом 21.

На наружной цапфе диска РК II ступени ротора компрессора устанавливаются: регулировочное кольцо 15, упорное кольцо 16 с резиновым уплотнительным кольцом 23 и напрессовывается внутреннее гладкое кольцо роликоподшипника 7. Эти детали затягиваются гайкой 18, которая контрится стопорным кольцом 17. К задней торцевой поверхности упорного кольца 16 пластинчатой пружины 13 через прижимное кольцо 12 с определенным усилием прижато графитовое кольцо 10, обеспечивающее надежное торцевое уплотнение.

Смазка и охлаждение деталей первой опоры ротора осуществляется маслом, поступающим по внутренним каналам в корпусе 1 первой опоры и корпусе центрального привода к масляной форсунке 19, закрепленной на корпусе центрального привода. Масляная форсунка 19 направляет струю масла в кольцевой зазор между внутренним кольцом роликоподшипника 7 и его сепаратором.

Под действием центробежных сил масло отбрасывается к периферии и таким образом обеспечивает эффективное охлаждение и смазку деталей роликоподшипника. От форсунки 19, через переходную втулку 20 масло подводится к упругогидравлическому демпферу 5 и через форсунку (жиклерное отверстие) в корпусе 4 подшипника направляется на охлаждение упорного кольца 16. Отработавшее масло самотеком по каналам в наружной стойке корпуса первой опоры сливается в маслоагрегат и откачивается двумя его откачивающими насосами непосредственно в маслобак.

Суфлирование масляной полости первой опоры ротора осуществляется через соответствующие откачивающие насосы маслоагрегата и маслобак, расширительный бачок и трубопроводы с проточной частью диффузора выходного устройства.

Уплотнение масляной полости первой опоры обеспечивается: спереди — передней крышкой корпуса первой опоры и резиновыми кольцами фланца корпуса центрального привода, сзади — резиновыми кольцами 14 и 23, торцевым графитовым уплотнением, лабиринтным уплотнением, образованным гребешками диска РК I ступени и внутренней поверхностью со специальным покрытием прижимного кольца 3, и предмасляной полостью с повышенным давлением, расположенной между торцевым графитовым и лабиринтным уплотнениями.

Наддув предмасляной полости производится из-за V ступени компрессора. Избыточное давление в этой полости регулируется жиклером и должно быть от $0,05 \text{ кгс/см}^2$ на режиме малого газа до $1,1 \text{ кгс/см}^2$ на взлетном режиме.

ЗАДНЯЯ (ВТОРАЯ) ОПОРА РОТОРА КОМПРЕССОРА

Вторая опора ротора компрессора (рис.2.14) представляет собой опорно-упорный шариковый подшипник, воспринимающий как радиальные нагрузки от массы ротора и неуравновешенных масс, так и осевые от осевых составляющих аэродинамических сил, действующих на рабочие лопасти ротора, а также от разности давления воздуха на ротор сзади и спереди. Опора высоконагруженная. Также как и первая опора она включает в себя неподвижные и вращающиеся детали.

К неподвижным деталям относятся: корпус 1 опоры, передняя 28 и задняя 5 крышки с защитными экранами, стакан 13 подшипника, форсуночное кольцо 3, регулировочные кольца 26, шарикоподшипник 14, форсунка 29, уплотнительные устройства, смонтированные в корпусах 22 и 10, трубки подвода 2 и откачки 12 масла.

На заднюю цапфу 16 до упора в борт устанавливаются вращающиеся детали второй опоры ротора: передняя уплотнительная втулка 17, регулировочное кольцо 15, внутреннее разъемное кольцо шарикоподшипника 14 и задняя комбинированная уплотнительная втулка 7. Эти детали закрепляются на задней цапфе гайкой 8, зафиксированной стопорной втулкой 9.

Корпус 1 второй опоры — сварной конструкции, выполнен из деталей, изготовленных из титановых сплавов. Он состоит: из передней и задней обойм, соединенных цилиндрической обечайкой; конусной диафрагмы с передним наружным фланцем и конусной силовой стенки. Конусная силовая стенка с диафрагмой, обоймами и обечайкой образуют кольцевой силовой треугольник, обеспечивающий достаточную прочность и жесткость опоры при ее минимальной массе. Для защиты корпуса опоры от перегрева его поверхности закрыты теплозащитными экранами из титановой фольги.

Корпус 1 второй опоры своим передним наружным фланцем совместно с внутренним корпусом диффузора камеры сгорания крепится винтами к фланцу внутреннего силового кольца корпуса направляющего и спрямляющего аппаратов XII ступени компрессора. В цилиндрическую расточку передней внутренней обоймы корпуса 1 устанавливаются форсуночное 3 и регулировочные 26 кольца. Форсуночное кольцо имеет четыре жиклерных отверстия, через три из которых обеспечивается смазка и охлаждение шарикоподшипника 14, через четвертое — охлаждение заднего графитового уплотнения. К переднему фланцу этой обоймы винтами закрепляется стакан 13 подшипника, внутри которого установлено наружное кольцо шарикоподшипника 14 с сепаратором и шариками. Между наружным кольцом шарикоподшипника 14 и регулировочными кольцами 26 предусмотрен осевой зазор 0,05 ... 0,2 мм, необходимый для свободного расширения наружного кольца шарикоподшипника 14. К передней внутренней обойме корпуса 1 опоры также крепится форсунка 29, обеспечивающая охлаждение переднего уплотнительного устройства.

Винтами 30 к передней внутренней обойме корпуса опоры крепится передняя крышка 28 с защитным экраном 27. В крышку 28 запрессовывается корпус 22 переднего уплотнительного устройства.

К обечайке и конусной силовой стенке приварены втулки, в которых устанавливаются трубки 2 подвода и 12 откачки масла с резиновыми уплотнительными кольцами. Внутри к обечайке и передней обойме корпуса опоры приварена накладка, образующая масляный карман для подвода масла от трубки 2 к форсуночному кольцу 3 и форсунке 29.

К задней обойме корпуса винтами крепится стакан 4 заднего уплотнительного устройства, задняя крышка 5 лабиринтного уплотнения и защитный экран. В стакан 4 запрессовывается корпус 10 заднего уплотнительного устройства и устанавливается распорная втулка 6, удерживающая корпус уплотнительного устройства от осевых перемещений.

Переднее и заднее уплотнительные устройства аналогичны. Рассмотрим их конструкцию на примере переднего уплотнительного устройства.

Уплотнительное устройство включает: корпус 22 с приваренным к нему фиксатором 21, три сектора графитового кольца 24, браслетную пружину 23, прижимное кольцо 18 с тремя штифтами 25, пластинчатую пружину 19 и фиксирующее кольцо 20. Корпус 22 уплотнительного устройства запрессован в переднюю крышку 28 до упора. Внутри корпуса выполнена кольцевая проточка и три, расположенные под углом 120°, паза для монтажа и закрепления фиксирующего кольца 20. К внутренней поверхности корпуса 22 приварен фиксатор 21, предотвращающий проворот прижимного кольца 18 со штифтами 25. Графитовое кольцо 24 состоит из трех секторов. В его наружную кольцевую проточку установлена браслетная пружина 23, которая постоянно прижимает его к цилиндрической поверхности передней уплотнительной втул-

ки 17, обеспечивая уплотнение масляной полости опоры в осевом направлении.

Прижимное кольцо 18 с тремя, запрессованными в него, штифтами 25 устанавливается в корпус 22 уплотнительного устройства и закрепляется от проворачивания фиксатором 21. Штифты 25 обеспечивают фиксацию секторов графитового кольца 24 в окружном направлении.

Пластинчатая пружина 19 через кольцо 18 прижимает графитовое кольцо 24 к торцу корпуса 22 уплотнительного устройства, обеспечивая уплотнение масляной полости опоры в радиальном направлении. Усилие прижатия регулируется подбором толщины прижимного кольца 18. Все детали уплотнительного устройства закрепляются в его корпусе 22 фиксирующим кольцом 20, которое на внешнем диаметре имеет три, расположенные под углом 120° , выступа. При сборке уплотнительного устройства выступы фиксирующего кольца 20 заводят в соответствующие пазы корпуса 22 до упора в кольцевую проточку и поворачивают его на 60° , после чего фиксирующее кольцо 20 завальцовывается в корпусе 22 уплотнительного устройства. Таким образом получают неразъемное уплотнительное устройство.

Смазка и охлаждение деталей опоры осуществляется маслом, поступающим под давлением от маслоагрегата по внешней трубке, по трубке 2, через карман, образованный накладкой и обечайкой корпуса 1 второй опоры и систему отверстий в переднем внутреннем ободе корпуса к форсуночному кольцу 3 и к форсунке 29. Форсуночное кольцо обеспечивает смазку и охлаждение шарикоподшипника 14 и охлаждение задней уплотнительной втулки 7.

Масло на смазку и охлаждение шарикоподшипника 14 подается в кольцевой зазор между его внутренним кольцом и сепаратором, что повышает эффективность смазки и охлаждения. Отработавшее масло самотеком сливается в нижнюю часть масляной полости, откуда по трубке 12 откачивается одним из насосов маслоагрегата.

Суфлирование масляной полости второй опоры с атмосферой осуществляется через откачивающий насос маслоагрегата, маслобак, расширительный бачок и трубопроводы с проточной частью диффузора выходного устройства.

Уплотнение масляной полости второй опоры обеспечивается: спереди — графитовым уплотнением, трехрядным лабиринтным уплотнением и передней предмасляной полостью «А» с избыточным давлением от 0,005 МПа ($0,05 \text{ кгс/см}^2$) на режиме малого газа до 0,11 МПа ($1,1 \text{ кгс/см}^2$) на взлетном режиме; сзади — графитовым уплотнением, лабиринтным уплотнением и задней предмасляной полостью В с тем же избыточным давлением. Задняя предмасляная полость В через радиальный паз в задней крышке 5 и отверстие в заднем ободе корпуса 1 опоры (см. рис. 2.14 внизу) сообщается с промежуточной полостью Б.

* Разгрузочная — это полость, в которой создается повышенное (или пониженное) давление, способствующее уменьшению величины осевой силы, действующей на ротор компрессора.

Передняя предмасляная полость А (она же разгрузочная полость ротора компрессора) через отбортованные отверстия в диафрагме корпуса / опоры также сообщается с промежуточной полостью Б. Полость Б через две трубки, пластинчатые жиклеры, регулирующие избыточное давление в этой полости и двумя внешними трубками сообщается с проточной частью диффузора выходного устройства. Таким образом, в полостях А, Б и В поддерживается избыточное давление от 0,005 МПа (0,05 кгс/см²) на режиме малого газа, до 0,11 МПа (1,1 кгс/см²) на взлетном режиме.

Наддув предмасляных полостей опоры производится: спереди — через трехрядное лабиринтное уплотнение от XII ступени компрессора; сзади — через лабиринтное уплотнение из полости внутреннего корпуса диффузора камеры сгорания.

2.3. СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ КОМПРЕССОРОМ

Площади поперечных сечений проточной части и углы установки лопаток осевого компрессора определяются для расчетного режима работы компрессора, когда обеспечивается плавное и безотрывное обтекание воздухом лопаток РК и НА. При этом основные параметры, характеризующие режим работы компрессора: степень повышения давления π_k^* , массовый секундный расход воздуха G_k , частота вращения ротора ТК — n_{TK} , КПД компрессора η_k , мощность, потребляемая компрессором N_k и т. д. — будут иметь вполне определенные значения. В процессе эксплуатации двигателя компрессору приходится работать при различных частотах вращения ротора ТК при различных атмосферных условиях и режимах полета, т. е. на режимах отличающихся от расчетного. При работе компрессора на нерасчетном режиме изменяются углы набегания потока на лопатки, что приводит к завихрениям потока, отрыву его от лопаток и т. д. При этом, естественно, меняются и значения основных параметров π_k^* , G_k , n_{TK} , η_k , N_k и др. характеризующих режим работы компрессора. В некоторых случаях при работе компрессора на нерасчетных режимах срывы потока с лопаток РК или НА вызывают местные колебания воздушных масс по проточной части компрессора, т. е. приводят к возникновению помпажа.

ПОМПАЖ ОСЕВОГО КОМПРЕССОРА

Помпажем называют неустойчивый режим работы компрессора, связанный с периодическим возникновением и развитием срывов потока воздуха с лопаток РК и НА, что вызывает местные, по проточной части двигателя, колебания воздушных масс.

Помпаж характеризуется резкими колебаниями давлений и скоростей воздушного потока, выбросом воздуха из компрессора во входное устройство двигателя, сильным падением давления воздуха за компрессором, неустойчивым сгоранием топливовоздушной смеси, заметным повышением температуры газа перед турбиной, возникновением вибраций лопаток и тряски двигателя,

появлением характерного звука, не свойственного работе компрессора при нормальных условиях.

При работе двигателя это явление недопустимо, так как оно нарушает нормальную работу, при этом падает мощность, возможен перегрев двигателя и его выключение из-за срыва пламени в камере сгорания. При сильно развитом явлении помпажа возможно даже разрушение двигателя.

В процессе эксплуатации двигателя на значения основных параметров, характеризующих режим работы компрессора, существенное влияние оказывают: давление p_n и температура T_n воздуха на входе в компрессор, высота H и скорость v_n полета и особенно — частота вращения ротора ТК n_{TK} . Так, при уменьшении n_{TK} по сравнению с расчетной уменьшаются G_n , π_n , N_n . При этом нарушается плавность обтекания лопаток РК и НА, что может вызвать появление срывов потока и, при определенных условиях — работу в режиме запириания на первых ступенях компрессора и работа в турбинном режиме на последних. Увеличение n_{TK} сверх расчетной также приводит к рассогласованию работы крайних ступеней осевого компрессора, но в этом случае запириание может возникнуть на последних ступенях.

Итак, отклонение режима работы компрессора от расчетного приводит к перераспределению осевых составляющих скоростей воздуха по ступеням компрессора, т. е. к рассогласованию в работе ступеней, особенно первых и последних. При этом величина осевой составляющей абсолютной скорости воздуха на входе в первую ступень c'_1 изменяется быстрее, а величина осевой составляющей абсолютной скорости воздуха на входе в последнюю ступень c'_2 — медленнее окружной скорости u' .

Для доказательства этого положения напомним уравнение равенства расхода воздуха в сечениях перед первой и последней ступенями компрессора: $G_n = c'_1 \cdot f_1 \gamma_1 = c'_2 \cdot f_2 \cdot \gamma_2 = \text{const}$,

где f_1, f_2 — площади проходных сечений;

γ_1, γ_2 — массовые плотности воздуха в этих сечениях,

откуда
$$\frac{c'_2}{c'_1} \cdot \frac{\gamma_2}{\gamma_1} = \frac{f_1}{f_2} = \text{const}.$$

Так как
$$\frac{\gamma_2}{\gamma_1} = \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{1}{k}} = \pi_k^{\frac{1}{k}},$$

то
$$\frac{c'_2}{c'_1} \cdot \pi_k^{\frac{1}{k}} = \text{const} \quad \text{или} \quad \frac{c'_2}{u'} \cdot \frac{u'}{c'_1} \cdot \pi_k^{\frac{1}{k}} = \text{const}.$$

Отсюда видно, что понижение π_k^* вызывает рост отношений $\frac{c'_2}{u'}$ и $\frac{u'}{c'_1}$ из-за более быстрого снижения c'_1 и более медленного снижения c'_2 по сравнению с u' и, наоборот, увеличение π_k^* приводит к более быстрому росту c'_1 и более медленному росту c'_2 по сравнению с u' .

Рассмотрим работу осевого компрессора при снижении $n_{тк}$. Для простоты рассуждений возьмем осевой компрессор без ВНА, у которого абсолютные скорости воздуха направлены по оси (рис.2.15). По мере снижения $n_{тк}$ уменьшается G_v и π_k . При этом абсолютная скорость воздуха c_1' на входе в первую ступень будут уменьшаться быстрее окружной скорости u' .

В результате изменяется направление относительной скорости w_1' и угол атаки, возрастаая, может стать больше критического, тогда возникает срыв потока со спинок лопаток РК. Образовавшиеся при срыве потока вихри неустойчивы и под действием центробежных сил инерции, действующих на частицы воздуха, склонны к возрастанию. Вихревые зоны, распространяясь в межлопаточных каналах, уменьшают эффективное сечение проточной части, в результате еще более снижаются массовый расход воздуха G_v через ступени и скорость c_1' на входе. При этом наступает момент, когда вихри полностью заполняют межлопаточные каналы, подача воздуха через ступень прекращается, и за ступенью образуется зона пониженного давления.

В последующий момент воздух устремляется в обратном направлении, т. е. в сторону входа, происходит смывание вихревой зоны, при этом возможен выброс воздуха на вход в компрессор.

После этого воздух снова устремляется по тракту компрессора, и в результате срывов потока с лопаток вновь образуются самовозрастающие вихревые зоны на спинках лопаток. Процесс повторяется. Появляются колебания воздушных масс по проточной части двигателя, т. е. появляется помпаж.

В процессе снижения $n_{тк}$ на последних ступенях компрессора абсолютная скорость c_2' , уменьшаясь медленнее окружной скорости u' , изменяет направление относительной скорости w_2' так, что углы атаки уменьшаются и, наконец, становятся отрицательными, в результате чего возникают срывы потока на корыте лопаток. Центробежные силы инерции, действующие на частицы воздуха, прижимают поток к корыту лопаток, что мешает развитию вихрей в этой зоне. В этом случае последние ступени компрессора работают в турбинном режиме, при этом значительно снижается π_k^* и p_2 в этих ступенях, увеличиваются гидравлические сопротивления, что еще в большей степени усугубляет работу первых ступеней.

Итак, при появлении помпажа, периодические срывы потока, возникающие на лопатках РК и НА первых ступеней компрессора, являются мощными источниками, возбуждающими колебания воздушных масс по проточной части двигателя с большой амплитудой, что приводит к выбросу воздуха из компрессора во входное устройство, вибрациям и даже поломкам лопаток компрессора, сильной тряске двигателя, нарушению нормального, устойчивого сгорания, повышению температуры газа перед турбиной, значительному снижению мощности турбины и т. д. Вот почему неустойчивая работа компрессора недопустима.

В процессе технической эксплуатации ГТД неустойчивая работа компрессора может возникнуть при запуске, на переходных режимах и на максимальном режиме.

Для предотвращения помпажа компрессора на двигателе ТВЗ-117 предусмотрена система управления компрессором, которая обеспечивает автоматическое открытие и закрытие клапанов перепуска воздуха из-за VII ступени компрессора в атмосферу и поворот лопаток ВНА и НА первых четырех ступеней по заданной программе.

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ КЛАПАНАМИ ПЕРЕПУСКА ВОЗДУХА В АТМОСФЕРУ

Наиболее простым и достаточно надежным средством предупреждения неустойчивой работы компрессора на нерабочих режимах является перепуск воздуха из средних ступеней компрессора в атмосферу (рис.2.16). Выпуск части воздуха в атмосферу способствует увеличению объемного расхода воздуха через первые ступени. Это увеличивает значение осевой составляющей абсолютной скорости c'_1 до величины, при которой относительная скорость w'_1 будет направлена по касательной к средней линии у передней кромки профиля лопатки. При этом срывов потока воздуха на лопатках не будет и несколько возрастут значения π_k и η_k .

В результате частичного выброса воздуха в атмосферу и увеличения π_k в первых ступенях объемный расход воздуха на последних ступенях компрессора уменьшается, а следовательно уменьшается осевая составляющая абсолютной скорости c_2' .

При этом относительная скорость w'_2 будет направлена примерно по касательной к средней линии профиля у передней кромки лопатки. Таким образом, лопатки последних ступеней будут работать в условиях, подобных расчетным, а значит несколько увеличатся значения π_k и η_k этих ступеней. Следовательно, перепуском воздуха в атмосферу удастся предупредить возникновение помпажа и увеличить π_k и η_k при работе на нерасчетных режимах. Так как этот способ регулирования компрессора обладает существенным недостатком, а именно: бесполезной затратой мощности на сжатие перепускаемого в атмосферу воздуха и ухудшением экономичности двигателя до момента закрытия клапанов, то его, как правило, применяют только при запуске двигателя. Однако перепуск воздуха из средних ступеней компрессора в атмосферу при запуске позволяет уменьшить мощность средств запуска двигателя и тем самым повысить надежность запуска.

Перепуск воздуха производится двумя клапанами из-за VII ступени компрессора. Клапаны устанавливаются внизу на кольцевой коробке корпуса НА V...XI ступеней компрессора.

Система управления клапанами перепуска воздуха автоматическая, двухпозиционная. Открытие и закрытие клапанов перепуска воздуха производится по заданной программе в зависимости от уровня приведенной частоты вращения ротора турбокомпрессора ($n_{ткр}$).

На неработающем двигателе, когда отсутствует давление в топливной системе двигателя, клапаны перепуска воздуха под действием своих пружин закрыты. При нажатии на кнопку «Запуск» начинается раскрутка ротора ТК. При этом насос высокого давления (качающий узел насоса-регулятора НР-ЗВМ), практически мгновенно создает повышенное давление топлива в системе питания элементов автоматики. От нижнего гидроцилиндра системы управления поворотом лопаток НА через встроенный в него золотник-переключатель двухпозиционной системы управления клапанами топливо под давлением поступает к штуцерам 12 (рис. 2.17) клапанов перепуска воздуха и далее в их полости А. Под действием давления топлива поршни 10, сжимая пружины 4, вместе с клапанами 1 перемещаются влево (по рисунку). При этом клапаны 1 сообщают полость за VII ступенью компрессора с атмосферой. При работе двигателя на режиме малого газа ($n_{\text{мг}} = 75 \pm 3 \%$) клапаны перепуска еще открыты. При переводе двигателя на повышенный режим, когда $n_{\text{тк}}$ достигает $86 \pm 1 \%$ золотник-переключатель двухпозиционной системы управления клапанами сообщит полости А клапанов перепуска с линией низкого давления (со сливом). Под действием пружин 4 клапаны закроются и при дальнейшем повышении режимов работы двигателя (вплоть до взлетного режима) они остаются закрытыми. При снижении режимов работы двигателя клапаны перепуска воздуха откроются лишь при $n_{\text{тк}} = 82\%$. Это заранее предусмотренное различие в моментах открытия (при $n_{\text{тк}} = 84...87\%$) и закрытия (при $n_{\text{тк}} = 82\%$) клапанов перепуска предотвращает появление автоколебаний в двухпозиционной системе управления ими. Клапаны перепуска воздуха взаимозаменяемы. Узел каждого из них состоит из следующих основных деталей: корпуса 6, седла 2 клапана, клапана 1, втулки 8 поршня с уплотнительным кольцом 5, пружины 4, поршня 10 с уплотнительным кольцом 9 и манжетой 3, крышки 11 с уплотнительным кольцом 7 и двух штуцеров 12.

Корпус 6 отлит из алюминиевого сплава. Он имеет четырехугольный фланец с отверстиями под винты его крепления к фланцу кольцевого короба корпуса НА V...XI ступени компрессора. Со стороны этого фланца в расточку запрессовано стальное седло 2 клапана с конусной фаской, к которой прилегает своей фаской клапан 1. На боковой поверхности корпуса — патрубок для крепления трубы перепуска воздуха в атмосферу. По оси клапана 1 с противоположной стороны в корпусе выполнена полость, куда устанавливается манжета 3 и запрессовывается втулка 8 поршня с уплотнительным кольцом 5 и фиксируется штифтом. Во втулку 8 устанавливается пружина 4 с тарелкой и поршень 10 с уплотнительным кольцом 9. Полость поршня закрывается резьбовой крышкой 11 с уплотнительным кольцом 7. В корпусе выполнена система каналов и ввернуто два штуцера. Штуцер 12 служит для подвода топлива под давлением в полость А и для слива его из этой полости в линию низкого давления. Аналогичный штуцер, расположенный рядом со штуцером 12, постоянно сообщает полость Б с линией низкого давления топлива.

В узле клапана перепуска воздуха предусмотрено охлаждение резиновой манжеты 3 при открытом клапане 1. Топливо из полости А через осевое В и радиальное жиклерное Г отверстия в штоке поршня 10, внутреннюю кольцевую расточку и отверстие Д во втулке 8 поршня поступает к манжете, охлаждает ее и через отверстие Е сливается в полость Б, постоянно сообщенную с линией низкого давления топлива.

УПРАВЛЕНИЕ ОСЕВЫМ КОМПРЕССОРОМ ПОВОРОТОМ ЛОПАТОК ВНА И НА I...IV СТУПЕНЕЙ

Поворот лопаток является эффективным средством управления осевым компрессором, обеспечивающим необходимые запасы устойчивости в довольно широком диапазоне частот вращения и улучшающим КПД компрессора при работе на средних частотах. Так как режим работы средних ступеней многоступенчатых компрессоров мало отличаются от расчетного, то при малых скоростях полета нет необходимости осуществлять поворот лопаток НА всех ступеней и вполне достаточно ограничиться поворотом лопаток лишь ВНА и НА первых четырех ступеней.

Рассмотрим, каким же образом поворот лопаток препятствует возникновению неустойчивой работы компрессора.

Уменьшение $n_{\text{тк}}$ или увеличение t_n воздуха на входе в компрессор приводит к уменьшению π_k , а значит к росту отношений $\frac{c_2}{u'}$ и $\frac{u'}{c_1}$, т. е. к изменению по величине осевых составляющих абсолютных скоростей воздуха в компрессоре. При этом осевая составляющая абсолютной скорости воздуха на входе в компрессор уменьшается от $c_{1\text{вр}}$ до $c_{1\text{нр}}$ (рис. 2.18), а осевая составляющая абсолютной скорости воздуха на входе в последнюю ступень соответственно увеличивается. В этом случае вектор относительной скорости $w_{1\text{вр}}$ на входе в рабочее колесо первой ступени будет направлен под некоторым положительным углом атаки, в результате чего на спинках лопаток возникают срывы потока, что приводит к неустойчивой работе компрессора.

Для обеспечения входа воздуха на лопатки рабочих колес под наивыгоднейшим углом атаки необходимо, чтобы при уменьшении $n_{\text{тк}}$ (окружной скорости) относительная скорость сохранила бы свое прежнее направление. Для этого лопатки ВНА следует повернуть в сторону уменьшения установочного угла на угол α , что увеличит предварительную закрутку потока в направлении вращения ротора. В этом случае относительная скорость $w'_{1\text{нр}}$ как геометрическая разность абсолютной скорости $c'_{1\text{нр}}$ и окружной $u_{\text{нр}}$ будет направлена параллельно относительной скорости $w_{1\text{нр}}$ на расчетном режиме. Значит угол поворота лопаток ВНА должен быть строго согласован с изменением частоты вращения ротора и температуры воздуха на входе в компрессор. Очевидно, для обеспечения плавного, безотрывного обтекания лопаток РК I, II, III, IV и V ступеней необходимо поворачивать лопатки ВНА и НА I, II, III

и IV ступеней на соответствующие углы. Зависимость установочных углов лопаток ВНА от $\eta_{т.к. пр.}$ дана на рис. 2.19. При запуске и на всех режимах до $\eta_{т.к. пр.} = 80\%$ лопатки ВНА установлены под минимальными $\alpha_{ВНА} = +27^{+1,5}$. При $\eta_{т.к. пр.} = 100\%$ $\alpha_{ВНА} = 0^{+1,5}$, а при $\eta_{т.к. пр.} = 103\%$ - под максимальными $\alpha_{ВНА} = -6,5^{+0,5}$. Величина установленных углов для каждого ряда лопаток НА своя, индивидуальная и она также зависит от $\eta_{т.к. пр.}$. При чем при $\eta_{т.к. пр.} = 100\%$ $\alpha_{НА} = 0$ у всех рядов лопаток.

При уменьшении $\eta_{т.к. физ.}$ или увеличении t_H воздуха на входе в компрессор лопатки ВНА и НА первых четырех ступеней поворачиваются в сторону уменьшения установочных углов, т. е. «закрываются».

При уменьшении $\eta_{т.к. физ.}$ ниже 80% (при $t_H = 15^\circ\text{C}$) вплоть до останова двигателя углы установки поворотных лопаток остаются неизменными, равными минимальным углам $+27^{+1,5}$ по лимбу.

Таким образом поворотом лопаток добиваются поддержания высокого КПД компрессора в широком диапазоне изменений $\eta_{т.к. пр.}$ на всех режимах работы двигателя вплоть до расчетного. Однако поворот лопаток не обеспечивает устойчивой работы компрессора при малой $\eta_{т.к. пр.}$, поэтому для регулирования компрессора при запуске введены клапаны перепуска воздуха из-за VII ступени компрессора в атмосферу. Таким образом беспомпажная работа компрессора обеспечивается:

в процессе запуска двигателя и при переводе его с режима малого газа на повышенный режим до $\eta_{т.к. пр.} = 80\%$ открытыми клапанами перепуска воздуха при неизменном положении поворотных лопаток, установленных под минимальными углами к плоскости вращения;

до $\eta_{т.к. пр.} = (86 \pm 2)\%$ — поворотом лопаток при открытых клапанах перепуска;

до $\eta_{т.к. пр.} = 103\%$ - только поворотом лопаток.

Кинематическую связь между гидроцилиндрами и поворотными лопатками ВНА и НА первых четырех ступеней компрессора обеспечивает механизм управления направляющими аппаратами. Он устанавливается на корпусе компрессора в поясе I-V ступеней. Его работа заключается в следующем.

В зависимости от величины командного давления топлива, прямопропорционального $\eta_{т.к. пр.}$, синхронно поворачиваются силовые рычаги верхнего гидроцилиндра насоса-регулятора (НР-3ВМ) и нижнего, дополнительного гидроцилиндра, гидравлически связанного с НР-3ВМ.

Поскольку управление поворотными лопатками от силового рычага 29 (рис. 2.20) НР-3ВМ и силового рычага нижнего гидроцилиндра идентично, рассмотрим кинематику поворота лопаток на примере верхнего устройства. Силовой рычаг 29 насоса-регулятора через регулируемую тягу 28, качалку 24, соединительную планку 31, двухплечие рычаги 33 и тяги 23 регулируемые, передают движения на поворотные кольца 20 и далее через рычаги 5 на поворотные лопатки 2, 9, 12, 14 и 15.

Перемещение поворотных колец вправо (по часовой стрелке) приводит к одновременному повороту лопаток в сторону уменьшения их установочных углов (на закрытие). Диапазон углов

поворота каждого ряда поворотных лопаток неодинаков и равен:
для лопаток НА I ступени - от $+ (19,9^{+1,2})^\circ$ до $- (5,1 \pm 0,4)^\circ$;
для лопаток НА II ступени - от $+ (17,6^{+1,0})^\circ$ до $- (4,7 \pm 0,35)^\circ$;
для лопаток НА III ступени - от $+ (14,3^{+0,8})^\circ$ до $- (3,6 \pm 0,3)^\circ$;
для лопаток НА IV ступени - от $+ (8,3^{+0,6})^\circ$ до $- (2,2 \pm 0,2)^\circ$.

До $\eta_{\text{т.пр}} = 80\%$ поворотные лопатки установлены под минимальными к плоскости вращения углами. Величина углов поворота лопаток зависит от принятой программы управления компрессором и подбирается длиной вильчатых плеч двуплечих рычагов 33. Применение двух гидроцилиндров обеспечивает равномерное распределение усилий на поворотные кольца, что устраняет возможность их перекоса и заклинивания.

Механизм управления НА состоит из: силовых рычагов 29 гидроцилиндра НР-ЗВМ и нижнего гидроцилиндра, регулируемых тяг 28, качалок 24, рычажных планок 34, двуплечих рычагов 33, соединительных планок 31, тяг 23 регулируемых, поворотных колец 20, поворотных лопаток 2, 9, 12, 14, 15 и их рычагов 5, стрелки с лимбом и узла обратной связи.

Рычажные планки 34 крепятся винтами 3, 18 к специальным кронштейнам 4 корпуса 1 передней опоры ротора и 17 корпуса V...XI ступеней компрессора. Они имеют бобышки с отверстиями для монтажа втулок 8 осей двуплечих рычагов 33 и оси 19 качалки 24.

Двуплечие рычаги 33 конструктивно выполнены аналогично. Одинаковые по длине плечи этих рычагов вместе с качалкой 24 соединяются планкой 31. В этом случае поворот качалки 24 на определенный угол в ту или иную сторону вызывает поворот всех двуплечих рычагов в ту же сторону и на тот же угол. Вильчатые плечи двуплечих рычагов 33 по длине выполнены разными, что обеспечивает поворот лопаток каждого ряда на углы, соответствующие принятой программе управления компрессором.

Качалка 24 регулируемой тягой 28 соединена с силовым рычагом 29 насоса-регулятора.

Тяги 23 регулируемые являются связующими звеньями между двуплечими рычагами 33 и поворотными кольцами 20. Своими наконечниками со сферическими втулками они устанавливаются на оси 6 двуплечих рычагов 33 и оси 21 проушин 22 поворотных колец 20. Тяги 23 выполнены регулируемыми для компенсации погрешностей изготовления деталей, входящих в кинематику.

Поворотные кольца 20 всех ступеней компрессора выполнены аналогичными. Они сварной конструкции коробчатого сечения. Спереди равномерно по окружности они имеют окна для монтажа рычагов, а против них радиальные отверстия под штифты 7 рычагов 5. Штифты от выпадания предохраняются бандажными лентами 16. Каждое поворотное кольцо 20 опирается на десять равномерно расположенных по окружности роликов 13, которые совместно с распорными втулками 11 установлены на оси 10. К поворотным кольцам приварено по две проушины 22 для монтажа

осей 21 тяг 23 регулируемых. Рычаги 5 поворотных лопаток 2, 9, 12, 14 и 15 устанавливаются на их внешние цапфы и закрепляются штифтами. На внешней цапфе одной из лопаток ВНА, расположенной слева, устанавливается стрелка, по показаниям которой на лимбе можно производить регулировку кинематики поворотных лопаток.

На внешней цапфе лопатки ВНА, расположенной вверху на 24° левее вертикальной оси, устанавливается рычаг 32 обратной связи. Для придания жесткости этой лопатке ВНА на корпусе 1 передней опоры ротора установлен специальный кронштейн 35, выполняющий роль дополнительной опоры для цапфы этой лопатки.

Рычаг обратной связи 32 поворотной лопатки ВНА, регулируемой тягой 30, соединяется с рычагом обратной связи 27 насоса-регулятора. Люфты в соединениях системы обратной связи выбираются пружиной 26, которая одним концом соединяется с ушком регулируемой тяги 30, а другим — с кронштейном 25, жестко закрепленном на корпусе компрессора.

2.4. ПРОТИВООБЛЕДЕНИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА

Обледенение силовых установок представляет собой процесс образования и отложения льда на поверхностях элементов их конструкции во время полета вертолета в предрасполагающих к этому метеорологических условиях. Обледенение может произойти при температуре окружающего воздуха от 5 до минус 30°C и даже ниже. Наиболее часто оно наступает при полетах вертолетов во влажной атмосфере при небольших отрицательных температурах от 0 до минус 10°C , а также при попадании вертолета из зоны холодной массы воздуха в более теплую и влажную (например, при быстром снижении).

Интенсивное льдообразование обычно происходит на поверхностях воздухозаборников, туннелей, обтекателей, входных каналов и стоек двигателей, лопаток ВНА, рабочего колеса и направляющего аппарата I ступени компрессора.

Обледенение элементов конструкции входного устройства двигателя приводит к уменьшению проходного сечения входного канала и нарушению обтекания его деталей, а следовательно, к уменьшению секундного расхода воздуха. В результате, заметно снижается мощность двигателя; наблюдается рост температуры газов перед турбиной; режим работы двигателя приближается к границе неустойчивой работы компрессора, что вызывает тряску двигателя и срывы пламени в камере сгорания.

Рост температуры газов перед турбиной может вызвать перегрев лопаток соплового аппарата и рабочего колеса турбины. Скалывание льда с элементов входного устройства двигателя приводит к повреждению лопаток компрессора.

На современных вертолетах наибольшее распространение получили тепловые противообледенительные системы силовых уста-

новок. Принцип их работы основан на нагреве защищаемых поверхностей до положительных температур, исключающих льдообразование. В зависимости от источников энергии противообледенительные системы подразделяются на электротепловые и воздушно-тепловые. В силовой установке с двигателями ТВЗ-117ВМ электротепловая система применяется для обогрева обтекателя («гриба») ПЗУ, а воздушно-тепловая для обогрева деталей входного тракта двигателя. Для обогрева используется горячий воздух, отбираемый из кожуха камеры сгорания. Горячим воздухом обогреваются воздухозаборник двигателя, поверхности обтекателя (кока), сепаратора ПЗУ, передних кромок горизонтальных стоек первой опоры, лопаток ВНА компрессора и входной части воздухопровода обдува термопатрона насоса-регулятора.

Включение противообледенительной системы может производиться как автоматически, по команде радиоизотопного датчика обледенения РИО-ЗМ, так и вручную.

Радиоизотопный датчик обледенения предназначен для автоматического включения системы в начале обледенения. Датчик установлен в воздухозаборнике вентилятора вертолета.

Воздушно-тепловая противообледенительная система (рис. 2.21) двигателя включает: регулируемую заслонку 1919Т 3, терморегулятор 5 и трубопроводы.

РАБОТА СИСТЕМЫ

Вторичный воздух из камеры сгорания по трубопроводу 8 подводится к терморегулятору 5 и далее к регулирующей заслонке 3. При подаче сигнала на заслонку (при ручном включении ПОС или от радиоизотопного датчика обледенения) электромеханизм заслонки производит перекладку запорного устройства в открытое положение. При этом горячий воздух идет на обогрев передней кромки воздухозаборника 1 двигателя и обогрев входной части воздухопровода 11 обдува термопатрона насоса-регулятора, установленного на фланце туннеля воздухозаборника двигателя. Также через колено 2 и горизонтальную стойку горячий воздух поступает во внутреннюю полость корпуса первой опоры. Через систему каналов и отверстий воздух подводится для обогрева обтекателя и второй горизонтальной стойки и через отверстия в обтекателе и стойках выходит в проточную часть двигателя.

При установленном пылезащитном устройстве для улучшения эффективности обогрева его сепаратора к фланцу 12 вместо заглушки крепится тройник дополнительного подвода горячего воздуха. В этом случае отбор воздуха на обогрев входной части воздухопровода 11 производится не от трубопровода обогрева воздухозаборника двигателя, а от штуцера тройника.

Часть воздуха, пройдя колено и горизонтальную стойку попадает в кольцевую полость корпуса первой опоры, в которую входят нижние цапфы лопаток ВНА компрессора. Через отверстия в цапфах лопаток воздух поступает во внутреннюю полость носика лопатки и, омывая ее тонкостенную оболочку, выходит по спе-

циальным каналам в проточную часть. Две вертикальные стойки корпуса первой опоры обогреваются маслом.

АГРЕГАТЫ ПРОТИВООБЛЕДЕНИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

Регулирующая заслонка 3 (см. рис. 2.21) предназначена для подвода и отсечки горячего воздуха из камеры сгорания к элементам входного тракта двигателя, т. е. используются только в двух крайних положениях: открытом и закрытом. При полном открытии заслонки концевой выключатель электромеханизма подает сигнал на табло, сигнализирующее о фактическом включении противобледенительной системы.

Заслонка с помощью хомута через уплотнительную прокладку крепится к заднему фланцу колена 2, установленному на корпусе первой опоры, а к ней также хомутом крепится гибкий рукав 4 воздухопровода. К переднему фланцу колена при помощи четырех винтов крепится трубопровод отвода горячего воздуха на обогрев воздухозаборника двигателя.

Основные технические данные регулирующей заслонки 1919Т:

Напряжение постоянного тока, В	27±2,7
Потребляемый ток, не более, А	0,37
Время полного открытия или закрытия, с	29 ^{+8,7} _{-5,8}
Масса, не более, кг	1,6

Регулирующая заслонка 1919Т (рис. 2.22) состоит из корпуса 1, вала 9, заслонки и электромеханизма 2.

Корпус 1, имеющий форму трубы с двумя фланцами, снаружи имеет прилив треугольной формы с ребрами для крепления электромеханизма ЭПВ-50БТ. Заслонка, укрепленная на валу 9 с помощью хомута 7 и четырех винтов, представляет собой диск 8 с манжетой 6, обеспечивающей герметичность заслонки в закрытом положении. Для предотвращения утечки воздуха на утолщенной шейке вала 9 имеется канавка для уплотнительного кольца 4. Шлицевой конец вала 9 входит в шлицевую втулку 3 электромеханизма. Электромеханизм к корпусу заслонки крепится тремя шпильками 15, проходящими через дистанционную втулку 14 и кронштейн 18 фланца корпуса заслонки. Уплотнительное кольцо 11, поджатое гайкой 13, создает герметичное уплотнение на втором конце вала.

Для получения равномерного по времени изменения проходного сечения заслонки в электромеханизм 1 (рис. 2.23) включен четырехзвенный механизм.

Терморегулятор предназначен для ограничения подачи горячего воздуха от камеры сгорания к обогреваемым элементам входного тракта при работе двигателя с включенной противобледенительной системой на режимах выше малого газа с целью снижения потерь мощности.

Терморегулятор (рис. 2.24) состоит из корпуса 4, подвижного сектора 2, с биметаллической пружиной 3, неподвижного сектора 1 и шариковых опор 5.

На работающем двигателе с включенной системой противообледенения горячий воздух от камеры сгорания, проходя терморегулятор, нагревает биметаллическую пружину 3, которая вращает подвижный сектор 2, изменяя площадь проходного сечения.

С увеличением температуры горячего воздуха, поступающего в систему противообледенения, площадь проходного сечения в терморегуляторе уменьшается. Подвижный сектор 2 в терморегуляторе вращается на шариковых опорах 5, одна из которых находится в корпусе 4, а другая в неподвижном секторе 1.

Биметаллическая пружина 3 одним концом неподвижно крепится в корпусе терморегулятора, а другим концом прикреплена к подвижному сектору 2.

Трубопровод 8 (см. рис. 2.21) отбора воздуха от камеры сгорания крепится с одной стороны своим фланцем к фланцу 10 камеры сгорания, с другой — к фланцу терморегулятора 5. На трубопроводе установлен штуцер 6 отбора воздуха на эжектор ПЗУ. Регулирующая заслонка 7 эжектора ПЗУ устанавливается на кронштейне, который крепится к фланцу запасного привода коробки приводов спереди. В магистраль подвода воздуха к обогреваемым поверхностям включен гибкий рукав 4. Гибкий рукав состоит из металлического гофрированного трубопровода, покрытого металлической оплеткой. Установка гибкого рукава облегчает сборку двигателя и исключает разрушение трубопроводов противообледенительной системы при их нагреве.

2.5. ВОЗМОЖНЫЕ НЕИСПРАВНОСТИ КОМПРЕССОРА

Характерной особенностью вертолетов является то, что они, как правило, производят взлет и посадку с грунтовых площадок, совершают полеты на небольшой высоте, часто работают на режиме висения вблизи земли. В этих условиях в вертолетные ГТД поступает воздух с резко увеличенной концентрацией пыли за счет пылевого облака, поднимаемого воздушным потоком от несущего винта. При этом имеют место и случаи попадания во входное устройство песка, мелких камешков, кусочков бетона, льда, крупного града, птиц и т. п. Внесенные потоком воздуха посторонние предметы вызывают абразивный износ и различного рода повреждения лопаток ВНА, рабочих колес и направляющих аппаратов. В результате в процессе эксплуатации двигателей ТВ3-117ВМ возможны следующие неисправности компрессора:

1. Абразивный износ лопаток ВНА, РК и НА компрессора вследствие продолжительной эксплуатации двигателей в условиях повышенной запыленности воздуха в окружающей среде.

Абразивный износ изменяет профиль лопаток, а значит и характер их обтекания, вызывает срывы потока, снижение η_{*} и η_{*} и, в конечном счете, может привести к помпажу компрессора.

2. Повреждения лопаток в процессе работы двигателя из-за попадания в него посторонних предметов (песка, камешков, кусочков льда, града, птиц и т. д.). Механические повреждения

лопаток РК и НА снижают их запас прочности и могут привести к обрыву рабочих лопаток, а значит к разрушению конструкции компрессора.

3. Разрушение лопаток вследствие интенсивной коррозии при частом воздействии на них морской воды или биологических факторов в тропических условиях.

4. Поломка рабочих лопаток компрессора при запуске двигателя вследствие примерзания их к корпусам НА в условиях повышенной влажности и при низких температурах воздуха в окружающей среде.

5. Разрушение подшипников опор: из-за масляного голодания; их заклинивания при запуске (без предварительного прогрева) в условиях низких температур; разрушения беговых дорожек колец подшипников; поломки сепараторов и т. д.

ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ КОМПРЕССОРА

Техническое обслуживание компрессора обычно сводится к тщательному осмотру и проверке состояния деталей входной части компрессора и лопаток ВНА и РК I ступени компрессора.

На двигателях с ПЗУ для осмотра и проверки состояния входного канала и лопаток ВНА и РК I ступени компрессора необходимо снять обтекатель («гриб») ПЗУ. В процессе осмотра убедиться в отсутствии: посторонних предметов; течи масла из первой опоры двигателя; забоин, вмятин, надиров на поверхностях входного канала и лопаток ВНА; износа и повреждений лопаток РК I ступени компрессора. Следует иметь в виду, что на лопатках ВНА допускаются забоины и вмятины без надрывов вдоль лопатки длиной (l) до 5 мм, глубиной (h) до 1 мм (рис. 2.25). Количество допустимых повреждений 1 на одной лопатке должно быть не более пяти. При осмотре убедиться, что: а) положение поворотных лопаток по лимбу (рис. 2.26) соответствует $+(27,0 \pm 1,5)^\circ$; б) обеспечена правильность зацепления рычагов 1 (рис. 2.27) с поворотными кольцами 2. Деформация рычагов и выход поворотного кольца из паза рычага лопатки не допускается. После осмотра и проверки состояния входного канала и лопаток ВНА необходимо с помощью специального торцевого ключа с шарнирной рукояткой произвести «перекладку» поворотных лопаток из положения $+(27,0 \pm 1,5)^\circ$ по лимбу ВНА (см. рис. 2.26) в положение $-(6,5 \pm 0,5)^\circ$. Затем произвести осмотр и проверку состояния лопаток РК I ступени компрессора, прокручивая ротор ключом ручной прокрутки, при этом убедиться в отсутствии забоин, вмятин, надрывов, абразивного износа входной кромки.

Виды и нормы допустимых повреждений рабочих лопаток I ступени компрессора в условиях технической эксплуатации двигателя приведена в табл. 2.1 (рис. 2.28).

При осмотре и зачистке лопаток необходимо применять меры, препятствующие попаданию стружки в двигатель.

В случае обнаружения износа входной кромки рабочих лопаток

Виды и нормы допустимых повреждений рабочих лопаток I ступени компрессора

Виды допустимых повреждений	Максимально допустимый размер повреждения
1. Забоины и вмятины на поверхности корыта лопатки в I зоне	Глубиной (h) до 0,5 мм и не более одной забоины глубиной (h) до 1,0 мм
2. Точечные забоины на передних кромках лопаток в I зоне	Глубиной (h) не более 0,4 мм и не более одной забоины (h) до 1,0 мм
3. Забоины и вмятины на поверхности корыта во II зоне	Глубиной (h) до 0,3 мм и не более трех забоин или вмятин глубиной (h) до 0,5 мм
4. Забоины на передних кромках во II зоне	Глубиной (h) не более 0,4 мм

Примечание. В корневой (III) зоне повреждения рабочих лопаток I ступени компрессора не допускаются.

I ступени компрессора необходимо произвести измерение износа по специальной методике с помощью приспособления У6360-2455.

После окончания осмотра, зачистки или измерения износа лопаток РК I ступени компрессора установить обтекатель ("гриб") ПЗУ.

Измерение величины износа лопаток РК I ступени компрессора производят с помощью специального приспособления У6360-2455 (рис. 2.29). Для этого необходимо:

1. Снять обтекатель ПЗУ.
2. Открыть капоты отсека двигателя.
3. Проверить правильность настройки приспособления У6360-2455 для измерения износа лопаток РК I ступени компрессора по шаблону-упору 6. Проверку производить следующим образом:
 - а) нажатием маховичка с фиксатором до упора и поворотом его против часовой стрелки на угол 90° , развести подвижный захват 8 и зафиксировать его;
 - б) вставить между неподвижным 5 и подвижным 8 захватами шаблон-упор 6;
 - в) повернуть маховик 1 с фиксатором по часовой стрелке на 90° , так чтобы подвижный захват 8 плотно охватывал шаблон-упор 6.

При этом нулевая линия шкалы на регулируемом лимбе 3 должна совпадать с нулевой линией нониуса подвижного штока 2. Если нулевые линии не совпадают, то разрешается переместить регулируемый лимб 3 (предварительно ослабив крепежные винты) до их совпадения.

4. Установить шаблон-упор 6 на штангу 4 в зоне II и застопорить его винтом 7.

5. С помощью специальной шарнирной рукоятки с головкой торцевого ключа произвести перекладку поворотных лопаток ВНА компрессора из положения $+27^\circ \pm 1,5^\circ$ в положение $-(6,5 \pm 0,5)^\circ$ по лимбу ВНА (см. рис. 2.26).

6. Снять заглушку с привода ручной прокрутки и установить ключ для прокрутки ротора ТК.

7. Протереть салфеткой нижние лопатки ВНА и место установки приспособления в нижней части корпуса первой опоры.

8. Установить при помощи ключа для прокрутки ротора ТК (или рукой за лопатку) одну из лопаток РК I ступени компрессора в положение, удобное для проведения измерения и отметить ее мелом, считая в дальнейшем ее первой.

9. С помощью маховичка с фиксатором развести захваты и зафиксировать их в раскрытом положении.

10. Взять приспособление У6360-2455 подвижным захватом вверх и завести его вниз в полость компрессора через ВНА (ближе к оси двигателя).

11. Повернуть приспособление на 90° по часовой стрелке и плавно переместить его вперед до касания неподвижного захвата входной кромки рабочей лопатки I ступени (примерно на середине длины лопатки).

12. Опустить приспособление вниз, не теряя контакта с передней кромкой пера рабочей лопатки, до соприкосновения захватов и шаблона-упора с внутренней поверхностью корпуса первой опоры.

13. Поворачивая маховичок с фиксатором по часовой стрелке, плавно подвести подвижный захват до соприкосновения его с задней кромкой лопатки.

ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ. Во избежание повреждения лопатки после обхвата ее пера захватами приспособления недопустимы смещения (перекосы) штанги приспособления в боковом (относительно двигателя) направлении.

14. По лимбу и нониусу определить фактическую величину износа (c_1) пера лопатки (в мм).

15. Вынуть приспособление из полости компрессора, для чего предварительно нажать на маховичок с фиксатором вперед до упора, повернуть его на 90° против часовой стрелки, а штангу — против часовой стрелки также на 90°.

16. Поворачивая ротор компрессора ключом для прокрутки (или рукой за лопатку), последовательно произвести измерения величин износа каждой третьей рабочей лопатки, т. е. остальных одиннадцати рабочих лопаток I ступени компрессора.

17. Определить среднюю величину износа рабочих лопаток (в мм) I ступени компрессора по формуле:

$$C_{\text{ср}} = \frac{C_1 + C_2 + \dots + C_{12}}{12}$$

и записать ее в формуляр двигателя (разд. 14) имея в виду, что средняя (по двенадцати лопаткам) величина износа не должна превышать 2,0 мм.

18. Вынуть ключ для прокрутки ротора ТК, вернуть заглушку и законтрить ее проволокой.

19. Закрыть капоты отсека двигателя.

20. Установить обтекатель ПЗУ.

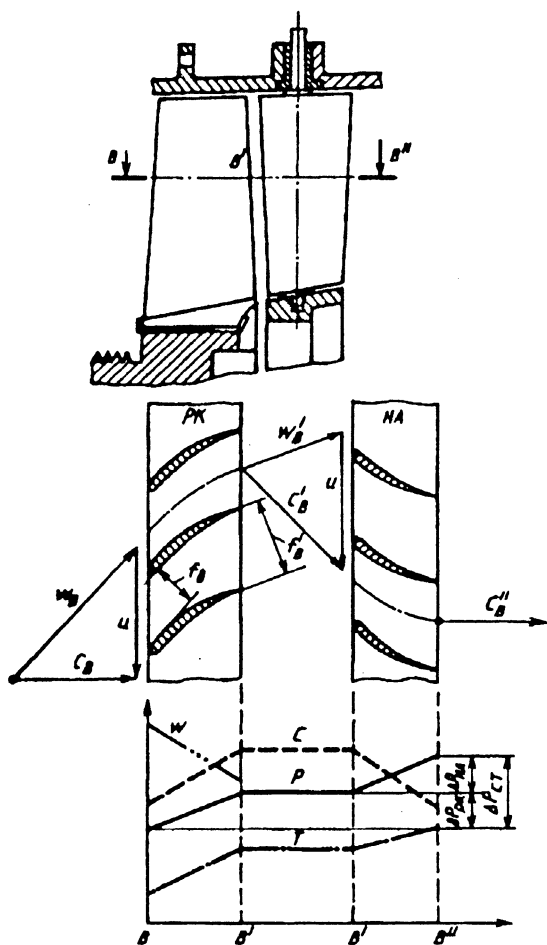


Рис. 2.1. Принцип работы ступени осевого компрессора без ВНА

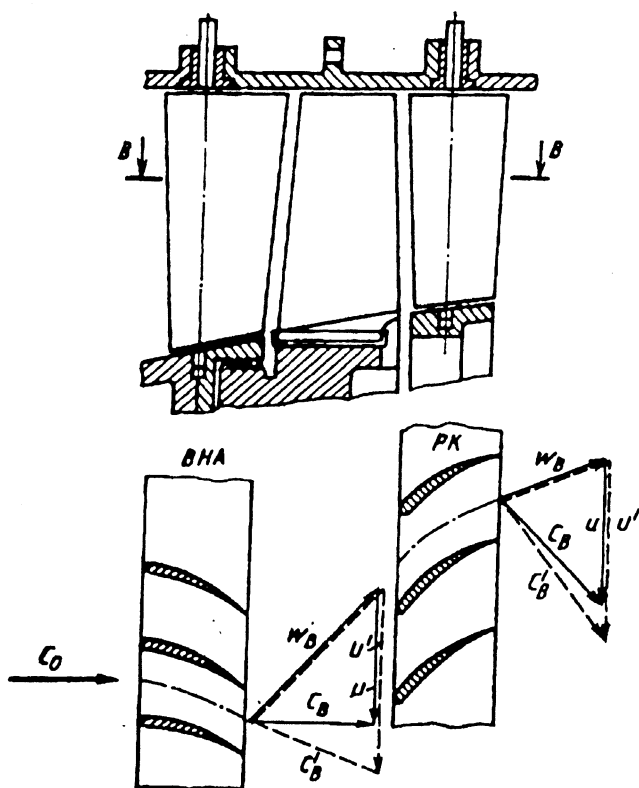


Рис 2.2 Принцип работы ВНА

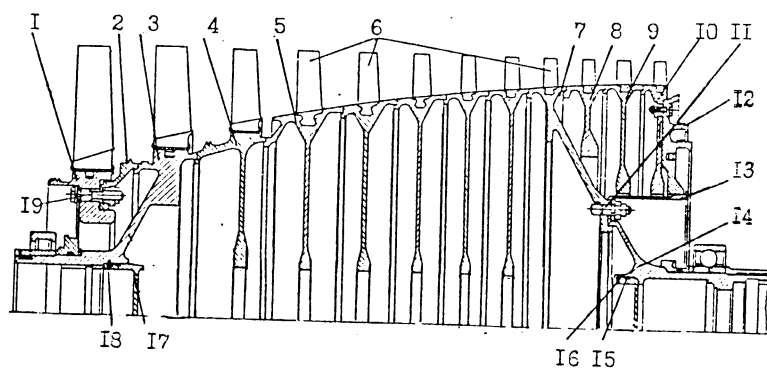


Рис. 2.4. Ротор компрессора:

1, 3, 4, 5, 7, 8, 9, 10 — диски РК соответственно I, II, III, IV, IX, X, XI и XII ступеней; 2 — проставка коническая; 6 — рабочие лопатки; 11, 19 — болты; 12 — диск лабиринтного уплотнения; 13 — экран; 14 — цапфа задняя; 15, 17 — заглушки; 16, 18 — штифты

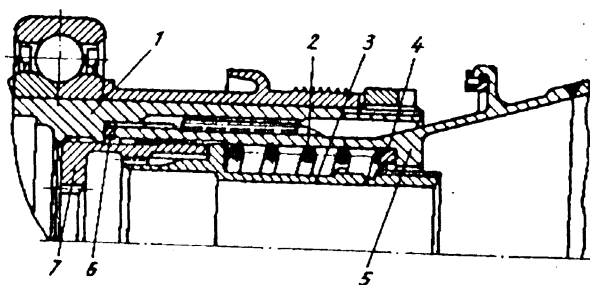


Рис. 2.5. Узел соединения роторов компрессора и турбины компрессора:

1 — цапфа задняя; 2 — пружина; 3 — шлицевой фиксатор; 4 — шайба опорная; 5 — вал ротора ТК; 6 — шайба регулировочная; 7 — втулка стяжная

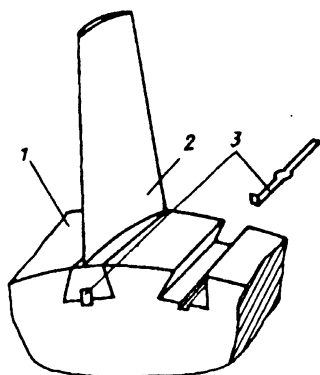


Рис. 2.6. Крепление РК I-III ступеней:

1 — обод диска РК; 2 — рабочая лопатка; 3 — пластинчатый замок

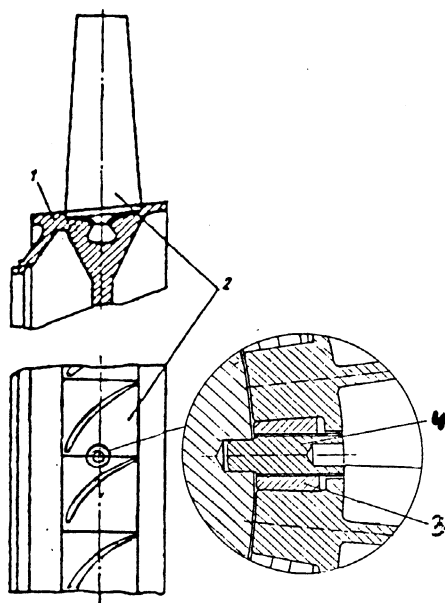


Рис. 2.7. Крепление лопаток РК IV-XII ступеней:

1 — обод диска РК; 2 — рабочая лопатка; 3 — вкладыш; 4 — резьбовой штифт

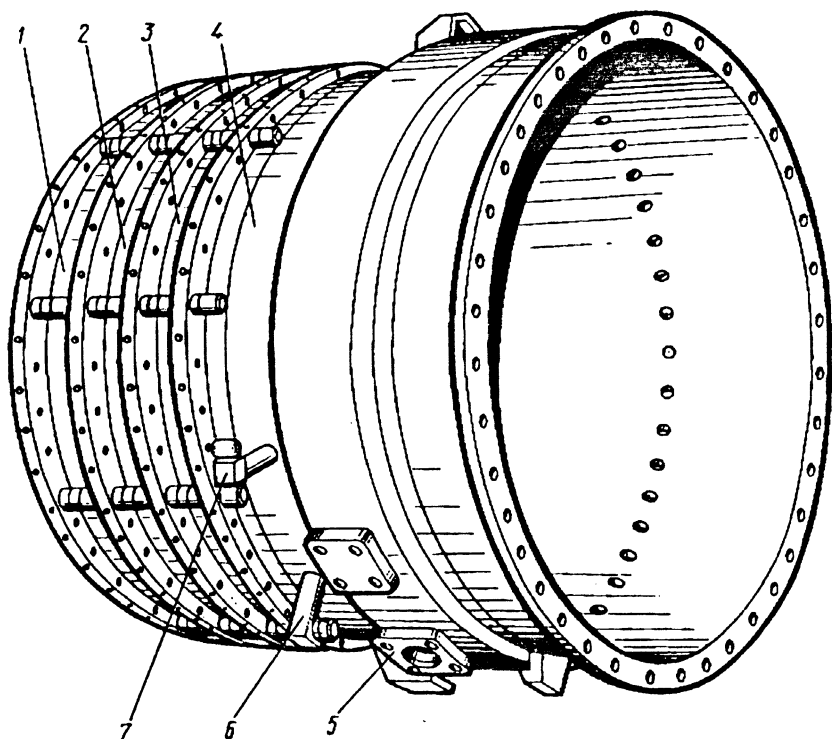


Рис. 2.8. Статор компрессора (вид слева):

1 — корпус II ступени; 2 — корпус III ступени; 3 — корпус IV ступени;
 4 — корпус V — XI ступеней; 5 — фланец клапана перепуска воздуха;
 6 — штуцер отбора воздуха на наддув предмасляных полостей четвертой
 и пятой опор; 7 — штуцер отбора воздуха на наддув предмасляной поло-
 сти первой опоры

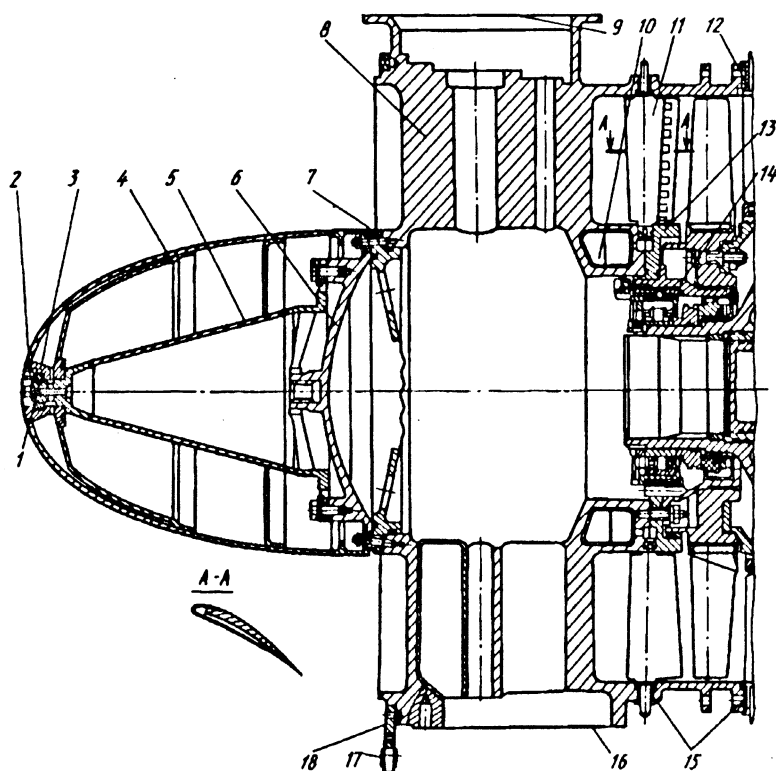


Рис. 2.9. Корпус первой опоры:

1 — гайка; 2 — замок; 3 — втулка; 4 — кок; 5 — конус; 6 — передняя крышка; 7 — фланец корпуса центрального привода; 8 — корпус первой опоры; 9 — фланец крепления коробки приводов; 10 — воздушный коллектор; 11 — лопатка ВНА; 12 — промежуточное кольцо; 13 — прижимное кольцо; 14 — стакан роликоподшипника; 15 — втулки; 16 — фланец крепления маслоагрегата; 17 — шарнирный узел; 18 — силовое кольцо

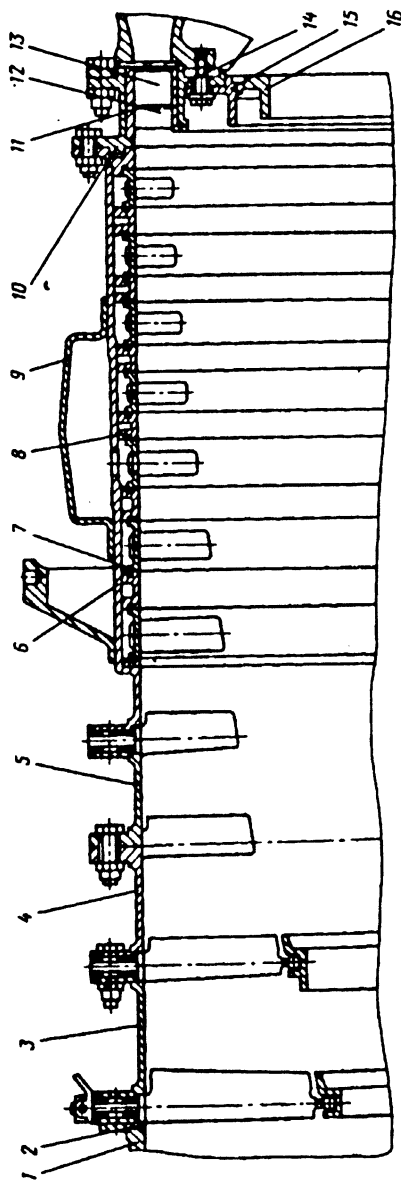


Рис. 2.10. Корпус компрессора (продольный разрез):

1 — корпус первой опоры; 2 — промежуточное кольцо; 3 — корпус НА II ступени; 4 — корпус НА III ступени; 5 — корпус НА IV ступени; 6 — корпус НА V — XI ступеней; 7 — НА; 8 — промежуточное кольцо; 9 — кольцевой короб; 10 — корпус НА и ВСА XII ступени; 11 — наружная обойма; 12, 13 — лопатки; 14 — внутренняя обойма; 15 — внутреннее силовое кольцо; 16 — кольца лабиринтов

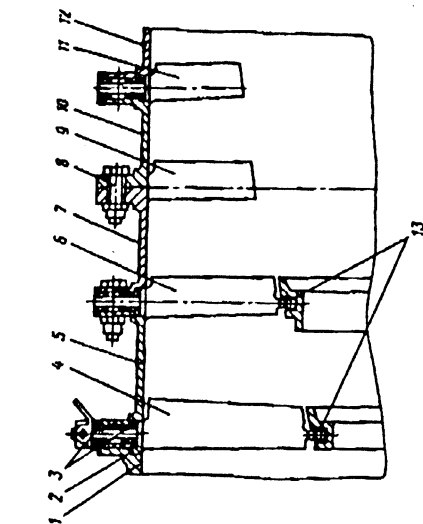


Рис. 2.11. Крепление лопаток НА I—IV ступеней:

1 — корпус первой опоры; 2 — промежуточное кольцо; 3 — втулки цапф поворотных лопаток; 4, 6, 9, 11 — лопатки НА соответственно I, II, III и IV ступеней; 5 — корпус НА II ступени; 7 — корпус НА III ступени; 8 — болт; 10 — корпус НА IV ступени; 12 — корпус НА V — XI ступеней; 13 — внутренние кольцевые бандажи

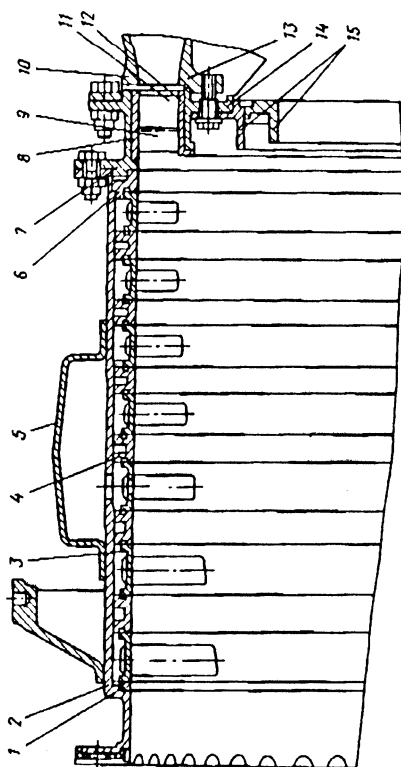


Рис. 2.12. Корпус НА V — XI ступеней:

1 — регулировочное кольцо; 2 — обечайка корпуса НА V — XI ступеней; 3 — НА VI ступени; 4 — промежуточное кольцо РК; 5 — кольцевой короб; 6 — промежуточное кольцо РК XII ступени; 7 — корпус НА и ВСА XII ступени; 8 — наружная обойма; 9 — лопатка НА; 10 — наружный корпус диффузора КС; 11 — лопатка ВСА; 12 — внутренняя обойма; 13 — внутренний корпус диффузора КС; 14 — внутреннее силовое кольцо; 15 — кольцо лабиринтов

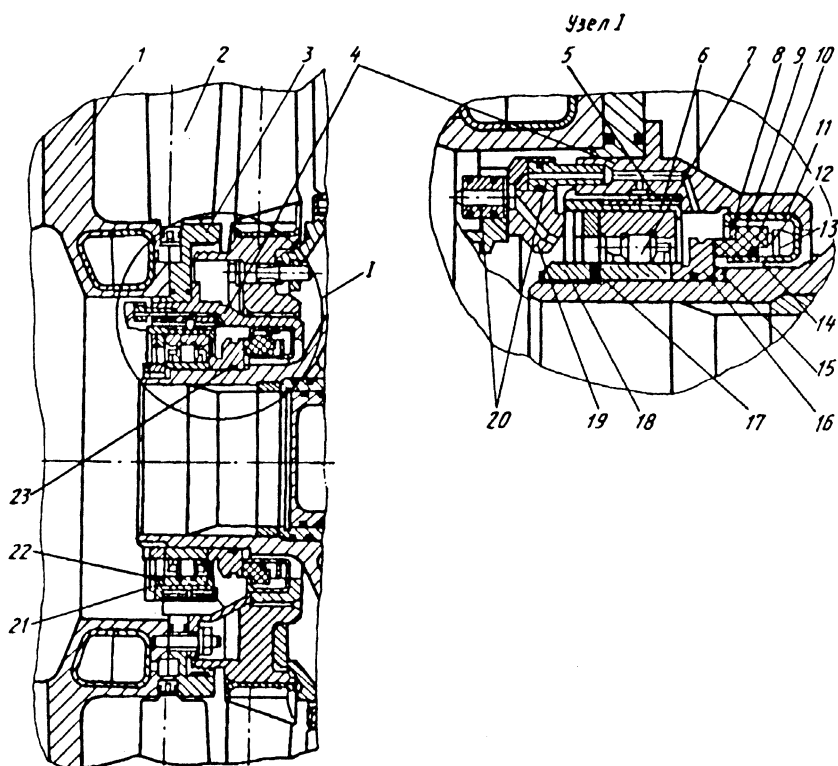


Рис. 2.13. Передняя (первая) опора ротора компрессора:

1 — корпус первой опоры; 2 — лопатки ВНА; 3 — прижимное кольцо; 4 — корпус подшипника; 5 — упруго-гидравлический демпфер; 6 — стакан подшипника; 7 — роликоподшипник; 8 — стопорная пластина; 9 — фиксатор; 10 — графитовое кольцо; 11 — корпус уплотнительного устройства; 12 — прижимное кольцо; 13 — пластинчатая пружина; 14, 23 — резиновые уплотнительные кольца; 15, 22 — регулировочные кольца; 16 — упорное кольцо; 17, 21 — стопорные кольца; 18 — гайка; 19 — форсунка; 20 — переходные втулки

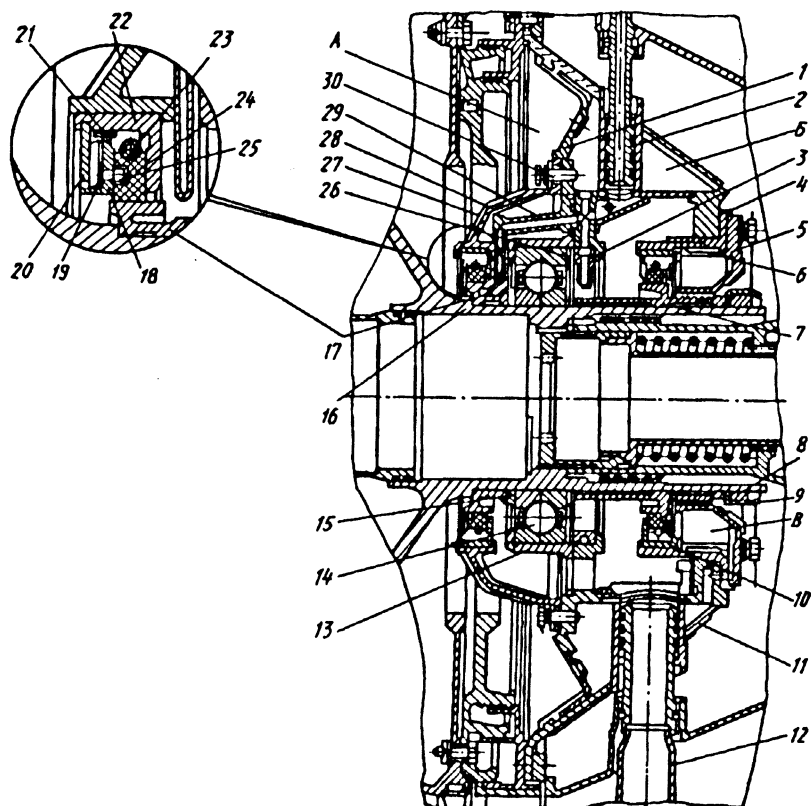


Рис. 2.14. Задняя (вторая) опора ротора компрессора:

1 — корпус опоры; 2 — трубка подвода масла; 3 — форсуночное кольцо; 4 — стакан заднего уплотнительного устройства; 5 — задняя крышка; 6 — распорная втулка; 7 — задняя комбинированная уплотнительная втулка; 8 — гайка; 9 — стопорная втулка; 10 — корпус заднего уплотнительного устройства; 11 — защитный экран; 12 — трубка от качки масла; 13 — стакан подшипника; 14 — шарикоподшипник; 15 — регулировочное кольцо; 16 — задняя цапфа ротора; 17 — передняя уплотнительная втулка; 18 — прижимное кольцо; 19 — пластинчатая пружина; 20 — фиксирующее кольцо; 21 — фиксатор; 22 — браслетная пружина; 23 — графитовое кольцо; 24 — штифт; 25 — регулировочное кольцо; 26 — защитный экран; 27 — передняя крышка; 28 — форсунка; 29 — винт, А, Б, В — полости

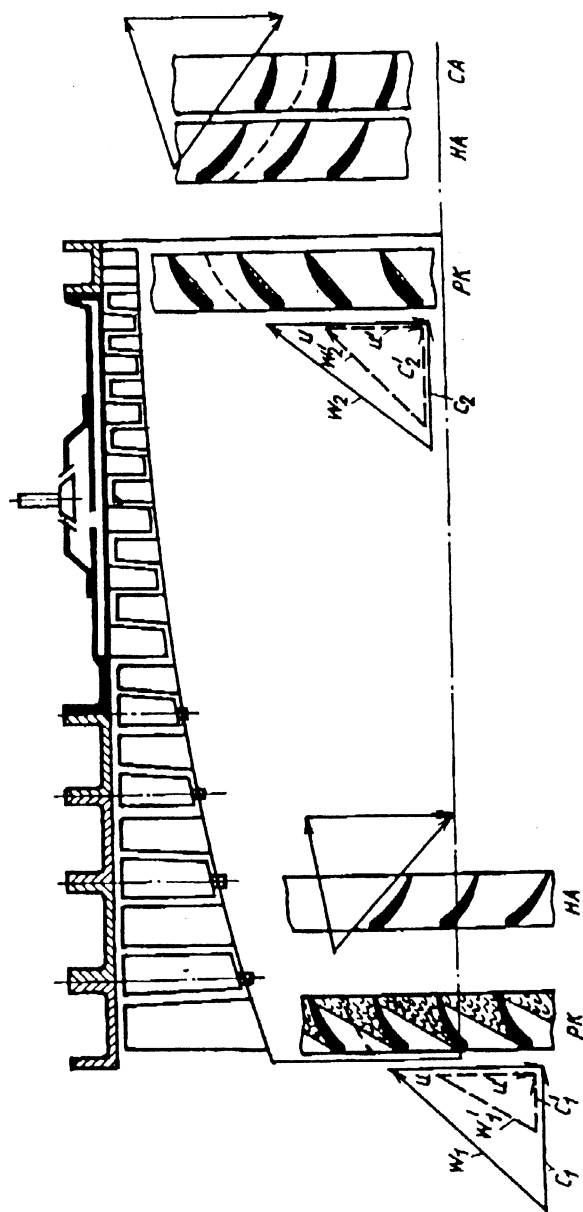


Рис. 2.15. Схема работы первой и последней ступеней рсвого компрессора на нерасчетном режиме, когда клапаны перепуска воздуха закрыты

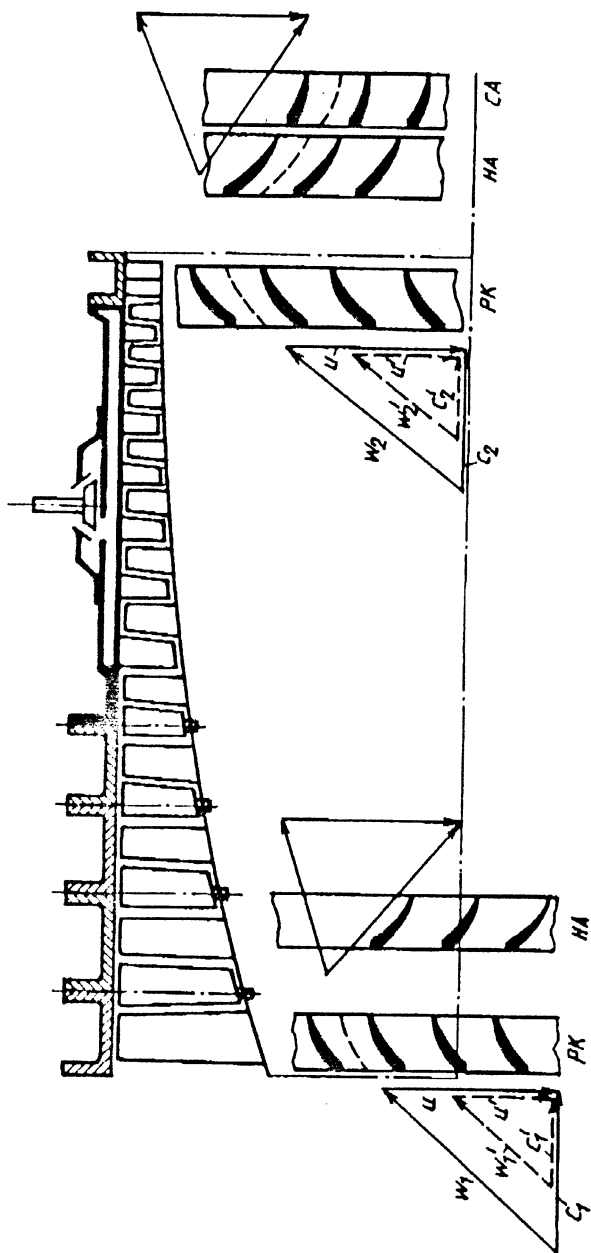


Рис. 2.16. Схема работы первой и последней ступеней осевого компрессора на нерасчетном режиме, когда клапаны перепуска воздуха открыты

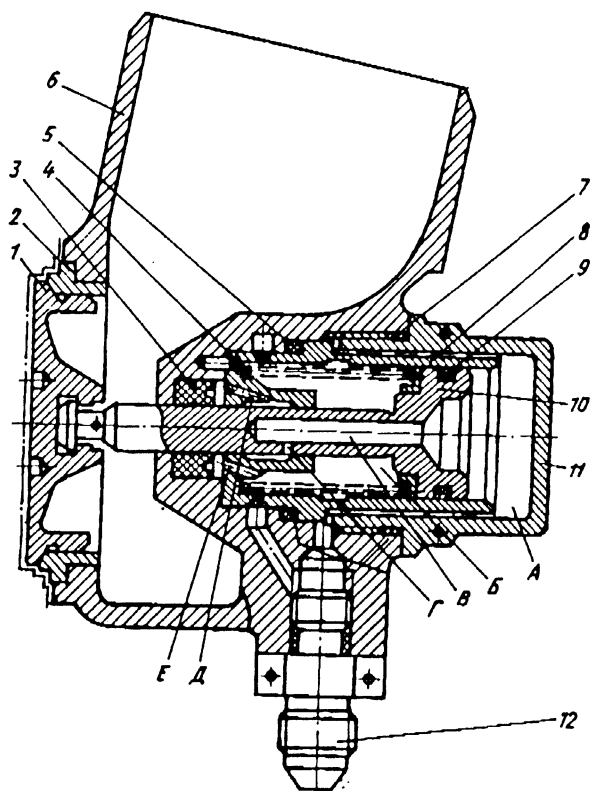


Рис. 2.17. Клапан перепуска воздуха:

1 — клапан; 2 — седло клапана; 3 — манжета; 4 — пружина; 5, 7, 9 — кольца уплотнительные; 6 — корпус; 8 — втулка поршня; 10 — поршень; 11 — крышка; 12 — штуцер; А, Б — полости; В, Г, Д, Е — отверстия

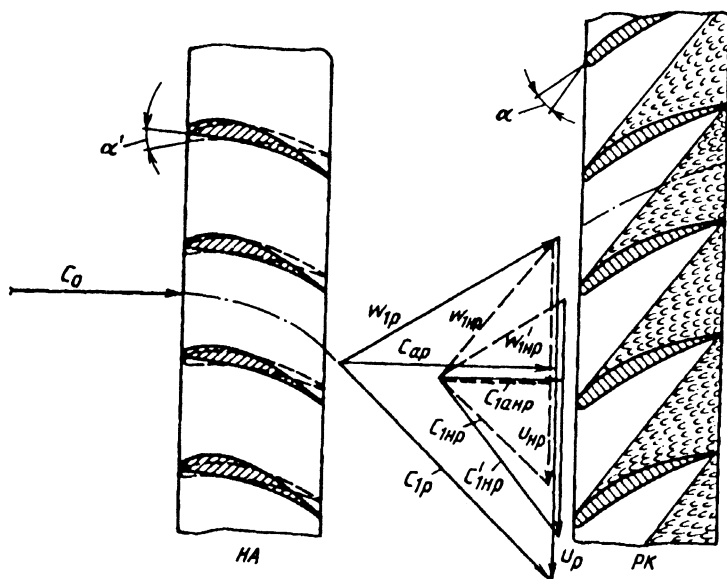


Рис. 2.18. Принцип управления осевым компрессором поворотом лопаток ВНА и НА первых четырех ступеней

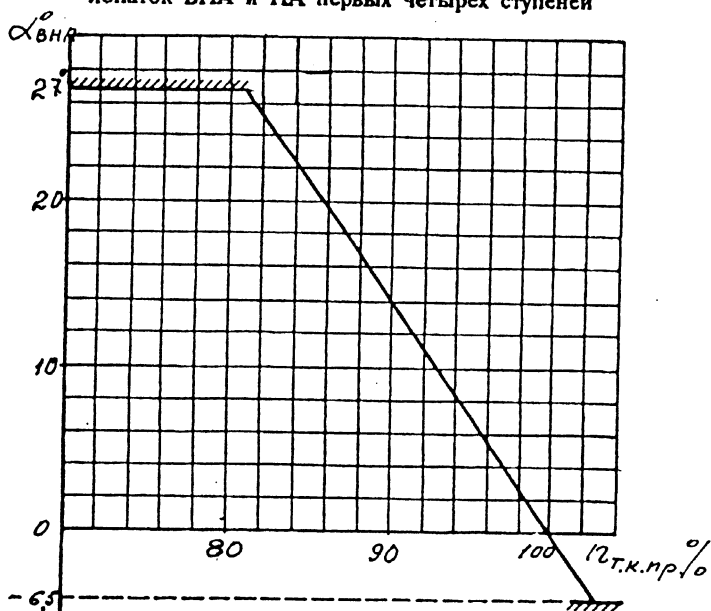


Рис. 2.19. Зависимость установочного угла поворотных лопаток ВНА от \$\eta_{т.к. пр.}\$

(Рис. 2.20. см. после рис. 2.21.)

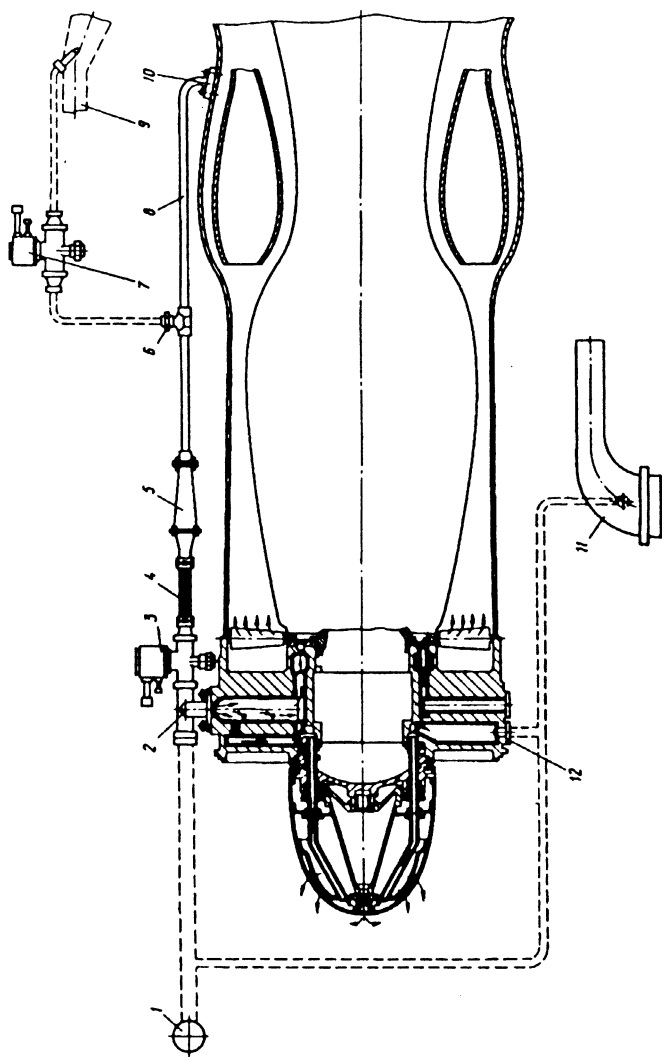


Рис. 2.21. Схема противообледенительной системы:

1 — система обогрева воздухозаборника двигателя; 2 — колено; 3, 7 — заслонка 1919Т; 4 — рукав гибкий; 5 — терморегулятор; 6 — штуцер отбора воздуха на эжектор ПЗУ; 8 — трубопровод; 9 — эжектор ПЗУ; 10 — фланец; 11 — воздухопровод обдува терморегулятора насоса-регулятора; 12 — фланец дополнительного подвода воздуха к первой опоре

Примечания: 1. Элементы схемы, показанные пунктиром, относятся к вертолётной системе. 2. На модификациях двигателей без ПЗУ узлы 7 и 9 отсутствуют, штуцер 6 и фланец 12 заглушены

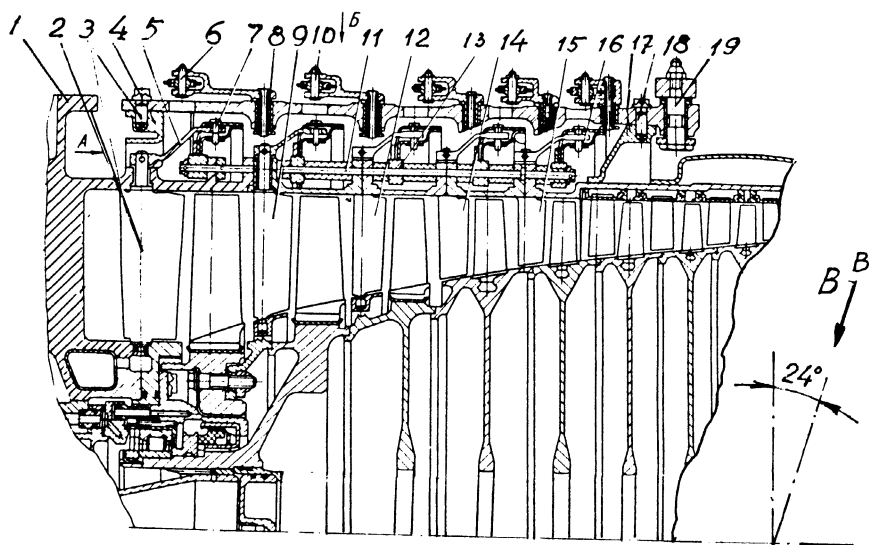
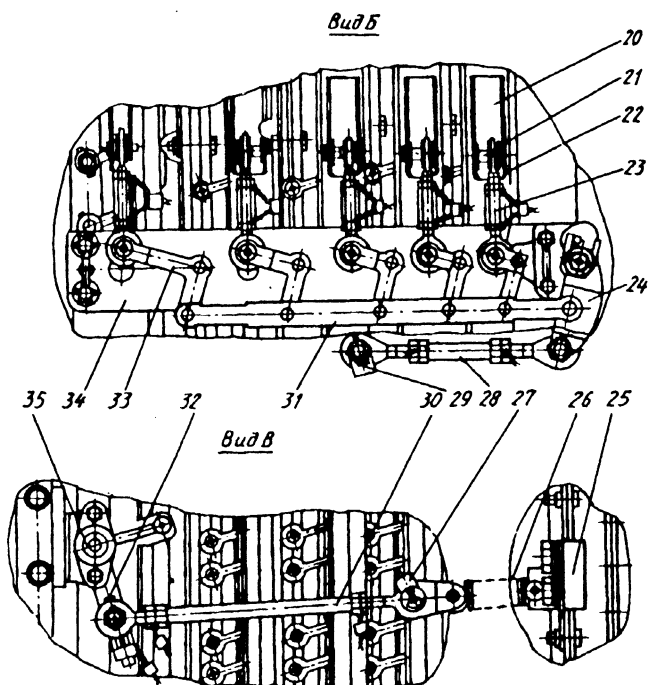


Рис. 2.20. Механизм управления поворотными лопатками ВНА и НА I — IV ступеней:

1 — корпус первой опоры; 2 — лопатка ВНА; 3, 18 — винты; 4, 17, 25, 35 — кронштейны; 5 — рычаг поворотной лопатки; 6, 10, 19, 21 — оси; 7 — штифт; 8 — втулка оси двуплечего рычага; 9 — лопатка НА I ступени; 11 — распорная втулка; 12 — лопатка НА II ступени; 13 — ролик; 14 — лопатка НА III ступени; 15 — лопатка НА IV ступени; 16 — бандажная лента;



Продолжение рис. 2.20

20 - поворотное кольцо; 22 - проушина; 23 - тяга регулируемая; 24 - качалка; 26 - пружина; 27 - рычаг обратной связи насоса-регулятора; 28, 30 - регулируемые тяги; 29 - силовой рычаг насоса-регулятора; 31 - соединительная планка; 32 - рычаг обратной связи поворотной лопатки ВНА; 33 - двуплечий рычаг; 34 - рычажная планка

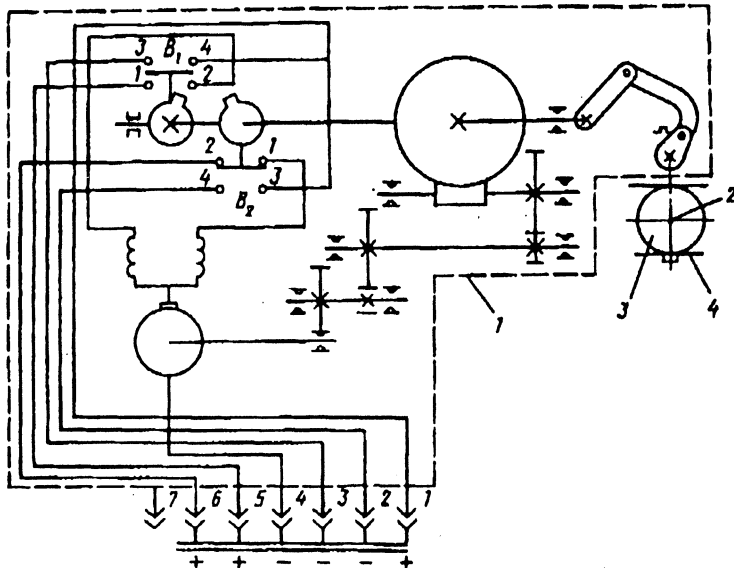


Рис. 2.23. Принципиальная схема регулирующей заслонки 1919Т.

1 — электромеханизм ЭПВ-50 БТ; 2 — вал; 3 — заслонка; 4 — корпус; обозначение клемм электрического соединения: 1 — «плюс» сигнализации; 2 — сигнал левого крайнего положения (заслонка открыта); 3 — сигнал правого крайнего положения (заслонка закрыта); 4 — «минус» электродвигателя; 5 — правое вращение выходного вала электромеханизма (закрытие заслонки); 6 — левое вращение выходного вала электромеханизма (открытие заслонки); 7 — масса корпуса

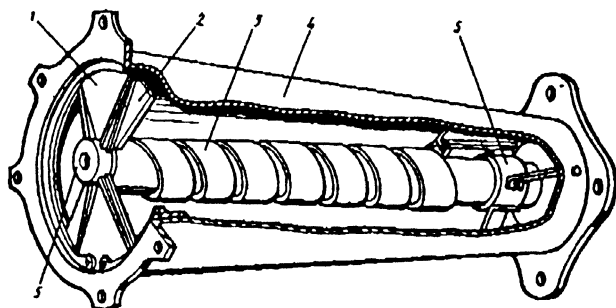


Рис. 2.24. Терморегулятор.

1 — сектор неподвижный; 2 — сектор подвижный; 3 — пружина биметаллическая; 4 — корпус; 5 — опора шариковая

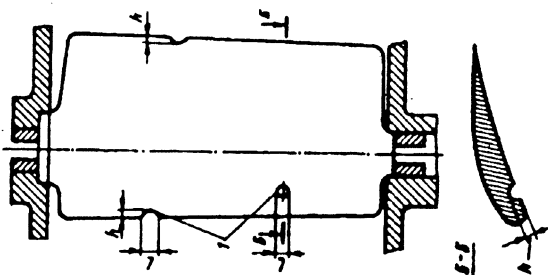


Рис. 2.25. Допустимые повреждения лопаток ВНА:
1 — повреждение

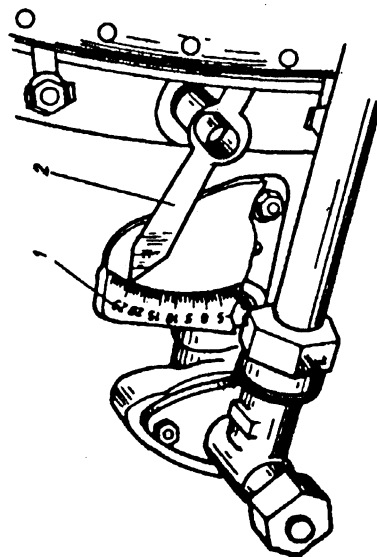


Рис. 2.26. Лимб положения поворотных лопаток:
1 — лимб; 2 — стрелка

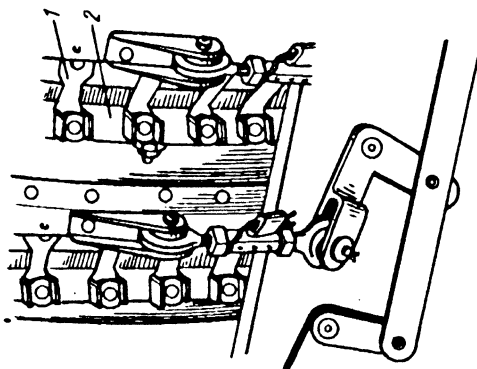


Рис. 2.27. Правильность зацепления рычагов поворотных лопаток с поворотными кольцами НА:

1 — рычаг поворотной лопатки; 2 — поворотное кольцо

Глава III

КАМЕРА СГОРАНИЯ

Камера сгорания — это устройство, в котором в результате сгорания топлива осуществляется повышение температуры поступающего в него воздуха. Камера сгорания относится к числу основных элементов газотурбинного двигателя. От совершенства организации процесса сгорания в ней зависят мощность и экономичность двигателя, его приемистость, высотность и ряд других важных показателей. Камера сгорания работает в чрезвычайно тяжелых условиях, так как в процессе работы двигателя на элементы ее конструкции действуют высокие температуры и давления, инерционные силы, силы массы и моменты, передаваемые от других узлов двигателя. В связи с этим к камерам сгорания предъявляются весьма жесткие требования. Для вертолетных ГТД с малыми расходами воздуха широко применяются прямоточные, кольцевые камеры сгорания с подачей топлива через рабочие форсунки в жидкой фазе (в мелкораспыленном виде) по потоку воздуха. Основными элементами такой камеры сгорания являются: наружный и внутренний корпусы диффузора, жаровая труба, топливный коллектор с двенадцатью рабочими форсунками и две запальные свечи. Такого типа камеры сгорания надежны и безотказны в работе, что во многом определяет безопасность полетов на вертолетах.

3.1. ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА СГОРАНИЯ

Процесс сгорания в прямоточной камере сгорания с подачей топлива по потоку воздуха в жидкой фазе организуется следующим образом.

Сжатый и подогретый в процессе сжатия воздух из компрессора поступает в камеру сгорания (рис. 3.1) под давлением $p_k^* = 0,975$ МПа ($9,75$ кгс/см²) при температуре $t_k^* = 337^\circ\text{C}$ с осевой скоростью $c_k = 110\text{—}115$ м/с. Горение в быстродвижущемся потоке связано с малой продолжительностью и поэтому весьма неустойчиво. Для стабилизации горения в диффузоре камеры сгорания за счет расширения проточной части осевую скорость воздуха снижают до $60\text{—}70$ м/с. На входе в жаровую трубу поток воздуха разделяется на два потока. Первичный воздух направляется непосредственно в зону горения, обеспечивая сгорание основной массы топлива. Количество первичного воздуха составляет $20\text{—}25\%$ общего расхода воздуха и устанавливается из расчета обеспечения в зоне горения коэффициента избытка воздуха, близкого к единице, т. е. $\alpha = 1,05\text{...}1,1$.

Основная часть воздуха в зону горения подводится через завихрители, а часть воздуха — через первый ряд отверстий в стенках жаровой трубы. Воздух, проходя через завихрители, приобретает вращательное движение. В эту же зону через центробежные рабочие форсунки подается топливо в мелкораспыленном виде. Причем закрутка топлива в рабочих форсунках осуществляется в направлении вращения воздуха, поступающего через завихрители.

В закрученном и турбулизированном потоке воздуха в передней части жаровой трубы создаются наилучшие условия перемешивания топлива с воздухом и его испарения. В зону горения смесь поступает с осевой скоростью 20—25 м/с, т. е. со скоростью, не превышающей скорость распространения фронта пламени. Благодаря вращательному движению смеси в центральной части жаровой трубы давление падает, т. е. образуются зоны пониженного давления и в результате появляются обратные токи газа. Возвратные вихревые течения горячих газов обеспечивают подвод тепла от зоны горения к вновь поступающей смеси и, тем самым, способствуют ее нагреву и испарению, а также непрерывному воспламенению и устойчивому горению. Температура газов в зоне горения достигает 1900—2100 °С. По мере продвижения газов вдоль оси скорость их вращения под действием сил трения постепенно замедляется и, наконец, прекращается. Давление по сечению жаровой трубы выравнивается. Вторичный воздух в количестве 75—80% общего воздуха обтекает жаровую трубу снаружи, обеспечивая охлаждение стенок жаровой трубы.

Основной поток вторичного воздуха проходит через отверстия в жаровой трубе и поступает в зону смешения. Здесь вторичный воздух, перемешиваясь с продуктами сгорания, снижает их температуру до требуемой величины. При этом он обеспечивает размывание слоев слишком горячих продуктов сгорания, создавая достаточно равномерное поле температур в газовом потоке, идущем к турбине. Кроме того в зоне смешения происходит догорание продуктов неполного окисления и частиц несгоревшего топлива, если они выносятся из основной зоны горения. Вторичный воздух, обтекая жаровую трубу снаружи и изнутри, локализует зону горения, т. е. изолирует ее от стенок жаровой трубы, а также образует теплоизолирующую прослойку между зоной высоких температур и внешним корпусом камеры сгорания и тем самым обеспечивает охлаждение стенок жаровой трубы и корпуса камеры сгорания.

Для газотурбинных двигателей коэффициент избытка воздуха принято считать не по расходу первичного воздуха, необходимого для эффективного и полного сгорания топлива, а по общему расходу воздуха, проходящего через камеру сгорания двигателя. Коэффициент избытка воздуха по общему расходу выбирается из условий получения допустимых значений температуры газов перед турбиной. В этом случае $\alpha_{\text{общ}}$ будет значительно выше единицы. Так, если для полного сгорания 1 кг керосина необ-

ходимо затратить 14,6 кг воздуха, то фактически через камеру сгорания для сжигания 1 кг керосина проходит 50—90 кг воздуха, т. е. общий коэффициент избытка воздуха составляет $\alpha_{\text{общ}} = 3,5 \dots 6$. Для каждой камеры сгорания существует оптимальное значение коэффициента избытка воздуха $\alpha_{\text{опт}}$, при котором коэффициент выделения тепла имеет максимальное значение. Для ТВЗ-117ВМ $\eta_r = 0,98$.

3.2. КОНСТРУКЦИЯ КАМЕРЫ СГОРАНИЯ

Камера сгорания двигателя прямоточная кольцевая с двенадцатью рабочими топливными форсунками.

Она состоит из следующих основных элементов: наружного 11 (рис. 3.2) и внутреннего 17 корпусов диффузора, образующих проточную часть камеры сгорания; жаровой трубы 15; топливного коллектора 4 с рабочими топливными форсунками 5 и двух запальных свечей 10.

Наружный корпус диффузора 11 сварной конструкции из титановых сплавов и представляет собой специально спрофилированную обечайку с приваренными к ней фланцами 36 и 14.

Передним фланцем 36 наружный корпус крепится к фланцу корпуса НА и ВСА XII ступени компрессора, а задним фланцем 14 — к корпусу СА I ступени ТК.

Взаимная центровка корпусов обеспечивается цилиндрическими буртиками и расточками, а герметизация — смазкой плоскостей разъема специальной мастикой. На обечайке наружного корпуса диффузора 9 (рис. 3.3), в плоскостях, перпендикулярных оси двигателя, приварены фланцы и бобышки различного назначения.

Так, в первой плоскости, считая от переднего фланца, имеются: вверх фигурный фланец угольника 14 трубки подвода масла ко второй опоре; слева 16 и справа 5 — четырехугольные фланцы трубок сброса воздуха из предмасляных плоскостей второй опоры; внизу — треугольный фланец трубки 1 откачки отработавшего масла из второй опоры; внизу справа — четырехугольный фланец 2 трубки отбора воздуха на нужды вертолета (не используется).

Во второй плоскости расположены три бобышки (вверх, слева и справа) для монтажа подвесок 8, 13 топливного коллектора и внизу — четырехугольный фланец крепления дренажного клапана.

В следующей плоскости — девять бобышек для установки подвесок 4, 6, 11, 12 жаровой трубы. На четырех подвесках установлены штуцеры для отбора воздуха: от левого верхнего 12 к синхронизаторам мощности НР-ЗВМ обоих двигателей и к измерителю режимов ИР-117; от правого верхнего 11 к воздушному фильтру автомата запуска НР-ЗВМ и от левого — к эжектору ПЗУ. Нижний правый штуцер 4 — не используется.

Вверху в полости за бобышками подвесок жаровой трубы, слева и справа от продольной оси к обечайке приварены фигурные фланцы 10 для установки свечей зажигания СП-26ПЗТ, а внизу — бобышка штуцера 3 дренажа.

У заднего фланца справа чуть выше горизонтальной оси приварен четырехугольный фланец 7 для отбора горячего воздуха в противообледенительную систему двигателя.

Внутренний корпус диффузора 15 отлит из алюминиевого сплава в виде трубы с профилированной стенкой в передней части и раструбом в задней и двух фланцев. Передним фланцем 3 (см. рис. 3.2) внутренний корпус диффузора крепится к фланцу внутреннего кольца корпуса НА и ВСА XII ступени компрессора, а задним 16 — к фланцу внутренней обоймы корпуса СА I ступени ТК.

Внутренний корпус диффузора своей передней профилированной стенкой совместно с передней частью обечайки наружного корпуса диффузора образуют кольцевой диффузор, где осевая скорость воздушного потока снижается и на входе в жаровую трубу достигает оптимального значения, способствующего организации более эффективного сжигания топлива в ней.

Диффузор спроектирован по закону постоянного продольного градиента давления. Профиль диффузора и состояние его поверхностей прежде всего определяют характер поля скоростей и давлений перед жаровой трубой, а в конечном счете влияют на равномерность полей скоростей, давлений и температур перед турбиной компрессора.

В передней профилированной стенке обечайки 19 выполнены бобышки с отверстиями: вверху для трубки подвода масла ко второй опоре; слева и справа для трубок сброса воздуха из предмасляных полостей второй опоры; внизу для трубки откачки отработавшего масла из второй опоры и внизу справа для трубки отбора воздуха из проточной части на вертолетные нужды. Для повышения поперечной жесткости и устойчивости внутреннего корпуса диффузора внутри к нему приварены точечной сваркой кольцевые ребра жесткости (бандажи) 18, 20, 22.

Центровка внутреннего корпуса диффузора по соответствующим деталям корпусов компрессора и ТК осуществляется с помощью буртиков и расточек, а герметичность обеспечивается смазкой плоскостей разъема специальной мастикой.

Жаровая труба является основной частью камеры сгорания. Именно в ней организуется процесс сгорания топливовоздушной смеси. Она работает в чрезвычайно тяжелых температурных условиях, которые в зависимости от режимов работы двигателя могут вызвать огромные по величине термические напряжения в стенках жаровой трубы. Термическое напряжение зависит от неравномерности нагрева стенок жаровой трубы газовым потоком, неравномерности его температурного поля, принятых конструктивных форм и способов охлаждения стенок жаровой трубы.

Вследствие огромной сложности расчета и несовершенства его методики жаровые трубы на прочность не рассчитываются.

Надежность и работа обеспечиваются рациональным конструированием с учетом достижений отечественного и зарубежного двигателестроения и последующей доводкой на специальных стендах или непосредственно на двигателях.

Жаровая труба 15 (см. рис. 3.2) кольцевого типа представляет собой сварной узел, изготовленный из листовой жаропрочной стали ХН38ВТВД толщиной 0,8...1,0 мм. Она состоит из наружного 33 и внутреннего 34 обтекателей, двенадцати головок 9 с завихрителями 1, наружной 12 и внутренней 25 секций смесителя, наружной 30 и внутренней 27 опорных секций. Наружный обтекатель 33 выполнен штамповкой в форме полутора с образованными впереди горловинами под головки внутреннего обтекателя. На внешней поверхности против головок приварено девять бобышек с отверстиями, куда устанавливаются подвески жаровой трубы, и выполнено два отверстия под свечи зажигания. На внешней и внутренней стенках наружного обтекателя 33 выполнены отверстия для прохода воздуха в зону горения. К внутренним стенкам наружного обтекателя 33 через гофрированные кольца 23 и 24 точечной сваркой приварен внутренний обтекатель 34. Гофрированные кольца со стенками обтекателей образуют узкие щели для прохода воздуха на охлаждение стенок, т. е. обеспечивают пленочно-заградительное охлаждение. К внутреннему обтекателю 34 спереди приварено двенадцать головок 9, в которых установлены завихрители 1. Между головками и внутренним обтекателем образованы щели для прохода охлажденного воздуха. В головках выполнены отверстия для прохода воздуха в зону горения.

Завихритель 1 представляет собой устройство, которое обеспечивает закрутку и турбулизацию воздуха на входе в жаровую трубу, снижая осевую скорость воздушного потока в зоне горения и создавая наилучшие условия перемешивания топлива с воздухом, нагрева, испарения и воспламенения смеси путем образования зон обратных токов.

Он состоит из лопаток, отштампованных из листового материала и приваренных к наружному кольцу и внутренней втулке. Во втулке завихрителя установлено два кольца: плавающее и стопорное. Подвижность плавающего кольца в радиальном направлении позволяет жаровой трубе свободно деформироваться в этом направлении при ее нагреве. На внутренней поверхности плавающее кольцо имеет продольные пазы для прохода воздуха на обдув рабочей форсунки и для удаления с нее нагара. Для этой же цели на заднем торце втулки завихрителя выполнено два ряда отверстий. Соединение наружного обтекателя 33 с наружной 12 и внутренней 25 секциями смесителя и последних с наружной 30 и внутренней 27 опорными секциями осуществляется точечной сваркой внахлестку через гофрированные кольца 23 и 24. Воздух, проходящий через щели в гофрированных кольцах, на выходе внутри жаровой трубы сливается в единую кольцевую воздушную пленку с пониженной температурой, которая изолирует полость жаровой трубы от ее стенок, и обес-

печивает надежное пленочно-заградительное охлаждение последних. В местах соединения обтекатели и секции на задних кромках имеют температурные швы, предотвращающие появление трещин из-за неравномерности нагрева деталей жаровой трубы. В наружной 12 и внутренней 25 секциях смесителя выполнены отверстия с отбортовкой их внутрь, что повышает прочность и жесткость стенок секций смесителя в зоне отверстий и улучшает охлаждение их кромок. Через эти отверстия воздух поступает в зону смешения, причем количество и диаметры отверстий в секциях смесителя жаровой трубы подобраны так, чтобы обеспечить максимально возможное выравнивание температурного поля газового потока перед турбиной и более равномерный нагрев стенок секций.

Внутренняя поверхность жаровой трубы покрыта специальной жаростойкой эмалью, что обеспечивает: термоизоляцию стенок обтекателя и секций; выравнивание температуры по толщине стенок, а значит снижение термических напряжений в них и, наконец, предохранение внутренних поверхностей от газовой коррозии. Учитывая, что жаровая труба при работе двигателя нагревается значительно больше корпусов, то ее крепление должно предусматривать возможность свободного расширения, при сохранении вполне определенного ее положения относительно корпусов камеры сгорания.

Фиксация жаровой трубы относительно корпусов в осевом (в переднем поясе) направлении обеспечивается с помощью девяти подвесок, устанавливаемых в отверстия бобышек наружного корпуса диффузора, причем на четырех подвесках из девяти установлены штуцеры для отбора воздуха к синхронизаторам мощности ИР-3ВМ обеих двигателей, измерителю режимов ИР-117, воздушному фильтру автомата запуска ИР-3ВМ, эжектору ПЗУ. В заднем поясе жаровая труба фиксируется только в радиальном направлении за счет телескопического соединения, соответственно: наружной опорной секции 30 с наружной обоймой корпуса СА I ступени ТК и внутренней опорной секции 27 с поверхностью конической диафрагмы внутренней обоймы (бандажа) корпуса СА I ступени ТК.

Топливный коллектор (рис. 3.4) представляет собой кольцевой узел, состоящий из двенадцати рабочих топливных форсунок 1, соединенных между собой двумя рядами трубок 2. Коллектор установлен внутри, в проточной части, камеры сгорания, что полностью исключило возможность механических повреждений коллектора при техническом обслуживании двигателя и существенно повысило его пожарную безопасность. При монтаже топливного коллектора гильзы топливных форсунок 1 свободно входят во внутренние втулки 8 завихрителей, что обеспечивает свободу температурных деформаций и компенсацию монтажных несоосностей при сборке камеры сгорания. Крепление топливного коллектора к наружному корпусу 6 диффузора осуществляется с помощью трех подвесок 3, ввернутых в корпус рабочих форсунок 1 и законтренных специальными шайбами, и втулок 5 подвесок, которые закрепляются на наружном корпусе диф-

фузора гайками 4. Такое крепление топливного коллектора обеспечивает его фиксацию в осевом направлении и позволяет ему свободно деформироваться в радиальном направлении при температурных изменениях. Подвод топлива от насоса-регулятора к топливному коллектору производится через два штуцера дренажного клапана, установленного на нижнем фланце наружного корпуса б диффузатора камеры сгорания и далее по трубкам 13, 14 и тройникам 12, 15 соответственно в первый и второй контуры рабочих форсунок.

3.3 ВОЗМОЖНЫЕ НЕИСПРАВНОСТИ КАМЕРЫ СГОРАНИЯ

В процессе эксплуатации двигателя возможны отклонения от нормальной работы камеры сгорания, что может привести к появлению неисправностей ее деталей. Так, наиболее характерными отказами и неисправностями камеры сгорания являются:

1. Отсутствие воспламенения или позднее воспламенение топливовоздушной смеси в камере сгорания при запуске двигателя. Возможными причинами этих неисправностей могут быть;

наличие топлива в выхлопном патрубке в результате течи топлива через дренажный клапан;

падение давления топлива в первом контуре рабочих форсунок; частичное или полное отсутствие искрообразования вследствие неисправности свечей, низковольтных и высоковольтных проводов или агрегатов зажигания.

2. Срывы пламени и затухание камеры сгорания, происходящие в результате:

помпажа компрессора;

резкого снижения секундного расхода воздуха при попадании на вход в двигатель посторонних предметов;

падение давления топлива перед рабочими форсунками ниже минимально допустимой величины;

резкого сброса газа особенно на больших высотах.

3. Трещины, пятна перегрева, коробления и вздутия могут появляться вследствие:

неполного сгорания топлива и отложения нагара на стенках жаровой трубы. Нагар как бы изолирует этот участок жаровой трубы от охлаждающего воздуха, что приводит к местным перегревам, появлению больших местных температурных напряжений;

запуска двигателя в условиях низких температур (ниже -30°C) без предварительного прогрева от аэродромных подогревателей;

перевода непрогретого двигателя на повышенный режим или выключение двигателя без предварительного охлаждения на режиме малого газа;

использование не рекомендованных для данного двигателя сортов топлива;

работы двигателя на температурном режиме выше максимально допустимого;

превышения максимально допустимого времени непрерывной работы двигателя на повышенных режимах.

4. Прогар жаровой трубы и корпуса камеры сгорания может произойти по причине непараллельности факела пламени оси камеры сгорания. В этом случае факел пламени будет направлен на стенку жаровой трубы, что естественно, вызовет ее прогар. Непараллельность может быть заложена в процессе сборки двигателя (производственный дефект), а главным образом в результате появления неисправностей в самих рабочих топливных форсунках, таких как неудовлетворительный распыл топлива по причине засорения или обгорания топливной форсунки. Кроме того, прогар жаровой трубы и корпуса камеры сгорания может произойти и по причинам, изложенным в п. 3 данного раздела.

Техническое обслуживание камеры сгорания (как при оперативных, так и периодических видах) практически сводится к тщательному визуальному осмотру ее состояния. При этом особое внимание обращают на места приварки фланцев и штуцеров к корпусу камеры сгорания. При подозрении на трещину осмотр следует производить с помощью лупы. Трещины, пятна перегрева, коробления, вздутия на корпусе камеры сгорания не допускаются.

В процессе технического обслуживания разрешается замена подвесок жаровой трубы. При необходимости замены нескольких подвесок, ее следует производить по одной подвеске. Замена подвески, имеющей отбор воздуха, производится в следующей последовательности:

расконтрить и отвернуть накидную гайку 2 (рис. 3.5) трубопровода;

расконтрить и ослабить крепление этого трубопровода в колодках (хомутах) крепления и затяжку гайки его противоположного конца. Отвести трубопровод в сторону;

вывернуть штуцер 1;

в отверстие 4 подвески 6 от руки ввернуть винт 3 М5 и за головку этого винта с помощью плоскогубцев вынуть подвеску;

сопрягаемые торцы подвески и фланца камеры сгорания, а также сопрягаемые резьбы штуцера 1 и фланца камеры сгорания обезжирить бензином или ацетоном с помощью кисти и просушить их на воздухе в течение 5...10 мин;

на обезжиренный торец 5 подвески 6 тонким слоем нанести герметик ВГО-1;

установить подвеску 6 в отверстие фланца 7 камеры сгорания;

вывернуть винт 3 из подвески 6;

на резьбу штуцера 1 нанести смазку ЖС;

установить штуцер 1 в отверстие фланца 7 камеры сгорания и завернуть его от руки;

подвести трубопровод к штуцеру 1 и навернуть от руки накидную гайку 2 этого трубопровода;

окончательно затянуть штуцер 1, накидные гайки трубопровода, закрепить его в колодках (хомутах) крепления.

Законтрить проволокой штуцер 1, гайки трубопровода, колодки.

Не ранее чем через 1 ч после окончания монтажа подвески необходимо произвести опробование двигателя на режиме малого газа в течение 3...5 мин, после останова проверить герметичность штуцера подвески, трубопровода и мест его крепления.

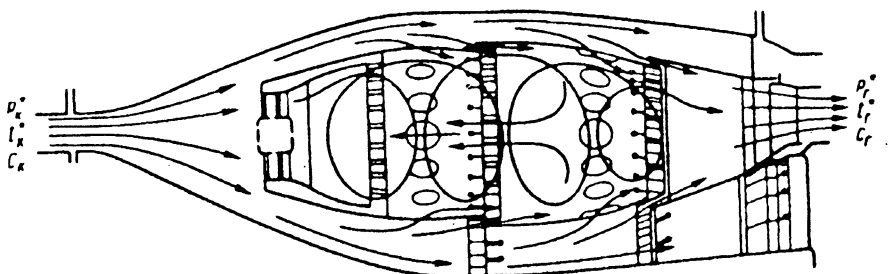


Рис. 3.1. Схема организации процесса сгорания

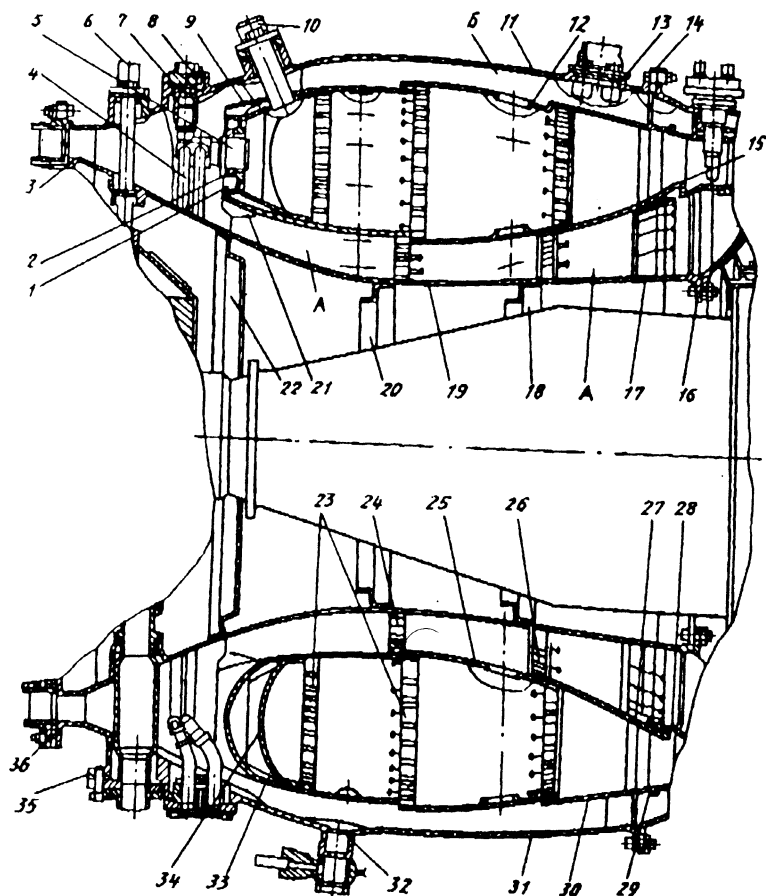


Рис. 3.2. Камера сгорания:

- 1 — завихритель; 2 — втулка; 3 — передний внутренний фланец;
 4 — топливный коллектор; 5 — рабочая форсунка; 6 — фланец под-
 вода масла; 7 — подвеска; 8 — гайка; 9 — головка; 10 — свеча;
 11 — наружный корпус диффузора; 12 — наружная секция смесите-
 ля; 13 — фланец; 14 — задний наружный фланец; 15 — жаровая
 труба; 16 — задний внутренний фланец; 17 — внутренний корпус
 диффузора; 18, 20, 22 — бандаж; 19 — обечайка внутреннего кор-
 пуса диффузора; 21 — плавающее кольцо; 23, 24, 26 — гофрирован-
 ные кольца; 25 — внутренняя секция смесителя; 27, 30 — опорные
 секции; 28, 29 — опорные кольца; 31 — обечайка наружного корпу-
 са диффузора; 32 — дренажный штуцер; 33 — наружный обтека-
 тель; 34 — внутренний обтекатель; 35 — фланец; 36 — передний на-
 ружный фланец;
 А — внутренний кольцевой канал; Б — наружный кольцевой канал

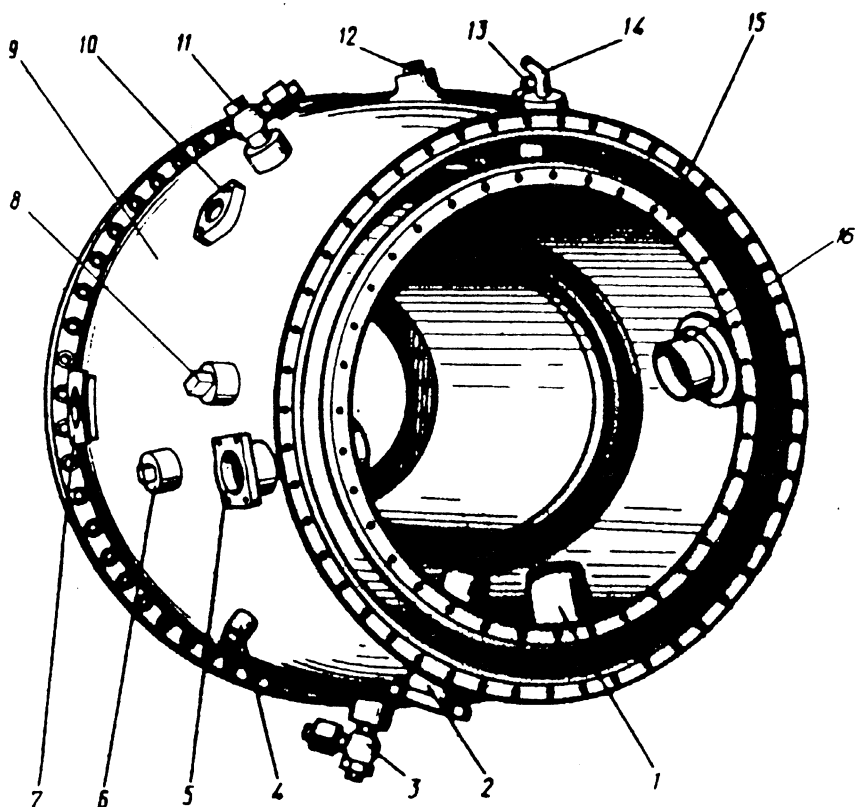


Рис. 3.3. Камера сгорания:

1 — труба откачки масла из второй опоры; 2 — отбор воздуха на нужды вертолета; 3 — дренажный штуцер; 4, 6, 11, 12 — подвески жаровой трубы; 5, 16 — фланцы трубки сброса воздуха из предмасляных полостей второй опоры; 7 — фланец трубы отбора воздуха в противообледенительную систему; 8, 13 — подвески топливного коллектора; 9 — наружный корпус диффузора; 10 — фланец свечи зажигания; 14 — угольник трубки подвода масла; 15 — внутренний корпус диффузора

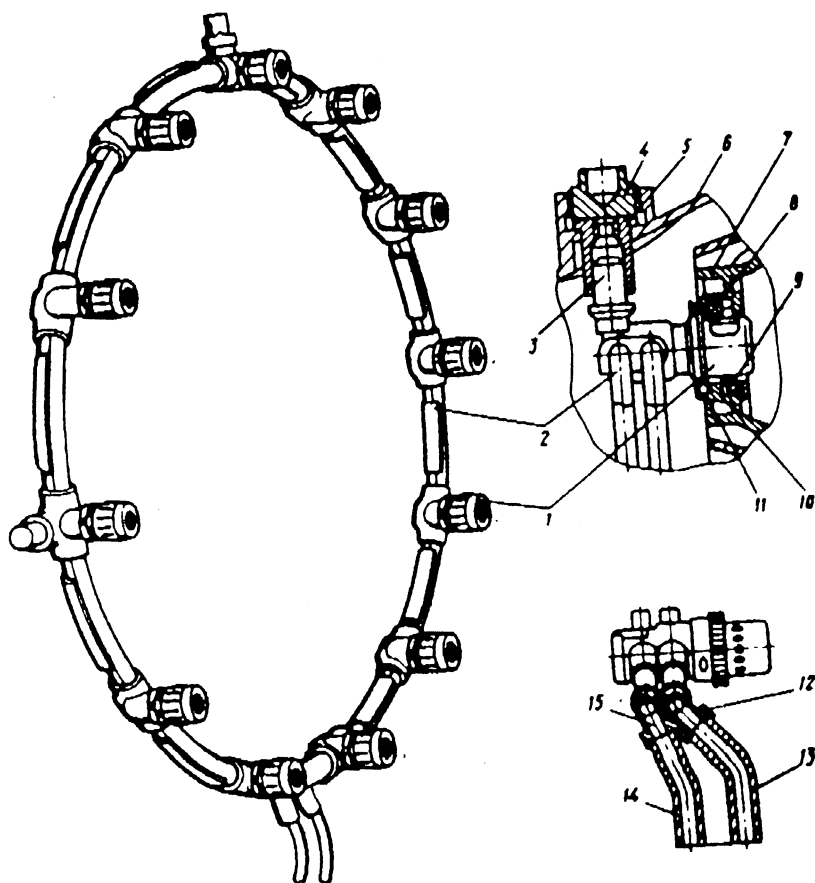


Рис. 3.4. Топливный коллектор:

1 — рабочие форсунки; 2 — трубки коллектора; 3 — подвеска; 4 — гайка; 5 — втулка подвески; 6 — наружный корпус диффузора; 7 — наружное кольцо завихрителя; 8 — внутренняя втулка завихрителя; 9 — ограничительное кольцо; 10 — плавающее кольцо; 11 — лопатка завихрителя; 12, 15 — тройники; 13, 14 — трубки подвода топлива

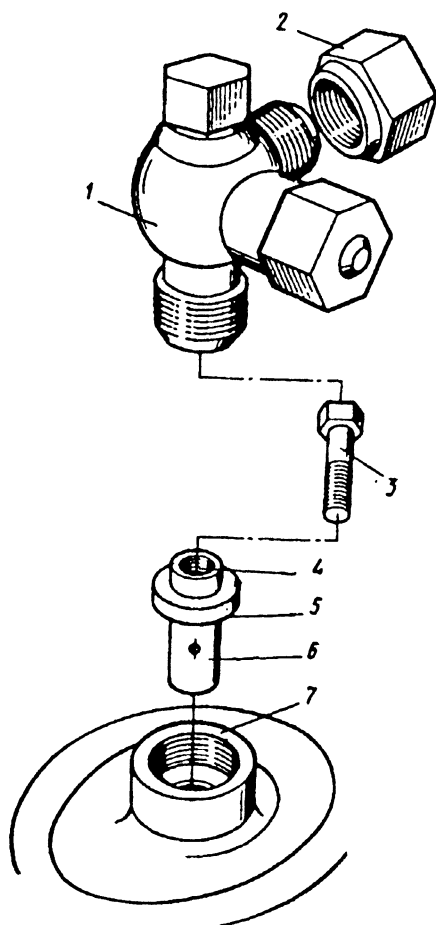


Рис. 3.5. Подвески жаровой трубы со штуцером отбора воздуха:
 1 — штуцер; 2 — накидная гайка; 3 — винт М5; 4 — отверстие с резьбой под винт М5; 5 — торец подвески; 6 — подвеска; 7 — фланец камеры сгорания

Глава IV

ГАЗОВЫЕ ТУРБИНЫ И ВЫХОДНОЕ УСТРОЙСТВО

Газовая турбина представляет собой лопаточную машину, в которой происходит отбор энергии от сжатого и нагретого газа и преобразование ее в механическую энергию вращения ротора. Газовая турбина является одним из высоконагруженных узлов двигателя. Элементы ее конструкции подвергаются воздействию высоких температур, которые изменяются в довольно широких пределах в зависимости от режимов работы двигателя и от неравномерности температурных полей. На них действуют значительные газовые силы, обусловленные большими перепадами давлений в ступени турбины. На лопатки и диски рабочего колеса действуют центробежные силы, величина которых достигает огромных значений. Кроме того элементы конструкций газовых турбин испытывают значительные вибрационные нагрузки, а поверхности деталей, расположенных в проточной части, подвержены окислению и газовой коррозии.

Двигатель ТВЗ-117 имеет две кинематически не связанные между собой турбины: турбину компрессора и свободную турбину. Каждая из них представляет собой осевую, реактивную, двухступенчатую турбину.

Основными элементами осевой газовой турбины являются ротор и статор.

Ротор — это вращающаяся часть турбины, состоящая из рабочих лопаток, диска, вала и подшипника. Ряд рабочих лопаток, закрепленных на вращающемся диске, образуют рабочее колесо (РК).

Статор — это неподвижная часть турбины, включающая сопловые лопатки, внешний и внутренний ободы и корпус опоры. Ряд неподвижных сопловых лопаток, закрепленных (или установленных) во внешнем и внутреннем ободах статора образуют сопловый аппарат (СА).

Совокупность СА и следующего за ним РК называется ступенью турбины. По принципу действия осевые, газовые турбины могут быть активными и реактивными. В активной газовой турбине весь располагаемый теплоперепад срабатывает в СА, а в реактивной — располагаемый теплоперепад срабатывает как в СА, так и в РК. Распределение теплоперепада, срабатываемого в ступени турбины, между РК и СА оценивается степенью реактивности ступени турбины.

* Теплоперепадом называется разность энтальпий перед ступенью и за ней: $\Delta i_{ст} = i_1 - i_2''$.

Степенью реактивности ступени турбины называется отношение адиабатического теплоперепада, срабатываемого в РК, к адиабатическому теплоперепаду, срабатываемому в ступени, т. е. $\rho_{с\tau} = \frac{\Delta i_{рк}}{\Delta i_{с\tau}}$,

где $\Delta i_{рк}$ — теплоперепад, срабатываемый в РК; $\Delta i_{с\tau}$ — теплоперепад, срабатываемый в ступени.

В современных ГТД, как правило, применяют реактивные газовые турбины, которые обладают более высокими значениями КПД.

4.1. ПРИНЦИП РАБОТЫ РЕАКТИВНОЙ СТУПЕНИ ТУРБИНЫ

Принцип работы реактивной ступени турбины заключается в следующем (рис. 4.1). Газы, обладающие высокой температурой T_r и давлением p_r , из камеры сгорания поступают к сопловому аппарату турбины с абсолютной скоростью c_r . Лопатки соплового аппарата образуют сужающиеся криволинейные каналы, где происходит разгон газового потока и его закрутка в сторону вращения РК. Давление газа и его температура соответственно уменьшаются до p_r' и T_r' , а абсолютная скорость газового потока возрастает до c_r' . Таким образом в сопловом аппарате происходит преобразование части энтальпии газа в кинетическую энергию в абсолютном движении. Так как РК вращается с окружной скоростью u , то газы в межлопаточных каналах рабочего колеса будут двигаться с относительной скоростью w_r' , которая на входе в РК w_r' определяется как геометрическая разность вектора абсолютной скорости c_r' и вектора окружной скорости u . Лопатки РК образуют суживающиеся криволинейные каналы, где происходит разгон газового потока в относительном движении и его раскрутка. В результате относительная скорость газового потока возрастает до w_r'' , а давление и температура соответственно уменьшаются до p_r'' и T_r'' , т. е. в РК уменьшение энтальпии газа приводит к росту кинетической энергии газового потока в его относительном движении. Абсолютная же скорость газового потока на выходе из РК уменьшается до c_r'' , что свидетельствует об уменьшении кинетической энергии газового потока в абсолютном движении.

Таким образом в РК происходит преобразование энтальпии газового потока и его кинетической энергии в абсолютном движении в механическую энергию вращения ротора турбины.

Сущность этого процесса заключается в следующем. При обтекании лопаток РК потоком газа за счет разности давлений с вогнутой и выпуклой сторон лопаток создается активная (аэродинамическая) сила p_a . Так как межлопаточные каналы РК выполнены сужающимися, то газовый поток движется в них с ускорением. Произведение массы газового потока на ускорение это есть сила — сила взаимодействия рабочих лопаток и газового потока. Лопатки действуют на газовый поток с силой p_R , а газовый поток на лопатки с равной силой p_R , но направленной в противоположную сторону. Сила p_R называется реактивной.

Таким образом, на каждую рабочую лопатку действуют две силы: активная p_a и реактивная p_R .

Разложим каждую из этих сил на две составляющих, одна из которых направлена вдоль оси турбины $p_{a\text{ ос}}$ и $p_{R\text{ ос}}$, а вторая — по направлению вращения РК ($p_{a\text{ окр}}$ и $p_{R\text{ окр}}$). Окружные составляющие активной и реактивной сил, приложенные к лопаткам РК на определенном расстоянии от оси вращения, создают вращающий момент, развиваемый турбиной. Разность осевых составляющих создает осевое усилие, действующее на РК и направленное назад, против полета.

В рассматриваемой реактивной ступени абсолютная скорость на входе в сопловый аппарат c_T равна абсолютной скорости на выходе из РК c_T'' , а треугольники скоростей на входе в РК и на выходе из него одинаковы, т. е. $\Delta i_{РК} = \Delta i_{СА}$ или $p_{ст} = 0,5$.

Потребное число ступеней турбины определяется газодинамическим расчетом. По условиям прочности лопаток и дисков теплотермический, срабатываемый в одной ступени, выбирается в пределах 50...70 ккал/кг и в отдельных случаях до 80 ккал/кг. Для срабатывания большего теплотермического используются многоступенчатые турбины, которые обладают рядом существенных преимуществ перед одноступенчатыми. Основными из них являются: более высокий КПД, достигаемый за счет уменьшения скорости движения газа в проточной части и увеличения длины лопаток, большая надежность работы за счет возможности снижения частоты вращения, а значит и центробежных сил, действующих на вращающиеся детали ротора. К недостаткам многоступенчатых турбин можно отнести: конструктивную сложность, более тяжелые температурные условия для работы первых ступеней, большая масса и осевой габарит.

4.2. КОНСТРУКЦИЯ ТУРБИНЫ КОМПРЕССОРА

Турбина компрессора обеспечивает привод ротора компрессора и агрегатов. Она состоит из ротора, сопловых аппаратов I и II ступеней, опоры ротора.

Детали турбины компрессора подвержены влиянию высоких температур потока газа и больших механических нагрузок. Наиболее теплонапряженными являются сопловые и рабочие лопатки турбины, а также диски РК. Длительное воздействие механических нагрузок (центробежных и аэродинамических сил) в условиях высокой температуры вызывает пластические деформации металла при напряжениях, значительно меньших пределов текучести. С другой стороны, в этих условиях металл разрушается при напряжении, значительно меньшем предела прочности, причем с увеличением времени приложения нагрузки разрушающие напряжения уменьшаются.

Таким образом, при высокой температуре прочность металла зависит не только от величины механических нагрузок, но и от продолжительности их воздействия. Наряду с этим надежность и

прочность деталей турбины в большей степени зависят от числа циклов нагружения и теплосмен, связанных с запусками, остановами и изменениями режимов работы двигателя. Это делает задачу обеспечения высокой надежности турбины особенно сложной. Вот почему большинство деталей турбины компрессора выполнено из специальных жаропрочных сталей и сплавов. Облегчению условий работы и повышению работоспособности турбины способствует охлаждение большинства ее деталей воздухом.

РОТОР ТУРБИНЫ КОМПРЕССОРА

Ротор ТК (рис. 4.2, см. вклейку) состоит из рабочих лопаток 8, 9, дисков РК I — 26 и РК II — 25 ступеней, четырех вращающихся дефлекторов 7, 6, 10, 11, вала 27, стяжных болтов 15, узла соединения ротора компрессора с валом ТК и вращающихся деталей задней опоры ротора ТК (третьей опоры двигателя). Ротор ТК установлен на двух опорах. Передней его опорой служит задняя цапфа ротора компрессора, на которой смонтирован радиально-упорный шариковый подшипник второй опоры двигателя; задней опорой — радиально-опорный роликоподшипник 16 третьей опоры двигателя, расположенной за ротором ТК.

Такое расположение опор делает ротор ТК более жестким и позволяет уменьшить зазоры между гребешками наружных полок рабочих лопаток и металлокерамическими уплотнителями обойм сопловых аппаратов ТК, что в конечном итоге, повышает КПД турбины компрессора.

Рабочие лопатки 8, 9 относятся к числу самых ответственных деталей двигателя. В их межлопаточных каналах происходит преобразование кинетической энергии и энтальпии газового потока в механическую энергию вращения ротора ТК. Они работают в условиях весьма высоких температур и давлений, испытывают большие центробежные, вибрационные и температурные напряжения. Учитывая чрезвычайно тяжелые условия работы лопаток и их роль в двигателе, к конструктивным формам лопаток, способу их крепления в дисках, материалам и технологии изготовления предъявляются особо жесткие требования.

Рабочие лопатки 8, 9 изготавливаются прецизионным литьем из жаропрочного сплава ЖС-6К. Они имеют перо (профильную часть) наружную и внутреннюю полки и хвостовик типа «елочка» с удлиненной ножкой. Перо в каждом сечении вдоль лопатки имеет свой вполне определенный профиль. Перо имеет закрутку вдоль лопатки, обеспечивающую плавное обтекание лопаток и радиальное равновесие газового потока вдоль лопатки. Перо лопатки плавно переходит в полки. Наружные и внутренние полки после установки лопаток в диск РК образуют наружную и внутреннюю стенки, ограничивающие проточную часть турбины. Внутренняя полка лопатки плавно переходит в хвостовик с удлиненной ножкой. На хвостовике выполнены две пары зубьев замка типа «елочка» и выступ, ограничивающий осевое перемещение лопатки в диске РК. Наружные полки стыкуются между собой с помощью

зигзагообразных вырезов с зазорами по окружности и натягом в осевом направлении, образуя кольцевой бандаж, повышающий виброустойчивость лопаточного венца. На наружной поверхности бандажных полок выполнены гребешки, которые с металлокерамическими покрытиями обойм сопловых аппаратов образуют лабиринтные уплотнения проточной части турбины по внешнему контуру, что способствует повышению КПД турбины.

Крепление рабочих лопаток в дисках РК аналогично и осуществляется: в радиальном и окружном направлениях с помощью замков типа «елочка», имеющих по две пары зубьев; в осевом направлении — ограничительными выступами хвостовиков лопаток и передними вращающимися дефлекторами 7 и 10.

Количество рабочих лопаток в РК I ступени — 133, в РК II — 101.

Диски 26, 25 рабочих колес служат для размещения на них рабочих лопаток и для передачи на вал 27 ТК вращающего момента и осевых сил, создаваемых в лопаточных аппаратах при работе двигателя.

Диск нагружается большими растягивающими усилиями от центробежных сил масс самого диска и размещенных на нем рабочих лопаток и изгибающими моментами от разности давлений газа перед РК и за ним. В диске также возникают динамические напряжения, вызванные колебаниями, и значительные температурные напряжения, обусловленные неравномерностью его нагрева по радиусу.

Диски РК изготовлены из поковок высоколегированного жаропрочного сплава ХН73МВТЮВД с последующей механической обработкой.

Диск 26 РК I ступени ТК имеет обод, полотно и ступицу. На ободе равномерно по окружности под некоторым углом к оси выполнены пазы типа «елочка» для монтажа рабочих лопаток. Обод плавно переходит в тонкое полотно. На полотне с обеих сторон выполнено по два цилиндрических пояса с торцевыми радиальными шлицами для соединения диска 26 с валом 27 и с диском 25 РК II ступени.

На передних цилиндрических поясах выполнены сквозные радиальные отверстия для прохода охлаждающего воздуха. Между цилиндрическими поясами просверлено двенадцать отверстий под стяжные болты 15. На внешние цилиндрические пояса устанавливаются и центрируются по их наружным поверхностям и торцевым расточкам полотна: спереди — передний вращающийся дефлектор 7 и сзади — задний вращающийся дефлектор 6. У центрального отверстия полотно уширено и плавно переходит в ступицу, которая обеспечивает достаточную прочность центральной части диска.

Диск 25 РК II ступени ТК конструктивно выполнен аналогично диску 26. Он также имеет обод, полотно и ступицу. На ободе выполнены пазы типа «елочка» для монтажа рабочих лопаток. На полотне спереди выполнено два цилиндрических пояса и торцевая расточка для центрирования и монтажа пере-

днего вращающегося дефлектора 10 диска РК II ступени. На цилиндрических поясах спереди имеются торцевые радиальные шлицы, которые служат для центровки и соединения дисков 25 и 26, и просверлено двенадцать сквозных отверстий под стяжные болты 15. Сзади на полотне выполнен кольцевой бурт, к которому прижимается задний вращающийся дефлектор 11. Дефлектор центрируется по внутренней цилиндрической расточке заднего кольцевого бурта и крепится двенадцатью стяжными болтами 15. Ступица диска 25 сзади развита в цапфу, на которую монтируются вращающиеся детали третьей опоры двигателя. Для обеспечения герметичности внутренней полости ротора ТК в цапфу устанавливается уплотнительное кольцо 23 и заворачивается гайка-заглушка 22 законтренная замком 21. Вращающиеся детали третьей опоры двигателя закрепляются на цапфе гайкой 18 с замком 17.

Вращающиеся дефлекторы 7, 6, 10, 11 защищают диски РК и хвостовики рабочих лопаток от воздействия на них потока горячих газов и повышают эффективность их воздушного охлаждения. Кроме того передние вращающиеся дефлекторы 7 и 10 фиксируют рабочие лопатки в осевом направлении. Вращающиеся дефлекторы изготовлены из поковки высоколегированного жаропрочного сплава ХН73МВТЮВД с последующей механической обработкой.

Передний вращающийся дефлектор 7 диска РК I ступени ТК представляет собой тонкостенное полотно, переходящее в ступицу. На полотне спереди имеются: балансировочный бурт и цилиндрический бурт с гребешками лабиринтного уплотнения. Расточка в ступице служит для монтажа и центрирования дефлектора 7 на переднем цилиндрическом бурте диска РК I ступени ТК. В ступице просверлены наклонные отверстия для прохода охлаждающего воздуха в полость между дефлектором 7 и диском 26. Сзади вращающийся дефлектор имеет центрирующий бурт, который входит в торцевую расточку диска 26 РК с гарантированным осевым зазором, что обеспечивает постоянное прижатие вращающегося дефлектора к полкам хвостовиков рабочих лопаток как на холодном, так и на горячем двигателе. Вращающийся дефлектор 7 в окружном направлении фиксируется восемью осевыми штифтами 5. Задний вращающийся дефлектор 6 РК I ступени ТК конструктивно выполнен аналогично переднему вращающемуся дефлектору 7, но в зеркальном изображении. Он имеет те же конструктивные элементы, но на периферии выполнен ряд отверстий для прохода охлажденного воздуха в проточную часть турбины. В окружном направлении он фиксируется шестью радиальными стопорами 12.

Передний вращающийся дефлектор 10 РК II ступени ТК конструктивно выполнен аналогично переднему вращающемуся дефлектору 7 РК I ступени ТК, но спереди на цилиндрическом поясе он имеет один гребешок лабиринтного уплотнения. Фиксация в окружном направлении производится шестью радиальными стопорами 12.

Задний вращающийся дефлектор 11 РК II ступени ТК спереди имеет центрирующий бурт. В полотне дефлектора просверлено двенадцать отверстий под стяжные болты и ряд отверстий на периферии для прохода охлаждающего воздуха в проточную часть турбины. Сзади на полотне имеются кольцевой балансировочный бурт и ступица с гребешками лабиринтного уплотнения.

Вал 27 ротора ТК предназначен для передачи вращающего момента от ротора ТК к ротору компрессора. Кроме того он воспринимает осевую силу, действующую на ротор ТК, ее массу и гидроскопический момент. Вал 27 ротора ТК сварной конструкции изготовлен из поковок нержавеющей деформируемой стали 1Х12Н2ВМФЦ. Он состоит из передней и задней цилиндрических и средней конической частей, сваренных между собой электронно-лучевой сваркой. Затем полученная таким образом заготовка подвергается механической обработке. На передней части вала снаружи имеются цилиндрический и шлицевой пояски соответственно для центровки и соединения вала ротора ТК с задней цапфой ротора компрессора. Через эти эвольвентные шлицы передается вращающий момент от ротора ТК к ротору компрессора. Во внутренней полости вала спереди устанавливаются детали узла соединения вала ротора ТК с ротором компрессора. Для этого внутри вала имеются: кольцевой выступ с эвольвентными шлицами для установки фиксатора 2; цилиндрическая расточка для монтажа регулировочного кольца 3 и пружины 1 фиксатора; однозаходная резьба с шагом 1, 5 мм для вворачивания стяжной втулки 30. На конусной поверхности вала спереди выполнен кольцевой бурт для монтажа балансировочных грузиков 28, которые фиксируются штифтами 4. На задней цилиндрической поверхности средней части вала просверлены четырнадцать радиальных отверстий для прохода вторичного воздуха в полость вала для охлаждения дисков РК и хвостовиков рабочих лопаток. На задней торцевой поверхности фланца вала выполнены: радиальные шлицы для центровки и соединения вала 27 с диском 26 РК I ступени ТК; двенадцать осевых отверстий под стяжные болты и восемь осевых отверстий на гладкой внешней поверхности под штифты 5, фиксирующие передний вращающийся дефлектор 7 в окружном направлении. На наружной цилиндрической поверхности фланца нарезаны гребешки лабиринтного уплотнения.

Стяжные болты 15 предназначены для соединения вала 27 ротора ТК, дисков РК 26 и 25 с установленными на них вращающимися дефлекторами 7, 6, 10 и 11 в единый узел. Стяжные болты имеют: круглую головку с лыской, стержень с цилиндрическими опорными буртиками, резьбовую часть и четырехгранник. Лыска головки препятствует провороту стяжного болта при затяжке гайки 13. Цилиндрические опорные буртики стяжных болтов служат для уменьшения изгибных напряжений от центробежных сил и вибраций самих стяжных болтов. На буртике, расположенном около резьбы, выполнены лыски для прохода воздуха на охлаж-

ление задней стенки диска 25 РК II ступени ТК. Четырехгранник используют для удержания стяжных болтов 15 от скручивания при затяжке гаек 13, которая производится с большими усилиями. Степень затяжки гаек 13 контролируется по вытяжке стяжных болтов 15, которые должны быть 0,12 мм. Гайки 13 контрятся пластинчатыми замками 14.

Все детали ротора ТК в процессе их изготовления и сборки проходят раздельную балансировку. Окончательно собранный ротор подвергается динамической балансировке на своих опорах. Допустимый дисбаланс достигается подбором по массе балансировочных грузиков 28 и путем съема металла с кольцевых поясков вращающихся дефлекторов 7 и 11.

СТАТОР ТУРБИНЫ КОМПРЕССОРА

Статор ТК (рис. 4.3) включает: СА I ступени 7, 14, 15, СА II ступени 12, корпус ТК 2, проставку 8 и обойму 9 с металлокерамическим уплотнением 10.

Сопловой аппарат I ступени ТК служит для разгона газового потока и подвода его под определенным углом к рабочим лопаткам. Он состоит из сопловых лопаток 14, наружной 7 и внутренней 15 обойм, проставки 8, переходных втулок 5, 29, экрана 6 с накладками 4, сухарей 30, секторов 31, винтов 32 с пластинчатыми замками, конической диафрагмы 28, фиксирующего кольца 27, втулок лабиринтов 21, 23 с металлокерамическими уплотнениями 22, 24 и крепежных деталей.

Сопловые лопатки 14 выполнены из жаропрочного сплава ЖС-6К методом прецизионного литья. Они имеют в каждом сечении свой профиль, увеличивающиеся хорды от корня к периферии и закрутку, обеспечивающую радиальное равновесие газового потока в сопловом аппарате (СА). Сопловые лопатки 14 — полые, охлаждаемые. Они устанавливаются в профилированные гнезда наружной 7 и внутренней 15 обойм с некоторым зазором, что обеспечивает свободу их температурных деформаций. В торцы сопловых лопаток устанавливаются переходные втулки 29, 5, которые фиксируют лопатки и через которые проходит охлаждающий воздух. Внутренние переходные втулки 29 фиксируются кольцом 27, а внешние 5 — кольцевым экраном. Зазоры между втулками и экраном закрываются накладками 4.

Наружная обойма 7 СА I ступени ТК изготовлена из жаропрочного сплава и предназначена для монтажа сопловых лопаток и ограничения проточной части турбины по внешнему контуру. Она представляет собой кольцо с наружным корончатым фланцем. В стенке наружной обоймы выполнены шестьдесят три профилированных прорези для монтажа сопловых лопаток и четырнадцать отверстий для прохода датчиков термомпар. Отверстия и расположенные против них профилированные прорези соединены между собой температурными швами, которые исключают самопроизвольное образование трещин на этих участках. Спереди на наружную обойму телескопически устанавливается

наружная опорная секция жаровой трубы камеры сгорания. Крепление наружной обоймы к корпусу ТК осуществляется винтами 32 с пластинчатыми замками посредством сухарей 30 и ограничительных секторов 31. Сухари 30 имеют форму прямоугольной пластины с отверстием под винт. Они вставляются в прямоугольные вырезы фланца наружной обоймы, но так как их толщина больше толщины фланца обоймы, то она и определяет расстояние между ограничительным кольцом 31 и фланцем корпуса 2 турбины компрессора. Таким образом фланец наружной обоймы 7 установлен на сухарях 30 с зазором между ограничительным кольцом 31 и фланцем корпуса 2 ТК. Такое крепление позволяет наружной обойме 7 свободно деформироваться при температурных изменениях, как в осевом, так и в радиальном направлениях без нарушения ее центрирования относительно корпуса турбокомпрессора.

Сзади в кольцевой торцевой паз наружной обоймы 7 монтируется проставка 8, которая установлена между корпусом 2 ТК и обоймой 9 с радиальным и осевым зазорами.

Внутренняя обойма 15 СА I ступени ТК изготовлена из жаропрочного сплава и предназначена для монтажа сопловых лопаток и ограничения проточной части турбины по внутреннему контуру. Она имеет: спереди — центрирующий бурт; на цилиндрической образующей — 63 профилированных прорези для монтажа сопловых лопаток и сзади — фланец для ее крепления к конической диафрагме 28, образующая которой совместно с внутренней обоймой 15 ограничивают проточную часть ТК по внутреннему контуру. Коническая диафрагма 28 изготовлена из жаропрочного сплава. Она относится к числу высоконагруженных силовых деталей двигателя и имеет сложную геометрическую форму. Спереди в нее телескопически устанавливается внутреннее опорное кольцо жаровой трубы камеры сгорания. У наружной поверхности проточена торцевая кольцевая канавка для центровки и крепления внутренней обоймы 15. На наружной цилиндрической поверхности конической диафрагмы 28 просверлено 63 радиальных отверстия для установки переходных втулок 29. Коническая диафрагма имеет два фланца. К внешнему фланцу с помощью болтов крепятся: спереди кольцо 27, фиксирующее переходные втулки 29 от выпадания, а сзади — внутренняя обойма 15 и упорное кольцо 26. На конической стенке приклепана втулка 21 и приварена втулка 23 лабиринтов с металлокерамическими уплотнениями 22, 24 и просверлено семь отверстий для прохода охлажденного воздуха. Внутренний фланец служит для соединения конической диафрагмы 28 с фланцем внутреннего корпуса 25 диффузора камеры сгорания.

Корпус 2 турбины компрессора сварной конструкции изготовлен из титанового сплава ВТ-20. Он является общим корпусом для сопловых аппаратов I и II ступеней ТК. Спереди он имеет два фланца: наружный для его присоединения к наружному корпусу 1 диффузора камеры сгорания и внутренний с резьбовыми отверстиями для крепления наружной обоймы 7 СА I ступени ТК,

и отверстиями, для прохода охлаждающего воздуха. Крепление обоймы 7 осуществляется винтами 32 с пластинчатыми замками посредством сухарей 30 и секторов 31. Такое крепление обоймы обеспечивает свободу ее температурных деформаций.

К заднему фланцу корпуса 2 крепится корпус 11 СА I ступени свободной турбины (СТ). На наружной поверхности корпуса 2 имеется четырнадцать опорных площадок для крепления термопар 3. Внутри корпуса 2 образован кольцевой выступ с двумя кольцевыми торцевыми расточками, по которым центрируется и устанавливается разрезанная на три части обойма 9 РК I ступени ТК с металлокерамическими уплотнениями 10. В окружном направлении каждая часть обоймы 9 фиксируется тремя пластинчатыми замками. Перед обоймой 9 устанавливается проставка 8, являющаяся задней опорой наружной обоймы СА I ступени ТК.

Уплотнение плоскостей разъемов фланцев крепления корпуса 2 ТК с наружным корпусом 1 диффузора камеры сгорания и корпусом 11 СА I ступени СТ обеспечивается специальной уплотнительной мастикой, а резьбовая часть винтов, для предотвращения пригорания, смазывается жаропрочной смазкой ЖС. Корпус 2 ТК и крепежные детали покрываются эмалью черного цвета.

Сопловой аппарат 12 II ступени ТК изготовлен литьем из жаропрочного сплава ЖС-ЗЛС с последующей механической обработкой. Он имеет наружный обод, 55 полых охлаждаемых сопловых лопаток и внутренний обод с фланцем.

На переднем фланце наружного обода выполнена кольцевая расточка для центрирования СА II ступени по обойме 9 РК I ступени ТК. Центрирование СА II ступени в корпусе 2 турбины компрессора осуществляется по наружной поверхности его заднего фланца. Для фиксации СА II ступени в окружном направлении на заднем фланце его наружного обода выполнены двенадцать четыре выступа, которые при монтаже СА II ступени входят в соответствующие пазы корпуса 2 турбины компрессора. В осевом направлении СА II ступени совместно с проставкой 8, обоймой 9 РК I ступени и обоймой РК II ступени фиксируется корпусом СА I ступени СТ.

К фланцу внутреннего обода 17 приклепана коническая диафрагма 18, к которой, в свою очередь, приварена втулка 19 лабиринта с металлокерамическим уплотнением 20. К внутреннему ободу приварен экран 16, в котором против каждой сопловой лопатки просверлены радиальные калибровочные отверстия, дозирующие количество выходящего охлаждающего воздуха.

ЗАДНЯЯ ОПОРА РОТОРА ТУРБИНЫ КОМПРЕССОРА (ТРЕТЬЯ ОПОРА ДВИГАТЕЛЯ)

Третья опора двигателя (рис. 4.4) представляет собой роликовый подшипник воспринимающий только радиальные нагрузки от массы ротора и неуравновешенных масс. Она размещается в

корпусе СА I ступени СТ и состоит из вращающихся и неподвижных деталей. Вращающиеся детали монтируются на цапфу диска 1 РК II ступени ТК. К ним относятся: уплотнительная втулка 19, распорная втулка 17, регулировочное кольцо 16, внутреннее кольцо роликоподшипника 7 с сепаратором и роликами, чашеобразный замок 13 и гайка 12. Неподвижные детали третьей опоры устанавливаются в корпусе СА I ступени СТ. Неподвижными деталями опоры являются: корпус 8 подшипника, упруго-гидравлический демпфер (упругое 14 и гладкое 15 кольца), наружное кольцо роликоподшипника 7, регулировочное кольцо 6, корпус 3 уплотнительного устройства, втулка 4 лабиринта, диафрагма 10 с втулкой 11 и экран 9.

Корпус 8 подшипника изготовлен из стальной отливки путем механической обработки. Он имеет фланец для его центровки и крепления к заднему фланцу внутреннего силового кольца 5 СА I ступени СТ. На фланце просверлены отверстия под винты крепления корпуса 8 подшипника, отверстия с фрезеровками на задней стороне фланца для прохода охлаждающего воздуха и отверстие для подвода масла в корпус. Сзади к корпусу приварены: диафрагма 10, обеспечивающая герметичность масляной полости опоры со втулкой 11 и экран 9, способствующий более эффективному охлаждению корпуса 8 подшипника и направляющий воздух на охлаждение деталей ротора СТ. В экране 9 просверлено восемь отверстий $\varnothing 3$ мм для дополнительного обдува полотна диска РК I ступени СТ спереди с целью его охлаждения. В корпусе выполнена система масляных каналов для подвода масла на смазку и охлаждение деталей опоры и для работы упруго-гидравлического демпфера. Спереди в корпусе подшипника выполнена цилиндрическая расточка для установки деталей упруго-гидравлического демпфера (упругого 14 и гладкого 15 колец) вместе с наружным кольцом роликоподшипника 7 и регулировочного кольца 6. К переднему фланцу внутреннего силового кольца 5 СА I ступени СТ винтами с пластинчатыми замками крепятся: втулка 4 лабиринта и корпус 3 уплотнительного устройства. Через наклонные отверстия во внутреннем силовом кольце 5 и осевые отверстия во фланцах втулки 4 лабиринта и корпуса 3 уплотнительного устройства подается воздух из-за VII ступени компрессора на наддув предмасляной полости третьей опоры. Корпус 3 уплотнительного устройства своим задним цилиндрическим буртом, опираясь в регулировочное кольцо 6, препятствует осевому перемещению упруго-гидравлического демпфера 14, 15 и наружного кольца роликоподшипника 7.

Смазка и охлаждение деталей третьей опоры двигателя осуществляется маслом, поступающим под давлением $0,35 \pm 0,05$ МПа ($3,5 \pm 0,5$ кгс/см²) от нагнетающего насоса масляного агрегата через маслофильтр по внешним трубопроводам, по трубке, проходящей в левой верхней силовой стойке корпуса СА I ступени СТ, по каналам во внутреннем силовом кольце 5 к корпусу 8 подшипника. В корпусе масло идет в двух направлениях: по осевому каналу подводится к упруго-гидравлическому демпферу

14, 15 и к форсунке, обеспечивающей охлаждение корпуса уплотнительного устройства 18 и уплотнительной втулки 19 с внешней стороны; по радиальному каналу к форсунке роликоподшипника на его смазку и охлаждение и к форсунке, направляющей масло в полость цапфы диска 1 РК II ступени ТК. Здесь масло под действием центробежных сил отбрасывается к периферии и через отверстия в цапфе, внутреннюю кольцевую проточку и наклонные отверстия в распорной втулке 17 направляется на охлаждение уплотнительной втулки 19 с внутренней стороны.

Отработавшее масло самотеком сливается в маслосборник, образованный силовым кольцом 5 СА I ступени СТ и корпусом 8 подшипника и отсюда по специальной трубке, проходящей в нижней силовой стойке и по внешней трубке откачивается одним из откачивающих насосов масляного агрегата в маслобак.

Суфлирование масляной полости опоры производится через откачивающий насос маслоагрегата, воздушно-масляный радиатор, маслобак, расширительный бачок, по внешней трубке в полость диффузора выходного устройства.

Уплотнение масляной полости опоры осуществляется:

сзади с помощью диафрагмы 10;

спереди внутри цапфы — с помощью уплотнительного кольца 20 и гайки-заглушки 21;

спереди снаружи цапфы — с помощью трех элементов уплотнения, т. е. радиально-торцевого контактного уплотнения 18, предмасляной полости 4 с повышенным давлением и лабиринтного уплотнения, образованного гребешками ступицы заднего вращающегося дефлектора 2 диска I РК II ступени ТК и втулкой 4 лабиринта.

Наддув предмасляной полости 4 производится воздухом, отбираемым из ресивера за VII ступенью компрессора. Воздух на наддув поступает через полые силовые стойки СА I ступени СТ в полость В и отсюда по наклонным отверстиям в силовом кольце 5 СА I ступени СТ, по осевым отверстиям во фланцах втулки 4 лабиринта и корпуса 3 уплотнительного устройства в полость 4.

ОХЛАЖДЕНИЕ ТУРБИНЫ КОМПРЕССОРА

В двигателях ТВЗ-117 всех модификаций для охлаждения деталей газовых турбин предусмотрены воздушные системы. Система охлаждения газовой турбины служит для снижения рабочих температур горячих деталей турбины в целях увеличения запасов прочности и надежности их работы. Требуемый уровень рабочих температур горячих деталей турбин обеспечивается путем надежной изоляции этих деталей от прямого воздействия на них горячих газов и путем отбора части тепла от этих деталей менее нагретым воздухом, поступающим для их охлаждения.

Для охлаждения деталей ТК используется вторичный воздух из камеры сгорания двигателя. При этом охлаждаются как детали

ротора, так и детали статора. Охлаждение деталей ротора (рис. 4.5) производится следующим образом. Вторичный воздух из полости *А* (кольцевая полость между жаровой трубой и внутренним корпусом 2 диффузора КС) через семь отверстий в конической диафрагме 4 попадает в полость *Б* (кольцевая полость между внутренним корпусом 2 диффузора КС и валом 1 ТК). Из полости *Б* воздух идет:

через лабиринтные уплотнения 3 и 5 в полость *Д* для охлаждения переднего вращающегося дефлектора 6 и для предотвращения проникновения горячих газов из проточной части турбины в полость *Д*;

через отверстия вала 1 ТК в его внутреннюю полость *В*. Отсюда воздух идет по двум направлениям: через отверстия в ступице диска РК I ступени ТК и отверстия в ступице переднего вращающегося дефлектора 6 на охлаждение передней стенки диска РК I ступени ТК, его обода, хвостовиков и внутренних полок рабочих лопаток; по центральному отверстию в ступице диска РК I ступени ТК в полость *Г* (полость, ограниченная дисками РК и их ступицами). Из полости *Г* воздух по радиальным каналам, образованным укороченными торцевыми шлицами, идет по трем направлениям:

через внутреннюю кольцевую расточку и наклонные отверстия в ступице заднего вращающегося дефлектора 7 РК I ступени ТК для охлаждения задней стенки этого диска;

через наклонные отверстия в ступице переднего вращающегося дефлектора 10 РК II ступени ТК на охлаждение передней стенки этого диска, его обода, хвостовиков и внутренних полок рабочих лопаток;

по проточкам и лыскам на задних опорных буртиках стяжных болтов, по радиальным пазам на передней стенке в заднем вращающемся дефлекторе 12 диска РК II ступени ТК на охлаждение его задней стенки. На задних вращающихся дефлекторах 7 и 12 равномерно по окружности у периферии выполнены отверстия для сброса отработавшего охлаждающего воздуха в проточную часть турбины компрессора.

Охлаждение деталей статора также производится вторичным воздухом, поступающим из КС двигателя. Из полости *А* вторичный воздух через внутренние переходные втулки проходит через полые лопатки СА I ступени ТК, охлаждая их, и через внешние переходные втулки выходит в полость 3 (кольцевая полость, образованная корпусом 8 ТК и наружной обоймой 9 СА I ступени ТК). В эту же полость по отверстиям в переднем внутреннем фланце корпуса 8 ТК вторичный воздух поступает непосредственно из КС двигателя. Этот воздух смешиваясь с основным потоком воздуха, поступающим через сопловые лопатки заметно снижает его температуру. Из полости 3 воздушный поток, охладив корпус 8 ТК и наружную обойму 9 СА I ступени ТК через осевые отверстия во внутреннем кольцевом выступе корпуса 8 поступает в полость *И* (кольцевая полость, образованная корпусом 8 ТК и наружным ободом 11 СА II ступени ТК). Отсюда часть воздуха идет через

полые лопатки СА II ступени ТК, охлаждая их, и выходит в полость Е. Другая часть воздуха через пазы в корпусе 8 ТК и отверстия в обойме РК II ступени сбрасывается за РК в проточную часть. Из полости Е воздух идет по двум направлениям:

часть воздуха, охлаждая заднюю стенку вращающегося дефлектора 7, через кольцевую щель, образованную вращающимся дефлектором 7 РК I ступени и внутренним ободом СА II ступени ТК, сбрасывается в проточную часть турбины;

часть воздуха прорывается через лабиринтное уплотнение 13 и поступает в полость Ж, где она охлаждает переднюю стенку вращающегося дефлектора 10 и через кольцевую щель между внутренним ободом СА II ступени и вращающимся дефлектором 10 РК II ступени сбрасывается в проточную часть турбины. Выходящий из полостей Е и Ж воздух препятствует проникновению горячих газов из проточной части турбины в эти полости.

4.3. КОНСТРУКЦИЯ СВОБОДНОЙ ТУРБИНЫ

Свободная турбина (СТ) — осевая двухступенчатая реактивная. Она служит для создания мощности, необходимой для привода несущего (несущих) и рулевого винтов и агрегатов. СТ состоит из ротора, сопловых аппаратов I и II ступеней, передней (четвертой) и задней (пятой) опор. Условия работы и конструкция многих деталей СТ аналогичны условиям работы и конструкции соответствующих деталей ТК. Детали СТ, как и детали ТК, работают в условиях сравнительно высоких температур и давлений и в агрессивной среде газового потока.

Однако температура и давление газового потока в СТ значительно ниже их значений в ТК, что, естественно, облегчает условия работы сопловых и рабочих лопаток, дисков РК и других деталей СТ. Кроме того использование для охлаждения деталей СТ воздуха из-за VII ступени компрессора, т. е. воздуха, имеющего более низкую температуру по сравнению со смесительным воздухом, способствует заметному снижению температуры охлаждаемых деталей, а значит и температурных напряжений в них. Уменьшение теплоперепада, срабатываемого в свободной турбине, позволило уменьшить окружную скорость и частоту вращения ротора СТ. Это привело к значительному уменьшению напряжений, возникающих в рабочих лопатках и в дисках РК от действия центробежных сил. Таким образом, детали СТ работают в облегченных условиях, что способствует повышению запасов прочности и надежности их работы.

РОТОР СВОБОДНОЙ ТУРБИНЫ

Ротор СТ (рис. 4.6) двухопорный, консольный с задним расположением опор. Недостатком консольного крепления ротора является меньшая его жесткость, что требует увеличения абсолютных зазоров между торцами рабочих лопаток и корпусом.

Однако, увеличение абсолютного зазора не ухудшает КПД свободной турбины, так как КПД зависит от относительного зазора, который представляет собой отношение абсолютного зазора к длине лопатки (в мм).

Кроме того расположение обоих подшипников опор СТ в зоне более низких температур улучшает условия работы подшипников и других деталей опор, упрощает подвод и отвод масла, не требует дополнительного охлаждения опор воздухом.

Ротор СТ включает: рабочие лопатки 4, 6, диски 3 и 15 рабочих колес, лабиринтное кольцо 9, стяжные болты 1, стопорные кольца 5, 7, вращающиеся детали четвертой опоры, ведущее зубчатое колесо привода регулятора частоты вращения ротора СТ, вращающиеся детали пятой опоры двигателя и рессору 20.

Рабочие лопатки 4 и 6 СТ конструктивно выполнены аналогично рабочим лопаткам ТК и отличаются только геометрическими размерами. Они изготавливаются штамповкой из жаропрочного сплава на никелевой основе. Крепление рабочих лопаток в дисках рабочих колес осуществляется с помощью двухзубого соединения типа «елочка». От осевых перемещений рабочие лопатки фиксируются разрезными стопорными кольцами 5, 7, которые вводятся в кольцевые канавки ободов дисков, хвостовиков и внутренних полок рабочих лопаток. Стопорные кольца 5, 7, в свою очередь, фиксируются вставками 10 со штифтами 8. Наружные и внутренние полки, после установки лопаток в диски РК, образуют наружную и внутреннюю стенки проточной части СТ. Наружные полки стыкуются между собой с помощью зигзагообразных вырезов с зазорами по окружности и с натягом в осевом направлении.

При работе двигателя, вследствие разворота пера лопаток под действием центробежных сил, между наружными полками рабочих лопаток появляется натяг в осевом направлении. При этом наружные полки образуют кольцевой бандаж, повышающий виброустойчивость лопаточного венца. Количество рабочих лопаток: в РК I ступени — 64, в РК II ступени — 51.

Диски 3, 15 рабочих колес служат для монтажа в них рабочих лопаток I и II ступеней СТ. Они изготовлены из поковок жаропрочного сплава на никелевой основе. Диск 3 РК I ступени СТ имеет обод, полотно и ступицу. На ободе равномерно по окружности выполнены пазы типа «елочка» для монтажа рабочих лопаток. На полотне сзади выполнены цилиндрические пояса с гребешками лабиринтного уплотнения снаружи, кольцевым ребром жесткости изнутри и торцевыми радиальными шлицами для соединения диска 3 РК I ступени с диском 15 РК II ступени СТ. Между цилиндрическими поясами полотна просверлено двенадцать отверстий под стяжные болты 1. У центрального отверстия полотно плавно переходит в ступицу которая увеличивает прочность центральной части диска. Диск 15 РК II ступени СТ также имеет обод, полотно и ступицу, переходящую в вал. На ободе выполнены пазы типа «елочка» для крепления рабочих лопаток.

На полотно спереди выполнены цилиндрические пояса с наружными гребешками лабиринтного уплотнения, внутренним кольцевым ребром жесткости и торцевыми радиальными шлицами для соединения диска 15 РК II ступени с диском 3 РК I ступени СТ. Сзади против переднего цилиндрического бурта выполнены: фланец для монтажа лабиринтного кольца 9 и двенадцать отверстий под стяжные болты 1. Сзади ступица диска РК II ступени развита в полый вал СТ. На наружной поверхности вал СТ имеет ряд цилиндрических посадочных и два шлицевых пояса и резьбу под гайку. На вал СТ устанавливаются вращающиеся детали четвертой опоры, ведущее зубчатое колесо привода регулятора частоты вращения ротора СТ и вращающиеся детали пятой опоры двигателя, которые закрепляются на валу специальной гайкой 19, законтренной замком 18. Внутри вала спереди запрессована и завальцована заглушка, обеспечивающая герметичность полости дисков рабочих колес СТ, а сзади выполнены эвольвентные шлицы и цилиндрический пояс для монтажа и центровки относительно вала рессоры 20. Перед рессорой устанавливается набор регулировочных шайб 16, с помощью которых регулируется величина выступления рессоры $A = (40,8 \pm 0,2)$ мм относительно торца силового корпуса двигателя.

Стяжные болты 1 соединяют диск 3 РК I ступени, диск 15 РК II ступени и лабиринтное кольцо 9 в единый узел. Конструктивно они выполнены аналогично стяжным болтам ротора ТК и отличаются тем, что у них нет лысок на опорном буртике у резьбовой части болтов. Величина затяжки гаек 2 составляет 820 кгс и определяется по вытяжке стяжных болтов 1. Вытяжка стяжных болтов должна быть 0,1 мм. Гайки 2 контрятся пластинчатыми замками.

Балансировка ротора осуществляется путем перестановки рабочих лопаток и снятия металла с поясков дисков 3, 15 рабочих колес и переходной втулки 14.

СТАТОР СВОБОДНОЙ ТУРБИНЫ

Статор СТ (рис. 4.7) состоит: из соплового аппарата 15 I ступени, соплового аппарата 18 II ступени и корпуса 21 диффузора выходного устройства.

Сопловой аппарат I ступени СТ включает: корпус 9, собственно сопловой аппарат 15 обойму 7 РК II ступени ТК.

Корпус 9 — сварной конструкции из титанового сплава ВТ-20 и представляет собой обечайку с двумя фланцами. Передним фланцем он крепится к корпусу 8 ТК, а к его заднему фланцу крепится корпус 19 СА II ступени СТ. Спереди в корпус устанавливается разрезная обойма 7 РК II ступени ТК с металлокерамическим покрытием. В окружном направлении обоймы 7 фиксируются штифтами. Внизу у переднего фланца просверлены отверстия 34 для дренажа топлива.

Сзади монтируется уплотнительное кольцо 10 и сопловой аппарат 15. Внутри корпуса 9 у заднего фланца выполнено двадцать

четыре паза, в которые входят выступы наружного обода 11 СА I ступени СТ и, таким образом, фиксируют его от проворачивания. Кроме этого над пазами фланца просверлено двенадцать отверстий для прохода охлаждающего воздуха.

На обечайке корпуса приварены:

справа сверху – фланец смотрового лючка, закрытый крышкой;

справа ниже горизонтали – фланец крепления трубы подвода воздуха из ресивера за VII ступенью компрессора на охлаждение деталей СТ и наддув пред масляной полости III опоры;

внизу – фланец штуцера откачки масла;

слева сверху – фланец штуцера подвода масла к третьей опоре.

Уплотнение по плоскостям разъема фланцев обеспечивается специальной уплотнительной мастикой.

Сопловой аппарат 15 отлит из хромоникелевой литейной стали. Он имеет наружный 11 и внутренний 13 ободы, соединенные между собой тремя полыми силовыми стойками 12 и тридцатью двумя полыми сопловыми лопатками 14. На наружном ободу 11 спереди на торце выполнен центрирующий бурт, а на внешней поверхности - кольцевая канавка для монтажа уплотнительного разрезного кольца 10. Справа сверху в стенке наружного обода просверлено отверстие и приварено кольцо для монтажа втулки смотрового лючка.

Задним фланцем наружный обод 11 центрируется по корпусу 9. На этом фланце выполнено двадцать четыре выступа, которые фиксируют СА относительно корпуса в окружном направлении. Из полости А воздух проходит через полые силовые стойки 12 и сопловые лопатки 14, охлаждает их и поступает в полость Б.

В полости левой верхней силовой стойки проходит трубка подвода масла на смазку и охлаждение деталей третьей опоры, а в полости нижней силовой стойки – трубка откачки масла из маслосборника третьей опоры. К внутреннему ободу 13 и внутреннему силовому кольцу 1 приварены передняя 4 и задняя 5 стенки, которые образовали кольцевой силовой узел коробчатого сечения. К этому силовому узлу сзади крепится корпус третьей опоры двигателя, а спереди детали ее уплотнения. На переднем фланце внутреннего силового кольца 1 выполнены резьбовые отверстия под винты крепления втулки лабиринта 3 и корпуса узла уплотнения, а также двенадцать отверстий \varnothing 3 мм для прохода охлажденного воздуха. На заднем фланце этого кольца также имеются резьбовые отверстия под винты крепления корпуса подшипника и пятнадцать отверстий \varnothing 5 мм для прохода воздуха на охлаждение деталей ротора СТ. В полости внутреннего силового кольца 1 приварен титановый экран, препятствующий нагарообразованию.

Обойма 7 РК II ступени ТК состоит из трех частей и на внутренней поверхности имеет металлокерамическое уплотнение, которое с гребешками наружных полок рабочих лопаток II ступени ТК образует лабиринтное уплотнение 6 по внешнему контуру

проточной части турбины. Обойма центрируется по цилиндрическим буртикам корпуса 9 СА I ступени СТ передним наружным Г-образным выступом и задней торцевой кольцевой канавкой. От окружающих перемещений каждая часть обоймы 7 фиксируется одним штифтом.

Сопловой аппарат II ступени СТ так же как и СА I ступени СТ состоит из корпуса 19 СА, собственного соплового аппарата 18 и обоймы 17 РК I ступени СТ.

Корпус 19 — сварной конструкции из титанового сплава ВТ-20. Он представляет собой обечайку с двумя фланцами. Передним фланцем он крепится к корпусу 9 СА I ступени СТ, а к заднему крепится корпус 21 диффузора выходного устройства. На переднем фланце выполнен ряд отверстий для прохода охлаждающего воздуха и отверстия 35 для дренажа топлива. Спереди в корпус вставляется и фиксируется штифтом разрезная обойма 17 РК I ступени СТ с металлокерамическим покрытием. Сзади устанавливается сопловой аппарат 18, который в окружном направлении фиксируется своими двадцатью четырьмя выступами, входящими в ответные пазы корпуса 19. Справа сверху на обечайке корпуса приварен фланец смотрового лючка, который закрывается специальной крышкой.

Смотровой лючок служит для осмотра рабочих лопаток I и II ступеней СТ.

Сопловой аппарат 18 отлит из хромоникелевой литейной стали. Он имеет наружный 20 и внутренний 25 ободы, соединенные тридцатью семью полыми сопловыми лопатками 24. На переднем фланце наружного обода 20 выполнена торцевая кольцевая проточка для центровки и монтажа разрезной обоймы 17 РК I ступени СТ.

К внутреннему ободу 25 приварен экран 26, обеспечивающий герметичность внутренних полостей сопловых лопаток, т.е. они не охлаждаемые. К фланцу внутреннего обода 25 приварена коническая диафрагма 29 с приваренной к ней втулкой лабиринта 30. На внутренней поверхности втулки лабиринта 30 нанесено металлокерамическое покрытие.

ОПОРЫ РОТОРА СВОБОДНОЙ ТУРБИНЫ

Ротор СТ установлен на двух опорах (рис. 4.8, см. вклейку). Передней опорой ротора является опорно-упорный шариковый подшипник, а задней — опорный роликоподшипник.

Передняя опора ротора СТ (четвертая опора двигателя), являясь связующим элементом между ротором и статором, воспринимает как радиальные нагрузки от массы ротора и неуравновешенных масс, так и осевые, создающиеся на роторе СТ при ее работе. Четвертая опора фиксирует ротор СТ относительно корпусов в осевом направлении. Опора устанавливается в полости внутренней силовой втулки 5 корпуса диффузора ВУ и состоит из неподвижных деталей, прикрепленных к фланцу этой втулки,

и вращающихся, устанавливаемых на переходной втулке 31 вала диска 38 РК II ступени СТ. К неподвижным деталям относятся: корпус 4 четвертой опоры, два упругих 7 и гладкое 8 кольца, наружное кольцо шарикоподшипника 6, регулировочное кольцо 33, корпус 3 с контактным радиально-торцевым уплотнительным устройством 37, втулка 1 лабиринта с металлокерамическим покрытием и эжекторное кольцо 2. Вращающимися деталями четвертой опоры являются: регулировочное кольцо 36 и переходная втулка 31 с закрепленными на ней регулировочным кольцом 35, внутренним разъемным кольцом шарикоподшипника 6, замком 34 и гайкой 32.

Корпус 4 изготовлен литьем из стали с последующей механической обработкой. Своим фланцем он центрируется и крепится с помощью винтов к фланцу внутренней силовой втулки 5 корпуса диффузора ВУ. Вместе с корпусом 4 крепятся: корпус 3 уплотнительного устройства, втулка 1 лабиринта и эжекторное кольцо 2. На фланце корпуса 4 выполнен ряд отверстий: под винты крепления, для подвода масла на смазку и охлаждение деталей, для подвода воздуха на наддув предмасляной полости Б и для слива отработавшего масла. Спереди в центральную расточку корпуса 4 устанавливаются: упругогидравлический демпфер, представляющий собой два стальных омедненных кольца 7 с продольными наружными и внутренними фрезеровками и гладкое кольцо 8, регулировочное кольцо 33 и наружное кольцо шарикоподшипника 6. От осевых перемещений неподвижные детали опоры фиксируются цилиндрическим буртом корпуса 3 уплотнительного устройства.

В корпусе 4 выполнена система масляных каналов и смонтирован маслопровод масляных форсунок, которые обеспечивают: подвод масла для работы упругогидравлического демпфера, на смазку и охлаждение шарикоподшипника 6 четвертой опоры и трущихся поверхностей графитового уплотнения.

Переходная втулка 31 — стальная, полая. Она устанавливается на вал диска 38 РК II ступени СТ. Внутри она имеет два цилиндрических пояска, которыми она центрируется и опирается на вал СТ, и шлицы для восприятия вращающего момента от вала СТ.

Такое соединение уменьшает площадь контакта переходной втулки 31 с валом диска 38 и тем самым снижает теплопередачу от диска РК II ступени СТ к шарикоподшипнику 6.

На наружной поверхности переходной втулки 31 выполнены: уплотнительный поясok для контакта с графитовым кольцом, цилиндрическая поверхность для монтажа регулировочного кольца 35 и разъемного внутреннего кольца шарикоподшипника 6, паз для монтажа усика замка 34 и резьба под стяжную гайку 32. Кроме того на наружной поверхности переходной втулки имеются два буртика для снятия металла при окончательной балансировке ротора СТ. На заднем торце переходная втулка имеет два радиальных паза под торцевые выступы ведущего цилиндрического зубчатого колеса 28.

Положение переходной втулки 31 относительно вала диска 38 определяется регулировочным кольцом 36.

Задняя опора ротора СТ (пятая опора двигателя) воспринимает только радиальные нагрузки от массы ротора и неуравновешенных масс. Она размещается в корпусе 19 и состоит из неподвижных и вращающихся деталей. К неподвижным деталям опоры относятся: корпус 19, внутри которого смонтированы: наружное кольцо роликоподшипника 25, регулировочное 26 и стопорное 27 кольца. Вращающиеся детали пятой опоры устанавливаются на цапфу ведущего цилиндрического зубчатого колеса 28, которое, в свою очередь, монтируется на вал диска 38 РК II ступени СТ. На цапфу зубчатого колеса 28 монтируются регулировочное кольцо и внутреннее кольцо роликоподшипника 25. На вал диска 38 устанавливаются: ведущее цилиндрическое зубчатое колесо 28, распорная втулка 24, комбинированная втулка 23, замок 22 и гайка-индуктор 21.

Корпус 19 пятой опоры одновременно является и корпусом уплотнительного устройства. Своим фланцем он совместно с корпусом 18 датчиков крепится винтами к заднему фланцу внутренней силовой втулки 5. Спереди он имеет цилиндрическую расточку для монтажа неподвижных деталей опоры, а сзади — цилиндрическую расточку для монтажа уплотнительного устройства 20. В корпусе 19 выполнен ряд каналов, верхние из них используются для суфлирования полостей, нижние — для слива масла. Корпус 18 датчиков выполнен литьем с последующей механической обработкой. Он одновременно выполняет и роль корпуса лабиринта. Корпус 18 датчиков имеет фланец для его крепления к заднему фланцу внутренней силовой втулки 5 и во внутренней перегородке — центральную расточку с металло-керамическим покрытием, которое с гребешками комбинированной втулки 23 образует лабиринтное уплотнение. На наружной поверхности корпуса датчиков имеются четыре фланца для установки датчиков измерения $n_{ст}$.

Смазка и охлаждение деталей опор ротора СТ и привода регулятора осуществляется маслом, поступающим от маслофильтра по внешней трубке к правому верхнему штуцеру корпуса диффузора ВУ. От штуцера по трубке, проходящей в правой верхней стойке, масло поступает в полость цилиндрической расточки, выполненной изнутри в стенке внутренней силовой втулки 5 (см. рис. 4.8) корпуса диффузора ВУ. К фланцу цилиндрической расточки двумя винтами крепится тройник маслопровода. Из полости цилиндрической расточки масло идет по осевому отверстию в стенке внутренней силовой втулки 5 корпуса диффузора ВУ, через переходную втулку, осевое и радиальное отверстия в корпусе 4 четвертой опоры, радиальное отверстие в приливе корпуса 3 уплотнения к форсунке, направляющей струю масла на охлаждение уплотнительного пояса переходной втулки 31, на который опирается графитовое кольцо. Из полости цилиндрической расточки через тройник маслопровода по передней трубке масло подводится к отверстию корпуса 4 четвертой опоры и далее по внутренним

каналам идет: к форсунке шарикоподшипника и в гидравлический демпфер подшипника четвертой опоры.

По задней трубке тройника масло поступает к форсунке шарикоподшипников 14 промежуточных зубчатых колес редуктора привода регулятора $n_{ст}$ и в корпус 19 пятой опоры. В стенке трубки около фланца корпуса 19 пятой опоры выполнено калиброванное отверстие (форсунка) для смазки и охлаждения зубьев цилиндрических зубчатых колес редуктора. В корпусе 19 пятой опоры выполнена система каналов для подвода масла к двухсторонней форсунке. Через переднее отверстие форсунки масло подается на смазку и охлаждение роликподшипника 25 пятой опоры, а через заднее — на охлаждение комбинированной втулки 23.

Суфлирование масляной полости опор СТ осуществляется через один из откачивающих насосов, воздушно-масляный радиатор и маслбак с полостью диффузора ВУ.

Уплотнение масляной полости спереди и сзади обеспечивается с помощью трех элементов уплотнения: графитового контактного радиально-торцевого уплотнительного устройства; полости повышенного давления (предмасляной полости) и лабиринтного уплотнения. Конструктивно графитовые уплотнительные устройства выполнены аналогично подобным уплотнительным устройствам второй опоры двигателя.

Воздух для надува предмасляных полостей Б и В поступает из-за V ступени компрессора по внешней трубке к левому нижнему штуцеру на корпусе диффузора ВУ. Далее воздух через полость во внутренней силовой втулке 5 корпуса диффузора ВУ идет по двум направлениям:

через отверстия фланцев корпуса 4 четвертой опоры ротора СТ и корпуса 3 уплотнения, через фрезеровку втулки I лабиринта в переднюю предмасляную полость Б. Часть воздуха, прорывающегося через лабиринтное уплотнение охлаждает диск РК II ступени СТ сзади;

через отверстия на внутреннем фланце корпуса 5 опор СТ и во фланце корпуса 18 датчиков по фрезеровке на фланце корпуса 19 пятой опоры в заднюю предмасляную полость В.

ОХЛАЖДЕНИЕ СВОБОДНОЙ ТУРБИНЫ

Охлаждение деталей свободной турбины (рис. 4.9) осуществляется воздухом, отбираемым из рессивера за VII ступенью компрессора. От компрессора по внешнему трубопроводу воздух подводится к фланцу, расположенному справа на обечайке корпуса I СА I ступени СТ и попадает в кольцевую полость А.

Отсюда воздух идет в двух направлениях:

через отверстия на фланцах наружных ободов 3 и 6 СА I и II ступеней в полость Ж и далее по отверстиям во фланцах наружного обода 6 СА II ступени и корпуса 7 диффузора ВУ в его кольцевую полость. При этом охлаждаются корпус 1 и наружный обод 3 СА I ступени, корпус 5 и наружный обод 6 СА II

ступени СТ. Кроме этого из полости *A* воздух идет через полые силовые стойки 2 и сопловые лопатки 4, охлаждая их, в полость *B*. Из этой полости часть воздуха по наклонным двенадцати отверстиям $\varnothing 3$ мм в переднем фланце внутреннего силового кольца 9 идет на наддув предмасляной полости третьей опоры двигателя и далее через лабиринтное уплотнение, охлаждая задний вращающийся дефлектор диска РК II ступени ТК, выходит в проточную часть турбины, препятствуя проникновению горячих газов из проточной части в эту полость. Другая часть (основной поток) воздуха через пятнадцать отверстий $\varnothing 5$ мм на заднем фланце внутреннего силового кольца 9, полость между дефлектором и экраном и радиальные и осевые отверстия во втулке 13 идет в полость ротора СТ (полость *B*).

Из полости *B* ротора СТ воздух идет:

по кольцевому зазору между втулкой 13 и отверстием в ступице диска 12 РК I ступени СТ в полость *Г* на охлаждение передней стенки диска 12 РК I ступени СТ, его обода и хвостовиков рабочих лопаток. Кроме этого сюда же на охлаждение поступает воздух через восемь отверстий в экране;

по радиальным каналам, образованным укороченными торцевыми шлицами через лабиринтные уплотнения 10 в полость *Д* на охлаждение задней стенки диска 12 РК I ступени СТ и в полость *Е* на охлаждение передней стенки диска 11 РК II ступени СТ, его обода и хвостовиков рабочих лопаток. Охлаждающий воздух, выходя в проточную часть турбины из полостей *Г*, *Д* и *Е* по кольцевым зазорам между внутренними полками рабочих лопаток и внутренними ободами сопловых аппаратов, препятствует проникновению горячих газов из проточной части в эти полости.

4.4. ВЫХОДНОЕ УСТРОЙСТВО

Выходное устройство (рис. 4.10, см. вклейку) предназначено для отвода отработавших в турбинах газов за пределы силовой установки с минимальными гидравлическими потерями. Оно выполнено в виде расширяющегося дозвукового диффузора, где скорость потока газа снижается со $c_{СТ} = 154$ м/с до $c_{ВУ} = 52$ м/с, а давление соответственно растет с $p_{СТ} = 0,097$ МПа до $p_{ВУ} = 0,1033$ МПа. При этом газовый поток отводится в сторону на 25° от оси двигателя так, чтобы исключить попадание горячих газов на элементы конструкции вертолета.

Выходное устройство (ВУ) состоит из корпуса диффузора, выхлопного патрубка 10 и соединительного хомута 18.

Корпус диффузора ВУ сварной конструкции из титанового сплава и имеет наружную обечайку 7, внутреннюю силовую втулку 11, соединенные между собой шестью полными стойками 4. К

обечайке 7 привариваются передний и задний фланцы и наружное кольцо обечайки, которое спереди приварено к переднему фланцу, а сзади непосредственно к обечайке 7. Наружное кольцо с обечайкой 7 образуют кольцевую воздушную полость. Передний фланец служит для крепления корпуса диффузора ВУ к фланцу корпуса 5 СА II ступени СТ. Внутри этого фланца выполнены: две торцевые кольцевые проточки для центровки и монтажа обоймы 6 РК II ступени СТ с металлокерамическим покрытием и ряд осевых отверстий для прохода охлаждающего воздуха.

К заднему фланцу призонными болтами крепится выхлопной патрубок. На фланце нанесена риска для ориентации выхлопного патрубка 10 при его монтаже или развороте. Для обеспечения герметичности в плоскостях разъемов по фланцам устанавливаются стеклонити, а резьбы болтов смазываются смазкой ЖС.

На внешней поверхности кольца обечайки корпуса диффузора приварен ряд фланцев и штуцеров:

верхний — фланец крепления привода регулятора частоты вращения СТ и далее по часовой стрелке:

фланец штуцера трубки системы суфлирования маслобака и коробки приводов;

штуцер трубопровода масла на смазку и охлаждение деталей опор и редуктора привода регулятора $n_{ст}$;

штепсельный разъем, под датчики измерения $n_{ст}$ (ДТА-10);

фланец трубки сброса воздуха из второй опоры;

фланец штуцера трубки откачки масла из опор СТ;

фланец трубки сброса воздуха из второй опоры;

штуцер трубопровода подвода воздуха из-за V ступени компрессора на наддув предмасляных полостей опор СТ;

штепсельный разъем, под датчики измерения $n_{ст}$ (ДТА-10);

фланец трубки эжектора.

Профилированные силовые стойки 4 двухстеночной конструкции, полые, охлаждаемые. На периферии они привариваются к обечайке 7 и к кольцу обечайки, а внутри — к профилированным патрубкам внутренней силовой втулки 11 корпуса диффузора. Через полости стоек 4 проходит охлаждающий воздух и в них размещаются:

в верхней — вертикальный гибкий валик привода регулятора $n_{ст}$ и далее по часовой стрелке;

трубка подвода масла на смазку и охлаждение деталей опор и редуктора привода регулятора $n_{ст}$;

электрожгут;

трубка откачки масла из опор СТ;

трубка подвода воздуха из-за V ступени компрессора на наддув предмасляных полостей опор СТ;

электрожгут.

Внутренняя силовая втулка 11 отлита из титанового сплава и имеет довольно сложную форму. Спереди у нее выполнен фланец с резьбовыми отверстиями для монтажа корпуса четвертой опоры, корпуса уплотнительного устройства, втулки лабиринта и эжекторного кольца. Над фланцем равномерно по окружности про-

сверлены сквозные отверстия В для прохода охлаждающего воздуха. На внутренней стенке внутренней силовой втулки вверху имеются четыре бобышки со шпильками для крепления редуктора привода регулятора лст. Внутри передний фланец внутренней силовой втулки развит в корпус опор СТ. К внутреннему фланцу корпуса опор крепятся корпус 14 датчиков и корпус 13 пятой опоры. На внешней поверхности внутренней силовой втулки 11 отлито шесть профилированных патрубков, к которым привариваются силовые стойки 4. К задней кромке внешней стенки внутренней силовой втулки 11 приварен корпус трансмиссии, состоящий из обечайки 12, ее экрана 15 и переходника 16 с фланцами. В переходнике выполнены отверстия Е для забора атмосферного воздуха на охлаждение деталей ВУ. К переднему фланцу переходника своим задним фланцем крепится выхлопной патрубок 10, а к заднему фланцу — корпус сферы редуктора. На обечайке 12 корпуса трансмиссии выполнены лючки для монтажа датчиков частоты вращения ротора СТ.

Выхлопной патрубок 10 сварной конструкции из титанового сплава ВТ-20. Он изготовлен в виде специально спрофилированной трубы, изогнутой в горизонтальной плоскости и имеющей изменяющиеся формы поперечного сечения от кольцевого сечения на входе до овала на выходе. Он имеет стенку и два фланца. Передним фланцем он центрируется и крепится призонными болтами к заднему фланцу корпуса диффузора ВУ, а задним — к заднему фланцу переходника 16 трансмиссии. Уплотнения по переднему фланцу выхлопного патрубка обеспечивается постановкой стеклонити, а по заднему — нанесением на спрягаемые поверхности тонкого слоя силоксановой эмали. Между задним фланцем выхлопного патрубка и передним фланцем переходника 16 корпуса трансмиссии (при необходимости) устанавливается регулировочное кольцо.

Крепление выхлопного патрубка 10 к переднему фланцу переходника 16 корпуса трансмиссии осуществляется винтами с пластинчатыми замками при помощи трех прижимных секторов. Для увеличения жесткости патрубка на его внешней поверхности выполнены два осевые штампованные ребра жесткости и приварено кольцевое ребро жесткости. У среза выхлопного патрубка приварен штампованный фланец 17 с компенсационными прорезами, который служит для крепления вертолетного насадка 21 с помощью соединительного хомута 18. Для обеспечения герметичности соединения и центровки насадка 21 внутрь штампованного фланца 17 устанавливается уплотнительный шнур 19 и вставляется прижимное кольцо 20. Сверху устанавливается соединительный хомут 18, состоящий из двух половин, которые стягиваются двумя винтами 22.

ОХЛАЖДЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ ВЫХОДНОГО УСТРОЙСТВА

Охлаждение деталей выходного устройства осуществляется двумя путями: охлаждающим воздухом из-за VII ступени компрес-

сора, поступающим из корпуса СА II ступени СТ и воздухом из окружающей среды.

Охлаждающий воздух из полости между корпусом и наружной обоймой СА II ступени СТ по осевым отверстиям в заднем фланце 2 корпуса СА II ступени СТ и в корпусе 5 диффузора ВУ попадает в кольцевую полость между стенками обечайки 7 и ее кольца, проходит через полые стойки 4 и отверстия В в переднем фланце внутренней силовой втулки 11, выходит в проточную часть. При этом охлаждаются обечайка 7 с ее кольцом и силовые стойки 4. Для увеличения мощности, развиваемой свободной турбиной, турбины обычно выполняют с перерасширением газа в них. Поэтому в полости за СТ (перед корпусом диффузора ВУ) давление ниже атмосферного. Наличие разрежения в полости за СТ используется для организации воздушного охлаждения обечайки 12 корпуса трансмиссии, корпуса 14 датчиков и корпуса редуктора привода регулятора лст. С этой целью воздух из окружающей среды через отверстия Е поступает в полость Д. Отсюда он проходит через кольцевой зазор Г и отверстия В в кольцевую полость Б. Благодаря наличию эжекторного кольца 3 охлаждающий поток воздуха меняет направление движения. При этом газовым потоком, движущимся в проточной части, охлаждающий воздух прижимается к обечайке 12 корпуса трансмиссии, образуя вокруг него воздушную завесу и тем самым обеспечивая его эффективное охлаждение.

4.5. ВОЗМОЖНЫЕ НЕИСПРАВНОСТИ ГАЗОВЫХ ТУРБИН И ВЫХОДНОГО УСТРОЙСТВА

Газовые турбины относятся к числу самых высоконагруженных узлов двигателя как в тепловом, так и механическом отношении. Под воздействием больших центробежных сил и давлений, неравномерности температурного поля, высоких температур и вибраций в их деталях возникают огромные по величине напряжения, которые могут вызвать те или иные неисправности деталей газовых турбин. Следует иметь в виду, что нарушения руководства по летной и технической эксплуатации двигателя усугубляет положение дел, способствует росту напряжений, а следовательно и появлению неисправностей. К наиболее возможным неисправностям относятся:

1. Вытяжка рабочих лопаток турбин, которая возможна вследствие длительного воздействия на рабочие лопатки больших центробежных сил в условиях высоких температур. Вытяжка рабочих лопаток приводит к уменьшению зазора и, в конечном счете, к касанию гребешками бандажных полок рабочих лопаток металлокерамического слоя обойм рабочих колес. Вытяжка приводит к выработке металлокерамического покрытия, к заеданию ротора и даже к поломкам рабочих лопаток. Практически эта неисправность является следствием грубого нарушения технических требований путем превышения максимально допустимых частот вращения

роторов и температуры газов перед ТК, а также несоблюдения эксплуатационных ограничений при работе двигателя на чрезвычайном, максимальном и максимально продолжительном режимах. Дефект может быть обнаружен по увеличению усилий при ручной прокрутке ротора, а также по уменьшению времени выбега ротора не менее 50 с после выключения двигателя.

2. Обрыв или разрушение рабочих лопаток турбин. Это самый опасный дефект, который может привести к весьма серьезным последствиям. Так, при попадании оторвавшегося куска лопатки в проточную часть может возникнуть изгиб следующих по потоку лопаток и выпучивание корпусов турбин или заклинивание ротора.

Пробой корпуса турбины куском оторвавшейся лопатки может вызвать разрушение элементов силовой установки и конструкции планера вертолета. При этом, в случае повреждения топливных или масляных коммуникаций возможно возникновение пожара в отсеках силовой установки. Причинами обрыва или разрушения рабочих лопаток могут быть:

нарушения руководства по летной и технической эксплуатации двигателя, такие как:

а) заброс температуры газа перед турбиной при запуске выше максимально допустимой величины;

б) вывод непрогретого двигателя на повышенный режим;

в) выключение двигателя без предварительного охлаждения его на режиме малого газа;

вытяжка рабочих лопаток;

повышенная вибрация двигателя; что ведет к появлению усталостных микротрещин, к их развитию и т. д.

попадание на рабочие лопатки посторонних предметов в виде разрушившихся деталей компрессора, камеры сгорания, соплового аппарата, турбины двигателя.

Обрыв или разрушения рабочих лопаток как постепенно развивающийся дефект может быть заблаговременно обнаружен в процессе эксплуатации и технического обслуживания двигателя.

3. Обгорание сопловых и рабочих лопаток турбин происходит из-за значительного увеличения температуры газа перед ТК сверх допустимой величины. Рост температуры газа перед ТК возможен: вследствие нарушения процесса сгорания в камере сгорания и увеличения неравномерности температурного поля при помпаже компрессора или при увеличении подачи топлива к рабочим форсункам системой автоматического управления.

Обгорание лопаток может быть обнаружено при техническом обслуживании двигателя по характерным следам, оставленным частицами металла на внутренней поверхности выходного устройства и по состоянию рабочих лопаток II ступени СТ, хорошо просматриваемых через ВУ.

4. Разрушение подшипников опор роторов турбин может произойти вследствие: выборки радиальных зазоров, в самих подшипниках, при запуске двигателя в условиях низких температур без предварительного обогрева; масляного голодания опор при

низких давлениях масла или перенаддуве предмасляных полостей.

Признаками разрушения подшипников опор являются: увеличение вибраций двигателя; резкое повышение температуры масла и температуры газа перед ТК; потемнение масла; наличие металлических блесков на маслофилт্রে; уменьшение времени выбега двигателя; увеличение неравномерности усилий при ручной прокрутке ротора.

5. Износ, смятие и сколы материала на шлицевых поверхностях рессоры главной передачи, скручивание ее и другие повреждения.

Одной из причин дефектов шлиц рессоры является несоблюдение величины выступания рессоры относительно торца корпуса трансмиссии, которая должна быть $(40,8 \pm 0,2)$ мм, а скручивания рессоры — работа двигателя на чрезвычайном режиме более 6 мин.

ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ

Для предупреждения, своевременного обнаружения и устранения различного рода неисправностей деталей газовых турбин и выходного устройства и отказов двигателей необходимо соблюдать требования руководящих документов, регламентирующих надежную работу двигателей как на земле, так и в полете. Основными профилактическими мероприятиями, направленными на предотвращение появления неисправностей, являются:

в процессе технического обслуживания — тщательный осмотр корпусов турбин и ВУ с целью выявления трещин, забоин, коррозий;

перед запуском — осмотр в доступных для этого местах проточной части и ручная прокрутка ротора двигателя, чтобы убедиться в отсутствии посторонних предметов в проточной части двигателя;

после запуска — прогрев двигателя перед переводом его на повышенный режим;

на работающем двигателе — тщательный контроль параметров, характеризующих режимы его работы с целью недопущения отклонений их значений от допустимых величин;

перед выключением двигателя — охлаждение его на режиме малого газа, после чего выключение и проверка времени выбега, которое должно быть не менее 50 с;

после останова — закрытие проточной части двигателя специальными заглушками, что уменьшает вентиляцию проточной части и обеспечивает равномерность охлаждения его деталей.

Эти и ряд других мероприятий позволяют обеспечить эксплуатацию двигателя с высокой надежностью и без летных происшествий.

В процессе технического обслуживания необходимо следить за состоянием корпусов турбин и выходного устройства, сопловых и рабочих лопаток. С этой целью при техническом обслуживании

осматриваются корпуса турбин и диффузора ВУ и выхлопной патрубок на предмет выявления трещин, забоин, короблений. При обнаружении трещин их концы должны быть засверлены сверлом диаметром 1,5...2,0 мм. На наружных корпусах турбин и диффузора ВУ и на выхлопном патрубке допускаются трещины в количестве до 5 штук и длиной не более 200 мм каждая, при суммарной длине трещин на данном корпусе не более 450 мм. В случаях неправильной засверловки концов трещин или при их развитии в другом направлении разрешается повторная засверловка трещин при общей длине каждой из трещин не более 200 мм.

Не допускаются трещины в районе фланцев крепления корпусов, а также трещины, приводящие к образованию замкнутого контура. Для осмотра лопаток сопловых аппаратов и рабочих колес используются окна в корпусах турбин. Осмотр производится с помощью эндоскопов. Рабочие лопатки II ступени СТ хорошо просматриваются через выходное устройство. Трещины, забоины или коробления на лопатках турбин не допускаются. При перестановке двигателя с вертолета на вертолет или при замене главного редуктора производится осмотр шлиц рессоры главной передачи 2 (рис. 4.11) и проверка состояния ее уплотнительного кольца 1. При осмотре обращают внимание на наличие износа, смятия или скола металла на эвольвентных поверхностях шлиц, на наличие скручивания рессоры и т. д. При обнаружении повреждений необходимо произвести замену рессоры или уплотнительного кольца. При демонтаже рессоры вместе с ней может вынуться регулировочное кольцо. Перед последующим монтажом проверенной или новой рессоры регулировочное кольцо следует смазать тонким слоем пушечной смазки и приклеить к переднему торцу рессоры. Монтаж рессоры производить вместе с регулировочным кольцом. После монтажа с помощью штангенглубиномера произвести измерение величины выступания рессоры относительно торца заднего фланца переходника конуса трансмиссии. Размер A должен быть $(40,8 \pm 0,2)$ мм.

Разворот выхлопного патрубка. При необходимости переоборудования левого двигателя в правый или наоборот производят разворот выхлопного патрубка. Разворот производят на снятом и установленном на монтажную тележку или транспортировочную стойку двигателе. Разворот можно производить и на двигателе, установленном в положение, удобное для выполнения работ, на приспособлении для подъема. Работы по демонтажу выхлопного патрубка производят в следующей последовательности:

отгибают усики пластинчатых замков 2 (рис. 4.12) и отворачивают двенадцать винтов 1 крепления выхлопного патрубка 6 к фланцу корпуса 4 трансмиссии;

с фланца 5 выхлопного патрубка 6 снимают прижимные секторы 3;

отворачивают самоконтрящиеся гайки (рис. 4.13) и вынимают болты 7 крепления выхлопного патрубка 8 к фланцу 3 корпуса

1 диффузора ВУ. Для предохранения выхлопного патрубка от падения при его страгивании в одном из верхних отверстий оставляют поддерживающий болт 7;

после страгивания выхлопного патрубка 8 с места, снимают поддерживающий болт 7 и выхлопной патрубок 8 с двигателя. При этом, если между фланцами 10 корпуса трансмиссии и 9 выхлопного патрубка 8 установлено регулировочное кольцо 4, то его также снимают с двигателя;

снимают стеклонить 5, установленную между фланцами 3 корпуса 1 диффузора ВУ и 6 выхлопного патрубка 8;

очищают торцевые поверхности фланцев 3 и 6 от остатков силикосановой эмали и промывают их бензином, а затем разжижителем Р-5 или ацетоном;

подготавливают разворачиваемый (или новый) выхлопной патрубок к его установке на двигатель, для чего торцевые поверхности фланцев 6 и 9 выхлопного патрубка 8 очищают от остатков силикосановой эмали (при развороте) или от консервации (при замене), промывают их бензином и просушивают на воздухе в течение 15...20 мин;

для примерки и подгонки нового патрубка к двигателю выполняют следующие работы:

а) устанавливают новый выхлопной патрубок 8 на двигатель вместе с ранее стоявшим регулировочным кольцом 4;

б) закрепляют его шестью-десятью болтами 7 с гайками;

в) шупом проверяют величину зазора между фланцами 10 корпуса трансмиссии и 9 выхлопного патрубка. Зазор должен быть в пределах 0,02...0,04 мм. Требуемый зазор обеспечивают подбором по толщине регулировочного кольца 4, при этом допускается постановка двух колец;

г) снимают выхлопной патрубок с двигателя;

на фланцы 3, 6, 10 и 9 наносят тонкий слой силикосановой эмали и просушивают их в течение 15...20 мин на открытом воздухе;

на фланец 3 накладывают новую стеклонить 5;

при развороте выхлопного патрубка устанавливают ранее стоявшее регулировочное кольцо 4, а при его замене — вновь подобранное;

смазывают резьбовые части болтов и винтов крепления выхлопного патрубка смазкой ЖС;

устанавливают развернутый на 180° от первоначального положения (при развороте) или новый (при замене) патрубок 8 так, чтобы совмещались метки «0» или риски на фланцах 3 корпуса 1 диффузора ВУ и 6 выхлопного патрубка 8;

закрепляют выхлопной патрубок четырьмя болтами с гайками и двумя винтами 1 (см. рис. 4.12), предварительно установив на фланец 5 прижимные секторы 3 и пластинчатые замки 2;

устанавливают все болты 7 (см. рис. 4.13) в отверстия фланцев 6, 3, наворачивают самоконтрящиеся гайки и затягивают их в диаметрально противоположной последовательности по часовой стрелке;

заворачивают винты 1 (см. рис. 4.12), затягивают их в диаметрально противоположной последовательности по часовой стрелке и контрят замками 2;

со стыковочных фланцев (см. рис. 4.13) удаляют излишки силиконовой эмали;

собранный узел просушивают на воздухе в течение не менее 2 ч.

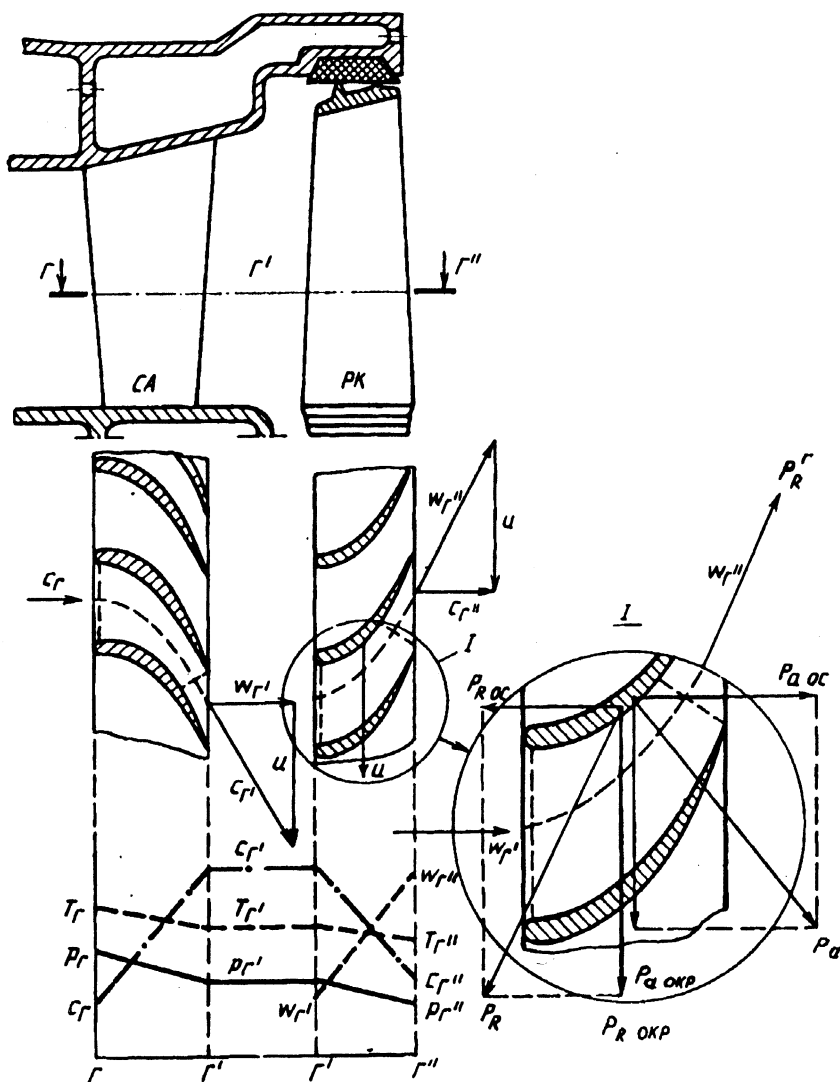


Рис. 4.1. Схема принципа работы ступени реактивной турбины

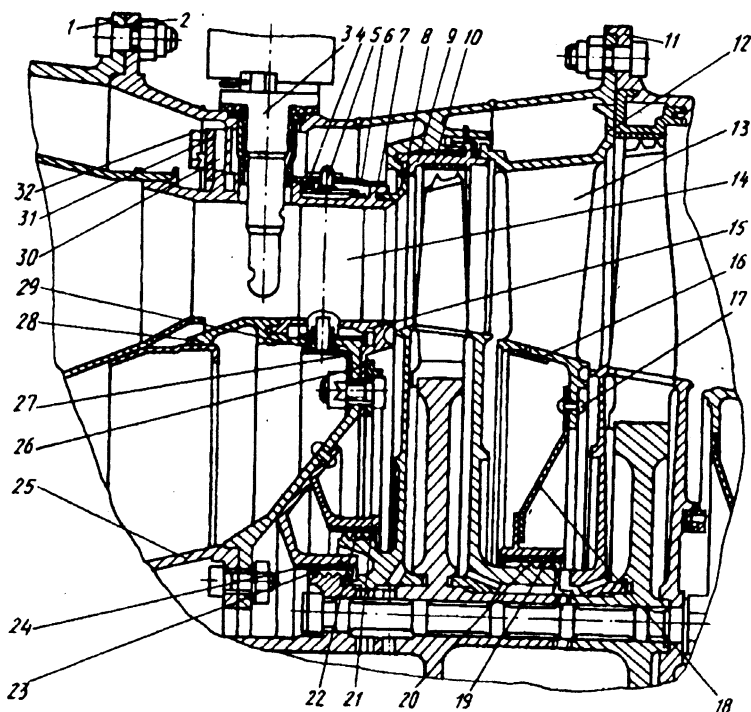


Рис. 4.3. Статор турбины компрессора:

1 — наружный корпус диффузора КС; 2 — корпус ТК; 3 — термо-пара; 4 — накладка; 5, 29 — втулки переходные; 6, 16 — экраны; 7 — наружная обойма СА I ступени; 8 — проставка; 9 — обойма РК I ступени; 10, 20, 22, 24 — металлокерамические уплотнения; 11 — корпус СА I ступени; 12 — СА II ступени; 13, 14 — сопловые лопатки; 15 — внутренняя обойма СА I ступени; 17 — внутренний обод СА II ступени; 18 — диафрагма коническая; 19, 21, 23 — втулки лабиринтов; 25 — внутренний корпус диффузора камеры сгорания; 26 — упорное кольцо; 27 — кольцо фиксирующее; 28 — коническая диафрагма; 30 — сухарь; 31 — сектор; 32 — винт

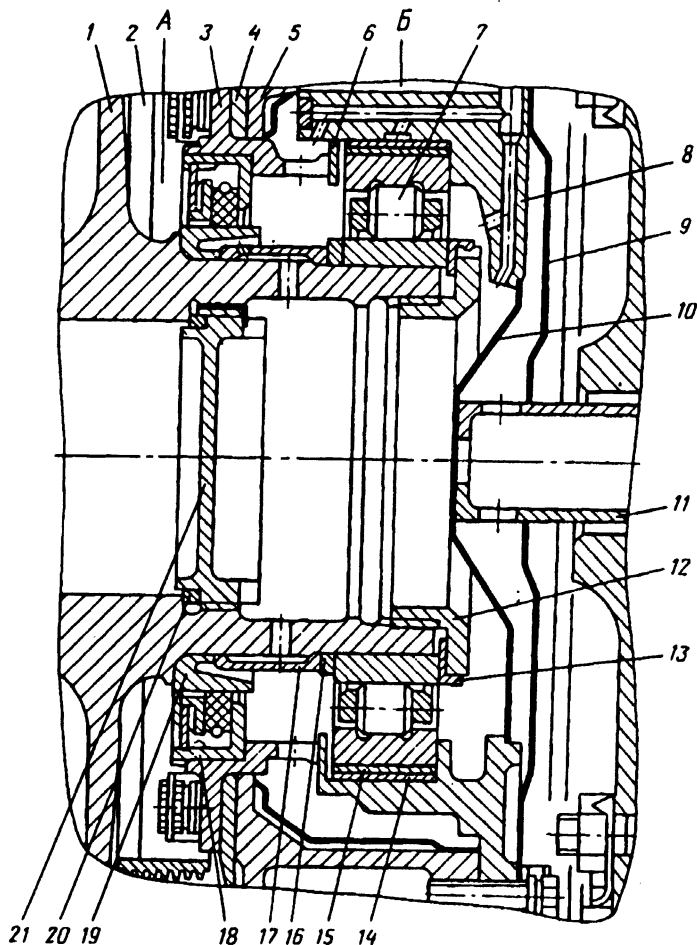


Рис. 4.4. Опора турбины компрессора (третья опора двигателя):

1 — диск РК II ступени ТК; 2 — задний вращающийся дефлектор; 3 — корпус уплотнительного устройства; 4 — втулка лабиринта; 5 — внутреннее силовое кольцо; 6, 16 — регулировочные кольца; 7 — роликоподшипник; 8 — корпус подшипника; 9 — экран; 10 — диафрагма; 11 — втулка; 12 — гайка; 13 — замок гайки; 14 — упругое кольцо; 15 — гладкое кольцо; 17 — распорная втулка; 18 — уплотнительное устройство; 19 — уплотнительная втулка; 20 — уплотнительное кольцо; 21 — гайка-заглушка; А, Б — полости

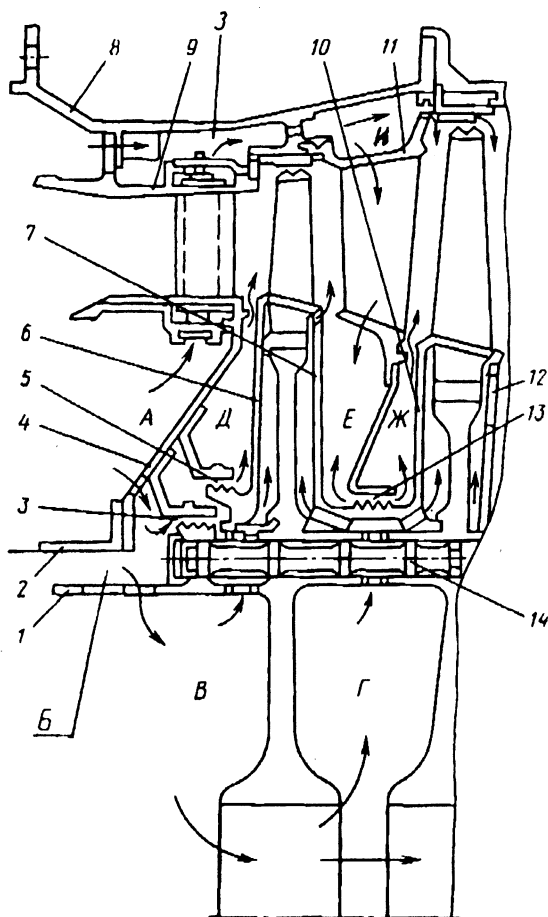


Рис. 4.5. Схема охлаждения деталей турбины компрессора:

1 — вал ТК; 2 — внутренний корпус диффузора КС; 3, 5, 13 — лабиринтные уплотнения; 4 — коническая диафрагма; 6, 7, 10, 12 — вращающиеся дефлекторы; 8 — корпус ТК; 9 — наружная обойма СА I ступени; 11 — наружный обод СА II ступени; 14 — стяжной болт; А, Б, В, Г, Д, Е, Ж, З, И — полости

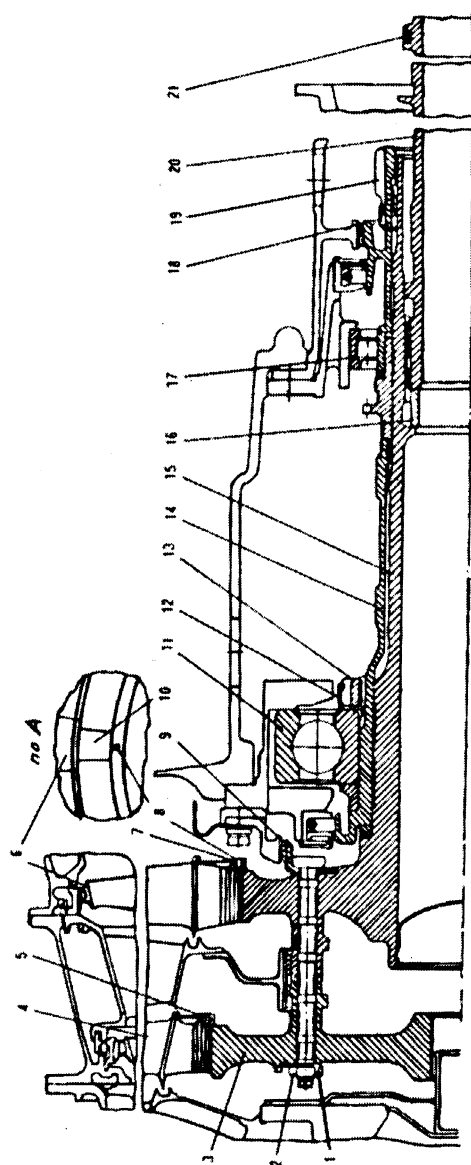


Рис. 4.6. Ротор свободной турбины:

1 — стяжной болт; 2, 13, 19 — гайки; 3 — диск РК I ступени; 4, 6 — рабочие лопатки; 5, 7 — стопорные кольца; 8 — штифт; 9 — лабиринтное кольцо; 10 — вставка; 11 — шарикоподшипник; 12, 18 — замки; 14 — переходная втулка; 15 — диск РК II ступени; 16 — регулировочные шайбы; 17 — роликподшипник; 20 — резсор; 21 — уплотнительное кольцо

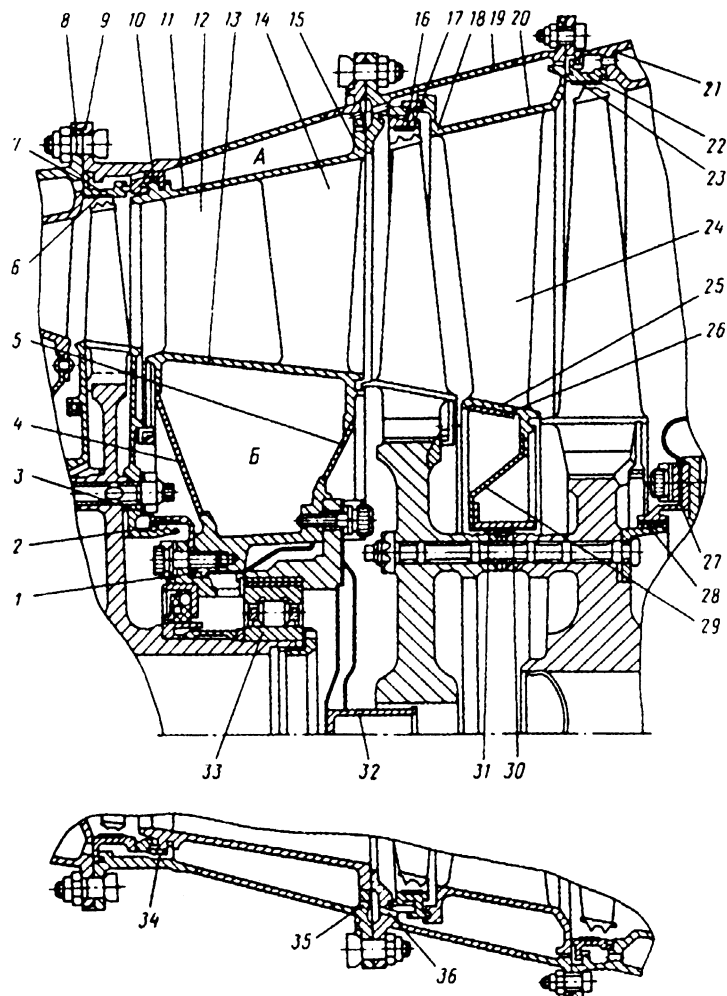


Рис. 4.7. Статор свободной турбины:

1 — внутреннее силовое кольцо; 2, 6, 16, 23, 28, 31 — лабиринтные уплотнения; 3, 27, 30 — втулки лабиринта; 4 — стенка передняя; 5 — стенка задняя; 7 — обойма РК II ступени ТК; 8 — корпус ТК; 9 — корпус СА I ступени СТ; 10 — уплотнительное кольцо; 11 — наружный обод СА I ступени СТ; 12 — силовая стойка; 13 — внутренний обод I ступени СТ; 14 — сопловая лопатка I ступени СТ; 15 — сопловой аппарат I ступени СТ; 17 — обойма РК I ступени СТ; 18 — сопловой аппарат II ступени СТ; 19 — корпус СА II ступени СТ; 20 — наружный обод СА II ступени СТ; 21 — корпус диффузора выходного устройства; 22 — обойма РК II ступени СТ; 24 — сопловая лопатка II ступени СТ; 25 — внутренний обод СА II ступени СТ; 26 — экран; 29 — коническая диафрагма; 32 — втулка; 33 — роликоподшипник; 34, 35, 36 — дренажные отверстия; А, Б — кольцевые полости

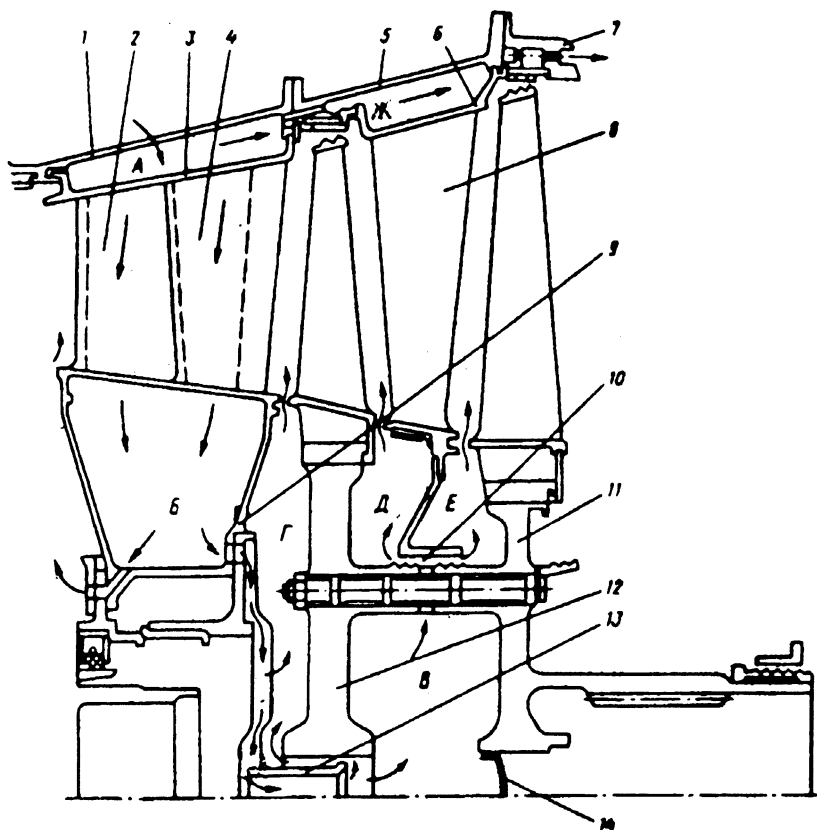


Рис. 4.9. Схема охлаждения деталей свободной турбины:

1 — корпус СА I ступени; 2 — силовая стойка; 3 — наружный обод СА I ступени; 4, 8 — сопловые лопатки; 5 — корпус СА II ступени; 6 — наружный обод СА II ступени; 7 — корпус диффузора ВУ; 9 — внутреннее силовое кольцо; 10 — лабиринтные уплотнения; 11, 12 — диски РК; 13 — втулка; 14 — заглушек; А, Б, В, Г, Д, Е, Ж — полости

Рис. 4.10. Выходное устройство (см. вклейки).

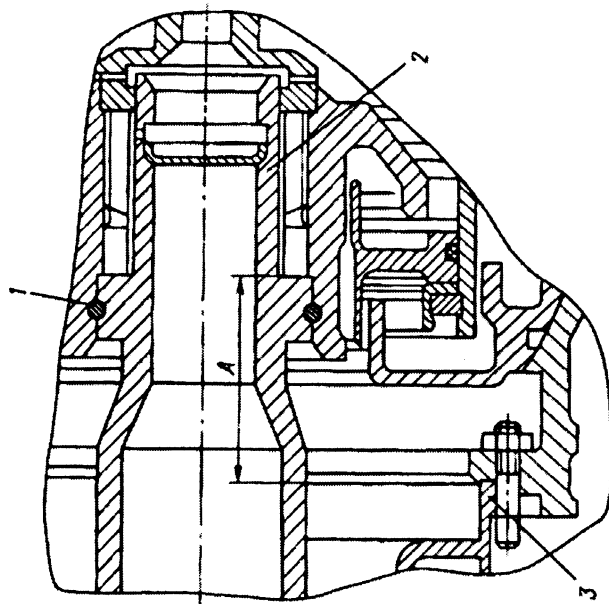


Рис. 4.11. Измерение величины выступания рессоры относительно фланца корпуса трансмиссии:

1 — уплотнительное кольцо; 2 — рессора; 3 — фланец корпуса трансмиссии; А — величина выступания рессоры

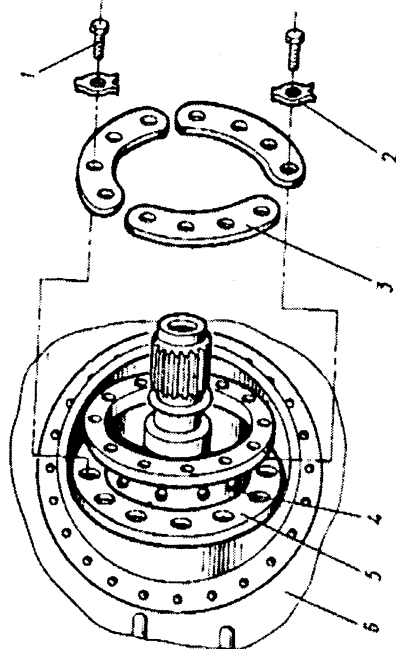


Рис. 4.12. Узел соединения выходного патрубка с фланцем корпуса трансмиссии:

1 — винт; 2 — пластинчатый замок; 3 — прижимные секторы; 4 — корпус трансмиссии; 5 — фланец выходного патрубка; 6 — выходной патрубок

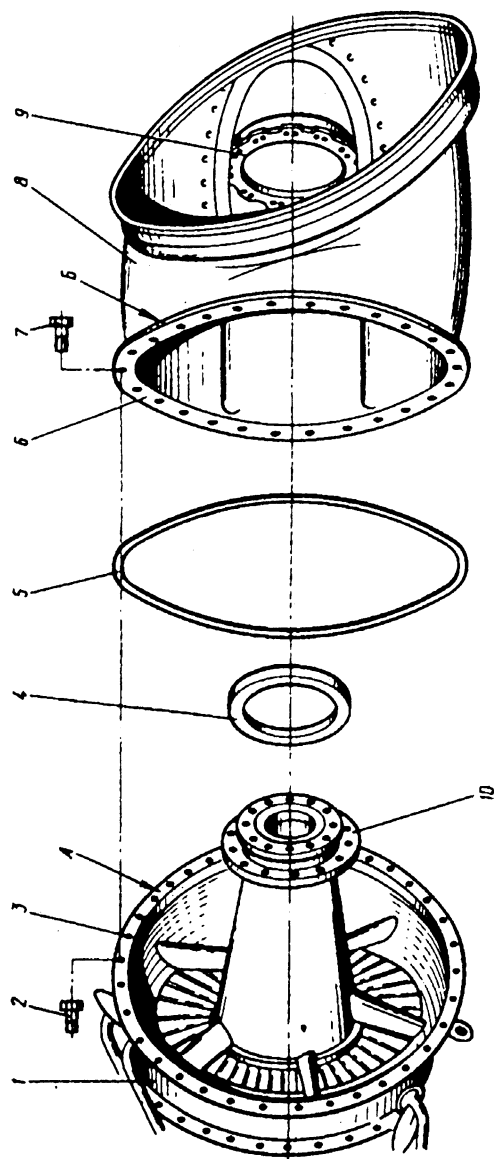


Рис. 4.13. Выходное устройство:

1 — корпус диффузора ВУ; 2, 7 — болты; 3 — фланец корпуса диффузора ВУ; 4 — регулировочное кольцо;
5 — стеклонити; 6 — передний фланец выходного патрубку; 8 — выходной патрубок; 9 — задний фланец выходного патрубку;
10 — корпус трансмиссии; А, Б — фланцы

Глава V

СИСТЕМА ПРИВодОВ

Приводы предназначены для передачи вращающего момента от ротора турбокомпрессора или ротора свободной турбины к агрегату с определенным передаточным числом, которое подбирается исходя из условий работы данного агрегата или его производительности.

Различают две кинематически не связанные между собой системы:

- систему приводов от ротора СТ;
- систему приводов от ротора ТК.

Система приводов от ротора СТ состоит из рессоры 28 (рис. 5.1) главной передачи и приводов: *Д* — редуктора привода регулятора *пст*; *Г* — привода регулятора *пст* насоса-регулятора НР-3ВМ. Система приводов от ротора ТК, в свою очередь, включает в себя центральный привод *Б*, редуктор *А* маслоагрегата и коробку *В* приводов.

5.1 КИНЕМАТИЧЕСКАЯ СХЕМА ПРИВодОВ АГРЕГАТОВ

В системе приводов от ротора СТ передача вращающего момента к главному редуктору осуществляется через рессору 28 главной передачи. Вращение к регулятору частоты вращения ротора СТ агрегата НР-3ВМ передается через двухступенчатый комбинированный редуктор *Д* (ведущее цилиндрическое зубчатое колесо 29, промежуточные цилиндрическое 30 и коническое 27 зубчатые колеса и ведомое коническое зубчатое колесо 26); вертикальный гибкий валик 25, привод регулятора *пст* *Г* (ведущее 24 и ведомое 23 конические зубчатые колеса), горизонтальный гибкий валик 22, цилиндрические зубчатые колеса 21, 8 и 11 коробки приводов и валик привода VII. В системе приводов от ротора ТК вращающий момент от ротора компрессора через рессору 32 передается к центральному приводу *Б*. Здесь от ведущего конического зубчатого колеса 5 вращение передается: к нижнему ведомому коническому зубчатому колесу 4 и далее через рессору 3 к двухступенчатому цилиндрическому редуктору *А* маслоагрегата; к верхнему ведомому коническому зубчатому колесу 6 и через рессору 7 к коробке *В* приводов.

В двухступенчатом цилиндрическом редукторе МА-78 вращение передается от ведущего цилиндрического зубчатого колеса 2 к промежуточным цилиндрическим зубчатым колесам 33, 34 и далее через ведомое зубчатое колесо 1 к маслоагрегату МА-78.

В самой коробке приводов вращение передается от ведущего конического зубчатого колеса 9 к ведомому коническому зубчатому колесу 10, установленному на валике свободного привода III. От цилиндрического зубчатого колеса 12, установленного на валике свободного привода III, вращающий момент передается через систему цилиндрических зубчатых колес 13, 16, 14 и 15 к приводу IV маслососа откачки масла из коробки приводов и датчика тахометра. От цилиндрического зубчатого колеса 18 валика свободного привода III вращение передается к зубчатому колесу 19 привода VI топливного насоса-регулятора. При запуске двигателя вращающий момент передается от воздушного стартера через привод V и храповую муфту обгона 17 на зубчатое колесо 13 и далее через цилиндрическое зубчатое колесо 12 и конические зубчатые колеса 10, 9, рессору 7 и конические зубчатые колеса 5, 6 центрального привода, рессору 32 на ротор турбокомпрессора.

При ручной прокрутке ротора турбокомпрессора вращение передается от привода VIII и цилиндрическое зубчатое колесо 20, через цилиндрическое 19, 18 и коническое 10, 9 зубчатые колеса, рессору 7 и конические зубчатые колеса 6 и 5 центрального привода, рессору 32 на ротор турбокомпрессора.

5.2 КОНСТРУКЦИЯ ПРИВОДОВ АГРЕГАТОВ

ПРИВОД РЕГУЛЯТОРА ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ РОТОРА СВОБОДНОЙ ТУРБИНЫ

Привод регулятора частоты вращения ротора свободной турбины предназначен для передачи вращающего момента от ротора СТ к регулятору лст агрегата НР-3ВМ. Он состоит из редуктора Д и собственно привода Г. Редуктор Д размещен в полости внутренней силовой втулки корпуса диффузора ВУ, а привод Г — на верхнем фланце корпуса диффузора ВУ. Редуктор привода регулятора частоты вращения ротора СТ — двухступенчатый, комбинированный. Он состоит из: корпуса 9 (рис. 5.2), крышки 6, ведущего цилиндрического зубчатого колеса 15, промежуточных цилиндрического 12 и конического 7 зубчатых колес, ведомого конического зубчатого колеса 3, шарикоподшипников 4, 5, 8, 10, регулировочных 1 и стопорных 11 колец и других деталей. Корпус 9 отлит из титанового сплава и имеет довольно сложную конфигурацию. Вверху он имеет два фланца: внутренний для монтажа крышки 6 и внешний для крепления самого редуктора к внутренним бобышкам внутренней силовой втулки корпуса диффузора ВУ. Центровка корпуса 9 редуктора осуществляется с помощью двух штифтов.

В днище корпуса 9 выполнена расточка для монтажа регулировочного кольца и нижнего шарикоподшипника 5 ведомого конического зубчатого колеса 3.

В осевой расточке заднего прилива корпуса 9 устанавливаются шарикоподшипники 8, 10, регулировочные и стопорные 11 кольца. Справа в стенке прилива выполнено окно, через которое масло от форсунки направляется на смазку и охлаждение шарикоподшипников 8, 10.

Полость корпуса 9 сверху закрывается крышкой 6, которая также отлита из титанового сплава с последующей механической обработкой. В расточке крышки 6 монтируются регулировочное кольцо 1 и верхний шарикоподшипник 4 ведомого конического зубчатого колеса 3.

Ведущее цилиндрическое зубчатое колесо 15 изготовлено из стали с развитой в обе стороны полый ступицей. Оно устанавливается на вал 14 диска РК II ступени СТ. На переднем торце выполнено два выступа, которые входят в соответствующие радиально-торцевые пазы переходной втулки 16. Такое соединение деталей обеспечивает передачу вращающего момента от переходной втулки 16 к ведущему цилиндрическому зубчатому колесу 15. На наружной цилиндрической поверхности ступицы сзади в упор к бурту устанавливаются регулировочное кольцо и внутреннее кольцо роликоподшипника пятой опоры.

Промежуточное коническое зубчатое колесо 7 выполнено из стали заодно с полым валиком. На наружной цилиндрической поверхности валика устанавливаются шарикоподшипники 8, 10 с распорным кольцом между ними, а на шлицевом пояске — промежуточное цилиндрическое зубчатое колесо 12, которое крепится на валике гайкой 13, законтренной замком. Ведомое коническое зубчатое колесо 3 — стальное. Оно имеет зубчатый венец и полую ступицу с двумя цапфами для монтажа шарикоподшипников 4, 5. Внутри ступицы выполнено отверстие и шлицевой поясok для соединения ведомого конического зубчатого колеса 3 с вертикальным гибким валиком 2. На нижней цапфе просверлено диаметрально отверстие под штифт, ограничивающий перемещение гибкого валика 2 вниз. Смазка и охлаждение шарикоподшипников 4, 5 осуществляется маслом, стекаемым из привода регулятора $\Pi_{ст}$ между трубкой и кожухом вертикального гибкого валика 2.

Привод регулятора $\Pi_{ст}$ представляет собой обычный одноступенчатый редуктор, состоящий: из корпуса 4 (рс. 5.3) привода двух конических зубчатых колес 6, 15 с валиками 19, 22, подшипников 5, 13, 18, установленных в стаканах 2, 11, 20 и горизонтального гибкого валика. Корпус 4 изготовлен из отливки титанового сплава с последующей механической обработкой. Внизу он имеет фланец для его крепления четырьмя винтами к фланцу корпуса диффузора ВУ. Для уплотнения под фланец устанавливается паронитовая прокладка 17. Снизу в корпусе выполнены цилиндрические расточки, куда запрессовываются и фиксируются штифтами стаканы 11, 20 шарикоподшипников 13, 18. На подшипники опираются ведущее коническое зубчатое колесо 15 и распорная втулка 14, внутрь которых устанавливается валик 19, соединяющий с помощью гайки 10 и замка 9 эти

детали в единый узел. Соединение валика 19 с ведущим коническим зубчатым колесом 15 шлицевое.

Спереди на фланец корпуса 4 устанавливается регулировочное кольцо 23, стакан 2 с резиновым уплотнительным кольцом 3, еще одно регулировочное кольцо 23 и переходник 1 с резиновым уплотнительным кольцом 3 снаружи и графитовым уплотнительным устройством 24 внутри. Стакан 2 и переходник 1 с регулировочными кольцами 23 крепятся к корпусу 4 на четырех шпильках с помощью гаек и пластинчатых замков. В стакане 2 на двух шарикоподшипниках 5 смонтировано ведомое коническое зубчатое колесо 6 с распорной втулкой 21. В зубчатое колесо 6 спереди устанавливается валик 22, имеющий наружные и внутренние шлицы. Наружные шлицы служат для соединения с зубчатым колесом 6, а внутренние — с горизонтальным гибким валиком. Валик 22 с помощью гайки 8 с замком 7 закрепляет ведомое зубчатое колесо 6 от осевых перемещений. Оптимальные зазоры в зубчатом зацеплении обеспечиваются подбором регулировочных колец 12, 16 и 23. На корпусе 4 справа в приливах установлены: штуцер 26 с двусторонней форсункой и жиклером 25 для подвода масла на смазку и охлаждение деталей привода и форсунка 28. Уплотнение штуцера 26 и форсунки 28 обеспечивается резиновыми кольцами 27 и 29. В корпусе 4 выполнена система каналов для подвода масла к форсункам на смазку и охлаждение обоих подшипников 5 ведомого зубчатого колеса 15 и зубьев зубчатых колес 15 и 6.

Отработавшее масло сливается самотеком между трубкой и кожухом вертикального гибкого валика в маслосборник опор свободной турбины.

Вертикальный гибкий валик 9 (см. рис. 4.10) представляет собой жгут из стальной проволоки $\varnothing 0,8$ мм, концы которого тщательно заделаны и припаяны к нижнему и верхнему шлицевым наконечникам. Снаружи валик имеет обмотку из стальной проволоки $\varnothing 0,8$ мм. Концы обмотки также заделаны и припаяны к наконечникам. Вертикальный гибкий валик размещен в кожухе, фланец которого устанавливается под фланец корпуса привода регулятора лст.*

Горизонтальный гибкий валик (рис. 5.4) — разъемный, модифицированный. Он состоит: из переднего валика 18 со штифтом 4, собственно гибкого вала 14 с наконечниками 12, 16, фиксирующей втулки 17 с двумя стопорными кольцами 3, кожуха 7 с ниппелем 9 и втулкой 6 с уплотнительными кольцами 15, втулок 8 углефторопластовых, ниппеля 5, регулировочной шайбы 11 и накладных гаек 2 и 13.

Передний валик 18 выполнен из стали. На наружной поверхности спереди он имеет шлицы для соединения с ведущим зубчатым колесом привода регулятора лст, а сзади — кольцевые канавки под стопорные кольца 3 и торцевой выступ с радиальным отверстием под штифт 4. От выпадания штифт 4 удерживается втулкой 17, которая в осевом направлении фиксируется двумя стопорными кольцами 3. Гибкий вал 14 изготовлен из

* Между валиками и кожухом устанавливаются углефторопластовые втулки.

стальной проволоки Ø0,8 мм в виде жгута, заделанного в передний 16 и задний 12 наконечники и тщательно припаянных в них. Снаружи он имеет обмотку из стальной проволоки Ø0,8 мм, концы которой также заделаны и припаяны к наконечникам. Передний наконечник 16 имеет торцевой выступ с радиальным отверстием под соединительный штифт 4. Задний наконечник имеет шлицевой хвостовик для соединения с ведомым зубчатым колесом привода регулятора лст. Внутри валика ведомого зубчатого колеса устанавливается регулировочная шайба 11 регулирующая осевой ход Н гибкого вала, который должен быть в пределах 2...4 мм. Горизонтальный гибкий вал 14 устанавливается в стальной (12Х18Н10Т) кожух 7 Ø 16 мм и опирается на него через улефторопластовые втулки 8. Спереди к кожуху приваривается втулка 6 с уплотнительными кольцами 15, а сзади — ниппель 9 для крепления кожуха 14 к штуцеру 10 переходника привода регулятора лст с помощью накидной гайки 13. Втулка 6 кожуха устанавливается в ниппель 5, который накидной гайкой 2 крепится к штуцеру 1 переходника коробки приводов. Уплотнение между втулкой 6 кожуха и ниппелем 5 обеспечивается уплотнительными кольцами 15. Крепление горизонтального гибкого валика на двигателе осуществляется при помощи накладных гаек 2, 13 и четырех хомутов с фторопластовыми прокладками. Хомуты устанавливаются на кронштейнах, которые крепятся: к воздушному стартеру, к подвеске корпуса камеры сгорания (V-образный кронштейн с двумя хомутами) и к заднему фланцу корпуса соплового аппарата ТК. (рис. 5, 10).

ЦЕНТРАЛЬНЫЙ ПРИВОД

• Центральный привод служит для передачи вращающего момента от ротора турбокомпрессора к маслоагрегату и к коробке приводов. Привод устанавливается в полости внутренней втулки корпуса первой опоры двигателя. Он состоит из корпуса 7 (рис. 5.5) с крышками 8, 32, ведущего 2 и двух ведомых 13, 31 конических зубчатых колес; стаканов 6, 9, 19, 26 подшипников, самих шарикоподшипников 1, 11, 24, 27, регулировочных колец 10, 14, 23, 25, 28, 29, гаек 5, 20, замков 4, 21, рессор 12, 22, 30 и других деталей.

Корпус 7 изготовлен из отливки алюминиевого сплава с последующей механической обработкой. Он имеет передний, верхний и нижний шестигранные и задний фигурный фланцы. Передний фланец служит для центровки и крепления центрального привода, совместно с передней крышкой опоры, к ошпильному фланцу внутренней втулки корпуса первой опоры двигателя. Уплотнение по разъемам обеспечивается резиновыми уплотнительными кольцами. К переднему внутреннему фланцу корпуса крепится стакан 6 шарикоподшипника 1 и форсунка 3 для подачи масла на смазку шлицевых соединений рессоры 22.

Боковые шестигранные ошпильные фланцы предназначены для центровки и монтажа верхней 8 и нижней 32 крышек с

запрессованными в них стаканами 9 внешних шарикоподшипников 11 ведомых конических зубчатых колес 13, 31. В стаканы крышек устанавливаются регулировочные кольца 10. В крышках выполнены масляные каналы, заканчивающиеся струйными форсунками для смазки и охлаждения внешних шарикоподшипников ведомых конических зубчатых колес. Масло в крышки 8, 32 подводится через переходные втулки 33.

К заднему ошпиленному фланцу корпуса 7 крепятся: прокладка 17, центральный стакан 19 с масляной форсункой, прокладки 17 и фланец 18. В центральный стакан 19 устанавливается шарикоподшипник 27, а перед ним — регулировочное кольцо 28. Во внутренних перемычках корпуса 7 против верхнего и нижнего фланцев выполнены цилиндрические расточки, в которые запрессовываются и фиксируются штифтами стаканы 26 внутренних шарикоподшипников 24 ведомых конических зубчатых колес. В стаканы 26 устанавливаются регулировочные кольца 25.

В корпусе 7 выполнена система каналов для подвода масла к форсункам на смазку и охлаждение деталей центрального привода.

Ведущее зубчатое колесо 2 выполнено из стали и имеет: зубчатый венец с коническими зубьями; заднюю полую цапфу для монтажа регулировочного кольца 29 и внутреннего кольца шарикоподшипника 27, закрепленных гайкой 20 с замком 21; переднюю цапфу, на которую установлено внутреннее кольцо шарикоподшипника 1, закрепленное гайкой 5 с замком 4. Внутри задней цапфы выполнены шлицы для соединения с рессорой 22. Ведомые зубчатые колеса 13, 31 конструктивно выполнены аналогичными в виде зубчатого венца с коническими зубьями и двух полых цапф с внутренним шлицевым пояском для монтажа соответствующей рессоры 12, 30. Они отличаются друг от друга тем, что верхнее ведомое зубчатое колесо более массивное и имеет большую ширину зубьев. На цапфы верхнего ведомого зубчатого колеса 13 устанавливаются регулировочные кольца 14, 23 и внутренние кольца шарикоподшипников 11, 24.

Смазка и охлаждение деталей центрального привода и первой опоры двигателя осуществляется маслом, поступающим из коробки приводов по трубке 15 по системе внутренних каналов в корпусе 7 и в крышках 8, 32 к форсункам. Через форсунки А масло идет к шлицевым соединениям рессоры 22 с ведущим зубчатым колесом 2 центрального привода и с передней цапфой диска рабочего колеса II ступени ротора компрессора. Форсунки Б, Д, Ж, З, И, К подают масло к шарикоподшипникам зубчатых колес. Через переходную втулку 16 масло идет по каналу В к гидродемпферу подшипника первой опоры и на охлаждение контактного радиально-торцевого уплотнительного устройства этой опоры и к форсунке Г, обеспечивающей смазку и охлаждение шарикоподшипника первой опоры. Форсунка Е подает масло на вход в зацепление ведущего 2 и верхнего ведомого 13

зубчатых колес и таким образом обеспечивает смазку и охлаждение зубьев этих зубчатых колес.

Отработавшее масло самотеком сливается в откачивающие насосы маслоагрегата.

КОРОБКА ПРИВодОВ

Коробка приводов (рис. 5.6) служит для передачи вращающего момента от центрального привода к размещенным на ней агрегатам, а также от воздушного стартера (при запуске) или ручного привода (при прокрутке) через центральный привод к ротору турбокомпрессора. Она устанавливается на верхнем фланце корпуса первой опоры двигателя и крепится к нему с помощью шпилек и гаек с контровочными шайбами. Уплотнение по плоскости разъема обеспечивается резиновым кольцом. Коробка приводов состоит из корпуса, переходных фланцев, штуцеров, системы цилиндрических и конических зубчатых колес, валиков осей, шарикоподшипников и их стаканов, регулировочных колец, распорных втулок, масляных форсунок, узлов уплотнения и деталей крепежа.

Корпус 1 коробки приводов представляет собой сложную отливку из магниевого сплава МЛ-5. Снаружи он имеет ряд фланцев и расточек для переходных фланцев агрегатов, штуцеров и т. д.

Так, спереди на корпусе 1 коробки приводов устанавливаются (слева направо) переходный фланец 6 топливного центробежного насоса ДЦН-70А; фирменная этикетка 5 с маркировкой и номером двигателя; переходный фланец 4 свободного привода с крышкой; штуцер измерения давления в полости коробки 3; маслонасос 2 откачки масла из коробки приводов с датчиком счетчика $\eta_{тк}$.

На задней стенке корпуса коробки приводов устанавливаются: штуцер 17 для рукоятки ручной прокрутки; переходный фланец 15 насоса-регулятора НР-ЗВМ; штуцер 7 горизонтального гибкого вала; переходный фланец 11 воздушного стартера СВ-78БА и крышка 8 переходника. На нижней стороне корпуса 1 коробки приводов слева установлен штуцер 16, датчика счетчика $\eta_{тк}$, а справа на трех бобышках со шпильками — масляный фильтр. На нижнем фланце справа у задней бобышки выполнены два каната, в которые установлены переходные втулки: передняя 10 с жиклером служит для подачи масла в коробку приводов; задняя 9 — для подачи масла в центральный привод и первую опору двигателя. На нижнем фланце корпуса 1 впереди слева установлена трубка подачи масла к форсунке для смазки переднего подшипника валика зубчатого колеса привода регулятора $\eta_{тк}$, справа — масляная форсунка 18, сзади слева — масляные форсунки 13, 14. В центральную расточку снизу установлен стакан 12 шарикоподшипников ведущего конического зубчатого колеса.

Внутри корпуса коробки приводов размещаются конические и цилиндрические зубчатые колеса, которые либо изготавливаются заодно с цапфами или валиками, либо монтируются на специальные валики. Зубчатые колеса опираются на шарикоподшипники, которые устанавливаются в стальные стаканы, запрессованные в соответствующие цилиндрические расточки корпуса или его переходных фланцев. Для подвода масла на смазку и охлаждения наиболее нагруженных зубчатых зацеплений и подшипников в корпусе коробки приводов предусмотрена система каналов и масляных форсунок.

Вращающий момент от центрального привода на коробку приводов передается рессорой, которая своими шлицевыми поясками соединяется со шлицами верхнего ведомого конического зубчатого колеса центрального привода и ведущего конического зубчатого колеса 18 (рис. 5.7) коробки приводов. Зубчатое колесо 18 выполнено из стали заодно с полым валиком. На валике зубчатого колеса 18 монтируются два шарикоподшипника с распорной втулкой и закрепляются гайкой с пластинчатым замком. Наружные кольца шарикоподшипников установлены в стальной стакан 20, закрепленный на корпусе. Регулировка зазоров в зубчатом зацеплении обеспечивается подбором по толщине регулировочных колец 17, 21. В отверстие на фланце стакана запрессована переходная втулка 16, по которой масло из корпуса 7 подается на смазку и охлаждение деталей центрального привода и первой опоры двигателя. Кроме того от втулки 16 масло поступает в систему масляных каналов стакана на смазку и охлаждение обоих шарикоподшипников ведущего конического зубчатого колеса 18. Уплотнение между валиком конического зубчатого колеса 18 и стаканом 20, а также между стаканом 20 и расточкой в корпусе первой опоры двигателя обеспечивается резиновыми кольцами 19. С ведущим коническим зубчатым колесом 18 входит в зацепление коническое зубчатое колесо 4, которое напрессовывается и фиксируется штифтами на центральный валик 1. Спереди до упора в бурт на валик устанавливается внутренняя обойма переднего шарикоподшипника. Сзади — распорная втулка и на шлицы — цилиндрическое зубчатое колесо 14, на передней цапфе которого напрессовано и зафиксировано штифтами зубчатое колесо 15, а на задней — установлено внутреннее кольцо заднего шарикоподшипника. Затем на валик 1 устанавливаются упорное кольцо 13 и все детали закрепляются гайкой 12 с замком 11. Передний подшипник валика 1 устанавливается в стакане, запрессованном в переходном фланце 3 свободного привода, а задний — в стакане самого корпуса 7. Регулировка зазоров в зубчатом зацеплении обеспечивается подбором по толщине регулировочных колец 2, 10.

Передача вращающего момента к регулятору лст осуществляется от горизонтального гибкого валика через шлицы к зубчатому колесу 6 и далее через промежуточное зубчатое колесо, установленное на оси слева сверху, к зубчатому колесу привода регулятора

лст. Зубчатое колесо 6 имеет зубчатый венец, переднюю цапфу для монтажа переднего шарикоподшипника и заднюю, переходящую в валик, цапфу на которой смонтированы задний шарикоподшипник и узел уплотнения 8. Передний шарикоподшипник установлен в стакане корпуса 7, а задний — в переходном фланце со штуцером 9. Положение зубчатого колеса 6 относительно корпуса 7 определяется толщиной регулировочных колец 5. Уплотнение между переходным фланцем со штуцером 9 и корпусом 7 обеспечивается резиновым кольцом.

Переднее цилиндрическое зубчатое колесо 15 (поз. 8 на рис. 5.8) центрального валика передает вращающий момент к агрегатам, расположенным на корпусе 1 коробки приводов справа от оси двигателя. От него приводится во вращение зубчатое колесо 18 воздушного стартера. Зубчатое колесо 18 напрессовано на цапфу корпуса 17 храповой муфты и закреплено штифтами, которые от выпадания фиксируются специальным кольцом. Корпус 17 вместе с зубчатым колесом 18 на двух шарикоподшипниках устанавливается на вал 9 обгонной муфты. Вал 9 в свою очередь, опирается на два шарикоподшипника, установленных в стакан корпуса 1 коробки приводов и переходного фланца 14 воздушного стартера. Передние подшипники на валу 9 обгонной муфты закрепляются гайкой и замком. На валу 9 выполнен храповик, который с фиксирующими собачками, установленными на осях в корпусе 17, образуют храповую муфту обгона. Она является связующим звеном для передачи вращающего момента от ротора воздушного стартера через систему зубчатых колес коробки приводов и центрального привода к ротору турбокомпрессора. Зубчатое колесо 18 входит в зацепление с промежуточным зубчатым колесом 11, установленным на шлицах промежуточного валика 15. От осевых перемещений зубчатое колесо 11 зафиксировано распорной втулкой и штифтом 16. Внутри валика 15 спереди запрессовано промежуточное зубчатое колесо 10. От выпадания зубчатое колесо 10 также закреплено штифтом.

Валик 15 с зубчатыми колесами 10 и 11 образуют двойное промежуточное зубчатое колесо, опирающееся на два шарикоподшипника, установленные в стаканы корпуса 1 коробки приводов.

От зубчатого колеса 10 вращающий момент передается к зубчатому колесу привода маслоснабсаса откачки и датчику лтк.

От заднего цилиндрического зубчатого колеса 20 центрального валика 7 вращение передается к зубчатому колесу 22 привода насоса-регулятора. Это зубчатое колесо имеет зубчатый венец, стенку и спереди полую цапфу, а сзади — полый валик с внутренними шлицами для соединения с рессорой насоса-регулятора. Зубчатое колесо 22 опирается на два шарикоподшипника: передний устанавливается вместе с регулировочным кольцом в стакан переходного фланца 19 насоса-регулятора, а задний — в стакан внутренней стенки корпуса 1 коробки приводов. Внутри зубчатого колеса 22 устанавливается промежуточный вал 21 привода регулятора лст. На вал 21 напрессовывается и фиксируется штифтами

зубчатое колесо 5 привода регулятора ист. Вал 21 с зубчатым колесом 5 опираются на два шарикоподшипника: передний устанавливается в стакан передней стенки, а задний — в стакан внутренней стенки корпуса 1 коробки приводов. Зубчатое колесо 22 передает вращающий момент к зубчатому колесу 2, которое сзади имеет полую цапфу для монтажа заднего шарикоподшипника, а спереди — валик со шлицевым пояском для монтажа зубчатого колеса 4 и цилиндрической цапфой для установки переднего шарикоподшипника. Внутрь валика зубчатого колеса 2 спереди устанавливается шлицевая втулка хвостовика валика центробежного топливного насоса, а сзади — втулка 24 ручного привода, зафиксированная штифтом. В рабочем положении втулка 24 ручного привода закрыта крышкой 23. Задний шарикоподшипник зубчатого колеса 2 вместе с регулировочным кольцом устанавливается в стакан корпуса 1, а передний вместе с уплотнительным устройством — в стакан переходного фланца 3 привода центробежного топливного насоса ДЦН-70А.

Уплотнение валика привода ДЦН-70А — контактное, торцевое, графитовое. Оно включает в себя вращающиеся детали, установленные на валик 6 (рис. 5.9) зубчатого колеса, и неподвижные — в переходном фланце 2.

На валике 6 привода монтируются: шпонка 5, ведущее вращающееся кольцо 8 с торцевыми выступами и ведомое опорное кольцо 10 с торцевыми пазами. Причем при монтаже торцевые выступы ведущего вращающегося кольца 8 должны входить в соответствующие пазы ведомого опорного кольца 10. Уплотнение между кольцом 10 и валиком 6 обеспечивается резиновым кольцом 7. Между вращающимися кольцами 8 и 10 установлено нажимное устройство, состоящее из двух предохранительных тарелок 3, 9 и пружины 4. Тарелки 3, 9 имеют торцевые выступы, которые при монтаже взаимно входят в соответствующие пазы друг друга. В переходный фланец 2 устанавливаются неподвижные детали узла уплотнения: опорная обойма 12 с резиновыми кольцами 11, 13 и неподвижным кольцом 14 с графитовым уплотнением. Неподвижное кольцо 14 имеет торцевой паз, которым оно одевается на внутренний выступ опорной обоймы 12 и таким образом фиксируется в окружном направлении. От осевых перемещений опорная обойма 12 крепится стопорным кольцом 1. Уплотнение между вращающимся ведомым опорным кольцом 10 и неподвижным кольцом 14 с графитовым покрытием обеспечивается за счет постоянного прижатия их торцевых поверхностей нажимным устройством.

5.3. ВОЗМОЖНЫЕ НЕИСПРАВНОСТИ И ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ ПРИВодОВ

В процессе технической эксплуатации двигателей ТВЗ-117 всех модификаций детали приводов их агрегатов испытывают значи-

тельные переменные нагрузки от действия вращающихся моментов при передаче их от роторов к агрегатам, центробежных сил неуравновешенных масс и вибраций, причем величина сил, действующих на детали, главным образом зависит от режимов работы двигателей и их технического состояния.

В результате наиболее нагруженные детали приводов агрегатов подвержены: усиленному износу шлиц, их смятию, поломке, износу, выкрашиванию и поломке зубьев зубчатых колес, образованию трещин и поломке элементов крепления горизонтального гибкого вала (ГГВ), нарушению заделки проволочного жгута ГГВ в наконечники и т. д. Следует иметь в виду, что из всех деталей приводов наиболее уязвимым, с точки зрения появления неисправностей, является ГГВ.

При эксплуатации двигателей происходит приработка и естественный износ деталей. Продукты этих процессов отлагаются на маслофильтрах двигателей в виде мелкой металлической пыли или находятся во взвешенном состоянии в масле. Наличие указанных частиц в масле и на маслофильтре не отражается на работоспособности приводов агрегатов и двигателя в целом. Усиленный износ деталей, связанный с повышением нагрузок, ухудшением смазки трущихся поверхностей деталей, пониженной твердостью этих поверхностей, может привести к поломке деталей, а значит, к отказу в работе того или иного привода и двигателя в целом. В процессе эксплуатации двигателей возможны следующие неисправности:

рассоединение ГГВ по месту разъема вследствие ослабления стопорных колец, смещения фиксирующей втулки и выпадения соединительного штифта;

износ шлиц переднего валика, который не должен превышать 0,2 мм;

рассоединение ГГВ с валиком ведущего зубчатого колеса привода регулятора $n_{ст}$ в коробке приводов из-за чрезмерного износа шлиц или их разрушения, а также при недостаточной длине зацепления шлиц переднего валика со шлицами валика ведущего зубчатого колеса;

износ или разрушение наружного проволочного слоя ГГВ, допустимый износ должен быть не более 0,2 мм, т. е. не более $1/4$ диаметра проволочек;

износ углефторопластовых втулок кожуха ГГВ;

нарушение заделки проволочного жгута ГГВ в наконечники. Не должно быть повреждений, трещин и обрывов проволочек жгута;

потертости, грубые забоины, трещины, разрушения, следы перегрева на кожухе ГГВ, вследствие повышенных вибраций, возникающих на ГГВ у отдельных деталей;

поломка зубьев нижнего конического зубчатого колеса центрального привода из-за чрезмерного износа его зубьев по причине пониженной твердости их поверхности;

образование радиального люфта переднего подшипника ведущего зубчатого колеса центрального привода, который не должен превышать 0,14 мм;

износ шлиц рессоры ротора компрессора и рессоры насоса-регулятора НР-3ВМ по причине недостаточности их смазки; срез предохранительной рессоры воздушного стартера СВ-78БА вследствие встречных запусков или наличия переменного контакта в цепи подвода питания к ЭМК воздушного стартера;

негерметичность уплотнения привода насоса ДЦН-70А из-за появления рисок и сколов графита на поверхности графитового кольца;

нарушение величины осевого хода ГГВ, который должен быть в пределах 2...4 мм.

Эти и другие возможные неисправности могут быть обнаружены в процессе технического обслуживания двигателей при тщательном осмотре приводов как невооруженным глазом, так и с помощью лупы многократного увеличения, а также путем инструментального контроля, т. е. измерение износа деталей, радиальных люфтов, осевого хода и т. д. с использованием щупов, штангенциркуля, индикатора и специальных приспособлений.

При невозможности устранения обнаруженной неисправности в процессе технического обслуживания производят замену отдельных деталей или узла в целом. В качестве примеров рассмотрим порядок замены горизонтального гибкого вала привода регулятора *лст* и деталей узла уплотнения привода насоса ДЦН-70А.

ЗАМЕНА ДЕТАЛЕЙ УЗЛА УПЛОТНЕНИЯ ПРИВОДА НАСОСА ДЦН-70А

Для замены деталей узла уплотнения производят снятие насоса ДЦН-70А. Затем производят демонтаж деталей узла уплотнения в следующем порядке:

вворачивают в резьбовые отверстия опорной обоймы 12 (см. рис. 5.9) два винта МЗ;

отжав опорную обойму 12, вынимают стопорное кольцо 1; осторожно, чтобы предупредить «выстреливание» деталей уплотнения пружиной 4, за винты МЗ вынимают опорную обойму 12 вместе с неподвижным кольцом 14 и резиновыми кольцами 11, 13;

вынимают ведомое опорное кольцо 10 с резиновым кольцом 7 и вместе с ним предохранительную тарелку 3 с пружиной 4. После демонтажа деталей уплотнения производят подготовительные работы;

в ведомое опорное кольцо 10, на новое неподвижное кольцо 14 с графитовым уплотнением и на опорную обойму 12 устанавливают новые резиновые кольца соответственно 7, 13, 11, предварительно смазав их маслом Б-3В;

торцевые поверхности ведомого опорного кольца 10 и нового неподвижного кольца 14 с графитовым уплотнением тщательно протирают салфеткой, смоченной в бензине.

Монтаж уплотнения производят в последовательности, обратной демонтажу. После выполнения работ по замене деталей узла уплотнения производят запись в разд. XI «Работы и мелкий ремонт, произведенные на двигателе в эксплуатации» формуляра двигателя.

ЗАМЕНА ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ГИБКОГО ВАЛА ПРИВОДА РЕГУЛЯТОРА μ ст

Модифицированные разъемные ГВБ с углефторопластовыми втулками и стальными кожухами \varnothing 16 мм устанавливаются на двигатели всех модификаций на базе 3-й серии вместо разъемных и неразъемных ГВБ. Обратная замена не допускается.

Работы по замене ГВБ состоят из трех этапов: демонтажа, подготовительных работ и монтажа нового ГВБ.

1. *Демонтаж* выполняется в следующей последовательности (рис. 5.10):

1.1. отсоединяют и снимают хомуты 5, 7, 10, 13 крепления ГВБ к кронштейнам 6 - воздушного стартера, 8 (V-образному) - к корпусу камеры сгорания и 14 - к заднему фланцу корпуса 12;

1.2. расконтривают и отворачивают переднюю накидную гайку 3;

1.3. подкладывают салфетку под место разъема вала для предупреждения утери стопорных колец;

1.4. сдвигают ниппель 4 назад до появления двух уплотнительных колец;

1.5. Рассоединяют разъемы ГВБ, для чего:

а) устанавливают открытый специальный ключ У6351-9509 или любой открытый ключ $S=10$ мм на лыски фиксирующей втулки 17 (см. рис. 5.4) и, поворачивая втулку ключом частыми легкими ударами молотка по ключу, смещают втулку назад (в сторону турбины) до появления переднего стопорного кольца 3;

б) с помощью чертилки, отвертки или ножа сдвигают переднее стопорное кольцо 3 вперед до упора в буртик переднего валика 18;

в) снова устанавливают ключ У6351-9509 или любой открытый ключ $S=10$ мм на лыски втулки 17 и, поворачивая ее ключом, частыми легкими ударами молотка по ключу смещают втулку вперед (в сторону коробки приводов) до открытия разъема валиков;

г) рассоединяют передний валик 18 с гибким валом 14 и снимают его;

1.6. Перемещая гибкий вал 14 вперед, выводят его из зацепления с приводом регулятора μ ст;

1.7. Расконтривают и отворачивают заднюю накидную гайку 16 (см. рис. 5.10);

1.8. Снимают ГВВ 11 вместе с кожухом.

2. Перед монтажом нового ГВВ выполняют следующие *подготовительные работы*:

2.1. тщательно осматривают фторопластовые прокладки на подкрепляющих кронштейнах.

Путем тщательного осмотра убеждаются в отсутствии:

износа фторопластовых прокладок на подкрепляющих кронштейнах;

трещин на хомутах 5, 7, 10 и 13 в местах их крепления к кронштейнам, а также на самих кронштейнах 6, 8, 14 в местах установки хомутов и их крепления к двигателю.

2.2. После протирки салфеткой шлиц переднего валика 18 (см. рис. 5.4), визуально проверяют их состояние и, в случае обнаружения их износа в виде уступа заменяют ведущее зубчатое колесо привода регулятора $n_{ст}$ в коробке приводов согласно технологической карте № 204 разд. 072.60.00РЭ.

2.3. При визуальном обнаружении износа шлиц в виде уступа (по аналогии с п. 2.2) хвостовика 12 гибкого вала 14 — заменяют привод 18 (см. рис. 5.10) регулятора $n_{ст}$ согласно технологической карте.

2.4. С помощью съемника-штыря У6351-9040 вынимают регулировочные шайбы либо из зубчатого колеса коробки приводов, либо из зубчатого колеса привода регулятора $n_{ст}$.

2.5. Тщательно очищают шлицевые поверхности зубчатых колес коробки приводов и привода регулятора $n_{ст}$ от продуктов износа путем прочистки ершом и промывки керосином при помощи резиновой груши или шприца.

2.6. Проверяют калибром У6063-2786-02 износ внутренних шлиц зубчатых колес коробки приводов и привода регулятора $n_{ст}$. Для контроля вставляют калибр в шлицевой валик соответствующего зубчатого колеса с усилием примерно 1,5...2 кгс. Калибр не должен проходить внутрь валиков. Если же калибр проходит полностью или частично в шлицевой валик зубчатого колеса, то следует заменить ведущее зубчатое колесо привода регулятора $n_{ст}$ в коробке приводов, либо привод 18 регулятора $n_{ст}$.

2.7. С помощью резиновой груши или шприца смазывают маслом, применяемым в двигателе, шлицевые полости зубчатых колес коробки приводов и привода регулятора $n_{ст}$.

2.8. Убеждаются, что двигатель укомплектован новыми кронштейнами 6 (№ 0780850890-03), 8 (№ 0780-299038 с укороченными проушинами) и 14 (№ 0780049270-03).

2.9. Получают новый модифицированный ГВВ со стальным кожухом Ø 16 мм, который должен быть заглушен с обеих сторон заглушками.

2.10. Тщательно осматривают кожух ГВВ и убеждаются в отсутствии грубых забоин, вмятин, трещин.

2.11. Снимают заглушки с ГГВ, сдвигают ниппель 5 (см. рис. 5.4) вместе с передней накидной гайкой 2 назад (в сторону кожуха).

2.12. Снимают передний валик 18, смазанный смазкой ВНИИ НП-225, который соединен с наконечником 16 гибкого вала 14 только штифтом 4 (переднее стопорное кольцо 3 установлено на валике 18 и сдвинуто вперед в сторону шлицев до упора, фиксирующая втулка 17 также сдвинута вперед, в сторону шлицев до упора, второе стопорное кольцо 3 утоплено в канавке переднего валика 18).

2.13. Измеряют длину переднего валика 18, которая должна быть 97 мм (валик градации 02). Если окажется, что ГГВ укомплектован передним валиком 18 другой длины (другой градации), то его необходимо заменить на валик градации 02.

2.14. Усилиями примерно 1 кгс устанавливают передний валик 18 в шлицевой валик зубчатого колеса коробки приводов до упора и проверяют его входимость путем замера величины выступания валика 18 относительно торца штуцера 1. Валик градации 02 (основной) должен выступать примерно на (40 ± 2) мм.

2.15. Вынимают гибкий вал из кожуха на длину примерно 8...10 углефторопластовых втулок и проверяют наличие смазки на наружной поверхности втулок, затем сдвигают несколько втулок в сторону разъема и проверяют наличие смазки на поверхности проволоочной оболочки гибкого вала. При отсутствии масла на поверхности гибкого вала и углефторопластовых втулок смазывают их смазкой ВНИИ НП-225 следующим образом:

а) наносят смазку в количестве примерно 1 см^3 на участок гибкого вала длиной примерно 160 мм (на 15 втулок с перекрытием смазанного участка на 5...10 мм);

б) перемещают фторопластовые втулки на смазанный участок;

в) наносят смазку на следующий участок и т. д. до постановки всех 95 углефторовых втулок;

г) наносят кистью равномерный слой смазки на наружную поверхность втулок в количестве $4...5 \text{ см}^3$;

д) вставляют собранный гибкий вал со втулками передним валиком 18 (рис. 5.4) со стороны задней накидной гайки 13 и осторожно протягивают его до конца;

е) перемещают гибкий валик 14 рукой и убеждаются в свободном его скольжении в кожухе 7.

2.16. В кожух ГГВ заливают масло, применяемое в двигателе, в количестве $9...10 \text{ см}^3$, для чего:

а) устанавливают ГГВ в вертикальное положение задней накидной гайкой 13 на капот;

б) выдвигают гибкий валик 14 с втулками 8 из кожуха 7 вверх (в сторону передней накидной гайки 2) примерно на половину его длины, оставив в кожухе другую половину гибкого вала;

в) с помощью мерного стаканчика постепенно выливают на втулки 8 масло в количестве 9...10 см³ с одновременным введением гибкого вала 14 со втулками 8 в кожух 7;

г) проверяют гибкий валик на свободное вращение от руки и перемещение его в кожухе. При закусывании гибкого вала 14 во втулках 8 необходимо заменить втулки или ГВ в сборе;

д) смазывают маслом, применяемым на двигателе, шлицы переднего валика 18 и заднего наконечника 12 гибкого вала и центрирующие поверхности возле шлиц.

На этом заканчиваются подготовительные работы.

3. *Монтаж* ГВ производится следующим образом:

3.1. Тщательно подготовленный ГВ вместе с кожухом аккуратно устанавливают на двигатель.

3.2. Для предупреждения вытекания масла из кожуха ГВ быстро заворачивают от руки сначала заднюю 16, а затем переднюю 3 гайки.

3.3. В месте наименьшего зазора между насосом-регулятором и кожухом ГВ устанавливают пластмассовую, деревянную, алюминиевую или медную полосу толщиной 1,5...2 мм, предварительно затянув сначала переднюю 3, а затем заднюю 16 гайки.

После выемки пластмассовой, деревянной, алюминиевой полосы толщиной 1,5—2,0 мм зазоры между ГВ, кронштейнами и агрегатами могут изменяться. Но они не должны быть менее 0,8 мм. Поэтому эти зазоры проверяют проволокой Ø 0,8 мм (вместо щупа) на проход.

3.5. На кожух одевают прокладки и хомуты и производят его примерку на кронштейнах двигателя. Зазор между кожухом, кронштейнами и местами крепления хомутов допускается не более 2 мм. При необходимости производят перемонтаж крепления хомутов или выполняют подгибку кожуха, которая допускается до 12 мм при радиусе подгибки не менее 500 мм с помощью двух деревянных оправок.

Вмятины и забоины на кожухе, а также закусывание гибкого вала в кожухе после его подгибки не допускаются.

3.6. Когда зазор между кожухом, кронштейнами и местами крепления хомутов будет установлен менее 2 мм, производят крепление кожуха ГВ на кронштейнах 6, 8, 14 с помощью хомутов 5, 7, 10 и 13 (см. рис. 5.10), после чего стопорной проволокой Ø 0,5 мм «на проход» проверяют наличие зазоров между кожухом и агрегатами. Зазор между кожухом и коллектором термпар должен быть не менее 2 мм.

3.7. Отворачивают заднюю накидную гайку 16 и проверяют соосность ниппеля 15 со штуцером 17, которая должна быть не более 2 мм. Для достижения допустимой соосности разрешается производить подгибку кожуха согласно требованиям п. 3.5.

3.8. Отворачивают переднюю накидную гайку 3 и проверяют соосность ниппеля 4 со штуцером 2, которая должна быть не

более 2 мм. Для достижения соосности разрешается производить подгибку кожуха согласно требованиям п. 3.5.

3.9. Еще раз проверяют укладку кожуха на кронштейнах и окончательно закрепляют его с помощью хомутов, после чего снова проверяют стопорной проволокой \varnothing 0,5 мм «на проход» наличие зазоров между кожухом и агрегатами, а также зазор между кожухом и коллектором термопар.

3.10. Сдвигают ниппель 4 назад (в сторону турбины) и проверяют входимость наконечника 12 гибкого вала 14 (см. рис. 5.4) в шлицы валика ведомого конического зубчатого колеса привода регулятора $n_{ст}$, для чего рукой усилием примерно 1,0 кгс сдвигают валик назад до упора и измеряют линейкой выступание наконечника 16 гибкого валика 14 относительно торца втулки 6 кожуха 7, которое должно быть (18 ± 2) мм.

3.11. Соединяют передний валик 18 с гибким валом 14 и частично фиксируют соединение перемещением втулки 17 назад примерно до штифта 4.

3.12. Измеряют осевой ход H гибкого валика, для чего: перемещают гибкий валик вместе с валиком 3 (рис. 5.11) рукой до упора вперед с усилием примерно 1,0 кгс и наносят карандашом риску K на переднем валике 3 в плоскости торца штуцера 1 переходника коробки приводов;

перемещают гибкий валик рукой до упора назад с усилием примерно 1,0 кгс и измеряют с помощью набора щупов расстояние (ход H) между риской K и торцом штуцера 1. Ход гибкого вала (H) должен быть 2...4 мм.

3.13. Фиксируют окончательно штифтовое соединение разъема ГГВ, при этом:

с помощью спецключа и молотка перемещают втулку 17 (см. рис. 5.4) назад (в сторону турбины) до упора в борт наконечника 16 гибкого вала 14 (до открытия канавки под переднее стопорное кольцо);

перемещая переднее стопорное кольцо 3 по валику 18 отверткой или ножом, устанавливают его в канавку;

с помощью спецключа и молотка перемещают втулку 17 в сторону коробки приводов, до установки стопорных колец 3 в кольцевые канавки втулки 17 (до характерного щелчка);

после характерного щелчка проворачивают втулку 17 рукой в разные стороны для окончательной установки колец 3 в кольцевые канавки втулки 17;

проверяют надежность фиксации втулки 17 стопорными кольцами путем попытки перемещения втулки 17 вперед и обратно (назад).

3.14. Повторно изменяют осевой ход H гибкого валика согласно п. 3.12. После повторного измерения хода H и его соответствия ТУ сдвигают гибкий вал 14 назад (в сторону привода регулятора $n_{ст}$) до упора.

3.15. Смазывают уплотнительные кольца 15 маслом, применяемом на двигателе, сдвигают ниппель 5 вперед до упора в штуцер 1 переходника коробки приводов и предварительно затя-

гивают накладную гайку 2.

3.16. Стопорной проволокой $\varnothing 0,5$ мм «на проход» окончательно проверяют наличие зазора между кожухом ГТВ и агрегатами.

3.17. Сначала затягивают окончательно переднюю накладную гайку 3 (см. рис. 5.10) тарировочным ключом с моментом 10...11 кгс·м, а затем заднюю 16 с моментом 5...6 кгс·м, после чего их стопорят проволокой $\varnothing 0,8$ мм.

3.18. Запускают двигатель и проверяют его работу на режимах до II крейсерского.

3.19. В формуляре двигателя одновременно с записью о замене ГТВ записывают величину осевого хода H , градацию валика, установку шайбы 2 мм в привод регулятора $n_{ст}$ (при установке).

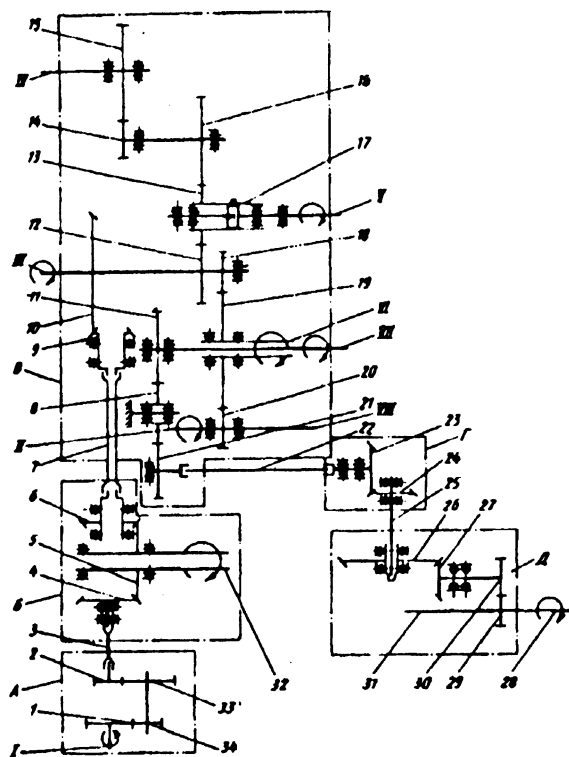


Рис. 5.1. Кинематическая схема приводов агрегатов:

1, 2, 8, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 18, 19, 20, 21, 29, 30, 33, 34 — цилиндрические зубчатые колеса; 3, 7, 28, 32 — рессоры; 4, 5, 6, 9, 10, 23, 24, 26, 27 — конические зубчатые колеса; 17 — храповая муфта обгона; 22, 25 — гибкие валики; 31 — вал СГ; I — привод маслагрегата; II — привод центробежного топливного насоса; III — свободный привод; IV — привод маслоснабжения от качки масла из коробки приводов и датчика замедления $n_{тк}$; V — привод воздушного турбостартера; VI — привод топливного насоса-регулятора; VII — привод регулятора $n_{ст}$; VIII — привод ручной прокрутки; А — редуктор маслагрегата; Б — центральный привод; В — коробка приводов; Г — привод регулятора $n_{ст}$; Д — редуктор привода регулятора $n_{ст}$.

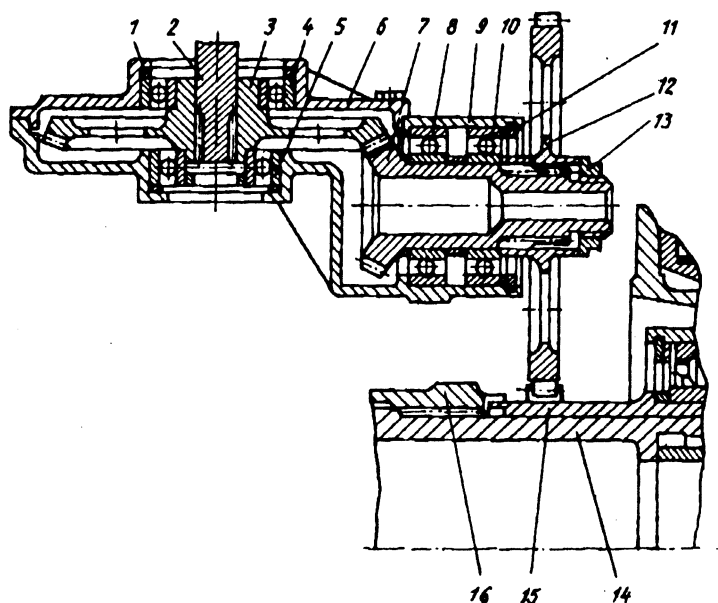


Рис. 5.2. Редуктор привода регулятора частоты вращения ротора свободной турбины:

1 — регулировочное кольцо; 2 — вертикальный гибкий валик; 3 — ведомое коническое зубчатое колесо; 4, 5, 8, 10 — шарикоподшипники; 6 — крышка; 7 — промежуточное коническое зубчатое колесо; 9 — корпус; 11 — стопорное кольцо; 12 — промежуточное цилиндрическое зубчатое колесо; 13 — гайка; 14 — вал диска РК II ступени СТ; 15 — ведущее цилиндрическое зубчатое колесо; 16 — переходная втулка

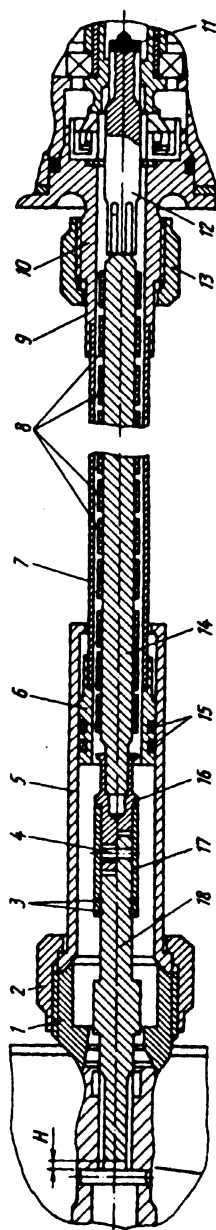


Рис. 5.4. Горизонтальный гибкий валик:

1, 10 — штуцеры переходников приводов; 2, 13 — гайки накладки; 3 — колесо стеновые; 4 — штифт; 5, 9 — шпильки; 6 — втулка; 7 — кожух; 8 — втулки углефторопластовые; 11 — регулировочная шайба; 12, 16 — наконечники; 14 — гибкий вал; 15 — колесо уплотнительные; 17 — втулка фиксирующая; 18 — валик перемещения

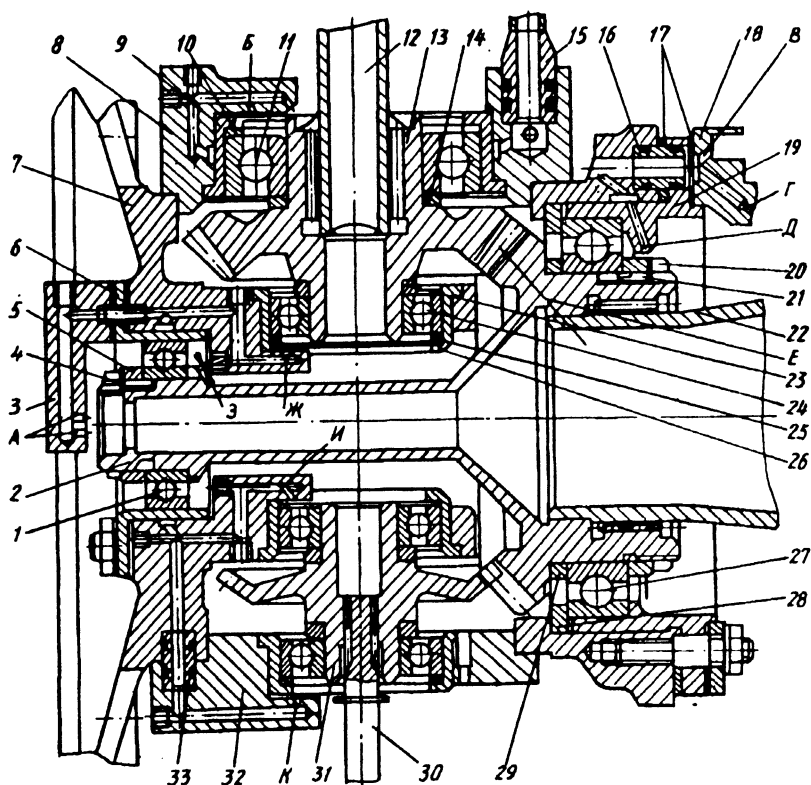


Рис. 5.5. Центральный привод:

1, 11, 24, 27 — шарикоподшипники; 2, 13, 31 — конические зубчатые колеса; 3 — форсунка; 4, 21 — замки; 5, 20 — гайки; 6, 9, 26 — стаканы; 7 — корпус привода; 8, 32 — крышки; 10, 14, 23, 25, 28, 29 — регулировочные кольца; 12, 22, 30 — рессоры; 15 — трубка; 16, 33 — переходные втулки; 17 — прокладки; 18 — фланец; 19 — центральный стакан;

А, Б, Г, Д, Е, Ж, З, И, К — форсунки; В — канал

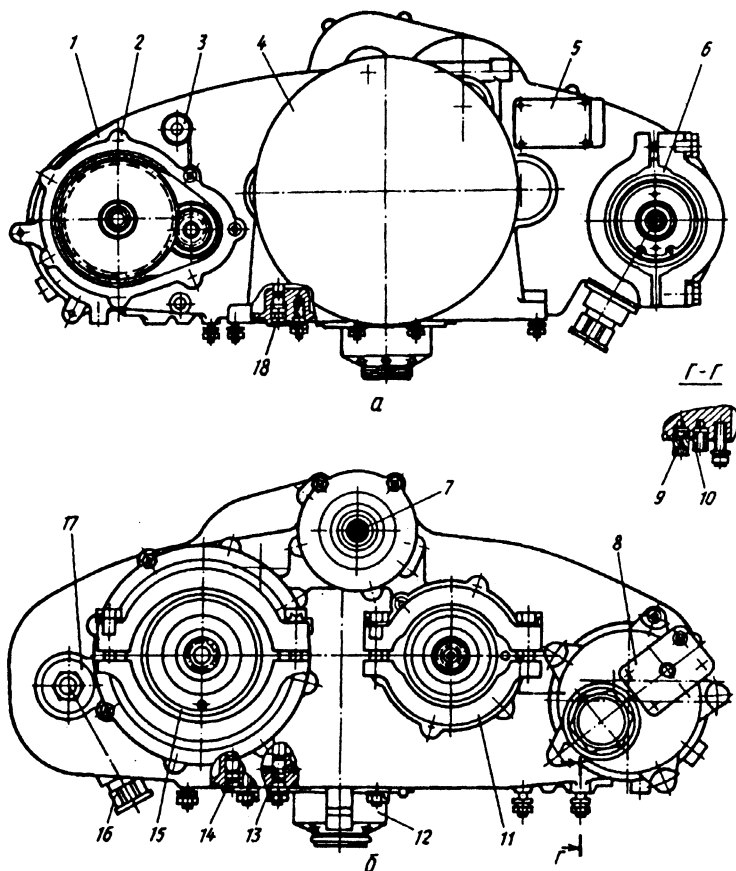


Рис. 5.6. Коробка приводов:

а) вид спереди; б) вид сзади;

1 — корпус; 2 — фланец крепления маслососа откачки масла из коробки приводов с датчиком счетчика $n_{\text{тк}}$; 3 — штуцер; 4 — переходник свободного привода; 5 — фирменная этикетка; 6 — переходник топливного центробежного насоса; 7 — штуцер горизонтального гибкого валика; 8 — крышка штуцера трубы суфлирования; 9 — переходная втулка для подвода масла к центральному приводу и первой опоре; 10 — переходная втулка с жиклером для подвода масла в коробку приводов; 11 — переходник воздушного стартера; 12 — стакан подшипников ведущего зубчатого колеса; 13, 14, 18 — масляные форсунки; 15 — переходник насоса-регулятора; 16 — датчик счетчика $n_{\text{тк}}$; 17 — штуцер для рукоятки ручной прокрутки

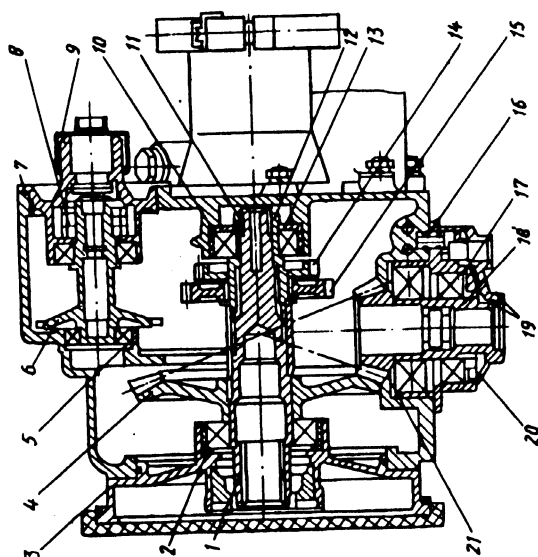


Рис. 5.7. Коробка приводов (вертикальный разрез по оси двигателя);

1 — вал; 2, 5, 10, 17, 21 — регулирующие кольца; 3 — переходный фланец свободного привода; 4 — промежуточное коническое зубчатое колесо; 6 — зубчатое колесо привода регулятора $n_{\text{тк}}$; 7 — корпус; 8 — узел уплотнения; 9 — переходный фланец со штифтом; 11 — замок; 12 — упорное кольцо; 14, 15 — цилиндрические зубчатые колеса; 16 — переходная итулка; 18 — несущее коническое зубчатое колесо; 19 — резиновые кольца; 20 — стакан

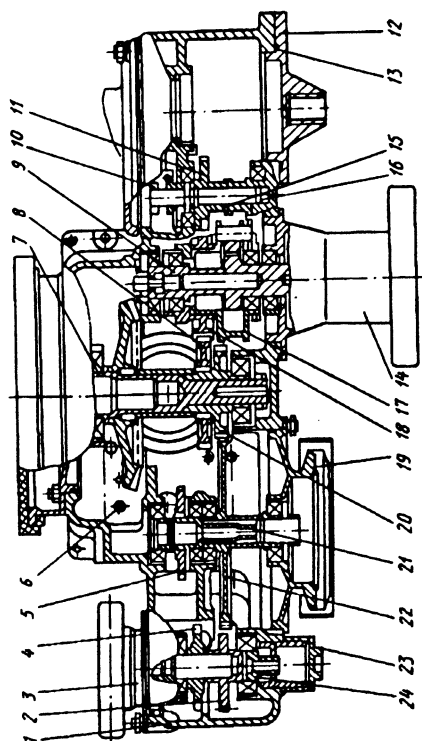


Рис. 5.8. Коробка приводов (горизонтальный разрез);

1 — корпус; 2 — зубчатое колесо привода центрального топливного насоса; 3 — переходный фланец центрального топливного насоса; 4 — зубчатое колесо индуктора датчика $n_{\text{тк}}$; 5 — зубчатое колесо привода регулятора $n_{\text{тк}}$; 6 — трубка подвода масла; 7 — центральный вал; 8 — переднее цилиндрическое зубчатое колесо промежуточного вала; 9 — вал обгонной муфты; 10, 11 — промежуточные зубчатые колеса привода масляного насоса отдачи; 12 — фланец штифта уплотнения; 13 — уплотнительное кольцо; 14 — переходный фланец воздушного стартера; 15, 21 — промежуточные валы; 16 — штифт; 17 — корпус храповой муфты; 18 — зубчатое колесо привода воздушного стартера; 19 — переходный фланец насоса регулятора; 20 — заднее цилиндрическое зубчатое колесо центрального вала; 22 — зубчатое колесо привода насоса-регулятора; 23 — крышка индуктора; 24 — втулка ручного привода

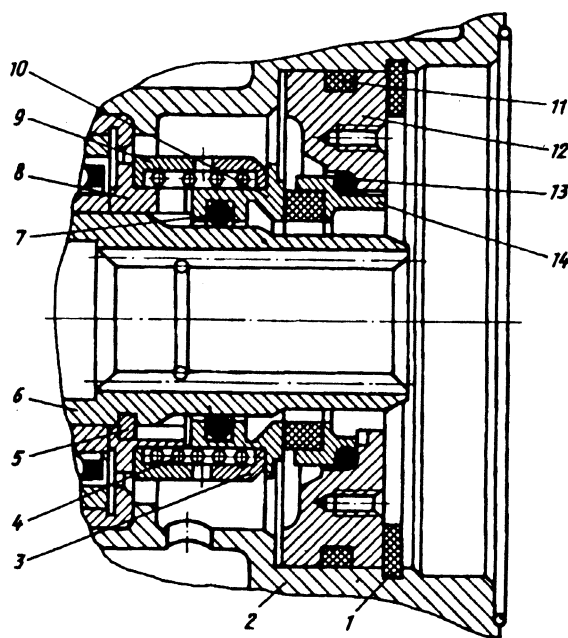


Рис. 5.9. Узел уплотнения привода насоса ДЦН-70А:

1 — стопорное кольцо; 2 — переходный фланец;
 3, 9 — предохранительные тарелки пружины; 4 —
 пружина; 5 — шпонка; 6 — валик зубчатого ко-
 леса привода; 7, 11, 13 — резиновые кольца; 8 —
 ведущее вращающееся кольцо; 10 — ведомос
 опорное кольцо; 12 — опорная обойма; 14 — не-
 подвижное кольцо с графитовым уплотнением

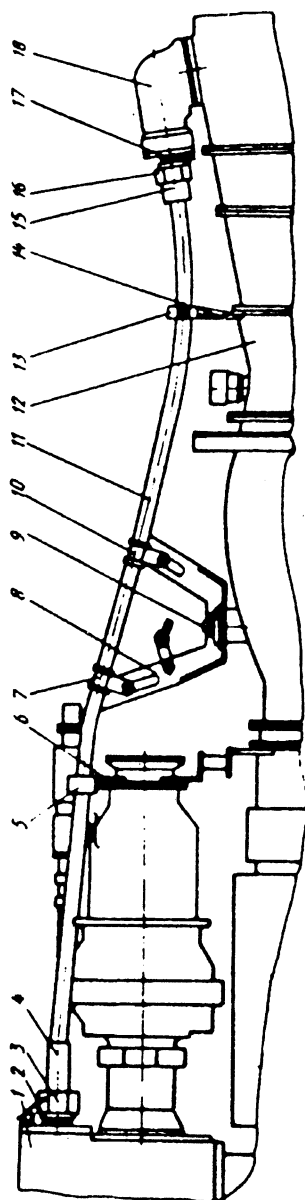


Рис. 5.10. Горизонтальный гибкий вал:

1 — коробка приводов; 2, 17 — штуцеры переходников; 3, 16 — гайки нажимные; 4, 15 — шпильки; 5, 7, 10, 13 — хомуты; 6, 8, 14 — крошечники; 9 — гайка подвески на камере створания; 11 — горизонтальный гибкий вал; 12 — корпус соплонных аппаратов ТК; 18 — привод регулятора $n_{\text{ст}}$

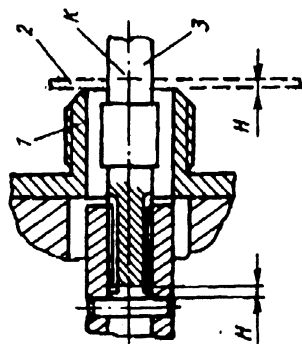


Рис. 5.11. Схема замера хода гибкого вала:

1 — штуцер переходника коробки приводов; 2 — шуп; 3 — передний валик со штифтом; К — риска; Н — величина хода ГВ

Глава VI

МАСЛЯНАЯ СИСТЕМА

Масляная система предназначена для подачи масла к трущимся поверхностям деталей с целью их смазки и охлаждения, для откачки и охлаждения отработавшего масла и для суфлирования масляных полостей двигателя. Она относится к числу систем, обеспечивающих высокую работоспособность конструкций узлов и агрегатов двигателя. От эффективности ее работы в значительной мере зависит ресурс работы двигателя.

Масло в двигателе служит для:

достаточно эффективной смазки трущихся поверхностей деталей двигателя с целью уменьшения их износа и наклепа, а также уменьшения сил трения между ними;

надежного и достаточно интенсивного охлаждения деталей, т. е. для отвода тепла от этих деталей, выделяющегося при трении или передающегося к ним от соседних, более нагретых деталей;

промывки трущихся поверхностей с целью удаления с них и выноса из двигателя твердых частиц, образующихся в процессе трения в результате износа;

консервации деталей двигателя в процессе его эксплуатации, т. е. предохранения их от коррозии;

в качестве рабочей жидкости в демпферах опор.

Прекращение подачи масла к трущимся деталям приводит к перегреву двигателя, разрушению его подшипников, заклиниванию роторов, а иногда и к полному разрушению двигателя. В связи с этим к маслосистеме предъявляются следующие требования. Она должна обеспечивать:

надежную работу агрегатов системы и бесперебойную подачу масла в двигатель на всех режимах его работы как на земле, так и в полете при любых атмосферных условиях и при любых условиях полета;

автоматическое поддержание температуры масла в заданных пределах;

тщательную очистку масла от механических примесей, воздуха и газов;

быстрый прогрев масла в системе после запуска двигателя;

условия, препятствующие выбросу масла через расширительный бачок, а также перетеканию масла из маслобака в неработающий двигатель;

необходимый запас масла в системе, достаточный для максимальной продолжительности полета;

герметичность системы и надежность уплотнения соединений и полостей, а значит, минимальные часовые расходы при работе двигателя на земле и в полете и его пожарную безопасность;

простоту и удобство технического обслуживания, а также замены агрегатов и трубопроводов.

Этим требованиям, в основном, отвечает маслосистема двигателей ТВЗ-117 всех модификаций.

6.1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МАСЛОСИСТЕМЫ

Каждый двигатель, входящий в силовую установку вертолета, имеет свою самостоятельную маслосистему, выполненную по открытой схеме с принудительной циркуляцией масла.

Маслосистема включает систему смазки и систему суфлирования.

При работе двигателя в системе смазки масло непрерывно циркулирует по замкнутому контуру:



Циркуляцию масла в системе обеспечивают нагнетающий и пять откачивающих насосов маслоагрегата МА-78 и маслонасос откачки масла из коробки приводов. Нагнетающий насос подает очищенное масло в масломагистраль двигателя под давлением $p_m = (0,35 \pm 0,05) \text{ МПа} [(3,5 \pm 0,5) \text{ кгс/см}^2]$.

Очистка масла от механических частиц и смольнистых отложений производится в сетчатом маслофилт্রে, а очистка масла от воздуха и газов — в маслобаке и расширительном бачке.

Для обеспечения нормальной работы маслосистемы в полете на больших высотах нагнетающий насос маслоагрегата имеет производительность $V_{\text{наг}} = 30 \text{ л/мин}$, значительно превышающую полную прокачку* масла через двигатель $V_{\text{дв}} = (21,55 \pm 1,25) \text{ л/мин}$, т. е. $V_{\text{наг}} = (1,3 \dots 1,5) V_{\text{дв}}$.

Полная прокачка масла через двигатель $V_{\text{дв}}$ определяется как сумма количества масла, поступающего на смазку и охлаждение всех пяти опор, деталей коробки приводов, подшипников редуктора маслоагрегата и деталей редуктора регулятора лст, причем потребное количество масла для смазки и охлаждения деталей того или иного узла, главным образом, определяется количеством тепла, которое необходимо отвести от смазываемых деталей для поддержания их температурного режима в допустимых пределах.

Расход масла на смазку и охлаждение деталей отдельных узлов, л/мин:

для коробки приводов	$4,4 \pm 0,2$
для подшипников редуктора МА-78	0,2
для первой опоры	$3,2 \pm 0,2$
для второй опоры	$3,5 \pm 0,6$
для третьей опоры	$3,0 \pm 0,6$
для четвертой и пятой опор	$6,0 \pm 0,2$
для редуктора привода регулятора лст	$0,6 \pm 0,1$

* Полной прокачкой масла $V_{\text{дв}}$ называется количество масла, проходящего по всей системе смазки двигателя в единицу времени (в минуту).

В процессе распыла масла через масляные форсунки его частицы, перемешиваясь с воздухом, образуют пену, что приводит к значительному увеличению его объема. Поэтому в целях предотвращения переполнения масляных полостей маслом предусмотрена многократная суммарная избыточная производительность откачивающих насосов, которая составляет $V_{отк} \approx 200$ л/мин. Так как детали коробки приводов, первой опоры двигателя, центрального привода и подшипники редуктора МА-78 работают в нормальных температурных условиях (т. е. их температура не превышает 150°C), то отработавшее масло из этих полостей откачивается непосредственно в маслобак, минуя воздушно-масляный радиатор, причем, из полости коробки приводов масло откачивается специально предусмотренным насосом откачки, а из полостей первой опоры, центрального привода и подшипников редуктора МА-78 — двумя откачивающими насосами маслоагрегата.

Из полостей второй, третьей, четвертой и пятой опор масло откачивается отдельно тремя откачивающими насосами маслоагрегата и подается через воздушно-масляный радиатор в маслобак. Таким образом в системе смазки предусмотрено охлаждение части масла, поступающего из двигателя в маслобак.

Для обеспечения надежной работы двигателя на всех режимах и в широком диапазоне температур в системе смазки двигателя применяют синтетические полиэфирные масла Б-3В и ЛЗ-240, обладающие рядом существенных преимуществ по сравнению с минеральными маслами. Они, при хороших смазывающих свойствах, имеют высокую термохимическую стабильность, позволяющую эксплуатировать двигатели при температурах до 150°C , допуская кратковременную работу при температурах до 200°C . Синтетические масла имеют довольно пологую вязкостно-температурную характеристику, что обеспечивает высокую стабильность их физико-химических свойств при значительных колебаниях температур. Низкая температура застывания масел (не выше минус 60°C) позволяет производить запуск двигателя без предварительного его подогрева в условиях низких (до минус 40°C) температур окружающего воздуха. Малая испаряемость этих масел заметно снижает их расход. Применяемые масла обладают свойством слабого вспенивания и интенсивного выделения растворенного в них газа. Это позволяет заметно упростить маслосистему двигателя путем исключения из системы суфлирования центробежных воздухоотделителей и суфлеров. Кроме того синтетические масла благодаря большой химической инертности сохраняют свои качества в течение длительного времени. Наряду с положительными качествами они обладают и некоторыми серьезными недостатками: высокой токсичностью, особенно их паров; при попадании масла на изделия из обыкновенной резины и других органических веществ вызывает их разбухание, а при попадании на лакокрасочные покрытия и электропроводку — их разрушение.

В процессе эксплуатации смешение масла Б-3В и ЛЗ-240 не разрешается. Разрешается замена масла Б-3В на масло ЛЗ-240 (и наоборот) без промывки системы смазки с возможно полным сливом отработавшего масла. Попадание топлива в маслосистему двигателя с систематическим маслом недопустимо.

Полная замена масла в системе смазки двигателя (включая воздушно-масляный радиатор и трубопроводы) производится:

- 1) после первой пробы вновь установленного двигателя;
- 2) при наличии на сетке фильтрующих элементов продуктов коксования, которые закрывают более 50% поверхности сетки;
- 3) через определенное количество часов наработки, если один из следующих показателей отработавшего масла не будет соответствовать

ТТ:

вязкость кинематическая

по ГОСТ 33—82 при 100°C — менее 4,85 сСт;

кислотное число

по ГОСТ 5895—79 — не менее 2,0 мг КОН на 1 г масла;

температура вспышки, определяемая в открытом тигле, по ГОСТ 4333—48 — менее 235°C;

4) по календарному сроку службы масла — в соответствии с Регламентом обслуживания.

Основные технические данные маслосистемы

1. Схема маслосистемы открытая, с принудительной циркуляцией масла
2. Применяемые масла синтетическое Б-3В
 по ТУ38.101295-75 или ЛЗ-240 по
 ТУ 38.4015-79—86 с
 кинематической вязкостью при 100°C не ниже 5 сСт
3. Емкость маслобака, л 15
4. Максимальное количество масла, заливаемого в маслобак при заполненной системе смазки, л 11
5. Минимально допустимый уровень масла в баке, л:
 а) для вертолетов одновинтовой схемы 8
 б) для вертолетов соосной схемы:
 перед работой 8
 после работы 6,5
6. Давление масла в системе, МПа (кгс/см²):
 на режиме малого газа . . . не менее 0,2 (2)
 на всех рабочих режимах, включая максимальный . . . 0,35±0,05(3,5±0,5)

7. Температура масла на выходе из двигателя, °C:

минимальная для выхода на режимы выше малого газа	30
минимальная для длительной работы на II крейсерском режиме и выше . .	70
рекомендуемая	80... 140
максимальная	150

8. Суммарная полная прокачка масла через двигатель при его работе на максимально продолжительном режиме при температуре масла на выходе из двигателя 140...150°C и давления в масломагистрали

0,35 МПа, л/мин $21,55 \pm 1,25$

9. Часовой расход масла, л/ч . . не более 0,3

6.2. РАБОТА СИСТЕМЫ СМАЗКИ

Систему смазки условно можно разделить на внешнюю, т. е. вертолетную и внутреннюю, т. е. систему смазки двигателя. Вертолетная система смазки состоит: из маслобака 1 (рис. 6.1) с расширительным бачком 2, воздушно-масляного радиатора 38 с термостатическим клапаном, трубопроводов 41 — магистрали подпитки и 3, 31, 39, 40 — магистрали откачки, защитного фильтра 24, сливного штуцера 34 маслоагрегата, датчика 35 (П-I) измерителя температуры выходящего масла и сигнализатора 37 (СС-78) наличия стружки в масле.

Внутренняя система смазки включает: маслоагрегат (МА-78), состоящий из нагнетающего насоса 33 с редукционным клапаном 32 и пяти откачивающих насосов 36; маслонасос 4 откачки масла из коробки приводов; сетчатый фильтр 9; отсечной клапан 20; запорные клапаны 30; перепускной клапан 29; датчик 21 (ИД-8) измерения давления масла в нагнетающей масломагистрали; датчик 22 (МСТВ—2,5) сигнализатора минимального давления масла в двигателе; трубопроводы 7, 11, 12, 13, 15, 17, 18, 19 нагнетающей магистрали; систему масляных каналов и форсунок.

На работающем двигателе масло из маслобака 1 по внешнему трубопроводу 41 магистрали подпитки поступает к штуцеру, расположенному слева внизу на корпусе маслоагрегата, и от него к нагнетающему насосу 33. Отсюда под давлением $[МПа(0,35 \pm 0,05) P_m = (3,5 \pm 0,5) \text{ кгс/см}^2]$ через запорный клапан 30 масло подается по внешнему трубопроводу 12 нагнетающей масломагистрали к маслофильтру 9 для очистки от механических частиц и продуктов коксования. Из полости очищенного масла маслофильтра 9 оно идет:

1. Через переднюю переходную втулку с жиклером по системе внутренних каналов в корпусе коробки приводов к форсункам, обеспечивающим подачу его на смазку и охлаждение наиболее нагруженных зубчатых зацеплений и шарикоподшипников самой коробки приводов.

2. Через заднюю переходную втулку, по каналу в нижнем фланце корпуса коробки приводов, через переходную втулку в стакан подшипников ведущего зубчатого колеса коробки. Отсюда часть масла по внутренним каналам в самом стакане идет на смазку и охлаждение расположенных в нем шарикоподшипников. Другая часть масла по специальной трубке 7, проходящей в верхней стойке корпуса первой опоры,— на смазку и охлаждение деталей центрального привода и первой опоры двигателя.

3. От штуцера корпуса маслофильтра:

по внешним трубопроводам 11, 13 — на смазку и охлаждение подшипников редуктора маслоагрегата МА-78;

по трубопроводам 11, 15 — ко второй опоре двигателя; по трубопроводам 11, 19 — к третьей опоре двигателя и к приводу регулятора $n_{ст}$;

по трубопроводам 11, 17 через отсечной клапан 20, предотвращающий переполнение масляной полости четвертой и пятой опор маслом при снижении частоты вращения ротора турбокомпрессора ниже 15 % — к четвертой и пятой опорам двигателя;

по трубопроводам 11, 18 — на смазку и охлаждение деталей привода регулятора частоты вращения ротора свободной турбины.

Измерение давления масла в нагнетающей маслomagистральной двигателя осуществляется с помощью датчика 21 (ИД-8), установленного в трубопроводе 17 после отсеченного клапана 20. Здесь же установлен датчик 22 (МСТВ-2,5) минимального давления масла в двигателе.

Подробное изложение материала о путях движения масла, поступающего на смазку и охлаждение тех или иных деталей опор и устройств двигателя сделано в соответствующих главах при описании конструкции этих устройств.

При подаче масла на смазку и охлаждение подшипников опор и других быстро вращающихся деталей оно разбрызгивается и перемешивается с воздухом, образуя масляно-воздушную эмульсию, которая способствует вспениванию масла в масляных полостях двигателя. Откачка отработавшего масла из маслоотстойников производится отдельно. Так, отработавшее масло из коробки приводов откачивается маслонасосом 4 и по трубке 3 подается непосредственно в маслобак 1, минуя воздушно-масляный радиатор 38. Из полости первой опоры двигателя, центрального привода и редуктора маслоагрегата МА-78 масло откачивается двумя откачивающими насосами 36 (ОН-1, ОН-2) и по трубопроводу 40, минуя воздушно-масляный радиатор 38, также подается непосредственно в маслобак 1, причем для исключения самопроизвольного перетекания масла из бака в неработающий двигатель, откачка масла из коробки приводов, первой опоры и центрального привода осуществляется в верхнюю (воздушную) полость маслобака.

Откачка масла из остальных опор двигателя производится раздельно тремя откачивающими насосами 36 (ОН-3, ОН-4, ОН-5) маслоагрегата МА-78, причем, откачка масла из четвертой и пятой опор осуществляется через защитный фильтр 24, предотвращающий попадание металлических частиц из масляной полости четвертой и пятой опор в маслоагрегат, а значит предотвращающий его заклинивание.

От откачивающих насосов 36 масло, пройдя запорный клапан 30 по трубопроводу 31 магистрали откачки, через сигнализатор 37 (СС-78) наличия стружки в масле подается в воздушно-масляный радиатор 38. Здесь оно охлаждается воздухом, поступающим от специального вентилятора. Охлажденное масло из воздушно-масляного радиатора 38 по трубопроводу магистрали откачки поступает в маслобак 1 через нижний штуцер. Такой подвод масла в бак способствует энергичной очистке масла от растворенного в нем газа. В маслоагрегате МА-78 предусмотрен перепускной клапан 29, который перепускает часть масла из откачивающих насосов ОН-3, ОН-4, ОН-5 по трубопроводам 39, 40 непосредственно в маслобак 1 минуя маслорадиатор 38, при повышении давления масла в откачивающей магистрали выше $P_m = 0,125$ МПа ($1,25$ кгс/см²). В воздушной полости маслобака 1 поддерживается давление чуть ниже атмосферного, за счет того, что она через расширительный бачок 2 и трубопроводы 5, 14 сообщается с проточной частью двигателя в диффузоре выходного устройства. При выбросе масляной пены из маслобака 1 в расширительный бачок 2, размещенный в самом баке, воздух отделяется от масла и по трубопроводам 5, 14 отводится в проточную часть, а масло сливается в маслобак. Установка расширительного бачка 2 в маслобаке 1 является эффективным средством борьбы с выбросом масла из маслобака. Для слива масла из маслосистемы предусмотрен сливной штуцер 34, расположенный на корпусе маслоагрегата МА-78 спереди внизу слева.

Контроль за работой системы смазки осуществляется путем: измерения давления масла в нагнетающей магистрали двигателя; сигнализации минимального давления масла в системе; измерения температуры выходящего из двигателя масла и сигнализации наличия стружки в масле.

Измерение давления и температуры масла производится комплектом измерителя ЭМИ-ЗРИ, который состоит из двух датчиков (ИД-8, П-1) и измерителя УИЗ-3.

Датчик 21 (ИД-8) измерения давления масла и датчик 22 (МСТВ-2,5) сигнализации минимального давления масла установлены справа внизу на корпусе первой опоры двигателя. Измерение давления масла производится в трубопроводе 17 подвода масла к четвертой и пятой опорам после отсечного клапана 20. Здесь же измеряется минимальное давление масла. Датчик 35 (П-1) измерения температуры выходящего из двигателя масла установлен в специальном кармане трубопровода 31 откачки масла в воздушно-масляный радиатор.

Измерители УИЗ-3 давления масла в нагнетающей магистрали двигателя и температуры выходящего из двигателя масла для левого и правого двигателя установлены на центральной приборной доске в верхнем ряду справа. Световое табло «МАЛО p МАСЛА ЛЕВ. (ПРАВ.) ДВИГ.» расположено на левой приборной доске.

Датчик 37 (СС-78) сигнализатора наличия стружки в масле установлен в трубопроводе 31 около маслорадиатора, а сигнальные табло «СТРУЖКА ЛЕВ. (ПРАВ.) ДВИГ.» — на панели сигнальных табло приборной доски левого пилота.

6.3. РАБОТА СИСТЕМЫ СУФЛИРОВАНИЯ

Система суфлирования — это часть масляной системы, которая сообщает воздушно-масляные полости двигателя с атмосферой с целью предупреждения выброса масла через уплотнения в проточную часть двигателя при повышении давления в этих полостях. При работе двигателя в его масляных полостях* возможно повышение давления за счет подогрева воздуха от нагретых деталей двигателя и горячего масла, испарения масла и прорыва воздуха и газов из полостей повышенного давления через имеющиеся уплотнения. Повышение давления в этих полостях приводит к нарушению герметичности соединений деталей двигателя и к попаданию воздуха с маслом в проточную часть двигателя, где происходит сгорание масла и отложение смолистых веществ и нагара на элементах конструкции двигателя. При этом заметно увеличивается расход масла, ухудшается его откачка из опор двигателя, наблюдается переполнение опор маслом и повышение его температуры, т. е. нарушается работа маслосистемы двигателя в целом.

В двигателе ТВЗ-117ВМ суфлируются масляные полости: коробки приводов, передней опоры ротора компрессора (первой опоры двигателя) и центрального привода, задней опоры ротора компрессора (второй опоры двигателя), опоры ротора турбины компрессора (третьей опоры двигателя), передней и задней опор ротора свободной турбины (четвертой и пятой опор двигателя).

Система суфлирования (см. рис. 6.1) состоит из масляного бака 1 с расширительным бачком 2, суфлирующих каналов, жиклеров, переходных втулок, трубопроводов и сапуна.

Для повышения эффективности суфлирования воздушно-масляных полостей двигателя и надежности их уплотнений в маслосистеме используются откачивающие насосы, обладающие многократной (от 5 до 14) избыточной производительностью.

Воздушно-масляная полость коробки приводов сообщается с атмосферой с помощью сапуна 5, установленного на корпусе насоса откачки масла из коробки при-

* Масляная полость — это часть объема масляной системы ГТД, включающая узлы трения и ограниченная поверхностями элементов конструкции и уплотнениями, предотвращающими утечку масла.

водов. Масляная полость 1 опоры и центрального привода суфлируется с атмосферной через откачивающие насосы ОН-1 и ОН-2 маслоагрегата. При работе двигателя из этой полости вместе со вспененным маслом откачивается и некоторое количество воздуха. Масло с воздухом по трубопроводу 40 направляется в маслобак 1, воздушная полость которого через расширительный бак 2 и трубопроводы 5, 14 сообщена с проточной частью двигателя в диффузоре выходного устройства, где давление чуть ниже атмосферного.

В расширительном баке 2 происходит отделение масла от воздуха. Масло сливается в маслобак 1, а воздух по трубопроводам 5, 14 выходит в проточную часть диффузора выходного устройства. Уплотнение масляной полости первой опоры осуществляется: спереди — передней крышкой корпуса с резиновыми уплотнительными кольцами, сзади — торцевым графитовым уплотнением, предмасляной полостью с повышенным давлением и лабиринтным уплотнением.

Наддув предмасляной полости первой опоры осуществляется воздухом из-за V ступени компрессора. Количество подводимого воздуха, а значит и избыточное давление в предмасляной полости регулируется жиклером и должно быть от 0,005 МПа (0,05 кгс/см²) на режиме малого газа до 0,11 МПа (1,1 кгс/см²) на максимальном режиме. Это исключает возможность попадания масла с воздухом из масляной полости первой опоры в проточную часть двигателя и обеспечивает непрерывный подвод определенного количества чистого воздуха из предмасляной полости первой опоры в ее масляную полость для поддержания там определенного давления.

Суфлирование масляных полостей второй, третьей, четвертой и пятой опор двигателя, также осуществляется через соответствующие откачивающие насосы ОН-3, ОН-4 и ОН-5 маслоагрегата, воздушно-масляный радиатор 38, маслобак 1, расширительный бачок 2, внешние трубопроводы 5, 14 с полостью диффузора выходного устройства двигателя.

Уплотнение масляной полости второй опоры производится: спереди — торцевым графитовым уплотнением, передней предмасляной полостью с избыточным давлением и трехрядным лабиринтным уплотнением; сзади — торцевым графитовым уплотнением, задней предмасляной полостью с избыточным давлением и лабиринтным уплотнением. Наддув предмасляных полостей производится: передней — через трехрядное лабиринтное уплотнение от XII ступени компрессора; задней — через лабиринтное уплотнение из полости внутреннего корпуса диффузора камеры сгорания. Для снижения избыточного давления в предмасляных полостях до допустимых значений осуществляют сброс определенного количества воздуха по двум внешним трубкам в диффузор выходного устройства.

Уплотнение масляной полости третьей опоры осуществляется: сзади с помощью диафрагмы; спереди, внутри цапфы, с помощью гайки-заглушки с резиновым уплотнительным кольцом; спереди, снаружи цапфы, с помощью трех элементов уплотнения, т. е.

торцевого графитового уплотнения, предмасляной полости с избыточным давлением и лабиринтного уплотнения.

Наддув предмасляной полости производится воздухом, отбираемым из рессивера за VII ступенью компрессора.

Уплотнение масляной полости четвертой и пятой опор спереди и сзади обеспечивается с помощью трех элементов уплотнения: торцевого графитового уплотнения, предмасляной полости с избыточным давлением и лабиринтного уплотнения.

Наддув предмасляных полостей опор свободной турбины осуществляется воздухом, поступающим по внешней трубке из-за V ступени компрессора.

6.4. АГРЕГАТЫ МАСЛЯНОЙ СИСТЕМЫ

Агрегаты масляной системы относятся к числу наиболее ответственных и сравнительно нагруженных узлов. От надежности их работы зависит надежность работы двигателя в целом. Основными агрегатами маслосистемы являются: масляный агрегат; насос откачки масла из коробки приводов агрегатов; масляный фильтр; отсечной клапан и защитный фильтр.

МАСЛЯНЫЙ АГРЕГАТ МА-78

Маслоагрегат (рис. 6.2) предназначен для подачи масла из масляного бака в нагнетающую маслomagистраль двигателя для смазки и охлаждения деталей опор и приводов двигателя, а также для откачки отработавшего масла из масляных полостей опор и приводов (кроме коробки приводов).

Основные технические данные МА-78

1. Тип шестеренчатый
2. Количество насосов 6
3. Назначение насосов один нагнетающий и пять откачивающих
4. Производительность, л/мин:
 - нагнетающего насоса при $p = (0,35 \pm 0,05)$ МПа и $t = 90 \pm 100^\circ\text{C}$ 30
 - суммарная откачивающих насосов при $p = 0,1$ МПа и $t = 90 \pm 100^\circ\text{C}$ 174
5. Давление, создаваемое нагнетающим насосом, МПа (кгс/см^2):
 - на всех рабочих режимах $0,35 \pm 0,05 (3,5 \pm 0,5)$
 - на режиме малого газа не ниже 0,2 (2)

Маслоагрегат включает шесть насосов: один нагнетающий и пять откачивающих. Зубчатые колеса, образующие насосы, размещены в корпусах в три ряда. В нижнем ряду два зубчатых колеса образуют нагнетающий насос, обеспечивающий подачу масла под $p_m = (0,35 \pm 0,05)$ МПа [$(3,5 \pm 0,5)$ кгс/см^2] в нагнетающую

масломасгистраль двигателя. В среднем ряду четыре зубчатых колеса образуют три насоса, которые откачивают масло из второй, третьей, четвертой и пятой опор двигателя через маслорадиатор в маслобак. В верхнем ряду три зубчатых колеса образуют два насоса, которые откачивают масло из первой опоры и центрального привода непосредственно в маслобак, минуя маслорадиатор.

Принцип работы шестеренчатого насоса рассмотрим на примере нагнетающего насоса (рис. 6.3). Он размещен в изолированной камере корпуса 2 нагнетающего насоса и представляет собой пару находящихся в зацеплении зубчатых колес 5, которые имеют одинаковое число зубьев. При вращении зубчатых колес 5 со стороны выхода зубьев из зацепления объем между ними увеличивается, а давление падает. Вследствие этого масло засасывается через штуцер 6 в полость А и заполняет впадины между зубьями. Это масло переносится по периферии вращающимися зубчатыми колесами 5 в полость Б. Со стороны полости Б зубья колес входят в зацепление, объем между ними уменьшается, а давление растет и масло выдавливается из впадин на выход. Когда одновременно в зацеплении будут находиться две пары зубьев, то между ними образуется замкнутый объем, уменьшение которого вызывает резкий и значительный рост давления в нем. Неуравновешенная сила давления масла действует в направлении по радиусам зубчатых колес. Она как бы расклинивает зубчатые колеса, увеличивая нагрузки на подшипники, при этом создаются условия для их односторонней выработки. Для устранения этого вредного явления на торцевых поверхностях корпусов фрезеруются разгрузочные канавки, сообщающие замкнутые полости между зубьями колес с полостью нагнетания (полостью Б). Из полости Б масло идет через запорный клапан 4 и штуцер 3 в нагнетающую маслomagистраль двигателя. Для поддержания давления масла в этой магистрали постоянным в нагнетающем насосе маслоагрегата предусмотрен редукторный клапан 1. Если давление масла на выходе из нагнетающего насоса превысит заданную величину [$p_{\text{зад}} = (0,35 \pm 0,05)$ МПа], то редукционный клапан откроется и начнет перепускать часть масла снова на вход в нагнетающий насос.

Конструктивно маслоагрегат состоит: из верхнего корпуса 16 (рис. 6.4) откачивающих насосов с крышкой 13 редуктора и сетчатым фильтром 14; среднего корпуса 21 откачивающих насосов; промежуточного корпуса 22; корпуса 24 нагнетающего насоса; зубчатых колес 18, 20, 25 откачивающих и нагнетающего насосов; осей 6; зубчатых колес 10, 12, 15 редуктора; редукционного клапана с регулировочным винтом 3; двух запорных клапанов; ряда штуцеров 1, 2, 4, 5, 26, 29, 30; ошпильных фланцев 27, 28 и деталей уплотнения.

Верхний корпус 16 откачивающих насосов отлит из магниевого сплава МЛ-5 и имеет довольно сложную конфигурацию. Верхний фланец этого корпуса служит для крепления маслоагрегата к

корпусу первой опоры. На фланце имеются центрирующий бурт, кольцевая проточка под резиновое уплотнительное кольцо и полость, где размещаются зубчатые колеса 10, 12, 15 редуктора. В днище полости выполнены: сквозное отверстие с бронзовой втулкой 17 под валик ведомого зубчатого колеса 15 и два глухих отверстия с бронзовыми втулками 9 под цапфы ведущего 10 и двойного промежуточного 12 зубчатых колес.

Ведущее зубчатое колесо 10 выполнено заодно с двумя цапфами, которыми оно опирается на подшипники скольжения 9, 11. Внутри ведущего зубчатого колеса нарезаны шлицы под рессору привода и выполнена кольцевая канавка под ограничительное стопорное кольцо. Двойное промежуточное зубчатое колесо 12 также имеет две цапфы, которыми оно опирается на соответствующие подшипники скольжения, установленные в корпусе 16 и в крышке 13. Ведомое зубчатое колесо 15 изготовлено заодно с валиком. На валике профрезерованы две шпоночные канавки под сегментные шпонки и проточена кольцевая канавка, куда устанавливаются разрезное ограничительное кольцо, фиксирующее ведомое зубчатое колесо 15 от осевых перемещений. На нижнем конце валика нарезаны шлицы для привода ведущего зубчатого колеса 25 нагнетающего насоса.

Полость редуктора закрывается крышкой 13, которая запрессовывается в цилиндрическую расточку верхнего корпуса 16. В крышке имеются: два сквозных окна и одно отверстие большого диаметра для слива масла из первой опоры и центрального привода; два сквозных отверстия с бронзовыми втулками 11 под цапфы ведущего 10 и двойного промежуточного 12 зубчатых колес; три резьбовых отверстия под съемник и два глухих отверстия под центровочные штифты.

На боковой поверхности верхнего корпуса 16 слева выполнен прилив, в котором установлен штуцер 1 откачки масла из 1 опоры и центрального привода в маслобак. Здесь же, чуть выше, — прилив с резьбовым отверстием заглушенным технологической пробкой. Справа в резьбовое отверстие прилива установлен штуцер 5 для подачи масла на смазку и охлаждение подшипников скольжения редуктора. На нижнем фланце корпуса 16 имеются: два штифта для центровки верхнего 16 и среднего 21 корпусов относительно друг друга; шпильки для соединения корпусов в единый узел; канавка под резиновое уплотнительное кольцо; два фигурных окна, соединенных каналом, для перекачки масла в полость откачки; колодец для размещения комплекта бронзовых торцевых уплотнительных шайб, зубчатых колес (ведущего и двух ведомых) и второго комплекта бронзовых торцевых уплотнительных шайб; четыре гнезда для опоры прижимных пружин 8. Средний корпус 21 откачивающих насосов изготовлен из отливки МЛ-5 сложной формы. Во фланцах корпуса по контуру выполнены сквозные отверстия под шпильки соединения. В верхнем фланце выполнены: два сквозных отверстия под оси ведомых зубчатых колес, отверстие с бронзовой втулкой под валик ведущего зубчатого колеса и шестнадцать отверстий под пружины 8, 19, обеспечивающие при-

жатию бронзовых уплотнительных шайб 7 к торцам зубчатых колес 20. На боковой поверхности среднего корпуса 7 (рис. 6.5) откачивающих насосов имеются: сзади слева — ошпильный фланец 11 для крепления трубы подвода масла из четвертой опоры; сзади справа — ошпильный фланец 9 для монтажа трубы подвода масла из третьей опоры; справа — ошпильный фланец для крепления штуцера 8 подвода масла из второй опоры; впереди — прилив со штуцером слива масла; слева — ошпильный фланец для крепления корпуса 4 запорного клапана со штуцером откачки масла из второй, третьей и четвертой опор через маслорадиатор в маслобак. В корпусе 4 смонтирован запорный клапан, который предотвращает самопроизвольное перетекание масла из бака в неработающий двигатель. Узел запорного клапана состоит из: седла 5 клапана, тарельчатого клапана 3, пружины 2 и направляющей втулки 1. К штуцеру корпуса 4 запорного клапана приварен корпус 18 перепускного клапана, который служит для перепуска части масла из откачивающих насосов среднего ряда непосредственно в маслобак, минуя маслорадиатор, при повышении давления в откачивающей маслomagистральной выше $p_m = 0,125$ МПа ($1,25$ кгс/см²). В корпусе 18 перепускного клапана устанавливаются: седло 19 клапана, тарельчатый клапан 20, пружина 17 и тарелка 16 пружины. Полость перепускного клапана закрывается крышкой 13 с регулировочным винтом 14 и контргайкой 15. Для уплотнения под крышку, в кольцевую канавку фланца корпуса 18 перепускного клапана устанавливается резиновое уплотнительное кольцо. К корпусу 18 перепускного клапана приварен штуцер 12 для крепления трубы перепуска части масла в маслобак, минуя маслорадиатор.

Со стороны нижнего фланца в среднем корпусе 7 выполнен колодец, где размещаются бронзовые торцевые уплотнительные шайбы и зубчатые колеса 6, 10 откачивающих насосов. Здесь же имеется фигурное технологическое окно. На нижнем фланце выполнена канавка, в которую устанавливается резиновое кольцо, обеспечивающее уплотнение между средним и промежуточным корпусами. Промежуточный корпус 22 (см. рис. 6.4) выполнен литьем из магниевых сплавов с последующей механической обработкой. Он одновременно является крышкой для корпуса 21 откачивающих насосов среднего ряда и корпуса 24 нагнетающего насоса.

По контуру корпуса выполнены отверстия под шпильки соединения корпусов и два отверстия для штифтов 23 центрирующих средний корпус 21 откачивающих насосов, промежуточный корпус 22 и корпус 24 нагнетающего насоса друг относительно друга.

Со стороны нижнего фланца на промежуточном корпусе 22 установлено три дополнительных шпильки для крепления корпуса 24 нагнетающего насоса. На нижнем фланце выполнена канавка, куда устанавливается резиновое кольцо, обеспечивающее уплотнение между промежуточным корпусом 22 и корпусом 24 нагнетающего насоса. В контурах этой канавки выполнено четыре отверстия: два крайних для установки осей ведомых зубчатых колес

и два средних, куда запрессованы бронзовые втулки, выполняющие роль подшипника скольжения для ведущего и ведомого зубчатых колес 25 нагнетающего насоса. На поверхности нижнего фланца со стороны выхода масла из нагнетающего насоса выполнена разгрузочная полость с канавками, по которым масло поступает на смазку подшипников скольжения. Со стороны входа масла в нагнетающий насос также выполнена полость с отверстием для откачки просочившегося по зазорам между цапфой ведомого зубчатого колеса и ее подшипником масла. Со стороны верхнего фланца в отверстии под бронзовую втулку ведущего зубчатого колеса имеется расточка, куда установлена резиновая манжета с браслетной пружиной, обеспечивающая уплотнение по цапфе ведущего зубчатого колеса.

Корпус 3 (рис. 6.6) нагнетающего насоса отлит из магниевого сплава МЛ-5. Он имеет фланец с отверстиями под шпильки крепления, сверху — колодец с окнами подвода и отвода масла. В колодце размещаются ведущее 17 и ведомое 2 зубчатое колеса нагнетающего насоса. В днище колодца выполнены глухие отверстия, куда запрессованы бронзовые втулки, выполняющие роль подшипников скольжения для зубчатых колес. Слева на боковой поверхности корпуса 3 выполнен прилив с каналом подвода масла и с фланцем для крепления штуцера 1 с приваренным к нему штуцером 18 для стравливания воздуха. Справа в корпусе 3 выполнен полый прилив, в котором размещаются: спереди — узел редукционного клапана, сзади — узел запорного клапана; справа — штуцер 11 выхода масла из нагнетающего насоса в масломагистраль двигателя. Редукционный клапан служит для поддержания давления масла в масломагистрали двигателя, при его работе на рабочих режимах, в заданных пределах $p_m = (0,35 \pm 0,05)$ МПа $[(3,5 \pm 0,5) \text{ кгс/см}^2]$. Узел редукционного клапана включает: седло 10, клапан 9, пружину 8, тарелку 7, крышку 4 и регулировочный винт 5 с контргайкой 6.

Запорный клапан предотвращает самопроизвольное перетекание масла из маслобака в неработающий двигатель. Узел этого клапана состоит: из седла 16, клапана 15, пружины 14, направляющего втулки 13 и пробки 12.

НАСОС ОТКАЧКИ МАСЛА ИЗ КОРОБКИ ПРИВодОВ

Насос откачки масла из коробки приводов (рис. 6.7) установлен на корпусе коробки приводов спереди справа по полету.

Основные технические данные насоса откачки масла:

- | | |
|---|---------------|
| 1. Тип | шестеренчатый |
| 2. Количество насосов | один |
| 3. Производительность при $p = 0,1$ МПа
и $t = 90 + 100^\circ\text{C}$, л/мин | 25 |
| 4. Запас производительности | более 5,0 |

Работа насоса откачки заключается в том, что он подсасывает масло из полости коробки приводов через переходную трубку и отверстие в штуцере 3 и подает его через штуцер 1 и внешний трубопровод непосредственно в маслобак, минуя маслорадиатор.

Насос откачки масла из коробки приводов состоит из корпуса 9 (рис. 6.8) насоса, корпуса 16 подшипника, корпуса 7 узла уплотнения, ведущего валика 13, ведущего зубчатого колеса 10, оси 14, ведомого зубчатого колеса 15, шарикоподшипников 8, 11, валика 1 привода датчика счетчика $n_{тк}$, узла уплотнения, штуцеров 1, 3 (см. рис. 6.7) и сапуна 2.

Корпус 9 (см. рис. 6.8) насоса отлит из магниевого сплава МЛ5 и имеет довольно сложную форму. На заднем фигурном фланце корпуса выполнены отверстия под шпильки крепления насоса откачки к корпусу коробки приводов. Для уплотнения под фланец устанавливается паранитовая прокладка. Сзади на фланце выполнены: цилиндрический бурт для центровки корпуса 9 насоса по соответствующей расточке корпуса коробки приводов и цилиндрическая расточка под стальной стакан 12 шарикоподшипника 11 ведущего валика 13. В осевом направлении шарикоподшипник 11 фиксируется стопорным кольцом. Спереди, справа по полету на фланце корпуса 9 насоса имеется ошпильный фланец для крепления штуцера 2 сапуна. Под фланец штуцера 2 устанавливается резиновое уплотнительное кольцо. Сапун обеспечивает поддержание заданного разрежения в полости коробки приводов путем суфлирования этой полости непосредственно с окружающей средой.

Узел сапуна включает: штуцер 2 сапуна с поперечными перегородками 3, жиклер 4, насадок 6 и накидную гайку 5.

Суфлирование осуществляется по каналам в корпусе коробки приводов, в корпусе 9 насоса откачки, через отверстия в поперечных перегородках 3, препятствующих выбросу масла из полости коробки приводов через специальный сменный жиклер 4, диаметр которого определяет величину разрежения, и через отверстия в насадке 6. На боковой поверхности корпуса 9 насоса выполнены полые приливы. В один из них ввернут штуцер 1 (см. рис. 6.7) выхода масла из насоса откачки в маслобак, к ошпильному фланцу другого крепится штуцер 3 с переходной трубкой входа масла из коробки приводов в насос. Со стороны переднего фланца корпуса 9 (см. рис. 6.8) насоса выполнены канавка для монтажа резинового уплотнительного кольца и колодец для размещения ведущего 10 и ведомого 15 зубчатых колес. В днище колодца со стороны выхода масла из насоса выполнена разгрузочная канавка.

Ведущее зубчатое колесо 10 установлено на ведущий валик 13 на сегментной шпонке, передающей вращающий момент от валика 13 к зубчатому колесу 10. Спереди в ведущий валик 13 установлен и зафиксирован штифтом полый валик 1 привода датчика счетчика $n_{тк}$.

Ведомое зубчатое колесо 15 смонтировано на полый бронзовый оси 14. Масло на смазку этой оси подается через радиальное отверстие, просверленное в одной из впадин между зубьями ве-

домого зубчатого колеса. Для монтажа оси 14 в корпусе 9 насоса и в корпусе 16 подшипника выполнены соответствующие цилиндрические расточки. Полость оси 14 используется для слива просочившегося масла из полости корпуса 16 подшипника в полость коробки приводов.

Корпус 16 подшипника отлит из магниевого сплава МЛ-5. Он, наряду с основным своим назначением, выполняет роль крышки корпуса 9 насоса. На фланце корпуса 16 подшипника имеются отверстия под шпильки крепления его к корпусу 9 насоса. Спереди в корпусе 16 выполнена цилиндрическая расточка, куда запрессован стальной стакан под шарикоподшипник 8. Стакан с подшипником фиксируется стопорным кольцом, под которое установлена регулировочная шайба, по цилиндрической расточке корпуса 16 подшипника центрируется корпус 7 уплотнения.

Корпус 6 (рис. 6.9) уплотнения отлит из магниевого сплава МЛ-5. Он имеет фланец с отверстиями под шпильки крепления. Под фланец устанавливаются регулировочные шайбы 7, толщина которых определяет величину натяжения гофрированной пружины 2. Центральное резьбовое отверстие фланца служит для вворачивания винта специального приспособления для демонтажа корпуса 6 с узлом уплотнения. Сзади в корпусе 6 уплотнения выполнена цилиндрическая расточка, куда запрессована обойма 1 узла уплотнения и центрирующий бурт с резиновым уплотнительным кольцом 8. Узел уплотнения предотвращает попадание масла из корпуса 9 подшипника в полость датчика счетчика $n_{тк}$.

Узел включает обойму 1, внутри которой установлены и завальцованы детали узла: гофрированная пружина 2, упорная шайба 3, шайба 4, резиновое кольцо 5, шайба 10 и графитовый элемент 12. Уплотнение обеспечивается резиновым уплотнительным кольцом 5, плотно охватывающим обойму 1, и графитовым элементом 12, прижатым гофрированной пружиной 2 к торцу ведущего валика 11.

МАСЛЯНЫЙ ФИЛЬТР

Маслофильтр (рис. 6.10) служит для очистки масла в нагнетающей маслomagистральной двигателя от механических частиц и смольнистых отложений.

Он устанавливается снизу на корпусе коробки приводов справа по полету и крепится на трех шпильках с помощью гаек, контрнатянутых плоскими и пружинными шайбами. Маслофильтр состоит из корпуса и узла фильтра с крепежным устройством.

Корпус 4 (рис. 6.11) отлит из магниевого сплава МЛ-5 в форме цилиндра с тремя фланцевыми лапами 10 и двумя проушинами 9, 11. В нижнем приливе ввернут штуцер 14 для подвода неочищенного масла к фильтру от нагнетающего насоса маслоагрегата. Сзади в приливе днища корпуса ввернут штуцер 12 для подачи очищенного масла в нагнетающую маслomagистраль двигателя. Внутри корпуса отлита перемычка, в расточку которой устанавливаются: защитная сетка 13, зафиксированная стопорным коль-

цом 8 и разделительная шайба 7 с уплотнительным резиновым кольцом 16. Разделительная шайба 7 делит внутреннюю полость корпуса 4 фильтра на две: полость неочищенного масла (Н) и полость очищенного масла (О). В полости Н размещается узел фильтра. На фланце задней лапы 10 выполнено два отверстия, в которые устанавливаются переходные втулки с резиновыми уплотнительными кольцами. Через переднюю переходную втулку масло из полости О подается на смазку и охлаждение деталей коробки приводов, а через заднюю — подшипников ведущего зубчатого колеса коробки приводов, деталей центрального привода и первой опоры двигателя.

Узел фильтра включает: крышку 3 с резиновым уплотнительным кольцом 19, центральный стержень 18, фильтрующие элементы 5, регулировочные шайбы 6, стопорные кольца 15 и 17, разделительную шайбу 7 с резиновым уплотнительным кольцом 16 и крепежное устройство.

Такого типа фильтр имеет большую фильтрующую площадь по сравнению с цилиндрическим и обеспечивает минимальные гидравлические сопротивления в нем.

Центральный стержень 18 выполнен из стали в виде полого ступенчатого цилиндра с продольными окнами на боковой поверхности. Он вворачивается в резьбовое отверстие крышки 3 и контролируется керновкой. На него устанавливаются регулировочные шайбы 6 и фильтрующие элементы 5 в количестве восемнадцати штук, которые фиксируются стопорным кольцом 17. Затем на центральный стержень 18 устанавливается разделительная шайба 7 с уплотнительным кольцом 16 и закрепляется стопорным кольцом 15.

Каждый фильтрующий элемент 5 представляет собой каркас, выполненный в виде гофрированного кольца, на котором с обеих сторон установлены двойные кольца из латунных сеток. Внутренние сетчатые кольца, имеющие крупные ячейки являются предохранительными, а наружные, имеющие мелкие ячейки (0,063 мм) — фильтрующими. Сетчатые кольца по внешнему диаметру совместно с гофрированным каркасом окантованы наружным кольцом, а по внутренним диаметрам — внутренними кольцами. Наружные и внутренние кольца тщательно оплавляются.

Собранный маслофильтр устанавливается в полость Н корпуса 4 и центрируется наружной поверхностью разделительной шайбы 7 по расточке в перемычке корпуса и наружной поверхностью бурта крышки 3 по внутренней поверхности корпуса. Маслофильтр фиксируется в корпусе с помощью специального крепежного устройства, которое смонтировано на крышке 3 спереди. Крепежное устройство включает: зажимной винт 1 с диском, траверсу 20, плоскую пружину 2, шайбу 21 и стопорное кольцо 22.

Зажимной винт 1 ввернут в резьбовое отверстие траверсы 20, а его хвостовик вставлен в отверстие шайбы 21 и зафиксирован в осевом направлении относительно шайбы 21 стопорным кольцом 22. Шайба 21, в свою очередь, запрессована в расточку крышки 3 спереди и раскернена.

Закрепление крышки 3 в корпусе 4 производится траверсой 20, которая заводится за проушины 9,11 корпуса, после чего заворачивается зажимной винт 1 с диском от руки до упора. Зажимной винт 1 с диском контрится проволокой.

ОТСЕЧНОЙ КЛАПАН

Отсечной клапан (ОК) предназначен для предотвращения переполнения маслом воздушно-масляной полости четвертой и пятой опор двигателя при частоте вращения ротора турбокомпрессора ниже 15 % и перетекания масла в выпускной патрубок.

Причиной переполнения воздушно-масляной полости опор свободной турбины маслом является малый (примерно пятикратный) запас производительности насоса откачки масла из этой полости. Поэтому появилась необходимость в прекращении подачи масла в систему смазки опор СТ при падении давления масла в ней ниже $(0,03 \pm 0,005)$ МПа $[(0,3 \pm 0,05) \text{ кгс/см}^2]$.

Он установлен в наружном трубопроводе подвода масла на смазку и охлаждение подшипников четвертой и пятой опор двигателя справа, против корпуса СА I ступени свободной турбины.

ОК состоит: из входного штуцера 1 (рис. 6.12) с накидной гайкой 7, клапана 5, пружины 4, выходного штуцера 3, уплотнительного кольца 6 и фиксирующего устройства из контровой проволоки 2.

Работа ОК заключается в следующем. Во время запуска двигателя частота вращения ротора ТК растет, возрастает и давление масла в нагнетающей магистрали двигателя. Когда давление масла достигнет величины $(0,03 \pm 0,005)$ МПа $[(0,3 \pm 0,05) \text{ кгс/см}^2]$, клапан 5 переместится вправо, сжимая пружину 4, и откроет доступ масла в трубопровод подачи масла к четвертой и пятой опорам.

При работе двигателя на всех режимах (от малого газа до максимального) отсечной клапан всегда открыт. При останове двигателя и падении частоты вращения ротора ТК понижается и давление масла в нагнетающей магистрали. И когда давление масла упадет ниже заданной величины, под действием пружины 4 клапан 5 прижимается к торцу входного штуцера 1, прекращая подачу масла к четвертой и пятой опорам.

6.5. ВОЗМОЖНЫЕ НЕИСПРАВНОСТИ МАСЛОСИСТЕМЫ

Надежная работа силовой установки вертолета во многом зависит: от конструктивного совершенства масляной системы, качества применяемого масла, степени очистки и охлаждения масла; эффективности суфлирования полостей опор двигателя и приводов агрегатов; грамотности эксплуатации в полете; своевременности и качества технического обслуживания на земле.

В основном агрегаты и детали масляной системы работают безотказно на протяжении установленного ресурса. Однако в про-

цессе эксплуатации двигателей возможны отказы и появление неисправностей агрегатов и деталей масляной системы. К числу таких неисправностей относятся:

- падение давления масла в нагнетающей магистрали двигателя;
- чрезмерное повышение температуры масла, выходящего из двигателя;

- чрезмерное понижение температуры масла, выходящего из двигателя;

- повышенный расход масла из маслосистемы двигателя;

- разгерметизация системы трубопроводов;

- сильное дымление, течь масла из выходного патрубка при останове двигателя;

- наличие металлических частиц на маслофильтре;

- попадание топлива в систему смазки в результате нарушения уплотнений топливных агрегатов.

Рассмотрим основные причины появления тех или иных неисправностей и способы их обнаружения, предупреждения и устранения.

Падение давления масла в нагнетающей магистрали ниже $(0,35 \pm 0,05)$ МПа [$(3,5 \pm 0,5)$ кгс/см²] при работе двигателя на всех рабочих режимах приводит к значительному уменьшению количества масла, поступающего на смазку и охлаждение подшипников опор, высоконагруженных зубчатых передач и подшипников приводов и, как следствие, к преждевременному износу или разрушению этих деталей.

Основными причинами этой неисправности являются:

- закупорка сетки фильтрующих элементов маслофильтра механическими частицами или продуктами коксования, нагарообразования;

- заедание редукционного клапана в открытом положении;

- снижение вязкости масла вследствие значительного роста его температуры;

- снижение уровня масла в баке ниже нижнего предела, т. е. ниже 8 л;

- закупорка трубопровода суфлирования маслобака с атмосферой;

- попадание воздуха в магистраль всасывания.

Неисправность устраняется одним из следующих способов:

- промывкой маслофильтра;

- заменой масла в системе или дозаправкой бака чистым кондиционным маслом;

- тщательной промывкой редукционного или запорного клапана маслоагрегата;

- заменой маслофильтра;

- подогревом масла перед запуском холодного двигателя при температуре наружного воздуха ниже минус 40°C.

После устранения неисправности проверяют соответствие величин давления масла техническим требованиям на прогревом двигателе и на всех режимах.

Чрезмерное повышение температуры масла, выходящего из двигателя (свыше 150°C) способствует коксованию масла и вы-

паданию смолистых веществ, а также к интенсивному испарению легких фракций и повышению коррозионных свойств масла. Продукты окисления, накапливаясь в масле, изменяют его физико-химические свойства и цвет (масло темнеет).

Вероятными причинами неисправности являются:

- снижение уровня масла в маслобаке до нижнего предела (до 8 л);
- загрязнение или засорение трубок воздушно-масляного радиатора пылью, песком, сухой травой, снегом или льдом;

- неэффективный обдув воздушно-масляного радиатора охлаждающим воздухом;

- отказ в работе термостатического клапана.

Неисправность устраняют:

- дозаправкой маслобака чистым кондиционным маслом до верхнего уровня (до 11 л);

- очисткой или промывкой трубок воздушно-масляного радиатора техническим бензином с помощью шприца с последующей продувкой сжатым воздухом под давлением не более $1,0 \text{ кгс/см}^2$;
- регулировкой степени обдува воздушно-масляного радиатора;
- заменой воздушно-масляного радиатора.

Понижение температуры масла, выходящего из двигателя возможно по двум причинам:

- из-за чрезмерно интенсивного обдува воздушно-масляного радиатора;

- из-за неисправности воздушно-масляного радиатора.

Неисправность устраняют регулировкой степени обдува или заменой воздушно-масляного радиатора.

Повышенный расход масла из маслосистемы приводит к нарушению нормальной работы двигателя, что, в свою очередь, может вызвать падение давления и повышение температуры масла в системе.

Основными причинами этой неисправности являются:

- разгерметизация соединений маслопроводов;

- подтекание масла из-под фланцев агрегатов маслосистемы;

- интенсивное попадание масла в газовоздушный тракт двигателя вследствие повышенного износа уплотнений масляных полостей или падения давления воздуха в предмасляных полостях опор, что вызывает дымление двигателя;

- выброс масла из системы суфлирования при попадании воды в масло или значительном изменении химического состава масла;
- неисправность воздушно-масляного радиатора.

В случаях обнаружения негерметичности соединений маслопроводов или подтекания масла из-под фланцев агрегатов необходимо устранить неисправность путем подтягивания накидных гаек трубопроводов или гаек крепления агрегатов, замены уплотнительных колец или прокладок.

При интенсивном попадании масла в газовоздушный тракт, двигатель подлежит замене.

При выбросе масла из системы суфлирования установить причины выброса, масло заменить. При неисправности воздушно-масляного радиатора заменить его.

Разгерметизация системы трубопроводов может быть обнаружена в процессе технического обслуживания.

Подтекание масла в местах соединений трубопроводов масло-системы недопустимо. Устранение этой неисправности осуществляется путем подтягивания накидных гаек, замены уплотнительных колец или неисправных элементов масломагистралей.

Сильное дымление, течь масла из выходного патрубка при останове двигателя может быть при:

повышенном износе уплотнений масляных полостей опор двигателя;

падении давления воздуха в предмасляных полостях опор двигателя;

повышения противодавления в системе откачки масла свыше $0,125-0,01$ МПа ($1,25-0,1$ кгс/см²) вследствие засорения воздушно-масляного радиатора, засорения отсечного клапана, заедания перепускного клапана в прикрытом положении, нарушения работы откачивающих насосов маслоагрегата.

Величину противодавления масла в откачивающей магистрали определяют путем измерения. Если противодавление превышает величину $0,125-0,01$ МПа ($1,25-0,1$ кгс/см²), то необходимо снять, разобрать и осмотреть отсечной и перепускной клапаны и промыть детали в чистом топливе. Собрать клапаны и вновь проверить противодавление. Если оно все же превышает заданную величину, то необходимо заменить воздушно-масляный радиатор. В случаях чрезмерного износа уплотнений масляных полостей опор, заменить двигатель.

Наличие металлических частиц на маслофильтре свидетельствует об усиленном износе деталей опор, зубчатых передач или о случайном попадании металлических частиц в масло.

При обнаружении металлических частиц на маслофильтре необходимо тщательно промыть его. После установки маслофильтра запустить двигатель, проработать 10...15 мин на режиме выше «правой коррекции» и выключить его. Снова вынуть фильтр, осмотреть его и проверить наличие металлических частиц. Если они снова есть, то слить масло из вертолетной маслосистемы и из двигателя через сливной штуцер маслоагрегата, промыть и продуть трубопроводы вертолетной маслосистемы, воздушно-масляный радиатор заменить, а маслосистему заправить свежим кондиционным маслом. Затем снова запустить двигатель, прогреть его и проработать 10—15 мин на режиме выше «правой коррекции». После остановки и охлаждения вынуть маслофильтр и убедиться в отсутствии металлических частиц. Если же и в этом случае будут обнаружены металлические частицы, то надо заменить двигатель и маслорадиатор. Трубопроводы вертолетной маслосистемы необходимо промыть и продуть сжатым воздухом.

ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ МАСЛЯНОЙ СИСТЕМЫ

Работы по осмотру и обслуживанию агрегатов и деталей масляной системы выполняют в процессе технического обслуживания

(ТО) силовых установок при проведении оперативных и периодических видов, при хранении и сезонном ТО, а также после замены двигателя и выполнения контрольно-испытательного полета (КИП) вертолета с вновь установленным двигателем.

Своевременное и в полном объеме выполнение работ с высоким качеством и проведением пооперационного контроля являются залогом безопасности и регулярности полетов.

При выполнении оперативных видов ТО масляной системы двигателя:

- осматривают состояние трубопроводов и шлангов, обращая особое внимание на узлы их соединений;

- проверяют состояние и надежность крепления агрегатов;

- проверяют уровень масла в баке;

- отбирают пробу масла;

- подсчитывают часовой расход масла.

При выполнении периодических видов ТО маслосистемы дополнительно к работам, выполняемым при оперативном ТО, в зависимости от часов налета вертолета:

- осматривают и промывают маслофильтр, редукционный, отсечной и перепускной клапаны;

- производят замену маслофильтра;

- заменяют масло в системе.

В качестве примеров рассмотрим порядок выполнения работ при ТО по осмотру и промывке маслофильтра и редукционного клапана маслоагрегата.

Осмотр и промывка маслофильтра производится в строгом соответствии в регламентом ТО по часам налета вертолета, а также:

- при расконсервации или консервации маслосистемы;

- после первого запуска или контрольно-испытательного полета вертолета с вновь установленным двигателем;

- в случае падения давления масла ниже 0,3 МПа (3,0 кгс/см²) на режимной работе двигателя или ниже 0,2 МПа (2,0 кгс/см²) на режиме земного малого газа;

- при хранении вертолета.

Для осмотра и промывки маслофильтра выполняют следующие работы: подставляют ванночку под крышку 1 (рис. 6.13); расконсервируют и отворачивают винт 9 крышки маслофильтра; поворачивают траверсу 8 на 90°, выводя ее из-под выступов 3 корпуса 2 маслофильтра; заворачивая винт 9, поднимают траверсу 8; устанавливают ее на выступе 3 корпуса 2 маслофильтра; выворачивая винт 9, вынимают маслофильтр 7 из колодца корпуса 2, осматривают полость колодца. При осмотре маслофильтра убеждаются в отсутствии на фильтрующих элементах загрязнения сеток продуктами кокса или нагара, металлической стружки и блесков, деформации или порывов сеток. Обращают внимание и на состояние резиновых уплотнительных колец 5 и 6. После осмотра выходное отверстие маслофильтра закрывают резиновой пробкой 4 из бортового комплекта инструмента и опускают его

на 10...15 мин в топливо, а затем промывают кистью, смоченной в керосине. Разборка маслофильтра категорически запрещается.

После промывки вынимают из фильтра 7 резиновую пробку 4, окунают ее в чистое кондиционное масло Б-3В и осторожно вставляют в колодец корпуса 2 маслофильтра. Затем заводят траверсу 8 за выступы 3 корпуса 2 и, заворачивая винт 9 от руки, углубляют фильтр в корпус до упора.

От отворачивания винт 9 фиксируется контровочной проволокой.

Осмотр и промывку редукционного клапана маслоагрегата производят в случае неплотного прилегания клапана к его седлу, что определяют по падению давления масла в нагнетающей магистрали ниже 0,2 МПа (2,0 кгс/см²) при работе двигателя на режиме земного малого газа.

Работы по осмотру и промывке редукционного клапана выполняют в следующей последовательности: расконтривают и отворачивают три гайки 2 (рис. 6.14) крепления крышки 4 редукционного клапана; снимают шайбы 3; вынимают крышку 4, втулку 6, пружину 7 и редукционный клапан 8; осматривают состояние конусных фасок редукционного клапана 8 и его седла 9, запрессованного в корпусе 10 маслоагрегата; убеждаются в отсутствии на них приклеившихся посторонних частиц; промывают редукционный клапан 8 и фаску седла 9 топливом; вынимают, осматривают состояние резинового уплотнительного кольца 5 и при необходимости заменяют его. Сборка редукционного клапана ведется в обратной последовательности. После окончания работ необходимо запустить двигатель, прогреть его и проверить давление масла в нагнетающей магистрали.

На режиме земного малого газа оно должно быть не ниже 0,2 МПа (2,0 кгс/см²), а на рабочих режимах — в пределах (0,35±0,05) МПа [(3,5±0,5) кгс/см²]. Если окажется, что давление масла в нагнетающей магистрали двигателя не соответствует техническим требованиям, то необходимо произвести регулировку. При этом следует иметь в виду, что поворот регулировочного винта 1 по часовой стрелке на один оборот вызывает увеличение давления масла в системе на 0,05 МПа (0,5 кгс/см²), а поворот регулировочного винта 1 против часовой стрелки на один оборот — уменьшает давление масла в системе на эту же величину.

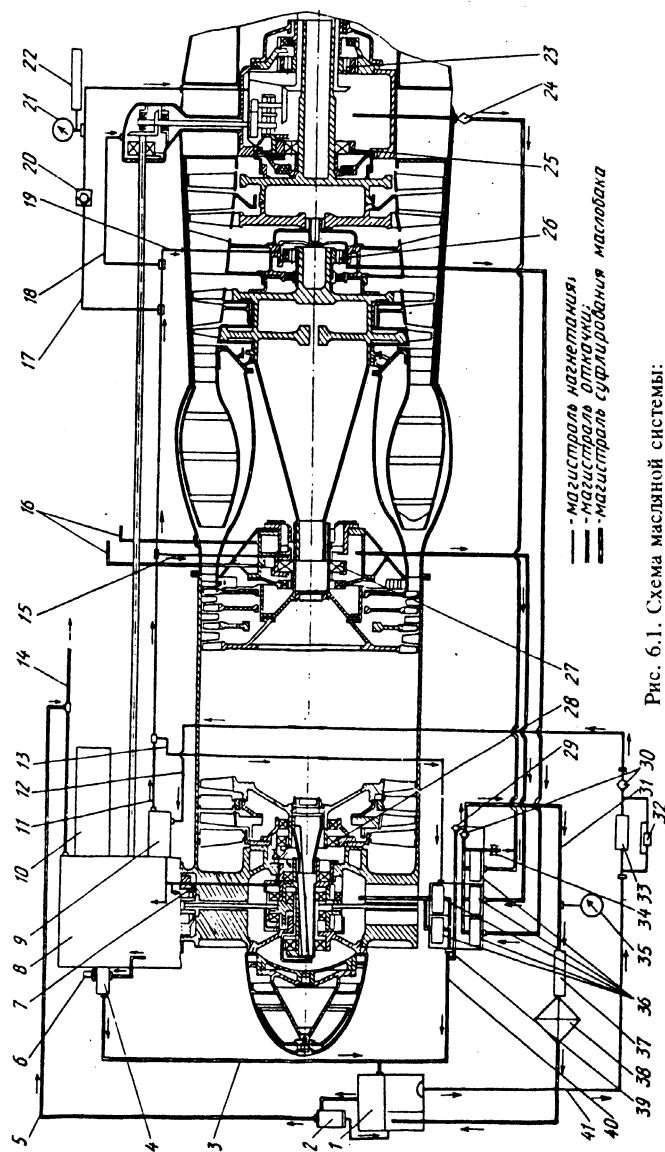


Рис. 6.1. Схема масляной системы:

1 — маслобак; 2 — расширительный бачок; 3, 31, 39, 40 — трубопроводы откачивающей магистральной; 4 — насос откачки масла из коробки приводов; 5, 14 — трубопроводы суффрирования; 6 — сапун; 7, 11, 12, 13, 15, 17, 18, 19 — трубопроводы нагнетающей магистральной; 8 — коробка приводов; 9 — маслофильтр; 10 — воздушный стартер; 16 — трубопроводы сброса части воздуха из предмастных полостей второй опоры двигателя; 20 — отсечной клапан; 21 — датчик измерения давления масла ИД-8; 22 — датчик минимального давления масла в двигателе МСТВ-2,5; 23 — первая опора двигателя; 24 — защитный фильтр; 25 — четвертая опора двигателя; 26 — датчик минимального давления масла в двигателе МСТВ-2,5; 27 — вторая опора двигателя; 28 — первая опора двигателя; 29 — перепускной клапан; 30 — запорные клапаны; 32 — редукционный клапан; 33 — вторая опора двигателя; 34 — штуцер слива масла; 35 — датчик измерителя температуры масла П-1; 36 — откачивающие насосы; 37 — сигнализатор наличия стружки в масле СС-78; 38 — воздушно-масляный радиатор; 41 — трубопровод магистральной подпитки

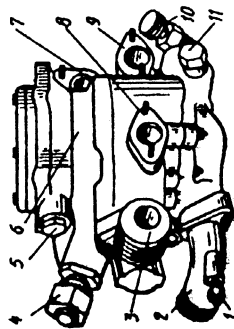


Рис. 6.2. Маслоагрегат (внешний вид):

1 — штуцер стравливания воздуха; 2 — штуцер подвода масла из маслобака; 3 — штуцер выхода масла из второй-четвертой опор в масло-радиатор; 4 — штуцер выхода масла из 1 опоры и центрального привода в маслобак; 5 — технологическая пробка; 6 — корпус маслоагрегата; 7 — фланец трубы подвода масла из второй опоры; 8 — фланец трубы подвода масла из четвертой опоры; 9 — фланец трубы подвода масла из третьей опоры; 10 — штуцер нагнетающей магистраль; 11 — пробка запорного клапана

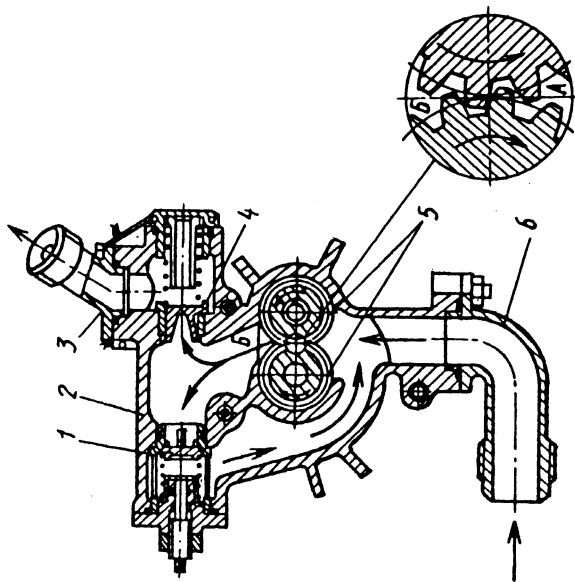


Рис. 6.3. Схема работы нагнетающего насоса маслоагрегата:

1 — редукционный клапан; 2 — корпус нагнетающего насоса; 3 — штуцер нагнетающей магистрали; 4 — запорный клапан; 5 — зубчатые колеса; 6 — штуцер подвода масла из маслобака; А, Б — полости

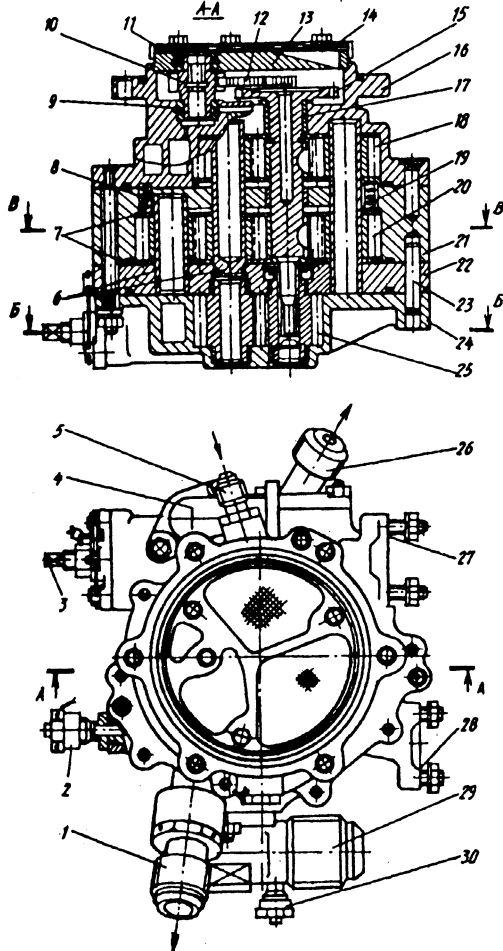


Рис. 6.4. Маслоагрегат.

1 — штуцер выхода масла из первой опоры и центрального привода в маслобак; 2 — штуцер слива масла; 3 — регулировочный винт; 4 — штуцер входа масла из второй опоры; 5 — штуцер подвода масла на смазку подшипников скольжения редуктора; 6 — оси; 7 — бронзовые шайбы торцевого уплотнения; 8, 19 — пружины; 9, 11, 17 — бронзовые втулки; 10 — ведущее зубчатое колесо редуктора; 12 — двойное промежуточное зубчатое колесо; 13 — крышка редуктора; 14 — сетчатый фильтр; 15 — ведомое зубчатое колесо редуктора; 16 — верхний корпус откачивающих насосов; 18 — зубчатое колесо верхнего ряда; 20 — зубчатое колесо среднего ряда; 21 — средний корпус откачивающих насосов; 22 — промежуточный корпус; 23 — штифт; 24 — корпус нагнетающего насоса; 25 — зубчатое колесо нагнетающего насоса; 26 — штуцер выхода масла в нагнетающую магистраль двигателя; 27 — фланец трубы входа масла из третьей опоры; 28 — фланец трубы входа масла из четвертой опоры; 29 — штуцер выхода масла из второй — четвертой опор через маслорадиатор в маслобак; 30 — штуцер стравливания воздуха

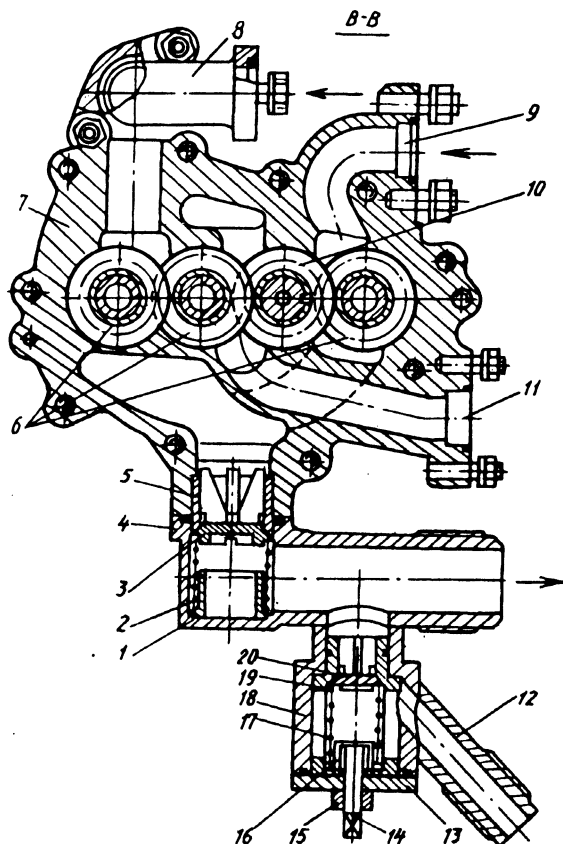


Рис. 6.5. Откачивающие насосы среднего ряда маслоагрегата:

1 — направляющая втулка; 2, 17 — пружины; 3 — запорный клапан; 4 — корпус запорного клапана; 5, 19 — седла; 6 — ведомые зубчатые колеса; 7 — средний корпус; 8 — штуцер подвода масла из второй опоры; 9 — фланец крепления трубы подвода масла из третьей опоры; 10 — ведущее зубчатое колесо; 11 — фланец для монтажа трубы подвода масла из четвертой опоры; 12 — штуцер перепуска части масла в маслобак; 13 — крышка; 14 — регулировочный винт; 15 — контргайка; 16 — тарелка пружины; 18 — корпус перепускного клапана; 20 — перепускной клапан

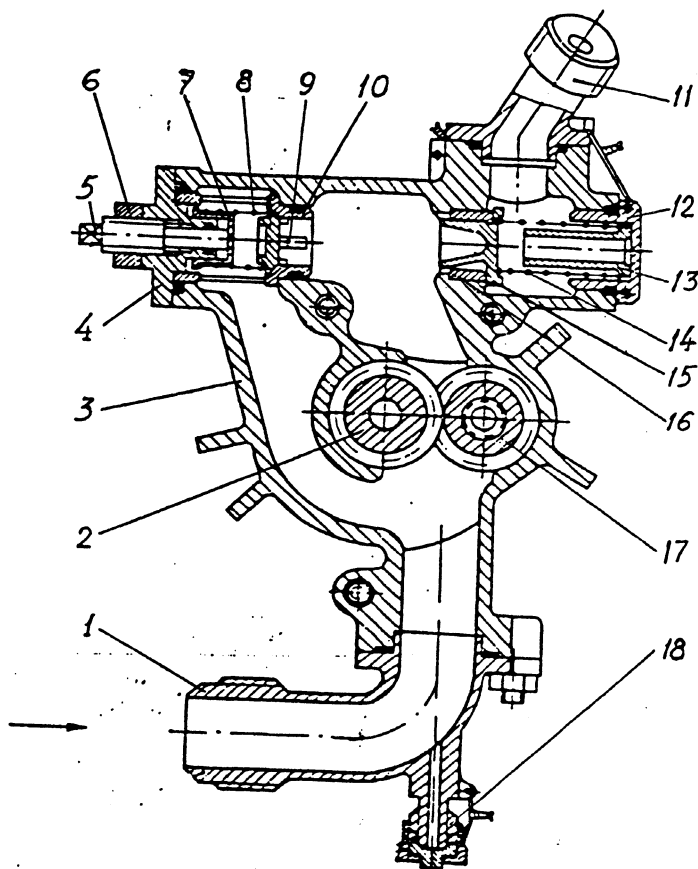


Рис. 6.6. Нагнетающий маслоагрегат:

1 — штуцер подвода масла из маслобака; 2 — ведомое зубчатое колесо; 3 — корпус нагнетающего насоса; 4 — крышка; 5 — регулировочный винт; 6 — контргайка; 7 — тарелка; 8, 14 — пружины; 9 — редукционный клапан; 10, 16 — седла; 11 — штуцер выхода масла из нагнетающего насоса в масломагистраль двигателя; 12 — заглушка; 13 — направляющая пружины; 15 — запорный клапан; 17 — ведущее зубчатое колесо; 18 — штуцер стравливания воздуха

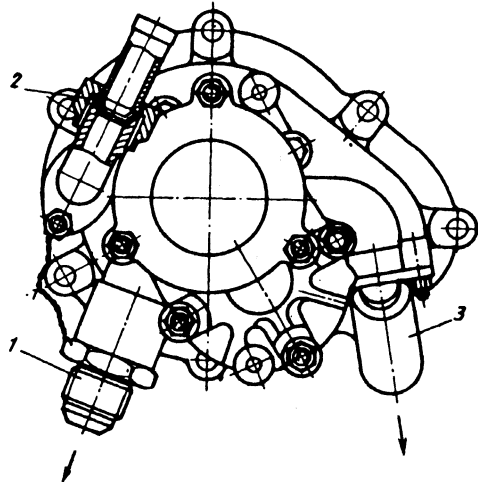


Рис. 6.7. Насос откачки масла из коробки приводов:
штуцер выхода масла из насоса в маслобак; 2 — сапун; 3 — штуцер
входа масла из коробки приводов в насос

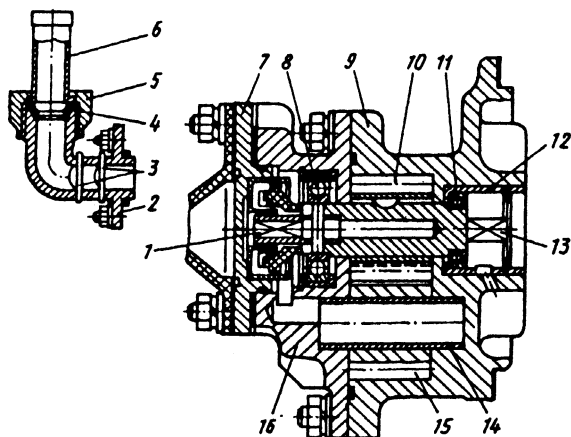


Рис. 6.8. Насос откачки масла из коробки приводов
(разрез):

1 — валик привода датчика счетчика $n_{тк}$; 2 — штуцер сапуна; 3 — перегородки; 4 — жиклер; 5 — накидная гайка; 6 — насадок; 7 — корпус узла уплотнения; 8, 11 шарикоподшипники; 9 — корпус насоса; 10 — ведущее зубчатое колесо; 12 — стакан; 13 — ведущий валик; 14 — ось; 15 — ведомое зубчатое колесо; 16 — корпус подшипника

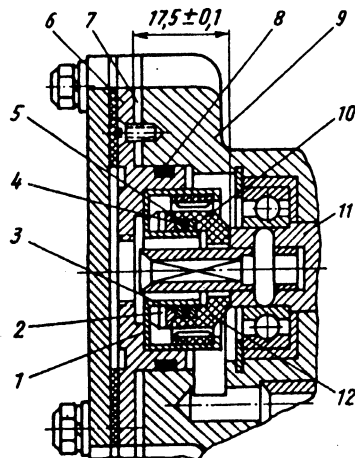


Рис. 6.9. Узел уплотнения:

1 — обойма; 2 — гофрированная пружина; 3 — упорная шайба; 4, 10 — шайбы; 5, 8 — резиновые уплотнительные кольца; 6 — корпус уплотнения; 7 — регулировочные шайбы; 9 — корпус подшипника; 11 — ведущий валик; 12 — графитовый элемент

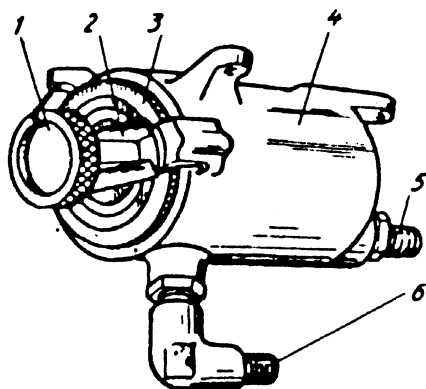


Рис. 6.10. Маслофильтр:

1 — зажимной винт с диском; 2 — траверса; 3 — крышка; 4 — корпус; 5 — штуцер подачи масла в масломагистраль; 6 — штуцер подвода масла

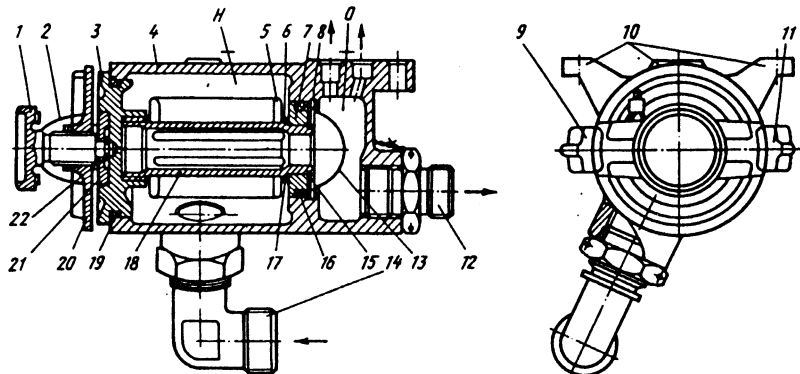


Рис. 6.11. Маслофильтр:

1 — зажимной винт с диском; 2 — плоская пружина; 3 — крышка; 4 — корпус; 5 — фильтрующий элемент; 6 — регулировочная шайба; 7 — разделительная шайба; 8, 15, 17, 22 — стопорные кольца; 9, 11 — проушины; 10 — фланцевые лампы; 12 — штуцер подачи очищенного масла в маслomagистраль; 13 — защитная сетка; 14 — штуцер подвода неочищенного масла от нагнетающего насоса; 16, 19 — резиновые уплотнительные кольца; 18 — центральный стержень; 20 — траверса; 21 — шайба зажимного винта; *H* — полость неочищенного масла; *O* — полость очищенного масла

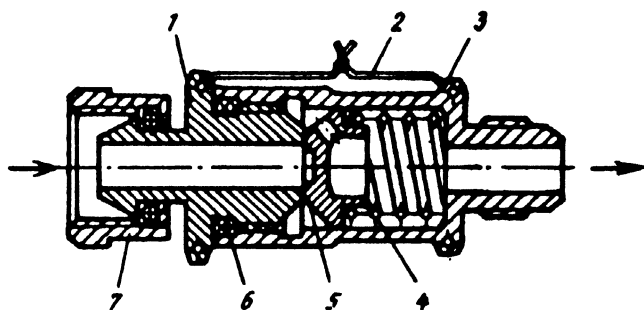


Рис. 6.12. Отсечной клапан:

1 — входной штуцер; 2 — контрольная проволока; 3 — выходной штуцер; 4 — пружина; 5 — клапан; 6 — уплотнительное кольцо; 7 — накидная гайка

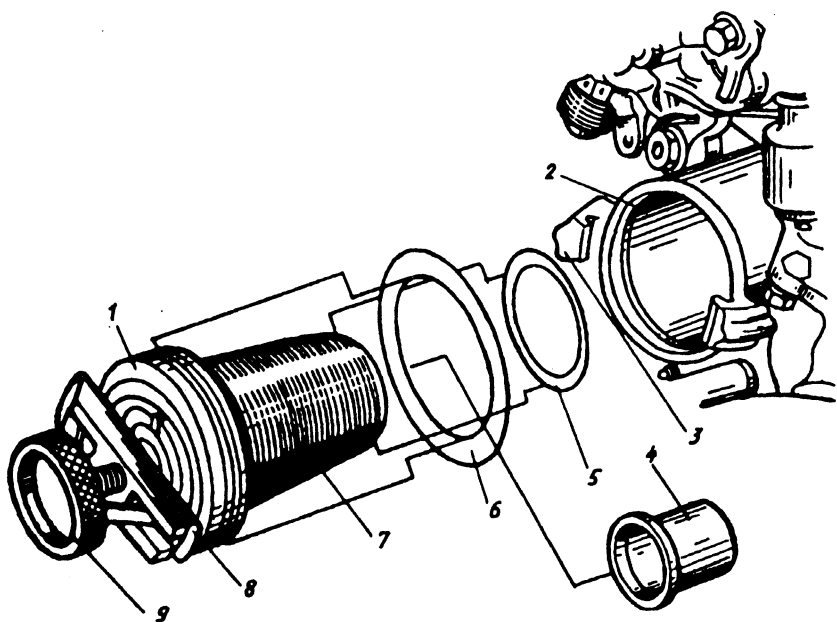


Рис. 6.13. Маслофильтр:

1 — крышка; 2 — корпус; 3 — выступы корпуса; 4 — резиновая пробка; 5, 6 — резиновые уплотнительные кольца; 7 — фильтр; 8 — траверса; 9 — винт

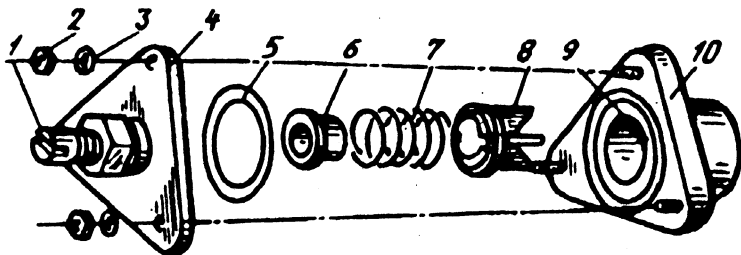


Рис. 6.14. Редукционный клапан:

1 — регулировочный винт; 2 — гайка; 3 — шайба; 4 — крышка; 5 — уплотнительное кольцо; 6 — втулка; 7 — пружина; 8 — клапан; 9 — седло клапана; 10 — корпус маслоагрегата

Глава VII

ТОПЛИВНАЯ СИСТЕМА

7.1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ТОПЛИВНОЙ СИСТЕМЫ

Топливная система двигателя представляет собой совокупность агрегатов, устройств и трубопроводов, основным назначением которых является бесперебойная подача топлива в камеру сгорания и регулирование расхода топлива в соответствии с режимами работы двигателя и полетными условиями. Топливная система двигателя ТВЗ-117ВМ кроме того обеспечивает управление механизацией компрессора, выдачу сигнала на отключение воздушного стартера при запуске, а также дренаж камеры сгорания и уплотнений топливных агрегатов.

По признаку выполняемых функций и величине давления топлива в магистралях топливная система делится на три части (рис. 7.1):

- систему низкого давления;
- систему высокого давления;
- дренажную систему.

Топливная система низкого давления предназначена для очистки топлива, поступающего из вертолетной системы и подачи его под определенным давлением к насосу-регулятору НР-ЗВМ 9. В состав системы входят:

- центробежный топливный насос ДЦН-70А 3;
- топливный фильтр тонкой очистки 8Д2.966.236. 5;
- трубопроводы подвода топлива от ДЦН-70А к агрегату НР-ЗВМ 1, 8;
- трубопроводы слива топлива из агрегатов системы высокого давления 17, 29, 32, 36.

Топливная система высокого давления обеспечивает подачу топлива в камеру сгорания двигателя, управление механизацией компрессора, а также выдачу сигнала на отключение воздушного стартера при запуске. Система включает:

- насос-регулятор НР-ЗВМ 9;
- топливный коллектор с форсунками 18;
- исполнительный механизм ИМ-ЗА 35;
- гидроцилиндр с концевым переключателем 27;
- клапаны перепуска воздуха 30, 33;
- клапан наддува 24;
- трубопроводы высокого давления 7, 10, 11, 15, 16, 26, 28, 31, 34.

Основным агрегатом системы высокого давления является насос-регулятор НР-ЗВМ. В его состав входит насос высокого давления, дозирующее устройство, распределитель топлива по контурам форсунок, а также комплекс автоматических устройств,

обеспечивающих регулирование расхода топлива, регулирование компрессора и отключение воздушного стартера.

Совместно с агрегатом ИМ-3А, гидроцилиндром, электронным регулятором двигателя ЭРД-3ВМ и регулятором температуры РТ-12-6 насос-регулятор образует систему автоматического регулирования.

Устройство этих агрегатов и их работа приведены в гл. 8 «Система автоматического регулирования».

Дренажная система обеспечивает слив топлива и масла из уплотнений агрегатов топливной системы, а также слив топлива из камеры сгорания при выключении двигателя. Система включает:

дренажный клапан 19;

эжектор 13;

дренажные трубопроводы 4, 6, 14, 20, 21, 25.

7.2. РАБОТА ТОПЛИВНОЙ СИСТЕМЫ

Из вертолетной системы топливо с давлением 0,04...0,12 МПа поступает на вход в центробежный насос ДЦН-70А, который повышает давление до необходимой величины и по трубопроводу 1 подает топливо к фильтру тонкой очистки. Отфильтрованное топливо по трубопроводу 8 поступает на вход в насос-регулятор. В насосе-регуляторе давление топлива повышается плунжерным насосом, после чего основная его часть подается к дозирующему устройству, управляемому по определенной программе агрегатами системы автоматического регулирования. Пройдя дозирующее устройство топливо через распределительное устройство насоса-регулятора поступает в трубопроводы высокого давления 10 и 11, откуда через корпус дренажного клапана 19 подводится в первый и второй контуры коллектора форсунок 18. Причем подача топлива в первый корпус осуществляется на всех режимах работы двигателя от запуска до взлетного включительно, а во второй контур — только на режимах выше малого газа после того, как давление в первом контуре достигнет величины $(3,2 \pm 0,1)$ МПа $[(32 \pm 1)$ кгс/см²]. На начальном этапе запуска двигателя во второй контур через клапан наддува воздуха (КНВ) и трубопроводы 23, 22 подается от воздушного стартера сжатый воздух, что гарантирует высокое качество распыла топлива и надежный розжиг камеры сгорания при любых атмосферных условиях. При возрастании давления топлива в первом контуре до $(0,5...0,6)$ МПа $[(5...6)$ кгс/см²] КНВ закрывается и далее участия в работе топливной системы не принимает.

Кроме коллектора форсунок дозирующее устройство насоса-регулятора через трубопроводы 34, 36 и агрегат ИМ-3А связано с общей магистралью слива 17. При нормальных условиях работы двигателя ИМ-3А перекрывает слив из насоса-регулятора. Сигнал на открытие слива подается на ИМ-3А электронным регулятором двигателя ЭРД-3ВМ при возрастании ча-

стоты вращения свободной турбины до предельной по условиям ее прочности величины — $(118 \pm 2) \%$. Слив топлива из насоса-регулятора сопровождается быстрым падением давления в его магистралях, в результате чего распределительное устройство прекращает подачу топлива в камеру сгорания.

Топливо, отбираемое непосредственно из-за качающего узла насоса-регулятора (недозированное топливо), используется в системе в качестве рабочего тела в сервомеханизмах клапанов перепуска воздуха и гидроцилиндров поворота лопаток НА компрессора.

К гидроцилиндру 27 недозируемое топливо подается, в зависимости от режима работы двигателя, по одному из трубопроводов 15 или 16. Через второй трубопровод в это время производится слив топлива.

Подача топлива к клапанам перепуска воздуха осуществляется при запуске и на режиме малого газа по трубопроводам 7, 28, 31 через концевой переключатель, расположенный в гидроцилиндре. При этом оба клапана давлением топлива удерживаются в открытом положении. При возрастании приведенной частоты вращения турбокомпрессора до $(84-87) \%$ концевой переключатель отсекает подачу топлива к клапанам, одновременно сообщая их со сливом. В этот момент клапаны под действием своих пружин закрываются.

Дренаж агрегатов топливной системы и камеры сгорания осуществляется двумя изолированными потоками. От уплотнений агрегатов ДЦН-70А и НР-ЗВМ топливо и масло, проникшее из коробки приводов, по трубопроводам 4, 6, 14 и через эжектор 13 сбрасывается в выпускной патрубок. При этом эжектор обеспечивает поддержание пониженного давления в дренажных полостях агрегатов, что исключает проникновение топлива в коробку приводов.

Из камеры сгорания топливо при неработающем двигателе сливается в дренажный бачок вертолета через открытый дренажный клапан 19 по трубопроводам 20, 21. Закрывается дренажный клапан в начале запуска давлением воздуха, поступающего из камеры сгорания. При останове двигателя через корпус дренажного клапана производится слив топлива из КНВ.

7.3. АГРЕГАТЫ ТОПЛИВНОЙ СИСТЕМЫ

ЦЕНТРОБЕЖНЫЙ ТОПЛИВНЫЙ НАСОС ДЦН-70А

Подкачивающий центробежный насос ДЦН-70А (рис. 7.2) предназначен для создания избыточного давления на входе в качающий узел насоса-регулятора НР-ЗВМ с целью обеспечения его бескавитационной работы и увеличения высотности топливной системы.

Насос крепится к фланцу коробки приводов агрегатов спереди слева по полету. Привод насоса осуществляется от ротора турбокомпрессора.

Основные технические данные:

1. Абсолютное давление на входе
в насос, МПа (кгс/см²) 0,03...0,22 (0,3...2,2)
2. Перепад давлений, создаваемый
насосом, МПа (кгс/см²):
на малом газе не менее 0,04 (0,4)
на взлетном режиме 0,07...0,16 (0,7...1,6)
3. Производительность насоса, л/ч:
на малом газе 120
на максимальном режиме 800
4. Допустимые колебания давления
на выходе из насоса, МПа (кгс/см²) не более $\pm 0,025$ ($\pm 0,25$)
5. Допустимые утечки топлива и
масла в дренаже, см³/мин не более 0,5
6. Масса сухого насоса, кг не более 0,9

Конструктивно насос состоит из следующих элементов (сборочных единиц):

корпус;
крышка;
качающий узел;
узел уплотнения.

Корпус 9 и крышка 4 выполнены отливкой из алюминиевого сплава и соединяются между собой шпильками, ввернутыми в передний фланец корпуса. Место стыка герметизируется уплотнительным кольцом 6. Крышка корпуса выполняет роль входного патрубка. К ее фланцу *Е* крепится трубопровод подвода топлива из вертолетной системы.

Корпус насоса служит для размещения качающего узла и выполнен в форме улитки. Улитка заканчивается расширяющимся патрубком, в который вворачивается угольник 30 отвода топлива в магистраль нагнетания. На наружной поверхности корпуса имеется два прилива с резьбовыми отверстиями, в одно из которых вворачивается дренажный штуцер 20. Второе отверстие (технологическое) заглушено пробкой 29. Крепление корпуса к коробке приводов осуществляется фланцем *Б* при помощи быстросъемного хомута. Для центровки корпуса относительно коробки приводов во фланец запрессован фиксирующий штифт. По оси корпуса расточено отверстие для размещения в нем стакана 22 шарикоподшипников 7 и 10, а также корпуса уплотнения 13.

Качающий узел насоса состоит из двух крыльчаток 3 и 28, установленных на вале 14 и зафиксированных на нем шпонками 2. Обе крыльчатки выполнены отливкой из алюминиевого сплава.

Основная крыльчатка 3 представляет собой диск с десятью рабочими лопатками с одной стороны и восемью прямыми разгрузочными лопатками с другой.

Дополнительная крыльчатка (шnek) 28 представляет собой колесо с десятью лопатками.

Положение крыльчаток на вале регулируется подбором шайб 23, 24, 25, 26, 27. Вал вращается в корпусе на двух шарикоподшипниках 7 и 10, между которыми установлена распорная втулка 8. Все установленные на валике детали фиксируются гайкой 1, накрученной на его переднюю резьбовую поверхность. Сзади вал оканчивается квадратным хвостовиком под шлицевую втулку 15, посредством которой он входит в зацепление с муфтой коробки приводов.

Узел уплотнения насоса состоит из резиновой манжеты 17 и корпуса 13. На отбортовку манжеты, обжимающей вращающийся вал, надета браслетная пружина, спаянная в кольцо. В корпусе 13 манжета крепится конусом 16.

Схема, поясняющая работу насоса, приведена на рис. 7.3.

При вращении ротора насоса топливо, поступающее по входному каналу 1 вовлекается крыльчаткой 2 во вращение. Под действием центробежных сил топливо с повышенным давлением и скоростью отбрасывается в улитку 3. Дальнейшее движение топлива по расширяющемуся каналу улитки сопровождается уменьшением скорости потока и, соответственно, ростом давления. Шнек 4 при работе насоса создает подпор на входе в основную крыльчатку с целью предотвращения кавитации.

Из выходного патрубка насоса топливо через угольник 30 (рис. 7.2) поступает в магистраль нагнетания. Часть топлива из полости выходного патрубка по каналу Л корпуса подается на смазку и охлаждение шарикоподшипников качающего узла. Топливо, проникающее в зазор между корпусом насоса и стенкой основной крыльчатки, отбрасывается оттуда к периферии разгрузочными лопатками, благодаря чему снижается давление за крыльчаткой и обеспечивается ее разгрузка от осевой силы.

Часть топлива при работе насоса просачивается через манжетное уплотнение в дренажную полость Д, откуда по каналу К через штуцер 20 удаляется в дренажную магистраль. Благодаря действию эжектора 13 (см. рис. 7.1) в полости Д создается разрежение, препятствующее проникновению топлива в полость коробки приводов.

В процессе эксплуатации двигателя регламентные работы на насосе не проводятся. Не требует насос и специального ухода.

Замена насоса в эксплуатации может производиться в следующих случаях:

- при появлении течи топлива из дренажного отверстия более $0,5 \text{ см}^3/\text{мин}$;

- при невозможности устранения течи топлива в месте разъема корпуса и крышки подтяжкой гаек;

- при разрушении хвостовика вала насоса.

Топливный фильтр (рис. 7.4) предназначен для тонкой очистки топлива, поступающего в двигатель, от механических примесей. Фильтр крепится шпильками к корпусу первой опоры слева по полету.

Основные технические данные:

1. Тонкость фильтрации, мм:

номинальная	0,016
абсолютная	0,025
2. Гидравлическое сопротивление
чистого фильтра при расходе
20 л/мин. МПа (кгс/см²) не более 0,02 (0,2)
3. Перепад давлений на фильтро-
элементе, при котором открыва-
ется перепускной клапан,
МПа (кгс/см²) 0,07+0,01 (0,7+0,1)
4. Перепад давлений на фильтро-
элементе, при котором срабаты-
вает сигнализатор, МПа (кгс/см²) 0,04±0,008 (0,4±0,08)
5. Рабочее давление, МПа (кгс/см²) не более 1,0 (10)
6. Масса фильтра, кг не более 1,1

Основными узлами фильтра являются стакан 2, крышка 1 и фильтроэлемент 3. Стакан выполнен из алюминиевого сплава сваркой. В верхней его части имеется резьба для соединения с крышкой и кольцевая канавка под резиновое уплотнительное кольцо 7. В нижнюю часть стакана ввернут сливной клапан 16 шарикового типа.

В алюминиевой крышке фильтра размещается перепускной 12 и дренажный 9 клапаны, а также сигнализатор 10 перепада давления СП-0,4Э.

Перепускной клапан предназначен для перепуска в насос-регулятор неочищенного топлива в случае засорения фильтроэлемента и состоит из седла 11, клапана 12 со штоком, пружины 15 и заглушки 13.

Дренажный клапан 9 шарикового типа предназначен для стравливания воздуха из внутренней полости фильтра.

Сигнализатор перепада давления СП-0,4Э предназначен для выдачи сигнала на светосигнальное табло при засорении фильтроэлемента.

Фильтроэлемент 3 представляет собой гофрированный сетчатый цилиндр, обтянутый сеткой саржевого плетения и сваренный по торцам с фланцами. Внутри цилиндра устанавливается перфорированный каркас. Снаружи на фильтрующий элемент устанавливается защитный перфорированный кожух.

Центровка фильтроэлемента в полости фильтра производится по кольцевым выступам стакана и крышки.

В процессе работы двигателя топливо через входной штуцер, ввернутый в крышку фильтра, поступает в полость стакана.

Пройдя через фильтрующую сетку, топливо входит внутрь фильтроэлемента, откуда через выходную полость крышки и выходной штуцер поступает в топливную систему двигателя. Загрязнение сетки фильтроэлемента в процессе работы сопровождается возрастанием перепада давлений между полостями нефилтрованного и очищенного топлива. При перепаде давлений $\Delta p = (0,04 \pm 0,008)$ МПа $[(0,4 \pm 0,08)$ кгс/см²] сигнализатор СП-0,4Э замыкает цепь светосигнального табло «Засорен. фильтр лев. (прав.) двиг», расположенного на левой приборной доске.

При возрастании перепада давлений до $0,07^{+0,01}$ МПа ($0,7^{+0,1}$ кгс/см²) открывается перепускной клапан и часть неочищенного топлива поступает в выходную полость фильтра минуя фильтроэлемент.

Техническое обслуживание фильтра при эксплуатации двигателя заключается в периодической замене и промывке фильтроэлемента.

ДРЕНАЖНЫЙ КЛАПАН

Дренажный клапан (рис. 7.5) предназначен для слива топлива из камеры сгорания при выключении двигателя. При работающем двигателе через корпус дренажного клапана осуществляется подвод топлива в коллектор форсунок, а также слив топлива из КНВ.

Клапан крепится к наружному диффузору камеры сгорания снизу четырьмя винтами.

Корпус клапана 2 выполнен отливкой из алюминиевого сплава, имеет фланец крепления к камере сгорания, а также ряд резьбовых отверстий и приливов.

В нижнее резьбовое отверстие корпуса ввернуто седло клапана 9, во внутренней полости которого устанавливается клапан 10 с пружиной 8. В верхнем положении клапан фиксируется стопорным кольцом 11. Полость клапана через каналы корпуса соединена с дренажной полостью Д и полостью штуцера 4 дренажа камеры сгорания. В верхней части корпуса, которая при монтаже клапана входит в проточную часть камеры сгорания, имеется два отверстия, соединенных через внутренние каналы со штуцерами 3 и 7 подвода топлива от насоса-регулятора. При монтаже дренажного клапана на двигателе в эти отверстия вставляются трубки коллектора форсунок. От воздействия горячего воздуха верхняя часть корпуса защищена экраном 12.

Спереди в корпус вворачивается штуцер 6 слива топлива из клапана наддува воздуха, а сзади — штуцер 5 отвода топлива в дренажный бачок вертолета.

На неработающем двигателе клапан 10 своей пружиной 8 отжимается в крайнее верхнее положение, обеспечивая при этом беспрепятственный слив топлива и конденсата из камеры сгорания в дренажный бачок через полость Д и штуцер 5. В начальный момент запуска под действием давления воздуха, поступающего из камеры сгорания через штуцер 4, клапан пе-

ремещается вниз и при давлении, равном 0,12 МПа (1,2 кгс/см²), прижимается к седлу, отсекая полость камеры сгорания от дренажных магистралей.

Слив топлива из клапана наддува воздуха осуществляется через полость *Д* корпуса независимо от положения клапана.

Предельная норма утечек топлива через дренажный клапан составляет 5 см³/мин. Загрязнение клапана механическими включениями, имеющимися в сливаемом топливе, приводит к его неплотному закрытию, увеличению утечек топлива и прорыву газа из камеры сгорания в дренажную систему. Внешним признаком данного дефекта является нагрев дренажного бачка вертолета. В этом случае седло 9 вместе с клапаном выворачивается из корпуса и промывается.

ТОПЛИВНЫЙ КОЛЛЕКТОР С ФОРСУНКАМИ

Топливный коллектор обеспечивает подвод топлива в камеру сгорания и его качественный распыл на всех режимах работы двигателя.

Конструктивно коллектор (рис. 7.6) представляет собой кольцевой узел, состоящий из двенадцати двухсопловых центробежных форсунок, соединенных между собой двумя рядами трубок. Коллектор устанавливается внутри камеры сгорания и крепится к ее корпусу 5 при помощи трех подвесок 2, ввернутых в корпуса форсунок 18. Своей гладкой цилиндрической частью подвески устанавливаются в отверстия втулок 4, которые, в свою очередь, крепятся гайками 3 к наружному корпусу диффузора камеры сгорания 5. Такое крепление коллектора обеспечивает надежное его центрирование в корпусе в условиях значительных температурных расширений.

В нижней части в коллектор вварены тройники 19 и 22 с трубопроводами 20 и 21, через которые производится подвод дозированного топлива из корпуса дренажного клапана.

Схема топливной форсунки представлена на рис. 7.7. Принципиально такая форсунка образована двумя нерегулируемыми форсунками, каждая из которых имеет собственное сопло и камеру завихрения.

Внутренняя форсунка питается от первого контура 1, соединенного с насосом-регулятором, и через сопло 4 малого диаметра подает топливо в камеру сгорания. Подача топлива в первый контур начинается в процессе запуска двигателя в тот момент, когда давление в насосе-регуляторе возрастает до 0,25...0,3 МПа [(2,5...3) кгс/см²]. Расход топлива через первый контур $G_{ф1}$ находится в прямой зависимости от давления перед форсункой p_T .

Второй контур 6 отделен от первого распределительным клапаном 7, который при запуске и на пониженных режимах работы двигателя закрыт. При $p_T = (3,2 \pm 0,1)$ МПа [(32 ± 1) кгс/см²] клапан 7 открывает доступ топлива во второй контур

й к соплу 4 подключается сопло большого диаметра 5. Начиная с этого момента производительность форсунки будет складываться из расхода топлива через первый контур $G_{ф1}$ и расхода через второй контур $G_{ф2}$.

Подключение второго контура обеспечивает достижение максимального расхода топлива через форсунку при сравнительно умеренных значениях давления топлива 3,8 МПа (38 кгс/см²), в то время как у нерегулируемой форсунки для этого потребовалось бы поднять давление примерно до 40...60 МПа (400...600 кгс/см²). Максимально допустимое значение давления перед форсунками составляет 6 МПа (60 кгс/см²), что обеспечивает достаточно большой запас производительности форсунок и гарантирует получение требуемого расхода топлива на взлетном режиме даже при выключении из работы (засорении) 4—5 форсунок.

Конструктивно форсунка (см. рис. 7.6) представляет собой набор распыливающих и фильтрующих элементов первого и второго контуров, установленных в общем корпусе 18 и закрепленных в нем гильзой 9. Гильза наворачивается на резьбу корпуса и стопорится завальцовкой ее кожуха 8 в специальные фрезеровки корпуса. Снаружи на гильзу напаян кожух 14 с отверстиями для прохода воздуха на обдув сопла для исключения нагарообразования.

К фильтрующим элементам форсунки относится сетчатый фильтр первого контура 7 и резьбовой фильтр 10 второго контура. Фильтр 10 представляет собой гильзу, на наружной цилиндрической поверхности которой нарезана мелкая многозаходная резьба и несколько шлицев, образующие каналы для прохода топлива.

Узел распылителя форсунки состоит из завихрителя первого контура 13, сопла первого контура 12 и сопла второго контура 11. Причем сопло первого контура одновременно выполняет роль завихрителя второго контура. Положение завихрителя 13 фиксируется поджатием его к соплу 12 пружиной 17 через фильтр 7.

Герметичность форсунки обеспечивается тарированным обжатием конусного медного кольца 16, прижатого к соплу 11 гильзой 9 через нажимное кольцо 15.

В первый контур форсунок топливо поступает через трубопровод 21 и тройник 22. Через трубки коллектора топливо затем поступает в полость Б форсунки, проходит топливный фильтр 7 и через завихритель 13 и сопло первого контура 12 выходит в камеру сгорания. Закрутка топлива перед подачей в камеру сгорания происходит при проходе его через два тангенциальных паза, выполненных на передней конической части завихрителя.

Подача топлива во второй контур производится через трубопровод 20 и тройник 19. Из трубок коллектора топливо поступает в кольцевую полость А форсунки, откуда через фильтрующие каналы резьбового фильтра 10, осевые отверстия сопла 12 и

тангенциальные пазы на его внешней поверхности подается к отверстию сопла второго контура 11.

В процессе эксплуатации двигателя специального ухода топливные форсунки не требуют.

ЭЖЕКТОР

Эжектор (рис. 7.8) предназначен для удаления топлива и масла из дренажных полостей насоса-регулятора НР-ЗВМ и насоса ДЦН-70А. Эжектор крепится винтами к фланцу корпуса опор свободной турбины слева по полету.

Основными деталями эжектора являются: корпус 3, штуцер эжектора 1, поворотный штуцер 2.

К штуцеру 1 накидной гайкой крепится трубопровод 7 подвода сжатого воздуха из диффузора камеры сгорания. К поворотному штуцеру 2 также накидной гайкой крепится трубопровод 6 дренажа НР-ЗВМ и ДЦН-70А.

При проходе воздуха через калиброванное осевое отверстие штуцера 1 его скорость увеличивается, а статистическое давление падает. В результате этого в полости поворотного штуцера создается разрежение, благодаря которому происходит отсос топлива и масла из дренажных полостей и их удаление в проточную часть выходного устройства.

Работа эжектора одновременно обеспечивает поддержание в дренажных полостях агрегатов НР-ЗВМ и ДЦН-70А разрежения, препятствующего проникновению топлива в масляную полость коробки приводов.

КЛАПАН НАДДУВА ВОЗДУХА

Клапан наддува воздуха (КНВ) предназначен для подачи сжатого воздуха от воздушного стартера во второй контур топливных форсунок при запуске двигателя.

Клапан крепится болтами к кронштейну, расположенному на корпусе компрессора справа по полету.

Узел клапана (рис. 7.9) состоит из золотника 4 с резиновым клапаном 3, гильзы 5 и пружины 8 с опорой 7. Детали клапана монтируются в осевой расточке литого алюминиевого корпуса 2. С другой стороны в корпус свернут штуцер 13 подвода воздуха от стартера, в полости которого устанавливается сетчатый воздушный фильтр 11 и узел обратного клапана 14.

При неработающем двигателе золотник 4 под действием пружины 8 устанавливается в крайнее левое положение. При запуске двигателя сжатый воздух, поступающий через штуцер 13 и воздушный фильтр 11, отжимает обратный клапан 14 от седла 10 и через зазор между золотником 4 и гильзой 5 и штуцер 6 поступает во второй контур форсунок. Одновременно с этим через штуцер 1 к резиновому клапану 3 золотника подводится топливо из магистрали первого контура. При возрастании давления топлива от 0,5...0,6 МПа (5...6 кгс/см²) золотник, преодолевая усилие

пружины 8, перемещается в крайнее правое положение и перекрывает подачу воздуха во второй контур.

При отключении воздушного стартера подача воздуха к КНВ прекращается и обратный клапан закрывается, прижимаясь к своему седлу 10 под действием пружины.

При останове двигателя давление топлива, подводимое к золотнику, резко падает, что вызывает его открытие. При этом топливо, попадающее в полость КНВ из магистрали второго контура, через штуцер 15 отводится в дренажную магистраль двигателя. Проникновение топлива в воздушную магистраль стартера предотвращается в это время обратным клапаном.

7.4. ХАРАКТЕРНЫЕ НЕИСПРАВНОСТИ АГРЕГАТОВ ТОПЛИВНОЙ СИСТЕМЫ

Опыт эксплуатации двигателя ТВ3-117 показывает, что основными причинами возникновения различных неисправностей в работе топливной системы является засорение ее агрегатов механическими примесями, поступающими вместе в топливом из вертолетной системы (как правило — через дренаж расходного топливного бака), а также нарушение герметичности уплотнений агрегатов ДЦН-70А и НР-3ВМ.

Чистота топливного фильтра 8Д2.966.236. контролируется при работе двигателя по светосигнальному табло «Засорен фильтр лев (прав.) двиг», включение которого происходит при возрастании перепада давлений на фильтроэлементе до 0,04 МПа (0,4 кгс/см²). В случае включения табло в полете двигатель необходимо перевести на пониженный режим до момента погасания табло. После посадки вертолета необходимо осмотреть фильтроэлемент и, не промывая, проверить время его заполнения на установке ПКФ. В случае, если время заполнения превышает 5 с, производится замена фильтроэлемента или его промывка на ультразвуковой установке (УЗУ).

При этом необходимо учитывать, что нарушение технологии промывки также может явиться причиной возрастания перепада давлений и срабатывания сигнализации. Практика показывает, что если промывка фильтра осуществляется не на УЗУ, а волосаной кистью, время его заполнения может превысить норму в 10...15 раз, что при работе двигателя приводит к существенному снижению его мощности.

В случае, если при проверке фильтроэлемента время его заполнения не превысит норму, необходимо устранить неисправность в вертолетной электроцепи датчика-сигнализатора засорения фильтра.

Засорение топливных форсунок ввиду значительного запаса их производительности не вызывает каких-либо видимых отклонений параметров двигателя от нормы даже при полном засорении 4—5 форсунок. Однако это приводит к значительному перераспределению поля температур в камере сгорания и на входе в турбину.

Особенности конструктивного выполнения коллектора и подвода топлива в него вызывают засорение, в первую очередь, верхних форсунок, что соответственно, сопровождается значительным повышением температуры газа в нижней части камеры сгорания и может привести в прогару жаровой трубы и обгоранию сопловых лопаток турбины компрессора. Косвенным признаком возникновения данного дефекта является обгорание нижних термопар измерения температуры газа перед турбиной.

Засорение дренажного клапана (ДК) приводит к нарушению его герметичности, внешним признаком чего является повышенная утечка топлива в дренажный бачок вертолета (более 5 см³/мин). Кроме того нарушение герметичности ДК вызывает при работе двигателя прорыв горячего воздуха из камеры сгорания в дренажный бачок, что сопровождается его перегревом. Несвоевременное обнаружение этого дефекта может привести к прорыву горячего воздуха из дренажного бачка в топливные магистрали двигателя. Для устранения дефекта необходимо вывернуть ДК из корпуса и промыть в керосине. Если и после промывки ДК утечка топлива в дренаже превышает норму, необходимо, отсоединив от ДК трубопровод 22 (см. рис. 7.1), проверить на работающем двигателе герметичность КНВ.

В случае негерметичности КНВ его необходимо заменить*, в противном случае заменяется ДК.

Засорение жиклера эжектора дренажной системы вызывает повышение давления в дренажных полостях агрегатов НР-3ВМ и ДЦН-70А, что в свою очередь, приводит к проникновению топлива в масляную полость коробки приводов. О возникновении данного дефекта может свидетельствовать повышение уровня масла в баке.

Нарушение герметичности уплотнений агрегатов НР-3ВМ и ДЦН-70А вызывает повышенную утечку топлива в дренаж, о чем свидетельствует появление топлива в выхлопном патрубке двигателя. Место утечки определяется последовательным отсоединением трубопровода дренажа от насоса-регулятора и от ДЦН и проверкой величины утечек на работающем двигателе. В случае, если утечки превышают норму (для ДЦН — более 0,5 см³/мин, а для насоса-регулятора — более 25 см³/мин), агрегаты необходимо заменить. Устранять утечку какими-либо другими способами в эксплуатации запрещается.

При наличии повышенной утечки через ДЦН следует учитывать, что ее причиной может являться нарушение герметичности графитового уплотнения. Герметичность уплотнения может быть проверена путем продувки дренажного трубопровода ДЦН воздухом. Если воздух при этом будет проходить через трубку без заметного сопротивления, то причиной дефекта является «залипание» графитового уплотнения.

* Косвенным признаком негерметичности КНВ является также выброс топлива через окна воздушного стартера при работе двигателя.

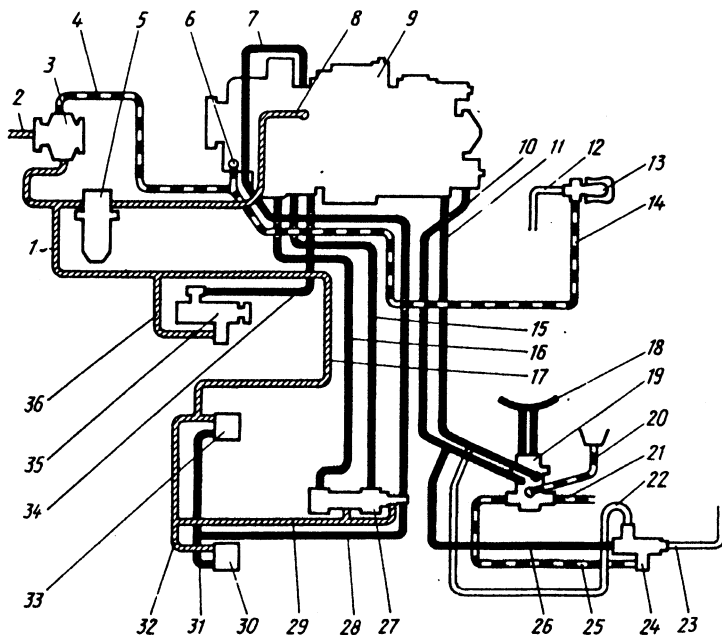


Рис. 7.1. Принципиальная схема топливной системы:

1 — трубопровод подвода топлива от центробежного насоса (ЦН) к фильтру тонкой очистки; 2 — трубопровод подвода топлива из вертолетной системы к ЦН; 3 — центробежный топливный насос ЦН-70А; 4 — трубопровод дренажа топлива и масла из ЦН в эжектор; 5 — фильтр тонкой очистки 8Д2.966.236; 6 — трубопровод дренажа топлива и масла из насоса-регулятора в эжектор; 7 — трубопровод подвода топлива от насоса-регулятора к концевому переключателю гидроцилиндра; 8 — трубопровод подвода топлива от фильтра к насосу-регулятору; 9 — насос-регулятор НР-3ВМ; 10 — трубопровод подвода топлива от насоса-регулятора в первый контур форсунок; 11 — трубопровод подвода топлива от насоса-регулятора во второй контур форсунок; 12 — трубопровод подвода воздуха из диффузора камеры сгорания к эжектору; 13 — эжектор; 14 — трубопровод дренажа топлива и масла из топливных агрегатов в эжектор; 15, 16 — трубопроводы подвода топлива от насоса-регулятора к гидроцилиндру; 17 — трубопровод слива топлива из гидроцилиндра и клапанов перепуска воздуха на вход в топливный фильтр; 18 — коллектор топливных форсунок; 19 — дренажный клапан; 20 — трубопровод дренажа топлива из камеры сгорания; 21 — трубопровод слива топлива из дренажного клапана в дренажный бачок вертолета; 22 — трубопровод подвода воздуха из КНВ в трубопровод 11 второго контура; 23 — трубопровод воздуха от воздушного стартера к КНВ; 24 — клапан наддува воздуха (КНВ); 25 — трубопровод дренажа топлива из КНВ; 26 — трубопровод подвода топлива из трубопровода 10 первого контура к КНВ; 27 — гидроцилиндр с концевым переключателем; 28, 31 — трубопроводы подвода топлива от концевого переключателя гидроцилиндра к клапанам перепуска воздуха; 29 — трубопровод слива топлива из гидроцилиндра; 30, 33 — клапаны перепуска воздуха; 32 — трубопровод слива топлива из клапанов перепуска воздуха; 34 — трубопровод подвода топлива от насоса-регулятора к агрегату ИМ-3А; 35 — исполнительный механизм ИМ-3А; 36 — трубопровод слива топлива из агрегата ИМ-3А

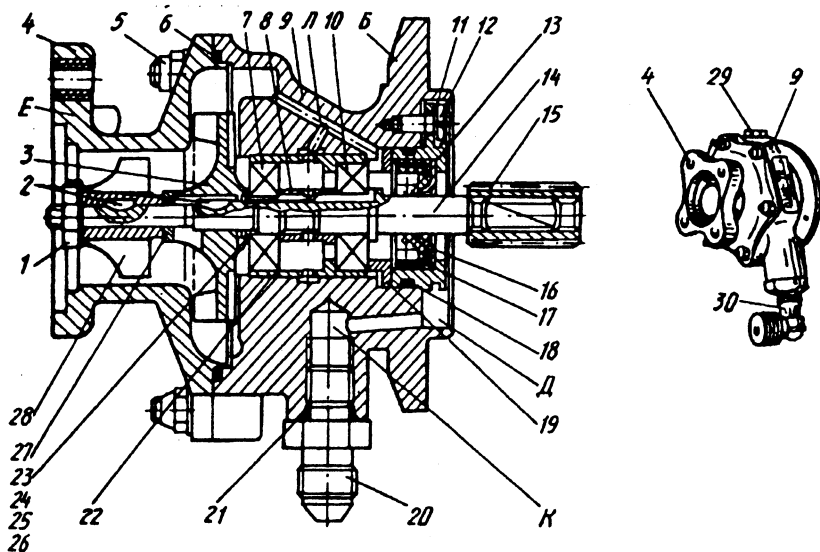


Рис. 7.2. Центробежный топливный насос ДЦН-70А:

1, 5 — гайки; 2 — шпонки; 3 — рабочая крыльчатка; 4 — крышка; 6, 18, 21 — уплотнительные кольца; 7, 10 — шарикоподшипники; 8 — втулка распорная; 9 — корпус; 11 — шайба; 12 — винт; 13 — корпус уплотнения; 14 — вал; 15 — шлицевая втулка; 16 — конус; 17 — манжета; 19 — втулка упорная; 20 — дренажный штуцер; 22 — стакан подшипников; 23, 24, 25, 26, 27 — регулировочные шайбы; 28 — дополнительная осевая крыльчатка; 29 — пробка; 30 — угольник; Б, Е — фланцы; Д — дренажная полость; К, Л — каналы

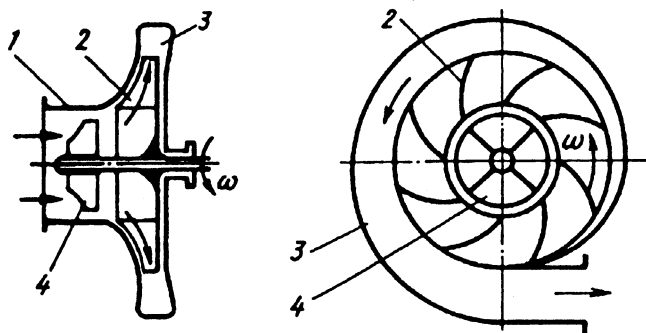


Рис. 7.3. Схема работы центробежного насоса:

1 — входной канал; 2 — рабочая крыльчатка; 3 — улитка; 4 — шнек

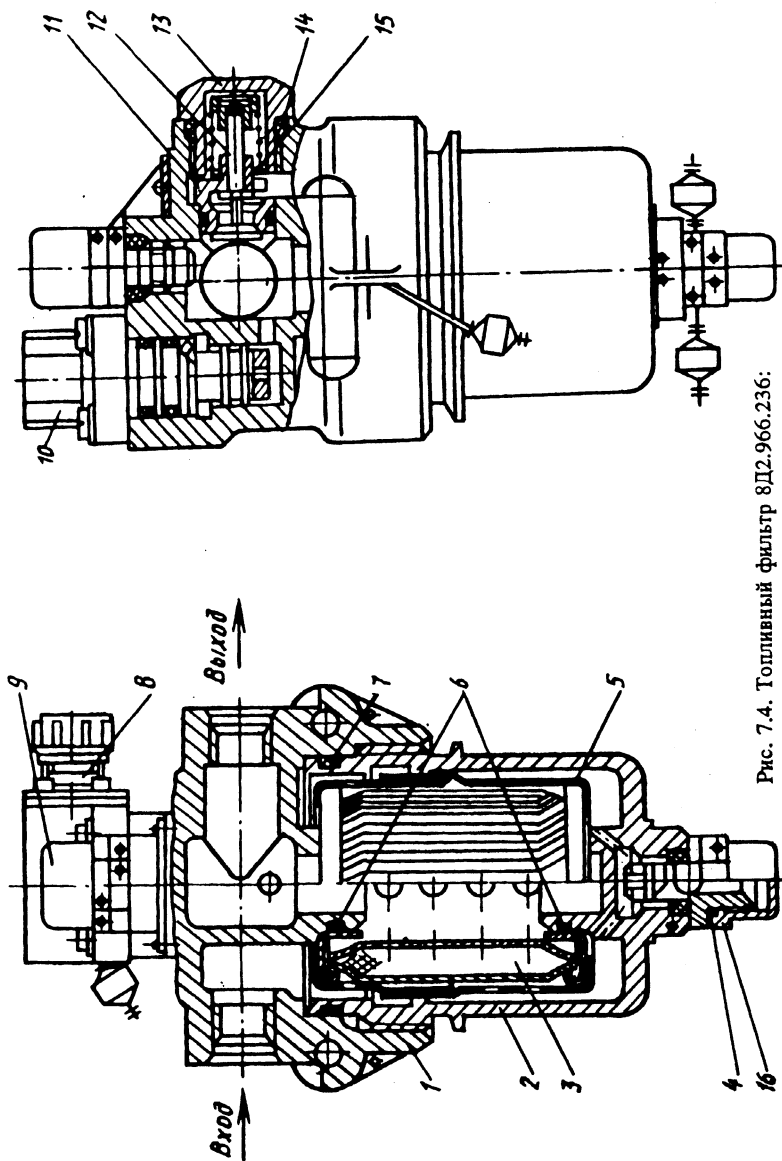


Рис. 7.4. Топливный фильтр 8Д2.966.236:

1 — крышка; 2 — стакан; 3 — фильтроэлемент; 4, 6, 7, 14 — уплотнительные кольца; 5 — защитный кожух; 8 — штепсельный разъем сигнализатора перепада давлений; 9 — дренажный клапан; 10 — сигнализатор перепада давлений; 11 — седло клапана; 12 — перепускной клапан; 13 — запушка; 15 — пружина; 16 — клапан сливной

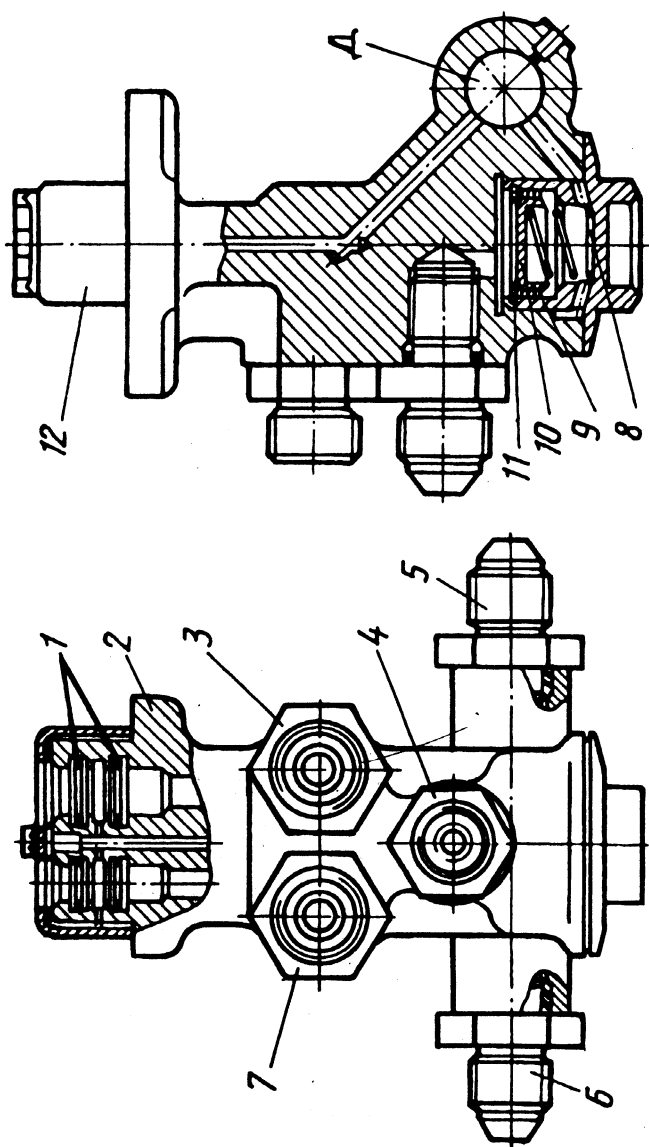


Рис. 7.5. Дренажный клапан:

1 — уплотнительные кольца; 2 — корпус; 3 — штуцер подвода топлива во второй контур форсунок; 4 — штуцер дренажа топлива из камеры сгорания; 5 — штуцер слива топлива в дренажный бачок; 6 — штуцер слива топлива из клапана наддува воздуха; 7 — штуцер подвода топлива в первый контур форсунок; 8 — пружина клапана; 9 — седло клапана; 10 — клапан; 11 — стопорное кольцо; 12 — экран; Д — полость

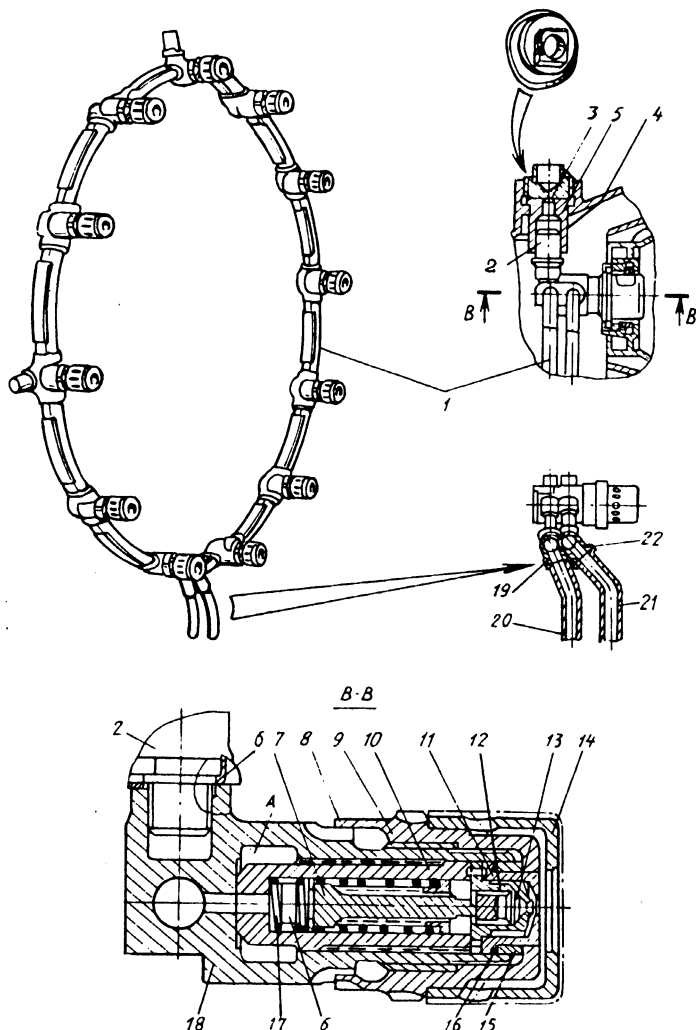


Рис. 7.6. Топливный коллектор с форсунками:

1 — коллектор; 2 — подвеска; 3 — гайка; 4 — втулка подвески; 5 — корпус (наружный диффузор) камеры сгорания; 6 — шайба; 7 — сетчатый фильтр первого контура; 8 — кожух гильзы; 9 — гильза; 10 — резьбовой фильтр второго контура; 11 — сопло второго контура; 12 — сопло первого контура; 13 — завихритель первого контура; 14 — кожух; 15 — нажимное кольцо; 16 — медное уплотнительное кольцо; 17 — пружины; 18 — корпус форсунки; 19, 22 — тройники; 20, 21 — трубопроводы подвода топлива; А — полость второго контура; Б — полость первого контура

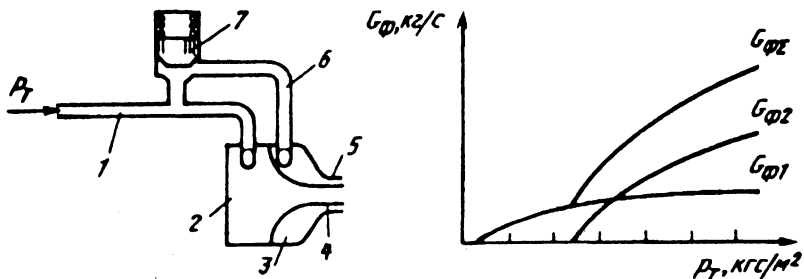


Рис. 7.7. Схема работы двухсопловой форсунки:

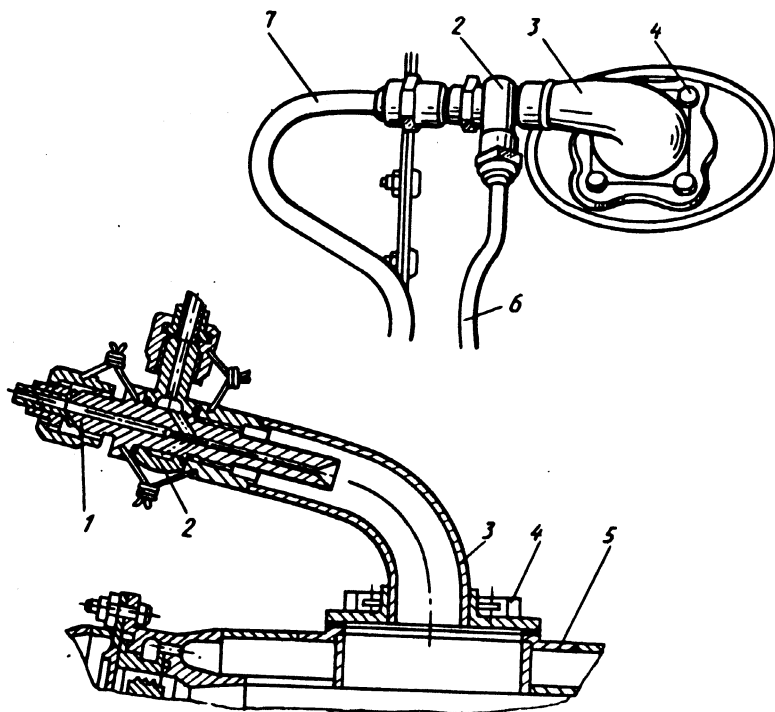


Рис. 7.8. Эжектор:

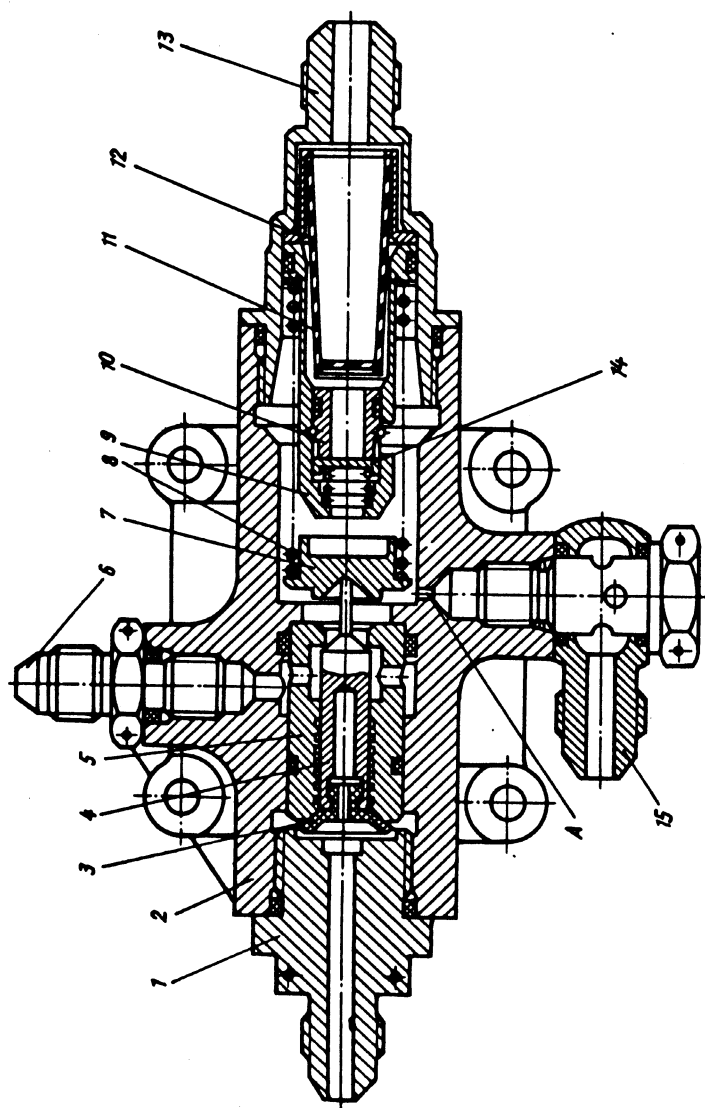


Рис. 7.9. Клапан надува воздуха.

1 — штуцер подвода топлива из магистрали первого контура; 2 — корпус; 3 — резиновый клапан; 4 — золотник; 5 — гильза; 6 — штуцер подвода воздуха в магистраль второго контура; 7 — опора пружины; 8 — пружина; 9 — корпус обратного клапана; 10 — седло обратного клапана; 11 — воздушный фильтр; 12 — втулка фильтра; 13 — штуцер подвода воздуха из воздушного стартера; 14 — обратный клапан; 15 — штуцер слива топлива в дренажный бачок; А — канал

СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

8.1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ

Режим работы вертолетной силовой установки определяется соотношением между располагаемой мощностью двигателя (N_e) и мощностью, потребляемой для вращения несущего винта (N_v).

Величина располагаемой мощности двигателя зависит от таких параметров его рабочего процесса, как расход воздуха G_v , степень повышения давления в компрессоре π_k , температура газа перед турбиной $t_{г*}$, коэффициенты полезного действия компрессора и турбины и многих др. Существенное влияние на располагаемую мощность двигателя оказывают параметры атмосферного воздуха, изменение которых влияет практически на все параметры рабочего процесса. Так, например, понижение температуры наружного воздуха t_n сопровождается увеличением π_k и G_v и, соответственно, приводит к увеличению располагаемой мощности. Уменьшение давления атмосферного воздуха p_n , в свою очередь, вызывает падение мощности вследствие уменьшения расхода воздуха через двигатель.

Практически воздействие на весь комплекс параметров, определяющих режим работы двигателя, осуществляется регулированием расхода топлива G_T , подаваемого в камеру сгорания топливной системой высокого давления. Поэтому для вертолетного ГТД расход топлива G_T является основным, а в некоторых случаях и единственным регулирующим фактором.

Мощность, необходимая для вращения несущего винта, находится в прямой зависимости от его частоты вращения n_{nv} и шага φ_{nv} . Оказывают влияние на величину потребной мощности и полетные условия: высота и скорость полета, плотность воздуха и т. п. Воздействие на величину потребной мощности практически производится путем изменения шага винта φ_{nv} , причем в вертолетной силовой установке это осуществляется только вручную при помощи рычага «шаг—газ» (рычага общего шага).

На равновесных режимах работы двигателя потребная и располагаемые мощности согласованы между собой, т. е. $N_e = N_v$. От того, на каком уровне поддерживаются значения N_e и N_v , зависит частота вращения несущего винта и развиваемая им тяга, величина тепловых и механических нагрузок, действующих на двигатель и трансмиссию, удельный расход топлива и другие параметры силовой установки.

С целью поддержания баланса потребной и располагаемой мощностей на оптимальном для данных условий полета уровне осуществляется регулирование двигателя, заключающееся в поддержании постоянства или в изменении по определенному закону основных величин, характеризующих режим его работы. Учитывая большое число этих величин и сложные взаимосвязи между ними и атмосферными условиями, применяется автоматическое регулирование двигателя, осуществляемое системой автоматического регулирования.

Система регулирования двигателя ТВЗ-117ВМ представляет собой комплекс гидравлических и электронных автоматических устройств. Гидравлические устройства входят составной частью в топливную систему высокого давления и сосредоточены в основном, в агрегате НР-ЗВМ. К гидравлической части системы регулирования относится также исполнительный механизм ИМ-3А и гидроцилиндр с концевым переключателем.

К электронной части системы регулирования относится электронный регулятор двигателя ЭРД-ЗВМ, регулятор температуры РТ-12-6, а также система датчиков температуры и давления наружного воздуха, частоты вращения свободной турбины и турбокомпрессора и температуры газа перед турбиной. Оба электронных регулятора расположены на вертолете и связаны с насосом-регулятором через два исполнительных механизма: ИМ-3А и ИМ-47, причем ИМ-47 конструктивно входит в состав насоса-регулятора.

8.2. ПРОГРАММА РЕГУЛИРОВАНИЯ

Процесс регулирования заключается в воздействии по определенному закону на параметры рабочего процесса двигателя, которые принято называть **регулируемыми параметрами**. В качестве регулируемых выбирают те параметры рабочего процесса, которые наиболее полно определяют развиваемую двигателем мощность, тепловую и динамическую напряженность двигателя, а также легко и с достаточной точностью поддаются измерению.

Для вертолетного ГТД со свободной турбиной к этим параметрам относится расход воздуха через двигатель G_v , степень повышения давления в компрессоре π_k , температура газа перед турбиной $t_{г*}$, а также частота вращения ротора свободной турбины ($n_{ст}$), величина которой определяется соотношением между располагаемой мощностью двигателя и потребной винтовой мощностью. При этом величины G_v и π_k контролируются по частоте вращения ротора турбокомпрессора ($n_{тк}$), с которой они связаны прямой зависимостью.

Воздействие на указанные параметры принципиально может осуществляться путем изменения расхода топлива G_t и изменения шага несущего винта $\phi_{ш}$, причем величина $\phi_{ш}$, в силу конструктивных особенностей несущей системы вертолета, может регулироваться только вручную. Исходя из этого при автоматическом регулировании вертолетного двигателя единственным регулирующим фактором является расход топлива.

Заданная зависимость, связывающая регулируемые параметры двигателя и расход топлива с условиями полета и положением органов управления силовой установки, называется **программой регулирования**. При разработке программы следует учитывать, что наличие единственного регулирующего фактора — G_t — дает возможность управлять по определенной программе только одним из основных параметров двигателя $n_{тк}$, $n_{ст}$ или $t_{г*}$. Решение вопроса о том, какой из них выбрать в качестве регулируемого параметра, зависит от тех задач, которые должна решать система регулирования в конкретных условиях эксплуатации.

На основных эксплуатационных режимах двигателя (от второго крейсерского до номинального включительно) в качестве регулируемого параметра выбирается частота вращения свободной турбины — $n_{ст}$. Это объясняется тем, что на данных режимах главной задачей системы регулирования является поддержание оптимального режима несущего винта, при котором его КПД и, соответственно, тяга достигают максимального значения. Для несущего винта вертолета Ми-8МТВ, оптимальным является режим, соответствующий частоте вращения $n_{нв} = (95 \pm 2)\%$. Задача САР, таким образом, сводится при любых полетных условиях к поддержанию постоянства $n_{нв}$ на уровне $(95 \pm 2)\%$. Поскольку ротор несущего винта через редуктор и трансмиссию жестко связан с роторами свободных турбин обоих двигателей, то конкретным способом реализации данной программы является поддержание постоянства $n_{ст}$.

На взлетном режиме основной задачей системы регулирования является ограничение максимальной мощности двигателя, причем ограничивающим фактором в данном случае является прочность главного редуктора и трансмиссии. Необходимость ограничения мощности объясняется особенностями протекания высотно-климатических характеристик двигателя. Определяющим здесь является тот фактор, что двигатель ТВЗ-117ВМ, будучи высотным, в земных условиях становится «переразмеренным», т. е. при стандартных атмосферных условиях и максимальных параметрах рабочего процесса развивает мощность, превышающую максимальное расчетное значение на 220...367 кВт (300...500 л. с.).

Основным фактором, определяющим величину располагаемой мощности двигателя, является частота вращения ротора турбокомпрессора — $n_{тк}$, которая и выступает в данном случае в качестве регулируемого параметра.

Простейшим способом ограничения мощности является поддержание постоянства максимальной частоты вращения ротора турбокомпрессора — $n_{тк_{\max}}$, однако такой способ регулирования не может гарантировать поддержание постоянства мощности двигателя с изменением атмосферных условий. Так, например, при уменьшении температуры наружного воздуха от 50 до минус 50°C мощность двигателя при сохранении $n_{тк_{\max}} = \text{const}$ возрастает в 1,5...2 раза. При этой же программе регулирования увеличение высоты полета будет сопровождаться падением мощности двигателя*.

Исходя из этого для двигателя ТВЗ-117ВМ на взлетном режиме выбрана программа, обеспечивающая ограничение мощности путем корректирования частоты вращения турбокомпрессора по температуре и давлению наружного воздуха. При этом между измеренной величиной $n_{тк}$ и параметрами наружного воздуха устанавливается следующая зависимость:

$$n_{тк_{изм}} = 109,1 + 0,159t_n - 14,41p_n.$$

* При $n_{тк} = \text{const}$ увеличение высоты полета на 500 м вызывает уменьшение мощности двигателя ТВЗ-117ВМ примерно на 75 кВт (100 л. с.).

Согласно этой программе система регулирования по мере увеличения температур наружного воздуха или высоты полета обеспечивает увеличение частоты вращения турбокомпрессора (рис. 8.1 и 8.2), что гарантирует поддержание постоянства взлетной мощности до температуры наружного воздуха $t_n=40^\circ\text{C}$ и высоты полета $H=3,6$ км.

Одновременно с ограничением мощности в этом диапазоне температур воздуха и высот полета ограничиваются и опасные для самого двигателя режимы его работы. Однако, вне данных диапазонов эта защита не действует, вследствие чего и при мощности меньше максимальной возможно возникновение недопустимых для двигателя тепловых и механических нагрузок.

Поэтому, на двигателе ТВЗ-117ВМ помимо ограничения максимальной мощности предусмотрено ограничение максимальной физической и приведенной частот вращения турбокомпрессора, а также максимальной температуры газа перед турбиной.

Ограничение физической (измеренной) частоты вращения турбокомпрессора обусловлено необходимостью защиты ротора двигателя от предельных механических нагрузок. Для двигателя ТВЗ-117ВМ максимально допустимая частота вращения ротора турбокомпрессора составляет 101%. Согласно зависимости, изображенной на рис. 8.1, при $p_n=760$ мм рт. ст. величина $n_{тк}$ достигает этого значения при температуре наружного воздуха примерно $35...40^\circ\text{C}$. Начиная с этого момента САР переключается на программу: $n_{тк_{\max}}=101\%=\text{const}$. При пониженном давлении воздуха переход на эту программу происходит при меньших значениях t_n (см. рис. 8.1).

Ограничение максимальной приведенной частоты вращения ($n_{тк_{пр}}$) является косвенным методом ограничения максимальной степени повышения давления в компрессоре, за счет чего гарантируется устойчивая работа компрессора в условиях пониженных температур и давлений наружного воздуха. Необходимость ограничения, $n_{тк_{пр}}$ обусловлена тем, что при реализации рассмотренной выше программы регулирования увеличение высоты полета вызывает быстрый рост степени повышения давления в компрессоре. Это, в свою очередь, приводит к сокращению запаса его устойчивости и, в определенных условиях, к возникновению так называемого верхнего помпажа.

Значение приведенной частоты вращения*, при которой возникает необходимость ограничения максимальной степени повышения давления, составляет для двигателя 103%. Достигается это значение $n_{тк_{пр}}$ при высоте полета приблизительно равной 3,6 км (т. е. на расчетной высоте), соответственно, при больших высотах полета САР переходят на программу, обеспечивающую поддержа-

* Величина приведенной частоты вращения определяется по формуле

$$n_{тк_{пр}} = n_{тк_{нзм}} \sqrt{\frac{288}{273 + t_{нзм}}}$$

ние постоянства $n_{\text{ткпр}}$ на уровне 103 %. Практически эта программа осуществляется путем уменьшения физической частоты вращения турбокомпрессора (рис. 8.2) в соответствии со следующей зависимостью

$$n_{\text{ткнзм}} = 100,5 + 0,192t_{\text{н}}.$$

Ограничение температуры газа перед турбиной производится с целью защиты турбины компрессора от предельных тепловых нагрузок. Необходимость ограничения обусловлена тем, что при заданной программе регулирования $n_{\text{тк}}$ (см. рис. 8.1) повышение температуры наружного воздуха вызывает интенсивный рост температуры газа вследствие увеличения работы сжатия воздуха в компрессоре. Переход САР на программу ограничения температуры газа происходит в тот момент, когда ее величина достигает значения 990°C.

Из сказанного можно сделать вывод, что на взлетном режиме система регулирования двигателя ТВЗ-117ВМ может в зависимости от полетных условий реализовать одну из четырех программ регулирования:

- 1 — $n_{\text{тк}} = 109,1 + 0,159t_{\text{н}} - 14,41p_{\text{н}}$;
- 2 — $n_{\text{ткmax}} = 101\% = \text{const}$;
- 3 — $n_{\text{ткпр}} = 103\% = \text{const}$; ($n_{\text{ткнзм}} = 100,5 + 0,192t_{\text{н}}$);
- 4 — $t_{\text{гmax}} = 990^\circ\text{C} = \text{const}$.

Выполнение этих программ обеспечивают агрегаты, входящие в состав электронной части САР: ЭРД-3ВМ и РТ-12-6. В случае отказа электронных регуляторов в системе регулирования предусмотрен переход на программу ограничения максимального расхода топлива ($G_{\text{тmax}}$), что обеспечивает косвенное ограничение мощности двигателя. В земных условиях переход на данную программу сопровождается возрастанием $n_{\text{тк}}$ на 0,25...0,5 %, что соответствует увеличению мощности двигателя примерно на 37...75 кВт (50...100 л. с.).

На чрезвычайном режиме система регулирования обеспечивает повышение мощности двигателя примерно на 150 кВт (200 л. с.) за счет увеличения частоты вращения ротора турбокомпрессора на $1^{+0,2}\%$ по сравнению с частотой вращения взлетного режима.

Переход на чрезвычайный режим осуществляется автоматически, только в случае отказа соседнего двигателя.

На режиме малого газа САР выполняет задачу по поддержанию постоянства минимальной мощности двигателя, при которой обеспечивается устойчивая его работа. Исходя из этого в качестве регулируемого параметра выбирается величина $n_{\text{тк}}$, а программа регулирования будет иметь вид: $n_{\text{тк}} = \text{const}$. При температуре наружного воздуха более 5°C величина $n_{\text{тк}}$ поддерживается на уровне, примерно 75 %. При снижении $t_{\text{н}}$ САР корректирует величину $n_{\text{тк}}$ по закону, обеспечивающему снижение измеренной частоты вращения на 0,192 % на каждый градус.

Кроме рассматриваемых программ, обеспечивающих регулирование двигателя путем изменения подачи топлива в камеру сгорания, на двигателе ТВЗ-117ВМ предусмотрено регулирование компрессора с целью расширения запаса его устойчивости и повышения коэффициента полезного действия.

Регулирующими факторами для компрессора являются:

положение клапанов перепуска воздуха (КПВ) из-за VII ступени компрессора;

установочный угол лопаток ВНА и НА I—IV ступеней.

Управление клапанами перепуска и направляющими лопатками производится в соответствии с приведенной частотой вращения турбокомпрессора — $n_{\text{ткпр}}$.

От момента запуска до $n_{\text{ткпр}} = 81\%$ направляющие лопатки удерживаются (по лимбу ВНА) на упоре $27\text{—}28,5^\circ$.

Дальнейшее возрастание $n_{\text{ткпр}}$ приводит к уменьшению $\alpha_{\text{ВНА}}$ по линейному закону (рис. 8.3) и при $n_{\text{ткпр}} = 100\%$ $\alpha_{\text{ВНА}} = 0^\circ$.

Возрастание $n_{\text{ткпр}}$ до максимального значения приводит к установке лопаток НА на упор $-(6,5 \pm 0,5)$.

Срабатывание клапанов перепуска воздуха происходит в диапазоне $n_{\text{ткпр}} = 84\text{...}87\%$.

8.3. СТРУКТУРНАЯ СХЕМА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

В соответствии с выполняемыми функциями система регулирования двигателя (рис. 8.4) может быть разделена на следующие составные части:

- систему основного контура;
- систему ограничения максимальных режимов;
- систему ограничения температуры газа перед турбиной;
- систему защиты свободной турбины;
- систему регулирования компрессора.

Система основного контура предназначена для регулирования расхода топлива, подаваемого в камеру сгорания, от момента запуска двигателя до номинального режима включительно, а также для отключения воздушного стартера. При этом, в зависимости от режима работы двигателя, система обеспечивает выполнение следующих функций:

автоматический запуск двигателя на земле и в высотных условиях;

автоматическое поддержание заданных режимов по частоте вращения турбокомпрессора или свободной турбины;

приемистость и сброс газа;

равенство мощностей спаренных двигателей путем поддержания равных давлений за компрессорами;

распределение топлива по контурам форсунок;

ручную перенастройку частоты вращения несущего винта;

ограничение максимального расхода топлива на взлетном режиме при отказе электроники;

выдачу сигнала на отключение воздушного стартера при запуске двигателя;

останов двигателя.

В состав системы основного контура входит комплекс гидравлических устройств, сосредоточенных в насосе-регуляторе НР-ЗВМ. В первую очередь к ним относятся устройства, через которые непосредственно осуществляется питание двигателя топливом:

плунжерный насос высокого давления (ПН);

основная дозирующая игла (ОДИ);

клапан постоянного перепада на дозирующей игле (КПП);

стоп-кран (СК);

запорные клапаны первого (ЗК-1) и второго (ЗК-2) контуров;

распределительный клапан (РК);

подпорный клапан (ПК).

Ключевым звеном в данной совокупности устройств является сочетание основной дозирующей иглы и клапана постоянного перепада, посредством которых осуществляется регулирование расхода топлива.

Принцип регулирования определяется типом качающего узла, в качестве которого в данной системе используется нерегулируемый плунжерный насос. Производительность такого насоса (G_H) зависит только от $n_{тх}$ (рис. 8.5), из чего следует, что для обеспечения потребного для двигателя расхода топлива ($G_{потр}$) на всех режимах насос должен иметь достаточный запас производительности. Дозирование топлива, таким образом, должно сводиться к сливу части топлива из магистрали нагнетания насоса в магистраль всасывания. Слив топлива осуществляется через КПП, положение которого определяется основной дозирующей иглой. При неизменном положении ОДИ количество сливаемого через КПП топлива будет постоянным. Соответственно постоянным будет и количество топлива, подаваемого в двигатель. Перемещение ОДИ, которое происходит по сигналам от автоматических устройств, сопровождается изменением перепада давлений на ее дозирующем сечении

$$\Delta p = p_{тн} - p_{тд}.$$

где $p_{тн}$ — давление недозированного топлива перед ОДИ;

$p_{тд}$ — давление дозированного топлива за ОДИ.

В соответствии с этим КПП меняет величину слива топлива таким образом, чтобы перепад давлений на ОДИ сохранился постоянным. Так, например, при уменьшении дозирующего сечения ОДИ величина Δp имеет тенденцию к увеличению, в соответствии с чем КПП увеличивает количество сливаемого топлива. В результате подача топлива в двигатель уменьшается пропорционально уменьшению площади проходного сечения иглы.

От ОДИ дозированное топливо через стоп-кран (СК) подается к системе клапанов, распределяющей топливо по контурам форсунок. В первый контур топливо подается через запорный клапан (ЗК-1) и подпорный клапан (ПК). Подача топлива во второй контур регулируется распределительным клапаном (РК).

Стоп-кран, расположенный между ОДИ и распределительным устройством, предназначен для останова двигателя путем прекращения подачи топлива в камеру сгорания. Перемещение стоп-крана осуществляется через рычаг останова (РО), расположенный на насосе-регуляторе.

Среди рассмотренных устройств ОДИ является в системе основного контура единственным регулирующим органом, через который оказывается воздействие на режим двигателя.

На установившихся режимах ОДИ управляется одним из следующих устройств:

регулятором частоты вращения турбокомпрессора ($PЧВ_{TK}$) с термокорректором (ТК);

регулятором частоты вращения свободной турбины ($PЧВ_{CT}$); синхронизатором мощности (СМ);

клапанами минимального давления ($КМД_{TK}$ и $КМД_{CT}$).

В группу этих устройств входит также блокировочный золотник $БЗ_{CM}$, предназначенный для отключения синхронизатора мощности при возрастании $n_{вв}$ до 107 ± 2 %.

На переходных режимах (запуск, приемистость, сброс газа) ОДИ управляется либо автоматом запуска (АЗ), либо автоматом приемистости (АП), причем на взлетном режиме в случае отказа электроники АП выполняет функция ограничителя макс. ального расхода топлива (ОМР).

Кроме перечисленных устройств в состав системы основного контура входит золотник отключения воздушного стартера ($ЗО_{вс}$), работающий совместно с микровыключателем (МВ).

Конструкция регуляторов частоты вращения ТК и СТ предусматривает возможность изменения их настройки, благодаря чему обеспечивается управление режимами работы двигателя.

Система управления настройки регулятора ТК выполнена по схеме «шаг—газ» и включает в себя:

рычаг объединенного управления «шаг—газ» ($PШГ$);

рукоятку коррекций (РК);

рычаги отдельного управления двигателями (РРУД).

Кинематическая связь указанных органов управления с $PЧВ_{TK}$ осуществляется через механизм объединенного управления вертолета и рычаг управления двигателем (РУД), расположенный на насосе-регуляторе. Положение РУД контролируется по лимбу, имеющему деление от 0 до 140° .

Вращение рукоятки коррекции вызывает одновременное перемещение РУД насосов-регуляторов обоих двигателей по лимбу от $\alpha_{РУД} = 0...3^{+7^\circ}$ («левая коррекция») до $\alpha_{РУД} = 50^\circ$ («правая коррекция»). При этом настройка регуляторов возрастает от $n_{TK_{настр}} \approx 75$ % до $n_{TK_{настр}} = 94$ % (рис. 8.6).

Рычагом «шаг—газ», который кроме насосов-регуляторов имеет кинематическую связь с автоматом перекоса несущего винта, РУД обоих двигателей перемещается по лимбу на 70° от $\alpha_{РУД} = 50^\circ$ до $\alpha_{РУД} = 120^{+2^\circ}$, что соответствует увеличению шага несущего винта от $\varphi_{НВ} = 1^\circ$ до $\varphi_{НВ} = 15^\circ$.

При этом настройка $PЧВ_{TK}$ первоначально возрастает и при $\alpha_{руд} = (77 \pm 2)^\circ$ ($\varphi_{нв} = 4^\circ$) достигает максимального значения 101,5 %. При дальнейшем перемещении РШГ вплоть до $\alpha_{руд} = 120^\circ$ настройка $PЧВ_{TK}$ не меняется.

При помощи рычагов раздельного управления РУД двигателей могут быть установлены по лимбу насоса в любое положение от 0 до 120° .

Перемещение РУД в положение $135...140^\circ$ может быть произведено рычагом раздельного управления при условии снятия упоров на лимбе насоса-регулятора и в кабине пилота. В этом положении РУД, которое называется «технологической площадкой», настройка $PЧВ_{TK}$ снижается по сравнению с максимальной на 6...8 %. Практически это используется для проверки правильности настройки $PЧВ_{TK}$.

Управление настройкой регулятора частоты вращения СТ производится при помощи двух корректирующих механизмов — основного и дополнительного. Основной механизм приводится в действие от органов управления двигателем через РУД насоса-регулятора и обеспечивает в диапазоне $\alpha_{руд}$ от 30 до 114° увеличение настройки $PЧВ_{СТ}$ на 6 % (рис. 8.7). Введение шестипроцентной коррекции компенсирует статизм регулятора СТ, что обеспечивает на основных эксплуатационных режимах поддержание постоянства $n_{нв}$ с высокой точностью. Наличие статизма в работе $PЧВ_{СТ}$ обусловлено особенностями его конструкции (см. описание устройства и принципа работы $PЧВ_{СТ}$) и практически означает, что при неизменной настройке регулятора перевод двигателя с режима, соответствующего $\varphi_{нв\min}$, на режим $\varphi_{нв\max}$ будет сопровождаться уменьшением $n_{нв}$ на некоторую величину $\Delta n_{нв}$ (рис. 8.8), называемую «статической ошибкой». Для двигателя ТВЗ-117ВМ величина статической ошибки составляет 6 %.

Дополнительный корректирующий механизм позволяет производить ручную перестройку регулятора на изменение $n_{нв}$ в диапазоне 6...8 %.

Управление механизмом производится при помощи переключателя перенастройки (ПП_{СТ}), находящегося на РШГ, через электромеханизм и рычаг перенастройки (РП) на насосе-регуляторе. Положение РП контролируется по лимбу с делениями от 0 до 100° . Исходным является положение РП, при котором $\alpha_{рп} = (66 \pm 2)^\circ$, что соответствует настройке регулятора на поддержание $n_{нв} = (95 \pm 2)^\circ$.

Система ограничения максимальных режимов регулирует подачу топлива в двигатель на взлетном и чрезвычайном режимах. В зависимости от высоты полета и климатических условий система обеспечивает выполнение следующих функций:

ограничение частоты вращения ротора ТК с коррекцией по температуре и давлению наружного воздуха по закону:

$$n_{TK} = 109,1 + 0,159t_B - 14,41p_H;$$

* Точная величина снижения настройки определяется по паспорту насоса-регулятора.

ограничение максимальной приведенной частоты вращения ротора ТК;

ограничение максимальной измеренной частоты вращения ротора ТК;

автоматический перевод двигателя на чрезвычайный режим в случае выключения соседнего двигателя и поддержание постоянства $n_{тк}$ на $1^{+0.2}$ % больше взлетного режима.

Основным агрегатом системы является электронный регулятор двигателя ЭРД-3ВМ (контур ТК), вместе с которым работает система датчиков:

частоты вращения турбокомпрессора ДЧВ-2500;

температуры наружного воздуха П-77;

давления наружного воздуха ИКД-27Да.

Регулирующим органом для ЭРД является основная дозирующая игла насоса-регулятора, воздействие на которую оказывается через исполнительный механизм ИМ-47. Конструктивно исполнительный механизм входит в состав агрегата НР-3ВМ.

Система ограничения температуры газа перед турбиной предназначена для автоматического ограничения до заданного предела температуры газа на взлетном режиме путем уменьшения подачи топлива в камеру сгорания. Основу системы составляет электронный регулятор температуры РТ-12-6, работающий совместно с батареей терморепар Т-102. С основной дозирующей иглой РТ связан через контур ТК ЭРД-3ВМ и исполнительный механизм ИМ-47.

Вступление РТ в работу происходит при $t_{г*} = (985 \pm 5)^{\circ}\text{C}$. При снижении частоты вращения ротора ТК до 84 % работа системы блокируется золотником (БЗ_м), расположенным в насосе-регуляторе.

Система защиты свободной турбины предназначена для останова двигателя при достижении частоты вращения свободной турбины 118 ± 2 %.

В систему входят:

электронный регулятор двигателя ЭРД-3ВМ (АЗСТ — автомат защиты свободной турбины);

два датчика частоты вращения свободной турбины ДТА-10; исполнительный механизм ИМ-3А.

Регулирующим органом в данной системе является клапан постоянного перепада насоса-регулятора.

Система регулирования компрессора предназначена для регулирования ВНА и направляющих аппаратов I — IV ступеней, а также для управления клапанами перепуска воздуха.

В состав системы входит гидравлический регулятор направляющих аппаратов (РНА) и два силовых гидроцилиндра (ГЦ), связанных с механизмами поворота лопаток, причем РНА и верхний гидроцилиндр входят в состав насоса-регулятора. В состав нижнего гидроцилиндра входит концевой переключатель (КП), управляющий положением клапанов перепуска воздуха.

производительность и минимальные утечки топлива из полости высокого давления в полость всасывания.

Основными элементами насоса являются: ротор 12, плунжеры 5, сепаратор 3, опорная шайба 2 и распределительный золотник 9. Ротор вращается в корпусе на двух подшипниках: медно-графитовом подшипнике скольжения 8, размещенном в полости корпуса, и зафиксированном в нем пружинным кольцом 7, и роликовым подшипнике 15, внутреннее кольцо которого монтируется на хвостовике ротора, а внешнее — запрессовано во втулку 18 проставки 16.

Привод ротора во вращение осуществляется через шлицевую рессору 21, установленную в осевое отверстие ротора со стороны хвостовика.

От осевых перемещений рессора фиксируется стопорным кольцом 11. С противоположной стороны в осевое отверстие устанавливается рессора 10 привода центробежных датчиков частоты вращения турбокомпрессора.

В роторе выполнены семь равномерно расположенных по окружности наклонных отверстий, в которые запрессованы бронзовые втулки 6 плунжеров. Плунжеры 5 выполнены из стали в виде пустотелых цилиндров, тщательно обработанных по наружной поверхности. На шаровых наконечниках плунжеров завальцованы стальные подпятники 4 с бронзовыми пластинами, которыми плунжеры опираются на сферическую поверхность опорной шайбы 2. Прижатие плунжеров к опорной шайбе происходит при вращении ротора под действием осевых составляющих центробежных сил и под действием давления топлива. Для уменьшения сил трения в наконечниках плунжеров и в подпятниках выполнены осевые отверстия, через которые на поверхность контакта подводится топливо с высоким давлением.

Своей цилиндрической частью подпятники центрируются в окнах сепаратора 3, который опирается на хвостовик ротора через сферическое кольцо 14. Пружиной 13 сферическое кольцо прижимается к сепаратору, который, в свою очередь, через подпятники опирается на опорную шайбу. Одновременно с этим пружина 13 отжимает ротор насоса в противоположную сторону — к распределительному золотнику 9.

Опорная шайба насоса имеет сферическую рабочую поверхность, ось которой расположена под углом $9^{\circ}10'$ к оси ротора. По центру шайбы выполнено осевое отверстие для прохода хвостовика ротора и размещения сепаратора. Фиксация шайбы от проворачивания осуществляется шпонкой.

Распределительный золотник 9 выполнен из бронзы в виде плоской шайбы с двумя фасонными окнами для прохода топлива и с осевым отверстием под рессору 10. Одно из окон золотника сообщено с магистралью подвода топлива в насос, а второе — с магистралью нагнетания. Поверхность золотника, к которой при работе насоса под действием давления топлива и пружины 13 прижимается торец ротора, обрабатывается с высоким классом чистоты. От проворачивания золотник фиксируется в корпусе осевыми штифтами.

Узел торцевого уплотнения предназначен для предотвращения утечки топлива из полости насоса-регулятора в масляную полость

72...78 %. При более низких температурах настройка РЧВ_{ТК} снижается термодатчиком в результате чего понижение температуры воздуха сопровождается уменьшением измеренной частоты вращения ТК. Фактическое значение $n_{ТК}$ на малом газе при различных температурах наружного воздуха определяется по графику, образец которого приведен на рис. 8.10.

При работе двигателя на высокогорной площадке или в полете для поддержания постоянства $n_{ТК}$ требуется меньший расход топлива, что объясняется облегчением ротора компрессора в условиях разреженного воздуха. При высотах более 3 км расход топлива и давление перед форсунками могут упасть до величины, при которой не будет гарантироваться устойчивое горение в камере сгорания. В этом случае с целью предотвращения срыва пламени в работу вступает клапан минимального давления контура ТК (КМД_{ТК}), который при падении давления топлива до 1,2 МПа (12 кгс/см²) устанавливает основную дозирующую иглу в положение, обеспечивающее постоянство минимального расхода топлива $G_{Tmin} = 90$ г/ч.

При этом РЧВ_{ТК} принимать участие в регулировании расхода топлива уже не будет, вследствие чего величина $n_{ТК}$ окажется несколько выше значений, соответствующих графику 8.10.

РАБОТА СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ ПРИ ПЕРЕХОДЕ ДВИГАТЕЛЯ НА ОСНОВНЫЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ РЕЖИМЫ

Перевод двигателей с малого газа на второй крейсерский режим (точка 5 на рис. 8.9) осуществляется вводом правой коррекции при сохранении постоянства минимального шага несущего винта ($\varphi_{нв} = 1^\circ$). При этом РУД на насосах-регуляторах обоих двигателей перемещаются в положение $\alpha_{РУД} = 50^\circ$, что означает перенастройку регуляторов частоты вращения ТК на большую мощность и сопровождается возрастанием $n_{ТК}$ и $n_{нв}$. При достижении $n_{ТК} = 87...89$ % мощность двигателей становится достаточной для вращения несущего винта с рабочей частотой вращения (95 ± 2) %. В этот момент в работу вступают регуляторы частоты вращения СТ, обеспечивая поддержание постоянства $n_{нв}$.

При полном вводе правой коррекции настройка РЧВ_{ТК} обеспечивает поддержание $n_{ТК}$ на уровне 94 %, при котором располагаемая мощность двигателей несколько выше, чем потребная мощность винта при $\varphi_{нв} = 1^\circ$ и $n_{нв} = 95$ %. Избыток мощности срезается регуляторами частоты вращения СТ, в результате чего фактическая величина $n_{ТК}$ устанавливается на уровне 90—92 %, а регуляторы частоты вращения ТК обоих двигателей оказываются выключенными из работы.

Таким образом, на режиме правой коррекции (точка 5 на рис. 8.9) режим работы силовой установки характеризуется следующими параметрами:

- шаг установки лопастей несущего винта $\varphi_{нв} = 1^\circ$;
- угол установки РУД насосов-регуляторов $\alpha_{РУД} = 50^\circ$;
- частота вращения роторов ТК $n_{ТК} = 90...92$ %;
- частота вращения несущего винта $n_{нв} = (95 \pm 2)$ %.

Режим работы двигателей при этом определяют регуляторы частоты вращения СТ, однако их воздействие на каждый двигатель оказывается различным. Это объясняется тем, что настройки $P_{ЧВ_{СТ}}$ полностью совпадать не могут, в то время как роторы СТ обоих двигателей, жестко связанные между собой через главный редуктор, вращаются с одинаковой скоростью. В результате регулятор, имеющий меньшую настройку, будет производить большую срезку топлива по сравнению с соседним двигателем. Соответственно различной окажется и мощность двигателей, внешним признаком чего является разница в частотах вращения роторов ТК. Возникновение разнорежимности означает неравномерность загрузки двигателей и приводит к различной выработке их ресурсов.

Для устранения разнорежимности в систему регулирования включены синхронизаторы мощности (см. рис. 8.4), работающие по принципу выравнивания давлений воздуха за компрессорами, причем участие в работе системы регулирования принимает только синхронизатор ведомого двигателя, т. е. двигателя, имеющего меньшую величину $n_{тк}$ и давления за компрессором. Воздействуя на расход топлива этот синхронизатор обеспечивает повышение мощности ведомого двигателя до уровня ведущего. У ведущего двигателя синхронизатор мощности участия в работе не принимает.

РАБОТА СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ НА ОСНОВНЫХ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ РЕЖИМАХ

От режима правой коррекции (точка 5 на рис. 8.9) до номинального режима включительно (точка 6 на рис. 8.9) режим работы двигателей определяют регуляторы частоты вращения СТ (у ведомого двигателя — совместно с синхронизатором мощности), обеспечивающие выполнение программы

$$n_{нв} = (95 \pm 2) \% = \text{const.}$$

При этом регуляторы частоты вращения ТК имеют настройку на мощность большую, чем потребная мощность несущего винта во всем диапазоне эксплуатационных режимов, и участия в работе системы регулирования не принимают.

Управление двигателем на указанных режимах осуществляется по способу автоматического поддержания $n_{нв} = \text{const.}$ При этом пилот для изменения режима работы силовой установки рычагом «шаг—газ» изменяет шаг несущего винта, задавая ему тем самым определенное значение потребной мощности. Поскольку располагаемая мощность двигателей в этот момент еще остается неизменной, то результатом изменения нагрузки винта будет отклонение частоты его вращения, а также частот вращения СТ обоих двигателей от заданного значения. Реагируя на возникшее отклонение в работу вступают регуляторы частоты вращения СТ, изменяющие подачу топлива в двигатели с целью восстановления

* Уже при $\phi_{нв} = 4^\circ$ рычаг «шаг—газ» фактически превращается в рычаг общего шага, так как настройка $P_{ЧВ_{ТК}}$ в этот момент становится максимальной (см. рис. 8.6) и при дальнейшем увеличении $\phi_{нв}$ не изменяется.

баланса располагаемой и потребляемой мощностей и, соответственно, восстановления прежней частоты вращения несущего винта. Таким образом, при данном способе регулирования пилот управляет только винтом и полностью освобожден от управления двигателем, что значительно облегчает его работу. Недостатком этого метода регулирования является ухудшение динамических свойств системы «двигатель—винт» на переходных режимах, что проявляется в забросах (провалах) частоты вращения винта. Это объясняется тем, что регулятор частоты вращения СТ в силу особенностей своей конструкции может вступать в работу только после того, как величина $n_{\text{нв}}$ отклонилась от заданного значения.

Уменьшение динамических забросов (провалов) частоты вращения винта обеспечивается благодаря наличию в насосе-регуляторе механизма коррекции настройки $PЧВ_{\text{СТ}}$ (см. рис. 8.7), который дает команду на выключение регулятора в работу одновременно с перемещением рычага «шаг—газ».

Участие на основных режимах в работе системы регулирования синхронизатора мощности (СМ) может в определенных ситуациях привести к неуправляемой раскрутке несущего винта. Это, в частности, происходит при обрыве гибкого валика привода $PЧВ_{\text{СТ}}$. При этом последний дает команду на увеличение режима двигателя вплоть до максимального.

В это же время СМ исправного двигателя, воспринимая данную ситуацию как несинхронность, дает команду на увеличение его режима, результатом чего является быстрое возрастание частоты вращения несущего винта.

Для предотвращения чрезмерного заброса частоты вращения винта в систему регулирования включается блокировочный золотник синхронизатора — БЗ_{см} (см. рис. 8.4), отключающий его из работы при возрастании $n_{\text{нв}}$ до $(107 \pm 2) \%$. Одновременно с отключением СМ в работу вступает $PЧВ_{\text{СТ}}$, обеспечивающий снижение мощности исправного двигателя до такого уровня, при котором суммарная мощность двигателей станет равной суммарной мощности в момент возникновения неисправности.

Кроме $PЧВ_{\text{СТ}}$ и СМ в диапазоне основных эксплуатационных режимов может подключиться в работу клапан минимального давления контура СТ — КМД_{СТ}, который в высотных условиях ограничивает давление топлива перед форсунками до минимального значения 1,8 МПа (18 кгс/см²). Тем самым предотвращается падение мощности двигателя до величины, при которой становится возможным расцепление муфты свободного хода главного редуктора.

РАБОТА СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ НА ВЗЛЕТНОМ РЕЖИМЕ

Перевод двигателя с номинального на взлетный режим (точка 8 на рис. 8.9.) осуществляется путем увеличения шага несущего винта до максимального значения.

При этом $PЧВ_{\text{СТ}}$ первоначально будет обеспечивать постоянство $n_{\text{нв}}$. При установке лопастей в положение $\phi_{\text{нв}} = 12...13^\circ$ (точка 7 на рис. 8.9) мощность двигателя достигает максимального значе-

ния, соответствующего при стандартных атмосферных условиях величине $n_{тк}=(96,3\pm0,5) \%$. Начиная с этого момента в работу вступает электронный регулятор двигателя ЭРД-3ВМ (контур ТК), ограничивающий величину $n_{тк}$. Поскольку и располагаемая мощность двигателей будет при этом поддерживаться постоянной, то дальнейшее увеличение шага винта будет сопровождаться падением его частоты вращения (участок 7—8 на рис. 8.9.), что и является признаком выхода двигателей на взлетный режим.

ЭРД-3ВМ, таким образом, является основным устройством, определяющим работу двигателей на взлетном режиме.

В условиях повышенных температур наружного воздуха может возникнуть необходимость ограничения максимальной температуры газа перед турбиной. В этом случае в работу подключается регулятор температуры РТ-12-6, выдающий сигнал на уменьшение топлива через исполнительный механизм ИМ-47 (см. рис. 8.4).

Включение в работу ЭРД-3ВМ или РТ-12-6 контролируется по светосигнальному табло в кабине пилотов «РТ (ЭРД) ЛЕВ. (ПРАВ.) РАБОТАЕТ».

В случае отказа (или выключения) электронных регуляторов работа двигателя на взлетном режиме будет определяться ограничителем максимального расхода топлива (ОМР), функцию которого выполняет автомат приемистости насоса-регулятора.

РАБОТА СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ ПРИ ОСТАНОВЕ ДВИГАТЕЛЯ СИСТЕМОЙ ЗАЩИТЫ СВОБОДНОЙ ТУРБИНЫ

Система защиты свободной турбины срабатывает при нарушении кинематической связи ротора СТ с главным редуктором, которое вызывает резкое нарастание частоты вращения СТ. С целью защиты свободной турбины от предельных механических нагрузок при $n_{ст}=(118\pm2) \%$ автомат защиты свободной турбины электронного регулятора двигателя выдает сигнал на исполнительный механизм ИМ-3А, который, в свою очередь, перенастраивает клапан постоянного перепада ОДИ (см. рис. 8.4) на слив топлива из магистрали нагнетания насоса высокого давления. При этом давление топлива за ОДИ падает настолько, что вызывает закрытие запорных клапанов и прекращение подачи топлива в камеру сгорания.

Срабатывание системы защиты контролируется по светосигнальному табло «ПРЕВЫШЕНИЕ $n_{ст}$ ЛЕВ. (ПРАВ.) ДВИГ.»

8.5. АГРЕГАТЫ И УСТРОЙСТВА СИСТЕМЫ ОСНОВНОГО КОНТУРА И СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ КОМПРЕССОРА. НАСОС-РЕГУЛЯТОР НР-3ВМ

Насос-регулятор НР-3ВМ (рис. 8.11) представляет собой комплекс гидравлических устройств, объединенных в общем агрегате. При работе двигателя насос-регулятор обеспечивает выполнение следующих функций:

дозирование топлива на неустановившихся режимах запуска, приемистости и сброса газа;
 поддержание заданных режимов по частоте вращения турбокомпрессора или свободной турбины;
 синхронизацию мощностей совместно работающих двигателей путем выравнивания давлений за компрессорами;
 распределение топлива по контурам форсунок;
 останов двигателя;
 управление направляющими аппаратами компрессора;
 выдачу сигнала на отключение воздушного стартера.

При совместной работе с электронными блоками ЭРД-ЗВМ и РТ-12-6 насос-регулятор обеспечивает ограничение частоты вращения турбокомпрессора или температуры газа на взлетном режиме.

В состав насоса-регулятора входят следующие устройства (рис. 8.12):

входной топливный фильтр 66, насос высокого давления 69, узел основной дозирующей иглы 62, клапан постоянного перепада 61, стоп-кран 53, запорный 52 и подпорный 51 клапаны первого контура форсунок, распределительный 50 и запорный 49 клапаны второго контура форсунки, центральные топливные фильтры 64, клапан постоянного давления 65, датчики командного давления топлива турбокомпрессора 67 и свободной турбины 38, золотник отключения воздушного стартера 60, механизм подачи сигнала на отключение воздушного стартера 59, регулятор частоты вращения турбокомпрессора 70, температурный корректор 72, регулятор частоты вращения свободной турбины (несущего винта) 36, синхронизатор мощности 42, золотник аварийного отключения синхронизатора мощности 40, исполнительный механизм ИМ-47 32, золотник блокировки исполнительного механизма 33, клапан минимального давления контура ТК 43, клапан минимального давления контура СТ 37, воздушный фильтр с редуктором 47, автомат запуска с высотным корректором 46, автомат приемистости (48, 54, 57, 58) регулятор направляющих аппаратов 28, клапан стравливания воздуха.

Все детали насоса-регулятора смонтированы в общем алюминиевом корпусе, имеющем для удобства сборки и разборки несколько поперечных разъемов.

Основные технические данные

1. Направление вращения рессоры привода насоса и рессоры привода регулятора СТ левое

2. Параметры топлива на входе в насос-регулятор:

температура, °С от минус 50 до 60
 давление на запуске,
 МПа (кгс/см²) 0,04...0,12 (0,4...1,2)
 давление на рабочих режимах,
 МПа (кгс/см²) 0,04...0,28 (0,4...2,8)

3. Максимальное давление в первом контуре форсунок, не более, МПа (кгс/см²) 6,0 (60)
4. Начало подачи топлива в первый контур форсунок при $n_{\pi}=15\ldots 20\%$
5. Углы поворота РУД регулятора частоты вращения ротора ТК, град. по лимбу насоса:
 - на площадке малого газа . . . от 0 до 3^{+7}
 - на площадке взлетного режима от 77 ± 2 до 120^{+2}
 - на площадке «Контроль» . . . от 135^{+2} до 145_{-3}
6. Отключение синхронизатора мощности при частоте вращения несущего винта, % 107 ± 2
7. Выдача сигнала на отключение воздушного стартера при частоте вращения ротора ТК, % $62,5\pm 2,5$
8. Масса, кг не более 27,5

Принцип работы

От плунжерного насоса 69 (рис. 8.12) топливо с высоким давлением поступает к основной дозирующей игле 62 (ОДИ) и клапану постоянного перепада 61 (КПП), через который производится частичный слив топлива на вход в насос. Топливо, прошедшее дозирующую иглу (дозированное топливо), поступает в основную топливную магистраль насоса-регулятора, в которой расположена дозирующая игла автомата приемистости 48, стоп-кран 53, а также клапаны, распределяющие топливо по контурам форсунок. Подачу топлива в первый контур открывают запорный 52 и подпорный 51, клапаны при $n_{\pi}=15\ldots 20\%$. При возрастании давления в первом контуре до $(3,2\pm 0,1)$ МПа $[(32\pm 1)$ кгс/см²] распределительный 50 и запорный 49 клапаны обеспечивают под-вод топлива во второй контур.

Количество топлива, подаваемого к форсункам на установившихся режимах работы двигателя и на начальном этапе запуска определяется положением (или скоростью перемещения) основной дозирующей иглы и клапана постоянного перепада. Изменение положения иглы вызывает одновременное срабатывание клапана, который, стремясь поддержать постоянство перепада давлений на ее дозирующем сечении, изменяет величину слива из магистрали нагнетания насоса. При этом величина дозирующего сечения и количество сливаемого топлива находятся в обратной зависимости, т. е. увеличение площади сечения сопровождается уменьшением слива и, соответственно, наоборот.

Управление положением иглы производится за счет регулирования слива топлива из командной полости «Ю» ее сервопривода. Учитывая, что подвод топлива в эту полость, осуществляемый через фильтр 64, жиклер 44 и дроссель 45, не регулируется, то изменение слива будет вызывать изменение давления в полости Ю. и, как следствие, перемещение ОДИ.

При запуске двигателя слив из полости Ю осуществляется автоматом запуска (до $n_{\text{тх}}=45\%$), а затем автомат приемистости через дифференциальный клапан 57.

На установившихся режимах слив производится через одно из устройств: регулятор частоты вращения турбокомпрессора 70, регулятор частоты вращения свободной турбины 36, или исполнительный механизм 32, причем последний управляется электронными регуляторами ЭРД-3ВМ и РТ-12-6. При определенных условиях на положение ОДИ могут повлиять клапаны минимального давления 37 и 43 и синхронизатор мощности 42, включенные последовательно в магистраль слива топлива из полости Ю. Дозирующая игла автомата приемистости 48 на указанных режимах на расход топлива не влияет, поскольку ее настройка (площадь дозирующего сечения) при этом выше, чем у основной дозирующей иглы. Вступление в работу автомата приемистости происходит только на режимах разгона (приемистости), а также на втором этапе запуска от $n_{\text{тх}}=45\%$ до режима малого газа.

Прекращение подачи топлива в двигатель может осуществляться либо механическим способом, при помощи стоп-крана 53, либо подачей гидравлического сигнала на клапан постоянного перепада от исполнительного механизма системы защиты свободной турбины. В этом случае клапан постоянного перепада закрывает магистраль нагнетания насоса со сливом, что вызывает резкое падение давления в топливных магистралях насоса-регулятора и закрытие запорных клапанов.

Кроме основной дозирующей иглы и клапана постоянного перепада, недозированное топливо из магистрали нагнетания насоса через центральный топливный фильтр 64 подается в силовую магистраль насоса-регулятора, где используется в качестве рабочего тела для перемещения золотника 40 отключения синхронизатора мощности, а также в системе регулирования направляющих аппаратов для перемещения поршня гидrocилиндров.

Из этой же магистрали топливо поступает к клапану 65, который путем редуцирования преобразует переменное давление недозированного топлива в постоянное давление. Из магистралей постоянного давления топливо проводится к сервоприводу дозирующей иглы автомата приемистости и к механизму 60 отключения воздушного стартера, где используется в качестве рабочего тела. От клапана 65 топливо также поступает к датчикам командного давления турбокомпрессора 67 и свободной турбины 38, которые преобразуют постоянное давление в переменное, пропорциональное, соответственно, квадрату частоты вращения роторов ТК и СТ. Командное давление используется для управления автоматическими устройствами, срабатывающими в зависимости от частоты вращения турбокомпрессора или свободной турбины. К этим устройствам относятся: золотники блокировки исполнительного механизма 33 и синхронизатора мощности 40, регулятор направляющих аппаратов 28, золотник 60 отключения воздушного стартера и дифференциальный клапан 57 автомата приемистости.

Фильтрация топлива в насосе-регуляторе осуществляется (рис. 8.12) входным фильтром 66 и двумя центральными фильтрами 64. Входной топливный фильтр (рис. 8.13) служит для защиты качающего узла насоса-регулятора от случайного попадания в его полость механических частиц при техническом обслуживании, транспортировке и замене агрегатов топливной системы.

Фильтр состоит из латунного каркаса 7 с напаянной на него фильтрующей сеткой 6 с размером ячеек 0,025...0,040 мм и дна 8. Фильтр устанавливается в корпусе насоса и фиксируется в нем проходным штуцером 3 и регулировочными шайбами 5. Проходной штуцер уплотняется резиновым кольцом 4. Топливо из системы низкого давления к фильтру подводится через поворотный штуцер 2, закрепленный на проходном штуцере пробкой 1.

Центральные топливные фильтры (рис. 8.14) обеспечивают дополнительную очистку топлива, поступающего к прецизионным золотниковым парам насоса-регулятора с целью повышения надежности работы автоматических устройств. Фильтр, через который осуществляется подача топлива из магистрали нагнетания насоса в силовую магистраль, магистраль постоянного давления и магистратии командного давления называется фильтром регулятора. Второй фильтр, через который дозированное топливо поступает в магистратии управления основной дозирующей иглой называется фильтром дозатора. Конструкция обоих фильтров одинакова. Каждый из них состоит из четырнадцати капсул 6, смонтированных на общем каркасе 5 и зафиксированных на нем втулкой 10 и регулировочными шайбами 9. Каждая капсула состоит из гофрированного диска и двух сеток — поддерживающей и фильтрующей (внешней). Сетки скреплены между собой и с диском кольцами.

В каркасе фильтра установлен шариковый клапан 8, обеспечивающий перепуск в магистрали насоса-регулятора неочищенного топлива в случае засорения фильтра. Для задержания металлических частиц, попадающих в топливо в процессе приработки трущихся деталей качающегося узла, в конструкцию фильтров включено магнитное кольцо 4.

Полости фильтров закрываются пробками 1 с уплотнительными кольцами 2. Под пробкой устанавливается пружина, поджимающая фильтр к ответной расточке в корпусе насоса-регулятора.

Расположение центральных фильтров в насосе-регуляторе показано на рис. 8.11.

Насос высокого давления

Насос предназначен для повышения давления топлива, поступающего из системы низкого давления, и подачи его в коллектор топливных форсунок, а также к гидравлическим автоматическим устройствам системы регулирования.

Конструктивно насос (рис. 8.15) включает корпус 1, качающий узел, проставку 16 и фланец 17 для крепления насоса-регулятора к двигателю.

Качающий узел представляет собой нерегулируемый плунжерный насос, основным достоинством которого является высокая

производительность и минимальные утечки топлива из полости высокого давления в полость всасывания.

Основными элементами насоса являются: ротор 12, плунжеры 5, сепаратор 3, опорная шайба 2 и распределительный золотник 9. Ротор вращается в корпусе на двух подшипниках: медно-графитовом подшипнике скольжения 8, размещенном в полости корпуса, и зафиксированном в нем пружинным кольцом 7, и роликовым подшипнике 15, внутреннее кольцо которого монтируется на хвостовике ротора, а внешнее — запрессовано во втулку 18 проставки 16.

Привод ротора во вращение осуществляется через шлицевую рессору 21, установленную в осевое отверстие ротора со стороны хвостовика.

От осевых перемещений рессора фиксируется стопорным кольцом 11. С противоположной стороны в осевое отверстие устанавливается рессора 10 привода центробежных датчиков частоты вращения турбокомпрессора.

В роторе выполнены семь равномерно расположенных по окружности наклонных отверстий, в которые запрессованы бронзовые втулки 6 плунжеров. Плунжеры 5 выполнены из стали в виде пустотелых цилиндров, тщательно обработанных по наружной поверхности. На шаровых наконечниках плунжеров завальцованы стальные подпятники 4 с бронзовыми пластинами, которыми плунжеры опираются на сферическую поверхность опорной шайбы 2. Прижатие плунжеров к опорной шайбе происходит при вращении ротора под действием осевых составляющих центробежных сил и под действием давления топлива. Для уменьшения сил трения в наконечниках плунжеров и в подпятниках выполнены осевые отверстия, через которые на поверхность контакта подводится топливо с высоким давлением.

Своей цилиндрической частью подпятники центрируются в окнах сепаратора 3, который опирается на хвостовик ротора через сферическое кольцо 14. Пружиной 13 сферическое кольцо прижимается к сепаратору, который, в свою очередь, через подпятники опирается на опорную шайбу. Одновременно с этим пружина 13 отжимает ротор насоса в противоположную сторону — к распределительному золотнику 9.

Опорная шайба насоса имеет сферическую рабочую поверхность, ось которой расположена под углом $9^{\circ}10'$ к оси ротора. По центру шайбы выполнено осевое отверстие для прохода хвостовика ротора и размещения сепаратора. Фиксация шайбы от проворачивания осуществляется шпонкой.

Распределительный золотник 9 выполнен из бронзы в виде плоской шайбы с двумя фасонными окнами для прохода топлива и с осевым отверстием под рессору 10. Одно из окон золотника сообщено с магистралью подвода топлива в насос, а второе — с магистралью нагнетания. Поверхность золотника, к которой при работе насоса под действием давления топлива и пружины 13 прижимается торец ротора, обрабатывается с высоким классом чистоты. От проворачивания золотник фиксируется в корпусе осевыми штифтами.

Узел торцевого уплотнения предназначен для предотвращения утечки топлива из полости насоса-регулятора в масляную полость

коробки приводов. Узел уплотнения состоит из крышки 19, упорной втулки 20, плавающей втулки 22 и пружины 24.

Упорная втулка является неподвижной деталью, установленной в расточку крышки уплотнения. На ее поверхности выполнена кольцевая канавка, образующая при монтаже втулки дренажную полость, служащую для сбора просочившегося топлива. Плавающая втулка 22, прижатая к упорной втулке пружиной 24, при вращении ротора притирается к ее рабочей поверхности. В качестве дополнительного уплотнения между плавающей втулкой и хвостовиком ротора установлена резиновая манжета 23.

Топливо, просочившееся между рабочими поверхностями плавающей и упорной втулок, через осевые отверстия упорной втулки сливается в дренажную полость, откуда через сверления в крышке и проставке и штуцер 15 (см. рис. 8.11) отводится через эжектор в выхлопной патрубок. За счет действия эжектора в дренажной полости при работе двигателя создается разрежение, препятствующее проникновению топлива в полость коробки приводов.

При вращении ротора плунжеры, скользя подпятниками по наклонной поверхности опорной шайбы, совершают в своих гнездах возвратно-поступательное движение, причем в течение одного оборота каждый плунжер совершает два такта. Перемещаясь по шайбе с участка ее наибольшей толщины на тонкий участок в течение половины оборота ротора плунжер, под действием центробежной силы совершает в своем гнезде движение от верхней мертвой точки и нижней, за счет чего в надплунжерном пространстве создается разрежение. При этом соответствующее отверстие ротора проходит против окна распределительного золотника, сообщенного с магистралью подвода топлива, в результате чего происходит заполнение надплунжерного пространства топливом, т. е. совершается такт всасывания.

В течение следующей половины оборота ротора плунжер под воздействием опорной шайбы перемещается в своем гнезде к верхней мертвой точке и выталкивает топливо из надплунжерного пространства через второе окно золотника в магистраль нагнетания.

Подача топлива каждым плунжером, таким образом, носит пульсирующий характер. Уменьшение пульсаций давлений в магистрали нагнетания достигается за счет увеличения количества плунжеров. Снижение пульсаций обеспечивается также и за счет того, что количество установленных плунжеров всегда является нечетным. В этом случае количество плунжеров, которые одновременно могут находиться в положении нулевой подачи, уменьшается.

Ввиду того, что опорная шайба насоса имеет фиксированный угол наклона рабочей поверхности, производительность насоса будет определяться только частотой вращения ротора турбокомпрессора, находясь от нее в прямой зависимости.

Клапан постоянного давления

Клапан постоянного давления (рис. 8.16) служит для поддержания постоянного давления топлива в магистрали, питающей датчики командного давления свободной турбины 38 (см. рис. 8.12) и турбо-

компрессора 67, а также сервопривод дозирующей иглы автомата приемистости 48 и механизм отключения воздушного стартера 59. Тем самым обеспечивается более стабильная работа автоматических устройств насоса-регулятора.

Принцип работы клапана заключается в редуцировании давления топлива, поступающего из магистрали нагнетания насоса через центральный топливный фильтр 64 регулятора.

Основными деталями узла клапана (рис. 8.16) являются золотник 2, втулка золотника 1, пружина 3 с регулировочной шайбой 5 и пробка 4. На наружной поверхности золотника выполнены две широкие кольцевые проточки, соединенные между собой через внутренний осевой канал. В нижнюю проточку через отверстия во втулке и канал Г подводится топливо из магистрали нагнетания насоса. Верхняя проточка отверстия во втулке сообщена с магистралью Б постоянного давления, а также через демпфирующий зазор между пояском золотника и втулкой, с полостью В над торцом золотника.

На нижнем конце золотника имеется буртик, являющийся опорой пружины. Натяжение пружины регулируется шайбами 5. Величина давления в магистрали за клапаном и в полости В зависит от количества поступающего в них топлива, определяемого положением отсеченной кромки Д золотника относительно окна подвода топлива во втулке.

В исходном положении золотник под действием пружины отжимается вверх, открывая при этом полностью окно подвода топлива из магистрали нагнетания. По мере нарастания давления за клапаном и в полости В золотник смещается вниз, дросселируя при этом кромкой Д подвод топлива. При достижении заданного давления $1,5^{+0,1}$ МПа устанавливается равенство сил, действующих на золотник сверху от давления в полости В и снизу — от усилия пружины и давления слива в полости А. Количество подводимого в магистраль Б топлива будет при этом постоянным.

Если давление за клапаном упадет, то соответственно, упадет давление и в полости В и золотник под действием пружины сместится вверх, увеличивая сечение подвода топлива и восстанавливая давление до заданного. Соответственно, при увеличении давления золотник будет смещаться вниз, дросселируя подвод топлива.

Датчики командного давления топлива турбокомпрессора и свободной турбины

Датчик командного давления топлива турбокомпрессора предназначен для преобразования постоянного давления топлива, поступающего от клапана постоянного давления, в переменное давление, пропорциональное квадрату частоты вращения ротора ТК.

Командное давление используется в насосе-регуляторе для управления золотником отключения воздушного стартера, золотником блокировки ИМ-47, дифференциальным клапаном автомата приемистости и регулятором направляющих аппаратов.

Датчик командного давления топлива свободной турбины вырабатывает давление, пропорциональное квадрату частоты вращения СТ. В насосе-регуляторе это давление используется для управления золотником аварийного отключения синхронизатора мощности.

По конструктивному выполнению и принципу работы оба датчика аналогичны.

Датчик командного давления турбокомпрессора (рис. 8.17) состоит из центробежного датчика, приводимого во вращение от ротора ТК и золотникового механизма. Узел центробежного датчика представляет собой вилку 6 с установленными в ней на осях двумя грузиками 5. Оси грузиков фиксируются от выпадания кожухом 12, завальцованными в вилке. Средняя часть вилки выполнена в форме зубчатого колеса, через которое датчик получает вращение от ротора качающего узла. В корпусе вилки вращается на подшипнике скольжения 7, зафиксированном гайкой 11 с замком 10 и шайбой 9. Смазка подшипника осуществляется топливом, поступающим через сверления в вилке.

Золотниковый механизм состоит из золотника 1 и втулки 2. Золотник через иглу 4 соединяется с центробежным датчиком. На поверхности втулки выполнены две кольцевые проточки с радиальными отверстиями. В нижнюю канавку подается топливо от клапана постоянного давления. Через верхнюю канавку топливо отводится в командную магистраль.

На поверхности золотника также выполнены проточки, которые вместе с втулкой образуют три кольцевые полости: А, В и Г.

В полость Г через нижний ряд отверстий втулки из магистрали постоянного давления подводится топливо, которое затем через средний ряд отверстий втулки перепускается в полость Б командного давления и в полость А золотника. Средняя полость А, отделенная от нижней полости Г рабочим пояском золотника, связана со сливной полостью Д через его осевое сверление. В полость В золотника через верхний ряд отверстий втулки подводится командное давление из полости Б.

Давление в полости Б определяется разностью между количеством топлива, подаваемого в эту полость из магистрали постоянного давления, и величиной слива через полость А.

На равновесном режиме (при $n_{\text{т}} = \text{const}$) центробежная сила, действующая на золотник снизу, уравнивается силой давления топлива на торец золотника сверху, со стороны полости В. При этом подвод топлива в командную полость равен сливу топлива через полость А. При нарушении равновесия сил происходит смещение золотника, в результате чего его рабочий поясок меняет соотношение между количеством подводимого и сливаемого топлива.

При увеличении частоты вращения золотник под действием центробежной силы перемещается вверх, увеличивая своим рабочим пояском подвод топлива в командную магистраль и уменьшая, одновременно, перепуск топлива на слив. В результате этого перемещение золотника сопровождается возрастанием давления в командной полости и полости В золотника. В тот момент, когда усилие от давления топлива уравнивает центробежную силу дат-

чика, движение золотника прекратится. Командное давление, таким образом, всегда находится в прямой зависимости от центробежной силы датчика. Так как центробежная сила зависит от квадрата частоты вращения, то и командное давление всегда будет пропорционально квадрату частоты вращения.

Датчик командного давления топлива свободной турбины конструктивно отличается от датчика турбокомпрессора тем, что подвод топлива к верхнему торцу золотника осуществляется по демпфирующему зазору, что уменьшает колебания давления при колебаниях частоты вращения.

Механизм отключения воздушного стартера

Механизм отключения обеспечивает выдачу сигнала на отключение воздушного стартера в процессе запуска двигателя при достижении $n_{\text{тк}} = (62,5 \pm 2,5) \%$. Управление механизмом осуществляется командным давлением, пропорциональным квадрату частоты вращения турбокомпрессора, поступающим от датчика 67 (см. рис. 8.12). Механизм отключения (рис. 8.18) состоит из двух узлов: узла командного золотника и узла микровыключателя. Узел командного золотника (см. рис. 8.18) предназначен для подачи командного давления на мембрану 13 микровыключателя 18 и состоит из втулки 1, золотника 2, пружины 4 с опорной тарелкой 3 и регулировочного винта 7, ввернутого в пробку 6. Во втулке золотника выполнено три ряда отверстий. К нижнему через проточку А подводится топливо из магистрали командного давления, к среднему ряду — из магистрали постоянного давления (через проточку Б), а верхний ряд через проточку В соединяет узел золотника с мембраной микровыключателя.

На поверхности золотника выполнены две широкие и две узкие кольцевые проточки. Верхняя проточка служит для перепуска топлива на слив в пружинную полость через осевой канал Г золотника.

При работе двигателя золотник снизу нагружен усилием от командного давления топлива, поступающего под торец золотника через проточку А и демпфирующий зазор между золотником и втулкой. Сверху на золотник действует усилие от затяжки пружины и давления слива.

Узел микровыключателя служит для подачи сигнала на обесточивание электромагнитного клапана воздушного стартера. В состав узла входит мембрана 13 с пружиной 12 и микровыключатель 18. Мембрана установлена между корпусом насоса-регулятора 14 и переходником 15. Справа мембрана нагружена усилием пружины 12, а слева — усилием от давления топлива. Микровыключатель, заключенный в пластмассовый корпус, выполнен как переключатель с одинарным разрывом цепи контактов. При сборке полость корпуса 17, в который установлен микровыключатель, заливается герметиком для исключения его перемещения и защиты от попадания атмосферного воздуха и влаги.

В процессе запуска двигателя при $n_{\text{тк}}$ менее $60...65 \%$ золотник 2 под действием пружины и давления слива находится в крайнем нижнем положении, отсекая при этом левую полость мембраны 13 от магистрали постоянного давления и, одновременно, соединяя

эту полость со сливом через проточку В и канал Г. При этом мембрана под действием пружины 12 отжимается влево, освобождая кнопку 9 микровыключателя. Цепь электромагнитного клапана воздушного стартера в это время замкнута. При достижении $n_{тк}=60...65\%$ золотник 2 под действием командного давления перемещается в крайнее верхнее положение до упора в юбку пробки 6. При этом своей верхней широкой проточкой он обеспечивает подвод топлива из магистрали постоянного давления через проточки Б и В в левую полость мембраны, отсекая ее одновременно от магистрали слива.

Мембрана, преодолевая силу натяжения пружины, прогибается вправо и своим штоком нажимает на кнопку 9 микровыключателя, который разрывает цепь электромагнитного клапана стартера.

Одновременно, с этим микровыключатель обеспечивает снятие блокировки с датчика противообледенительной системы вертолета РИО-3М.

Регулировка срабатывания механизма отключения стартера производится изменением силы затяжки пружины 4 при помощи регулировочного винта 7. При повороте винта по часовой стрелке сила натяжения пружины увеличивается, что обеспечивает отключение стартера при большем значении $n_{тк}$. Вращение винта против часовой стрелки, соответственно, вызывает уменьшение $n_{тк}$ отключения стартера.

На корпусе агрегата НР-3ВМ винт 7 промаркирован цифрой «5».

Стоп-кран

Стоп-кран предназначен для останова двигателя путем механического прекращения подачи топлива к форсункам.

Узел стоп-крана (рис. 8.19) представляет собой золотниковый механизм, состоящий из втулки 2, золотника 3 и рычага 1.

Золотник 3 имеет глухую осевую расточку и две пары радиальных окон, обозначенных на рисунке буквами В и Г. Топливо в расточку золотника подается от дозирующей иглы автомата приемистости по каналу А. Через два прямоугольных окна В внутренняя полость золотника соединяется с магистралью подвода топлива к форсункам, а через круглые окна Г — с магистралью слива. На наружном конце золотника нарезаны шлицы, на которых при помощи стяжного болта крепится рычаг 1.

Втулка 2 золотника фланцем крепится к корпусу насоса-регулятора. На цилиндрической поверхности втулки выполнены две проточки с прямоугольными окнами. Большое окно служит для прохода топлива к форсункам, а малое — для перепуска на слив. На внешней части фланца втулки выполнены два выступа, являющиеся упорами, ограничивающими ход рычага 1 в пределах 90° . На выступах выбиты буквы Р и С, соответствующие положениям рычага «РАБОТА» и «СТОП».

В положении «РАБОТА» круглые сливные окна Г золотника перекрыты втулкой. При этом топливо из канала А через прямоугольные окна В золотника, совмещенные с окнами втулки, и через канал Б подается в магистраль топливных форсунок. При

повороте рычага на закрытие окна *В* золотника начинают перекрываться втулкой. При повороте рычага на угол, примерно, 40° , когда окна *В* еще не перекрыты полностью, окна *Г* совмещаются с полостью *Д*, обеспечивая перепуск топлива высокого давления из канала *А* на слив. Тем самым предотвращается гидроудар при быстром перекрытии топливной магистрали. При дальнейшем перемещении рычага к положению «СТОП» окна *В* полностью перекрываются втулкой, отсекая подачу топлива к форсункам.

Запорный и подпорный клапаны первого контура форсунок

Запорный клапан обеспечивает отсечку подачи топлива в первый контур форсунок при останове двигателя. В начальный момент запуска двигателя запорный клапан обеспечивает подачу топлива к форсункам при достижении минимального давления, гарантирующего качественного распыл топлива.

Узел запорного клапана (рис. 8.20) состоит из поршня 3, втулки 2, седла 4 и пружины 12. Во втулке поршня выполнены два ряда отверстий, из которых верхний ряд предназначен для подвода топлива к клапану от дозирующей иглы автомата приемистости. К нижнему ряду отверстий *Б* через жиклер *К* (см. рис. 8.12) подводится недозированное топливо из магистрали за нагнетающим насосом. В положении клапана «ЗАКРЫТО» отверстия *Б* втулки совмещаются с ответными отверстиями поршня, обеспечивая подвод топлива в полость пружины 12. С другой стороны полость пружины соединяется с магистралями слива.

Поджатие поршня к седлу 4 обеспечивается пружиной 12 и усилием от давления топлива в полости поршня. Седло запорного клапана представляет собой резиновое кольцо, завальцованное в канавку футорки 5. Футорка имеет сквозную осевую расточку ступенчатой формы, в которой устанавливается узел подпорного клапана 10 и штуцер 8 отвода топлива в первый контур форсунок.

Узел подпорного клапана состоит из клапана 10, втулки 11 и пружины 6. Клапан своим хвостовиком устанавливается в расточке втулки. На сферическую головку клапана устанавливается опора пружины, второй опорой которой является упор 7, ограничивающий ход клапана. Для прохода топлива в полость штуцера 8 в клапане выполнена глухая осевая расточка и два профилированных окна *А*.

При закрытом запорном клапане подпорный клапан отжат пружиной в нижнее положение до упора своим буртиком в торец втулки. При этом окна *А* клапана перекрыты втулкой.

При запуске двигателя топливо, прошедшее через дозирующую иглу автомата приемистости, поступает через проточку «а» запорного клапана к поршню. При этом первоначально давление топлива воспринимается узкой кольцевой поверхностью, образованной фаской на головке поршня.

При частоте вращения ротора ТК, равной 15...20%, давление топлива достигает величины 0,25...0,3 МПа ($2,5...3 \text{ кгс/см}^2$), которой достаточно для преодоления силы натяжения пружины 12 и отжатия поршня от седла. В этот момент давление топлива передается на всю площадь головки поршня, что обеспечивает резкое открытие клапана и предотвращает подтекание топлива через форсунки.

Вслед за открытием запорного клапана начинает открываться подпорный клапан. При этом подвод топлива в полость штуцера 8 открывается постепенно, что создает в магистрали дозированного топлива гидравлическое сопротивление, пропорциональное силе натяжения пружины 6. Наличие дополнительного сопротивления обеспечивает в момент открытия запорного клапана поддержание необходимой величины давления топлива за основной дозирующей иглой. При полном открытии подпорный клапан садится на упор 7 и на подачу топлива в дальнейшем влияния не оказывает. При открытии запорного клапана отверстия подвода недозированного топлива В в поршне перекрываются втулкой. В дальнейшем недозированное топливо высокого давления, заполнив кольцевые канавки на наружной поверхности поршня, выполняет роль уплотнения, препятствующего утечке дозированного топлива по зазору между втулкой и поршнем.

При закрытии стоп-крана давление перед запорным клапаном падает и клапан закрывается пружиной, отсекая подачу топлива в первый контур форсунок.

Момент открытия запорного клапана регулируется подбором жиклера К. Увеличение диаметра жиклера вызывает увеличение давления в полости пружины поршня, создавая дополнительное усилие на закрытие запорного клапана. Результатом этого будет открытие клапана при большей частоте вращения ротора ТК.

Распределительный и запорный клапаны второго контура форсунок

Распределительный клапан обеспечивает начало подвода топлива во второй контур форсунок при возрастании давления топлива за основной дозирующей иглой до $(3,2 \pm 0,1)$ МПа $[(32 \pm 1) \text{ кгс/см}^2]$.

Узел клапана (рис. 8.21) состоит из золотника 1, ввернутого в пробку 2. К пружины 3 и регулировочного винта 1, ввернутого в пробку 2. К нижнему ряду отверстий втулки через проточку В подводится топливо от дозирующей иглы автомата приемистости. Средний ряд отверстий через проточку Б обеспечивает перепуск дозированного топлива к запорному клапану второго контура. К верхнему ряду отверстий через проточку А подводится недозированное топливо для создания противодействия, предотвращающего утечку дозированного топлива через зазор между золотником и втулкой. На поверхности золотника выполнены две проточки, из которых нижняя служит для перепуска топлива к запорному клапану, а верхняя, заполненная недозированным топливом, является уплотнительной. Дозированное топливо, подведенное к золотнику через проточку В, заполняет его нижнюю широкую проточку и, одновременно, поступает под нижний торец золотника. При этом топливо проходит через две спиральные канавки на нижнем пояске золотника, обеспечивающие демпфирование колебаний давления.

Таким образом, золотник в процессе работы нагружается сверху усилием от натяжения пружины 3, а снизу — усилием от давления дозированного топлива. При запуске двигателя на малом газе золотник под действием пружины занимает крайнее нижнее положение, перекрывая подвод топлива во второй контур форсунок.

В процессе выхода двигателя на основные эксплуатационные режимы при достижении давления топлива $(3,2 \pm 0,1)$ МПа $[(32 \pm 1) \text{ кгс/см}^2]$ золотник, преодолевая натяжение пружины, перемещается вверх и открывает подвод топлива к запорному клапану второго контура через окна среднего ряда втулки и проточку Б. По мере увеличения давления дозированного топлива проходное сечение окон увеличивается, благодаря чему обеспечивается постепенное нарастание давления во втором контуре форсунок. Начало подачи топлива во второй контур регулируется затяжкой пружины 3 при помощи винта 1 (на корпусе агрегата имеет маркировку «10»). При увеличении силы натяжения пружины подача топлива во второй контур будет открываться при большем давлении.

Запорный клапан второго контура отсекает подачу топлива к форсункам при останове двигателя, а в начале открытия распределительного клапана выполняет функцию подпорного клапана.

Узел клапана смонтирован в полости штуцера 7 и состоит из тарельчатого клапана 12, седла 13, пружины 11 и направляющей втулки 10. Клапан имеет хвостовик, которым он центрируется в расточке направляющей втулки. Подвод топлива к клапану осуществляется через центральное отверстие седла.

Основная дозирующая игла и клапан постоянного перепада

Узел основной дозирующей иглы совместно с клапаном постоянного перепада образуют дозирующее устройство, регулирующее подачу топлива в двигатель по командам от автоматических устройств. Принцип дозирования топлива определяется устройством и работой качающего узла насоса-регулятора, производительность которого на всех режимах превышает потребные расходы топлива. Исходя из этого дозирование топлива заключается в перепуске на слив определенного количества топлива из магистрали нагнетания насоса. Перепуск осуществляет клапан постоянного перепада (КПП), совмещающий в себе функции регулирующего органа и измерительного устройства. Входным сигналом на изменение величины перепуска является для КПП изменение перепада давления на проходном сечении основной дозирующей иглы (ОДИ). Изменение перепада, в свою очередь, происходит при перемещении ОДИ или при отклонении частоты вращения ротора ТК от заданного значения. Например, при увеличении дозирующего сечения ОДИ перепад давлений на нем уменьшается, что вызывает срабатывание КПП на уменьшение слива из магистрали нагнетания. Уменьшение площади дозирующего сечения, соответственно, вызывает увеличение слива через КПП. Из этого следует, что для клапана постоянного перепада ОДИ выполняет роль элемента настройки. Поскольку перепад давлений на ее дозирующем сечении при всех условиях сохраняется постоянным, то положение иглы будет однозначно определять величину располагаемой подачи топлива в двигатель.

Узел основной дозирующей иглы (рис. 8.22) включает золотник 3, втулку 2, сервопоршень 5 с пружиной 6 и ускорительный клапан 9. Через нижний ряд отверстий втулки 2 к золотнику 3 подводится топливо от качающего узла насоса-регулятора, а через верхний ряд осуществляется отвод топлива в магистраль форсунок. На наружной

поверхности золотника в средней части выполнены две фрезеровки, образующие его рабочую профильную часть. Зазор между профильной частью золотника и внутренним пояском втулки образует дозирующее (Ц) сечение иглы. Перемещение золотника вверх вызывает уменьшение площади дозирующего сечения, а вниз — увеличение. Ход золотника ограничивается снизу винтом максимального расхода 15, а сверху — винтом минимального расхода 8.

Сервопоршень 5 дозирующей иглы — фторопластовый, крепится к золотнику болтом 13. Для прохода топлива по оси болта и золотника выполнен канал, в нижней части которого установлен фильтр 16.

Поршень совместно с пружиной 6 образует сервомеханизм, посредством которого автоматические устройства управляют положением дозирующей иглы. Перемещение ОДИ происходит под действием перепада давления топлива на поршне. Снизу на поршень действует усилие от давления дозированного топлива. В верхней полости поршня Ю создается давление, величина которого определяется соотношением между количеством топлива, подводимого в эту полость, и количеством топлива, перепускаемого на слив. Подвод топлива в полость Ю производится через нерегулируемый жиклер 44 (см. рис. 8.12) и дроссель 45, демпфирующий колебания давления. Слив топлива осуществляется через клапаны регуляторов частоты вращения турбокомпрессора и свободной турбины, автомата запуска, исполнительного механизма ИМ-47, а также через дифференциальный клапан автомата приемистости. При работе автоматики слив, как правило, осуществляется через один из указанных клапанов; остальные клапаны в это время закрыты.

Для обеспечения стабильной работы регуляторов частоты вращения турбокомпрессора и свободной турбины клапаны последних выполнены проточными, обеспечивая в закрытом положении незначительную утечку топлива. Тем самым предотвращается залипание клапанов по их притертым поверхностям.

Величина слива через топливные клапаны регулируется чувствительными элементами соответствующих автоматических устройств. На установившихся режимах слив из полости Ю устанавливается равным подводу топлива через жиклер 44 (рис. 8.12), благодаря чему давление в этой полости поддерживается постоянным, а сервопоршень 5 (рис. 8.22) вместе с золотником 3 находится в равновесном состоянии.

В случае уменьшения или полного перекрытия слива давление в полости Ю возрастает, в результате чего происходит движение поршня и золотника в сторону увеличения дозирующего сечения. Увеличение слива, соответственно, будет сопровождаться падением давления в полости Ю и перемещением золотника в сторону уменьшения дозирующего сечения.

На неработающем двигателе ОДИ под действием пружины 6 устанавливается на упор максимального расхода 15. Быстрый перевод ОДИ в начале запуска на упор 8 минимального расхода обеспечивается за счет перепуска топлива из полости Ю на слив при помощи ускорительного клапана.

Клапан 9 монтируется на сервопоршне 5 в стакане 10, прижатом к поршню пружины 6. Седлом клапана является торец головки болта 13. На неработающем двигателе клапан 9 отжимается своей пружиной 11 в верхнее положение, сообщая при этом полостью Ю через внутреннюю расточку золотника со сливом.

В начальный момент запуска под действием давления топлива, поступающего под поршень от качающего узла, ОДИ перемещается вверх, вытесняя при этом топливо из полости Ю на слив через открытый клапан 9. При упоре в винт 8 клапан 9 прижимается к седлу, отсекая полость Ю от магистралей слива. В дальнейшем, в процессе работы двигателя, клапан 9 будет удерживаться в закрытом положении давлением топлива.

Клапан постоянного перепада обеспечивает поддержание перепада на дозирующем сечении ОДИ, равного $(0,3 \pm 0,05)$ МПа ($3 \pm 0,5$) кгс/см² путем перепуска на слив топлива из магистрали нагнетания насоса. Основными элементами узла КПП (рис. 8.23) являются: золотник 5, втулка 4, мембрана 1 и пружина 10.

Золотник 5 является исполнительным механизмом, регулирующим слив топлива, поступающего к его торцу из магистрали нагнетания насоса. Слив осуществляется через отверстие Д втулки 4. Мембрана 1 выполнена из прорезиненной ткани и закреплена на торце золотника винтом 2 одновременно с опорной тарелкой пружины 8.

При монтаже КПП в корпусе 3 мембрана поджимается к фланцу втулки 4 крышкой 9 через кольцо 6. В левую полость мембраны через наклонные сверления А втулки и через демпфирующий зазор Б между золотником и втулкой подается недозированное топливо из полости перед ОДИ. Левая полость мембраны через жиклер 7 сообщается с магистралью дозированного топлива за ОДИ. Мембрана, таким образом, выполняет функцию измерителя перепада давлений на дозирующем сечении ОДИ.

Задающим устройством, определяющим величину требуемого перепада давлений, является пружина 10, воздействующая на мембрану справа через опору 11, сферический упор и тарелку 8. Затяжка пружины регулируется подбором толщины шайб 13.

На установившихся режимах действующие на мембрану усилия уравниваются, в результате чего золотник устанавливает постоянный слив из магистрали недозированного топлива. При изменении перепада давлений на дозирующем сечении ОДИ равновесие сил, действующих на мембрану КПП, нарушается, что приводит к перемещению золотника и изменению слива из магистрали нагнетания. Так, при движении ОДИ в сторону увеличения дозирующего сечения давление топлива перед иглой падает, а за иглой — возрастает. Уменьшение перепада давлений на ОДИ и на мембране КПП вызывает перемещение золотника влево, в сторону уменьшения перепуска топлива на слив. Этот процесс продолжается до тех пор, пока не произойдет восстановление перепада давлений до заданного значения.

Уменьшение площади дозирующего сечения сопровождается увеличением перепада давлений, что вызывает перемещение золотника КПП в сторону увеличения слива.

При фиксированном положении основной дозирующей иглы КПП, за счет поддержания постоянства перепада давлений на ее дозирующем сечении, обеспечивает постоянство подачи топлива в двигатель. Благодаря этому исключается изменение подачи топлива в двигатель при колебаниях частоты вращения ротора ТК и производительности качающего узла. Поддержание постоянства расхода топлива является дополнительным стабилизирующим фактором, обеспечивающим повышение устойчивости двигателя на установившихся режимах.

Регулятор частоты вращения турбокомпрессора

Регулятор частоты вращения турбокомпрессора (РЧВтк) предназначен для автоматического поддержания постоянства частоты вращения ротора ТК на режиме малого газа, а также для управления режимами работы двигателя при выключенном регуляторе частоты вращения свободной турбины.

Регулятор (рис. 8.24а и 8.24б) состоит из центробежного датчика частоты вращения, задающего устройства, двуплечего рычага, топливного клапана и системы рычагов и пружин температурной коррекции.

Центробежный датчик является чувствительным элементом, измеряющим частоту вращения ротора ТК и вырабатывающим пропорциональный ей сигнал, который через иглу 8 передается на двуплечий рычаг 3. Конструкция датчика аналогична описанным ранее центробежным датчикам командного давления топлива.

Задающее устройство обеспечивает настройку регулятора на автоматическое поддержание определенной частоты вращения ротора ТК, а также ручную перенастройку регулятора при изменении режима работы двигателя. Основными элементами задающего устройства являются: профилированный кулачок 32, валик 23 с рычагом управления двигателем 26, промежуточный рычаг 31 и пружина 7. Каждому положению валика с профилированным кулачком соответствует определенная затяжка пружины 7 и, следовательно, определенная частота вращения турбокомпрессора.

Валик 23 задающего устройства — стальной, пустотелый. Через его внутреннее осевое отверстие проходит валик 22 рычага перенастройки регулятора частоты вращения СТ (см. описание РЧВ_{СТ}). На наружной поверхности валика при помощи шпонок монтируется профилированный кулачок 32, а также кулачок 41 6%-ной коррекции регулятора частоты вращения СТ. Крепление кулачков осуществляется стопорной гайкой. На внешнем конце валика при помощи червячного винта, крепится рычаг управления двигателем 26 с приваренной к нему стрелкой. Угол поворота рычага 26 ограничивается упорными винтами, ввернутыми в отверстия крышки 25. Для фиксации угла поворота рычага под гайкой крепления крышки устанавливается лимб с градуировкой от 0 до 140°. Рабочая поверхность кулачка 32 имеет две площадки постоянного радиуса и площадку переменного радиуса. При повороте рычага в диапазоне от 0 до 3+7° по лимбу кулачок имеет постоянный радиус (площадка малого газа), обеспечивающий настройку регулятора на поддержа-

ние минимальной частоты вращения ТК. При повороте рычага от положения $3^{+7^{\circ}}$ до 70° радиус кулачка увеличивается, обеспечивая увеличение силы натяжения пружины 7 и, соответственно, увеличение настройки регулятора на максимальную частоту вращения. Дальнейший поворот рычага вплоть до положения 120° не изменяет настройку регулятора, так как кулачок при этом имеет постоянный радиус (площадка максимального режима). Положение рычага, соответствующее по лимбу углу 120° , фиксируется винтом-упором. При выворачивании винта рычаг 26 при помощи рычага отдельного управления двигателем (РРУД) может быть установлен в положение $135...140^{\circ}$. При этом радиус кулачка сначала уменьшается, обеспечивая снижение настройки регулятора примерно на 6%, а затем в диапазоне $135...140^{\circ}$ становится постоянным («технологическая площадка»). В этом положении рычага 26 производится проверка максимальной настройки регулятора. Примерная настроечная характеристика регулятора приведена на рис. 8.6.

Промежуточный рычаг 31 (см. рис. 8.24) обеспечивает передачу усилий от кулачка на пружину настройки 7. Левое плечо рычага установлено на оси, закрепленной в штоке 34. Шток, в свою очередь, повернут в червячную втулку 35, зафиксированную в расточке корпуса от осевого перемещения упорной крышкой 38. Правое плечо рычага при помощи оси связано с опорной тарелкой 6 пружины 7. Второй опорой пружины является тарелка, установленная в правом плече рычага 3. В средней части рычага 31 выполнен Г-образный выступ, являющийся упором малого газа.

Система рычагов температурной коррекции является промежуточным звеном, передающим сигналы от температурного корректора (рис. 8.25) на двуплечий рычаг 3. Система состоит из рычага 14 корректора с термокомпенсатором 15, иглы 13, промежуточного рычага 1 и пружины 2.

Двуплечий рычаг 3 является элементом, сравнивающим сигналы от задающего устройства, центробежного датчика и температурного корректора. Изменение соотношения между действующими на рычаг 3 усилиями вызывает его поворот, что, в свою очередь, вызывает изменение положения топливного клапана 4, осуществляющего слив топлива из командной полости Ю основной дозирующей иглы. Узел клапана состоит из проточного клапана 17, пружины 18, стопорного кольца 19, стакана 20 и тарелки 21. В нижней части клапана имеется отверстие, являющееся жиклером слива. Торец клапана располагается выше опорной поверхности М тарелки примерно на 0,1 мм, что гарантирует некоторую утечку топлива в закрытом положении клапана.

Перед запуском двигателя рычаг 26 устанавливается в положение $0...3^{+7^{\circ}}$, при котором профилированный кулачок 32 обращен к рычагу 31 площадкой малого газа, освобождая при этом его от своего воздействия. В результате рычаг 31 отжимается пружиной 7 в крайнее верхнее положение до упора в регулировочный винт 40. Данное положение задающего устройства соответствует настройке регулятора на поддержание минимальной частоты вращения. Сила натяжения пружины при этом определяется только положением винта 40.

В процессе запуска двигателя усилие от затяжки пружины 7 превышает усилие от грузиков центробежного датчика, в результате чего рычаг 3 будет повернут по часовой стрелке, закрывая топливный клапан 4.

При выходе двигателя на режим малого газа усилие от грузиков центробежного датчика уравнивает силу натяжения пружины, вызывая поворот рычага против часовой стрелки и открытие топливного клапана.

При равновесном положении рычага топливный клапан обеспечивает слив из полости Ю (см. рис. 8.12), при котором основная дозирующая игла устанавливается в положение, соответствующем необходимой подаче топлива для поддержания постоянства частоты вращения турбокомпрессора. В случае отклонения частоты вращения ТК в сторону увеличения центробежные силы грузиков возрастают и, преодолевая силу натяжения пружины 7, поворачивают рычаг 3 против часовой стрелки, благодаря чему слив топлива из полости Ю через клапан 4 увеличивается. Падение давления в полости Ю вызывает перемещение основной дозирующей иглы вверх, что уменьшает подачу топлива и, соответственно, уменьшает частоту вращения ТК. При восстановлении частоты вращения до заданного значения рычаг 3 и клапан 4 возвращаются в исходное равновесное положение, останавливая при этом основную дозирующую иглу в новом положении, соответствующем меньшей подаче топлива. При отклонении частоты вращения в сторону уменьшения регулятор работает аналогично, но в сторону увеличения подачи топлива.

При температуре наружного воздуха t_n выше 5°C настройка регулятора обеспечивает поддержание частоты вращения ротора ТК на уровне 72...78 %. При снижении температуры воздуха настройка регулятора уменьшается температурным корректором (см. рис. 8.25), что предотвращает повышение мощности двигателя свыше 150 кВт (200 л. с.).

При уменьшении t_n шток корректора 11 (см. рис. 8.25) вытягивается, перемещая рычаг 14 (рис. 8.24), что вызывает уменьшение силы натяжения пружины и поворот рычага 3 против часовой стрелки. При этом клапан 4 увеличивает слив из полости Ю (см. рис. 8.12), давая команду на перемещение основной дозирующей иглы на уменьшение подачи топлива. Происходящее при этом уменьшение частоты вращения ТК будет продолжаться до тех пор, пока рычаг 3 под действием пружины 7 не вернется в равновесное положение.

Увеличение t_n вызывает перенастройку регулятора на увеличение частоты вращения ротора ТК. При достижении $t_n=5^\circ\text{C}$ рычаг 14 упирается в регулировочный винт 16 и коррекция регулятора по t_n прекращается.

На настройку регулятора оказывает определенное воздействие и температура топлива. При ее повышении происходит нагрев корпуса агрегата, что сопровождается его расширением и уменьшением силы натяжения пружины 7. Регулятор частоты вращения в результате этого фактически перенастраивается на меньшую величину

$n_{\text{тк}}$. Для компенсации влияния температуры топлива на настройку регулятора в рычаг 14 встроены термокомпенсатор 15, представляющий собой пакет биметаллических пластин. При повышении температуры топлива высота пакета термокомпенсатора увеличивается, что создает дополнительное усилие на прикрытие топливного клапана 4 и увеличение подачи топлива в двигатель.

При повороте рычага управления двигателем 26 (РУД) в сторону больших углов по лимбу кулачок 32, поворачиваясь к рычагу 31 большим радиусом, поворачивает его по часовой стрелке и увеличивает тем самым силу натяжения пружины 7. Рычаг 3 в этот момент закрывает клапан 4, перекрывая слив из полости Ю (см. рис. 8.12), в результате чего основная дозирующая игла начинает перемещаться на увеличение подачи топлива и увеличение частоты вращения ротора ТК. В тот момент, когда частота вращения достигнет величины, соответствующей новой настройке регулятора, рычаг 3 с клапаном 4 устанавливаются в равновесное положение и открывают слив из полости Ю. Основная дозирующая игла при этом устанавливается в новом положении, обеспечивающем поддержание постоянства заданной частоты вращения ТК.

При установке РУД в положение 50° по лимбу (правая коррекция) регулятор настраивается на поддержание $n_{\text{тк}}=94\%$. Однако на заданную частоту вращения двигатель не выходит, поскольку при достижении $n_{\text{тк}}=90\ldots92\%$ в работу вступает регулятор частоты вращения свободной турбины и останавливает основную дозирующую иглу в положении, обеспечивающем поддержание $n_{\text{нв}}$ на уровне $95\pm2\%$. Клапан 4 регулятора частоты вращения турбокомпрессора при этом остается в закрытом положении, поскольку фактическая частота вращения ротора ТК оказывается меньше настройки регулятора. При дальнейшем перемещении РУД настройка регулятора сначала достигает максимального значения (при $\alpha_{\text{руд}} = 70^\circ$), после чего остается неизменной, так как профилированный кулачок 32 выходит на площадку постоянного радиуса.

Максимальная настройка регулятора ТК соответствует располагаемой мощности двигателя, значительно превышающей мощность, потребную для поддержания частоты вращения несущего винта на уровне $(95\pm2)\%$ при любом шаге винта. Соответственно, частота вращения ротора ТК во всем диапазоне эксплуатационных режимов выше правой коррекции будет ниже настройки регулятора частоты вращения ТК. Излишек топлива будет в этом диапазоне срезаться регулятором частоты вращения свободной турбины или электронными регуляторами.

Таким образом, на всех режимах от правой коррекции и выше регулятор частоты вращения ТК участия в регулировании двигателя не принимает.

Частота вращения ротора ТК при минимальной и максимальной настройке регулятора определяется положением регулировочных винтов 36 и 40.

Винтом 40 (винт «2» — согласно маркировке на корпусе агрегата) регулируется частота вращения ротора ТК на малом газе. Винт 40 вращается в футорке 30, в верхней части которой нарезаны девять шлицевых пазов под шарики 28, благодаря которым винт

при повороте на один оборот имеет восемнадцать фиксированных положений. Поворот винта 40 по часовой стрелке обеспечивает через рычаг 31 увеличение силы натяжения пружины 7 и, соответственно, увеличение $n_{тк}$ на малом газе.

Винтом 36 (винт «1» — согласно маркировке на корпусе агрегата) регулируется максимальная величина $n_{тк}$. Винт 36 находится в зацеплении с червячной втулкой 35 опоры рычага 31. Вращение винта по часовой стрелке вызывает смещение штока 34 вместе с осью вращения рычага 31 вниз, что при условии выхода кулачка 32 на площадку максимального режима обеспечивает увеличение силы затяжки пружины 7, т. е. повышение настройки регулятора частоты вращения.

Температурный корректор

Температурный корректор предназначен для коррекции настройки регулятора частоты вращения ротора турбокомпрессора в зависимости от температуры воздуха на входе в двигатель с целью поддержания постоянной мощности двигателя на малом газе в диапазоне температур наружного воздуха от минус 60 до 5 °С, а также для коррекции положения поворотных направляющих аппаратов в диапазоне температур от минус 60 до 60 °С.

Температурный корректор (рис. 8:25) состоит из термопатрона узла толкателя и системы рычагов.

Термопатрон представляет собой герметичную колбу 3, во внутреннюю часть которой впаян гофрированный сильфон со штоком 21. Полость между колбой и сильфоном заполнена лигроином. Термопатрон своим штуцером ввертывается во втулку 6, изготовленную из пресс-материала, и стопорится замком 4. Уплотнение соединения осуществляется резиновым кольцом 5. Втулка 6 тремя винтами соединяется со втулкой 8, которая крепится к крышке термопатрона 10. Корпус термопатрона 2 крепится к втулке 8 накидной гайкой 7. С другой стороны к корпусу приварен фланец для подсоединения воздухопровода обдува термопатрона. Внутренняя поверхность корпуса покрыта теплоизолятором 1.

Узел толкателя представляет собой шток 11, на одном конце которого закреплена втулка 9, а на другом — упор 16. Между втулкой и упором на шток свободно установлена муфта 19. На буртик упора 16 опирается вилка 15 рычага 12 коррекции настройки регулятора направляющих аппаратов, а буртик муфты 19 является опорой вилки 18 рычага 17 коррекции настройки регулятора частоты вращения турбокомпрессора. Муфта 19 поджимается вместе с вилкой 18 к упору 16 пружиной. Второй опорой пружины является втулка 9, которая отжимается пружиной вниз, до упора в шток 21 сильфона.

Воздух, поступающий в корпус термопатрона, кожухом 22 делится на два потока, омывает колбу термопатрона и выходит по наружному каналу. При увеличении температуры поступающего воздуха лигроин, находящийся в колбе, расширяется, что вызывает сжатие сильфона и выдвижение его штока 21 вверх. Вместе с ним перемещается вверх и толкатель, разворачивая рычаги 12 и 17. Тем самым выдается команда на увеличение настройки ре-

гулятора частоты вращения турбокомпрессора и накрытие поворотных лопаток НА.

При возрастании температуры наружного воздуха до 5 °С рычаг 17 упирается в винт 13 (согласно маркировке на корпусе агрегата — винт «21») и фиксируется в этом положении вместе с муфтой 19. Коррекция настройки регулятора частоты вращения ТК при дальнейшем повышении t_n прекращается. Однако коррекция настройки регулятора направляющих аппаратов при этом продолжается, поскольку шток 11 продолжает двигаться вверх вместе с втулкой 9 и упором 16, сжимая пружину 20.

Регулятор частоты вращения свободной турбины

Регулятор частоты вращения свободной турбины предназначен для поддержания постоянства частоты вращения ротора свободной турбины и, соответственно, несущего винта на режимах от правой коррекции до номинального включительно. Воздействие на частоту вращения СТ оказывается путем изменения располагаемой мощности двигателя за счет изменения расхода топлива через основную дозирующую иглу. Конструктивная схема регулятора изображена на рис. 8.26.

Основными элементами регулятора являются: центробежный датчик частоты вращения 1, рычаг 2, топливный клапан 3 и задающее устройство с пружинами настройки 8 и 9.

Привод центробежного датчика осуществляется от ротора свободной турбины через внешний гибкий валик, зубчатые колеса коробки приводов и рессору 15. При вращении датчика усилие от центробежной силы грузиков передается на рычаг 2 через иглу 14. Конструкция датчика аналогична конструкции описанного ранее датчика командного давления топлива (см. рис. 8.17). Отличительной особенностью датчика регулятора является наличие в его конструкции узла торцевого уплотнения, препятствующего утечке топлива из полости регулятора в коробку приводов агрегатов через полость вокруг рессоры 15. Уплотнение образовано неподвижной втулкой 21, плавающим кольцом 20 и пружиной 18 с опорными втулками 17 и 19, смонтированными на хвостовике датчика. Топливо, просочившееся через зазор между кольцом 20 и втулкой 21, через сверления в корпусе агрегата отводится к дренажному штуцеру.

Топливный клапан 3 является исполнительным устройством, регулирующим по сигналам от центробежного датчика и задающего устройства слив из командной полости Ю основной дозирующей иглы. Конструкция клапана аналогична конструкции клапана 4 (см. рис. 8.24) регулятора частоты вращения турбокомпрессора.

Двуплечий Т-образный рычаг 2 выполняет в регуляторе функцию механизма сравнения. Правое плечо рычага нагружено снизу усилием от центробежной силы грузиков датчика, а сверху — усилием натяжки пружин 8 и 9 задающего устройства. В левом плече рычага установлен упор, которым регулируется положение топливного клапана 3.

Задающее устройство регулятора обеспечивает его настройку на поддержание требуемой частоты вращения несущего винта. Принципиально задающее устройство состоит из двух механизмов:

механизма 6%-ной коррекции и механизма пятнадцатипроцентной коррекции.

Механизм 6%-ной коррекции состоит из рычага 7, настроечной 8 и загрузочной 6 пружин, профилированного кулачка 4 и регулировочного винта 5. Профилированный кулачок 4 установлен на валике 23 (см. рис. 8.24) вместе с кулачком 32 настройки регулятора частоты вращения турбокомпрессора и рычагом управления двигателем (РУД) 26. Профиль кулачка выполнен таким образом, что при повороте РУД в диапазоне углов по лимбу от 30 до 114 ° затяжка пружины 8 возрастает на величину, эквивалентную увеличению частоты вращения несущего винта на 6%.

Рычаг 7 (см. рис. 8.26) задающего устройства устанавливается на оси 6 (рис. 8.27), закрепленной штифтом 7 в штоке 5, установленном в футорке 8. В резьбовое отверстие штока вворачивается регулировочный винт 1, фиксирующийся от проворачивания контргайкой 2. Конструкция винта аналогична конструкции винта регулировки малого газа 40 (см. рис. 8.24). Контакт рычага 7 (см. рис. 8.26) с профилированным кулачком обеспечивается загрузочной пружиной 6.

Механизм 15%-ной коррекции обеспечивает возможность ручной перенастройки частоты вращения несущего винта на работающем двигателе. По конструктивному выполнению этот механизм аналогичен механизму 6%-ной коррекции. Основными его элементами (см. рис. 8.26) являются: рычаг 10, настроечная 9 и загрузочная 11 пружины, профилированный кулачок 13 с валиком и регулировочный винт 12. Профилированный кулачок закреплен на валике 22 (см. рис. 8.24), установленном в расточке валика 23 механизма настройки регулятора частоты вращения турбокомпрессора. На внешней части валика крепится рычаг перенастройки (РП) 27 со стрелкой. Перемещение рычага производится по сигналу от переключателя, расположенного на рычаге «шаг—газ». Положение РП контролируется по лимбу с градуировкой от 0 до 100 °.

Профиль кулачка 13 (см. рис. 8.26) выполнен таким образом, что при повороте РП в диапазоне от 0 до 100 ° сила натяжения пружины 9 возрастает на величину, эквивалентную увеличению частоты вращения несущего винта на 15%. На вертолете ход рычага ограничен упорами в пределах от (41 ± 2) до (93 ± 2) °, что соответствует изменению частоты вращения несущего винта от (91 ± 2) до 97^{+2}_{-1} %. Среднее положение РП, соответствующее настройке регулятора на поддержание $n_{\text{нв}} = (95 \pm 2)$ %, составляет $(66 \pm 2)^\circ$ по лимбу.

Сила натяжения пружины 9 (см. рис. 8.26) регулируется винтом 12. Конструкция винта (рис. 8.28) аналогична конструкции винта 36 (см. рис. 8.24) максимальной частоты вращения турбокомпрессора.

При работе двигателя на режимах ниже правой коррекции, когда подача топлива в двигатель определяется регулятором частоты вращения турбокомпрессора, клапан 3 (рис. 8.26) регулятора СТ под действием пружин 8 и 9 закрыт, поскольку частота вращения несущего винта при этом ниже настройки регулятора.

На режимах от правой коррекции до номинального включения регулятора частоты вращения СТ, в зависимости от загрузки

несущего винта, управляет подачей топлива в двигатель таким образом, чтобы обеспечить постоянство частоты вращения винта в заданных пределах. При этом на установившихся режимах, характеризующихся неизменным шагом несущего винта, рычаг 2 регулятора находится в равновесном положении, обеспечивая постоянный слив из полости Ю (см. рис. 8.12) основной дозирующей иглы через клапан 3. Отклонение частоты вращения несущего винта от заданного значения вызывает изменение центробежной силы грузиков датчика 1 и нарушение равновесия сил на рычаге 2. Поворачиваясь вокруг своей оси, рычаг будет увеличивать или уменьшать пропускную способность клапана 3, изменяя тем самым давление в полости Ю и вызывая перемещение основной дозирующей иглы. После восстановления частоты вращения несущего винта до заданного значения рычаг 2 возвращается в исходное равновесное положение, при котором слив топлива из полости Ю будет обеспечивать удержание основной дозирующей иглы в положении, соответствующем необходимому расходу топлива для поддержания $n_{нв} = (95 \pm 2) \%$.

Изменение режима двигателя в указанном диапазоне режимов осуществляется изменением загрузки (шага) несущего винта рычагом «шаг—газ». Этот процесс сопровождается изменением потребной винтовой мощности и отклонением частоты вращения несущего винта и роторов СТ от заданного значения. Реагируя на возникшее отклонение, регулятор выдает команду дозирующей игле на изменение подачи топлива в двигатель с целью изменения его располагаемой мощности и приведения ее в соответствие с заданной винтовой мощностью. В тот момент, когда баланс мощностей восстановится, частота вращения несущего винта вернется к заданному значению, а регулятор частоты вращения СТ зафиксирует основную дозирующую иглу в положении, соответствующем новому значению расхода топлива.

Например, для увеличения режима работы двигателя шаг несущего винта увеличивается, что сопровождается возрастанием потребной винтовой мощности и падением частоты вращения винта и роторов свободных турбин. Соответственно уменьшается и центробежная сила грузиков датчика 1, что вызывает поворот рычага 2 под действием пружин 8 и 9 по часовой стрелке, т. е. на прикрытие топливного клапана 3. В результате этого давление в полости Ю повышается и основная дозирующая игла начинает перемещаться вниз на увеличение расхода топлива. При этом частота вращения несущего винта увеличивается и в момент ее восстановления до заданного значения восстанавливается равновесие сил на рычаге 2, который вместе с клапаном 3 возвращается в исходное положение. При этом открывается слив из полости Ю, обеспечивающий фиксацию основной дозирующей иглы в новом положении, соответствующем большему расходу топлива.

В случае уменьшения загрузки несущего винта регулятор работает аналогично, но в сторону уменьшения расхода топлива. Причем, как это следует из анализа работы регулятора, изменение режима обязательно сопровождается динамическими забросами (при облегчении винта) или провалами (при затяжении) частоты

вращения несущего винта, что является недостатком данного способа регулирования.

Ввиду того, что регуляторы частоты вращения СТ выполнены статическими, результатом процесса регулирования на переходных режимах будет возникновение статической ошибки $\Delta n_{\text{ст}}$, т. е. некоторое отклонение фактической частоты вращения несущего винта от заданного значения. Статизм в работу регулятора вносит пружина 6 сервопоршня основной дозирующей иглы (см. рис. 8.22).

Так, например, при перемещении дозирующей иглы в сторону увеличения подачи топлива давление дозированного топлива в полости под ее сервопоршнем возрастет. Из этого следует, что для стабилизации иглы в новом положении требуется пропорциональное возрастание усилия, действующего на поршень сверху от давления топлива и силы натяжения пружины 6. Однако, вследствие ослабления силы натяжения пружины, дозирующая игла будет остановлена регулятором частоты вращения СТ в тот момент, когда расход топлива и давление под поршнем иглы еще не достигли величины, потребной для восстановления частоты вращения несущего винта до заданного значения. Таким образом, при увеличении шага несущего винта частота его вращения будет несколько уменьшаться. Облегчение винта, соответственно, вызывает некоторое возрастание частоты его вращения.

Для двигателя ТВЗ-117 всех модификаций величина статизма составляет 6%, т. е. при увеличении шага несущего винта от минимального до максимального частота его вращения должна понизиться на 6% (см. рис. 8.8). Введение статизма обусловлено тем фактором, что настройки регуляторов частоты вращения свободных турбин левого и правого двигателей не могут полностью совпадать, в то время как роторы свободных турбин, жестко связанные между собой через редуктор, вращаются со строго одинаковой частотой. В результате тот регулятор, который имеет меньшую настройку (т. е. меньшую силу затяжки настроечных пружин) будет обеспечивать больший слив из полости Ю и переместит основную дозирующую иглу на меньшую подачу топлива.

Таким образом, при одинаковой частоте вращения свободных турбин подача топлива в левый и правый двигатель будет различной (рис. 8.29), что вызовет неравномерность загрузки двигателей и разную выработку их ресурса. Введение статизма существенно улучшает синхронизацию двигателей, причем чем больше величина статизма, тем меньшей будет разница в расходах топлива при той же частоте вращения СТ (рис. 8.30). Уменьшение статизма, соответственно, увеличивает разницу в режимах работы двигателей. Если же выполнить регуляторы астатичными (без наклона характеристики G_T по $n_{\text{нв}}$), то совместная работа двух двигателей на один винт становится невозможной, так как регулятор, имеющий большую настройку, будет переводить свой двигатель на максимальный режим, а регулятор с меньшей настройкой будет уменьшать подачу топлива в двигатель вплоть до его выключения.

Наличие статизма в работе регулятора, однако, ухудшает условия работы несущего винта, так как не обеспечивает поддержание частоты его вращения на оптимальном уровне, а также затрудняет

пилотирующие вертолета. Для точного поддержания частоты вращения несущего винта в заданных пределах (95 ± 2) % в регулятор введен механизм 6%-ной коррекции, который устраняет статизм путем изменения настройки регулятора. Изменение настройки происходит, как уже указывалось, в диапазоне поворота РУД от 30 до 114 °. При этом за счет увеличения силы натяжения пружины 8 (см. рис. 8.26) регулятор настраивается на большую частоту вращения.

Например, при увеличении расхода топлива от G_{T1} до G_{T2} (рис. 8.31) при отсутствии коррекции частота вращения несущего винта уменьшилась бы на величину $\Delta n_{нв}$ (точки 1 и 2I). Благодаря наличию коррекции настройка регулятора смещается в сторону большей частоты вращения на величину $\Delta n_{нв}$, в результате чего частота вращения несущего винта остается неизменной (точка 2.I).

Наличие механизма 6%-ной коррекции позволяет также существенно сократить динамические провалы (забросы) частоты вращения несущего винта на переходных режимах. Это обеспечивается за счет одновременного с изменением шага несущего винта изменения настройки регулятора кулачком 6%-ной коррекции. Например, при увеличении шага винта кулачок 4 (рис. 8.26) одновременно увеличивает затяжку пружины 8 и прикрывает слив из полости Ю основной дозирующей иглы. В результате движения дозирующей иглы на увеличение подачи топлива начнется ранее того момента, когда произойдет уменьшение частоты вращения ротора свободной турбины, что ускоряет в итоге процесс восстановления частоты вращения несущего винта.

В процессе выхода двигателя на взлетный режим в работу вступает электронный регулятор двигателя ЭРД-ЗВМ, обеспечивающий поддержание постоянства располагаемой мощности двигателя, в результате чего увеличение шага несущего винта сопровождается уменьшением частоты его вращения. При уменьшении $n_{нв}$ до (94 ± 1) % регулятор частоты вращения СТ закрывает свой клапан 3 и прекращает дозирование топлива. Вступление регулятора частоты вращения в работу на взлетном режиме (что проявляется в изменении частоты вращения ТК при изменении шага несущего винта) свидетельствует о неправильной его настройке.

Регулировка частоты вращения несущего винта осуществляется винтами 5 и 12 (на рис. 8.26 соответственно винты «3» и «4» согласно маркировке на корпусе агрегата), причем если потребное изменение настройки регулятора превышает 1,5 %, регулировка производится обоими винтами одновременно, чтобы исключить перекося рычага 2. При этом на каждый винт должно приходиться 50 % регулировки.

Синхронизатор мощности

Синхронизатор мощности (СМ) обеспечивает поддержание равенства мощностей, передаваемых двигателями на несущий винт, путем выравнивания давлений воздуха за их компрессорами. Причиной несинхронности, как это отмечалось ранее, являются различия в настройке регуляторов частоты вращения свободных турбин.

Частичная компенсация разнорежимности обеспечивается введением статизма в характеристики регуляторов, однако полной синхронизации мощностей это мероприятие не гарантирует, что обусловило необходимость применения специального синхронизатора.

Синхронизатор мощности последовательно включен в линию слива топлива из полости Ю основной дозирующей иглы в регулятор частоты вращения свободной турбины, в связи с чем диапазон режимов их работы совпадают (от режима правой коррекции до номинального режима включительно).

Синхронизатор мощности состоит (рис. 8.32) из узла воздушной мембраны 9 и золотникового механизма 15, соединенных через двуплечий рычаг 17.

Узел воздушной мембраны выполняет в синхронизаторе функцию измерительного устройства, сравнивающего давление воздуха за компрессорами собственного и соседнего двигателей. Мембрана 9 представляет собой диск из обрезаемого полотна, зажатый между двумя стальными дисками. При монтаже мембрана крепится на корпусе 12 агрегата крышкой 3. Справа на мембрану опирается пружина 7, затяжка которой регулируется винтом 5, ввернутым в футорку 6. В правую полость мембраны через штуцер 4 подводится воздух из-за компрессора собственного двигателя. Левая полость мембраны через штуцер 1 сообщена с магистралью подвода воздуха из-за компрессора соседнего двигателя. Усилие от мембраны на рычаг 17 передается через опорную иглу 8.

Золотниковый механизм синхронизатора состоит из золотника 15 и втулки 14, включенных в линию слива из полости Ю в регулятор частоты вращения СТ. Через иглу 13 на золотник передается усилие от пружины 11, второй опорой которой является пробка 10. Пружина через иглу 16 поджимает золотник к двуплечему рычагу 17. К левому ряду отверстий золотника по каналу А подводится топливо из полости Ю основной дозирующей иглы, которое затем через проточку золотника и правый ряд отверстий втулки перепускается в канал Е, соединяющий синхронизатор с регулятором частоты вращения СТ.

При равенстве давлений воздуха за компрессорами мембрана 9 синхронизатора находится в равновесии и удерживает при этом золотник 15 в положении, при котором его пропускная способность больше, чем у топливного клапана регулятора частоты вращения СТ. В этом случае количество сливаемого из полости Ю топлива и положение основной дозирующей иглы будет определяться работой регулятора СТ, а синхронизатор мощности на режим работы двигателя влияния не оказывает. В случае возникновения разнорежимности в работе двигателей давление воздуха за их компрессорами оказываются различными, что приводит к нарушению равновесия сил на мембранах синхронизаторов. У двигателя, имеющего меньшую мощность (ведомого), меньшим будет и давление воздуха за компрессором, что вызовет прогиб мембраны вправо. Одновременно с этим золотник под действием пружины 11 сместится влево и прикроет своей кромкой слив топлива в регулятор частоты вращения СТ, что вызовет повышение давления в полости Ю и перемещение основной дозирующей иглы на увеличение подачи топлива. Про-

исходящее при этом возрастание мощности ведомого двигателя будет продолжаться до тех пор, пока давление воздуха за его компрессором не сравняется с давлением за компрессором соседнего двигателя. В этот момент положение мембраны 9 и золотника 15 стабилизируется, а основная дозирующая игла остановится в положении, соответствующим несколько большей подаче топлива по сравнению с настройкой регулятора частоты вращения СТ. В это время мембрана синхронизатора ведущего двигателя прогибается влево, а золотник перемещается вправо, однако на величину слива из полости Ю это влияния не окажет.

Синхронизатор мощности, таким образом, всегда настроен на увеличение мощности ведомого двигателя и не оказывает влияния на мощность двигателя ведущего.

Некоторое воздействие на мощность ведущего двигателя в процессе синхронизации будет оказывать его регулятор частоты вращения СТ, срабатывающий на понижение режима. Причиной этому является увеличение мощности, передаваемой на несущий винт при возрастании мощности ведомого двигателя и, сопровождающее это явление увеличение скорости вращения роторов СТ.

Полное перекрытие линии слива из полости Ю синхронизатор мощности осуществляет при условии, когда давление воздуха за компрессором соседнего двигателя превышает давление за компрессором своего двигателя на 0,012 МПа ($0,12 \text{ кгс/см}^2$) и более. Указанное явление имеет место в процессе запуска двигателя при работающем соседнем двигателе и оказывает определенное воздействие на положение основной дозирующей иглы и на характеристику подачи топлива. Это связано с тем, что топливные клапана регуляторов частоты вращения СТ выполнены проточными и даже при их полном закрытии в процессе запуска должны обеспечивать незначительный слив из полости Ю. Перекрытие слива синхронизатором вызовет, соответственно, некоторое повышение давления в полости Ю и перенастройку основной дозирующей иглы на увеличение подачи топлива.

Для исключения влияния синхронизатора мощности на расход топлива при запуске параллельно его золотнику установлен обводной жиклер 19, обеспечивающий необходимый слив топлива через закрытый клапан регулятора частоты вращения СТ. При работе двигателя на основных эксплуатационных режимах наличие жиклера 19 несколько снижает эффективность синхронизатора, однако существенного воздействия на разнорежимность двигателей не оказывает.

Наличие в системе регулирования синхронизатора мощности в определенных условиях может привести к неуправляемой раскрутке несущего винта. Так, например, при нарушении кинематической связи ротора свободной турбины с регулятором частоты вращения (обрыв гибкого валика) топливный клапан последнего перекрывает слив из командной полости Ю, вызывая тем самым перемещение основной дозирующей иглы на увеличение подачи топлива вплоть до выхода двигателя на взлетный режим. Одновременно с этим синхронизатор исправного двигателя, воспринимая данную ситуацию как разнорежимность, также перекрывает слив из полости Ю. Мощность исправного двигателя таким образом также начинает возрастать, что в условиях неизменного

шага несущего винта приводит к возрастанию его частоты вращения свыше допустимого значения.

Для исключения указанного явления в конструкцию насоса-регулятора включен золотник, обеспечивающий аварийное отключение синхронизатора мощности исправного двигателя при увеличении частоты вращения несущего винта до $(107 \pm 2)\%$.

Узел золотника состоит из толкателя 20, втулки 21, золотника 22, пружины 24 с тарелкой 23 и опорой 25 и регулировочного винта 27. К нижнему торцу толкателя по каналу В подается командное давление топлива, пропорциональное квадрату частоты вращения свободной турбины. Сверху золотник нагружен усилием от затяжки пружины и давления слива. В исходном положении золотник под действием пружины отжимается вниз, разобшая при этом топливные каналы Г и Д и перекрывая канал Б подвода топлива из магистрали нагнетания насоса. При достижении частоты вращения несущего винта $(107 \pm 2)\%$ усилие от командного давления топлива преодолевает силу натяжения пружины и смещает толкатель вместе с золотником вверх. При этом золотник своим нижним пояском открывает окна подвода топлива с высоким давлением из канала Б под торец золотника. Под действием этого давления золотник перемещается в крайнее верхнее положение и удерживается в нем до момента останова двигателя. В этом положении золотник через свою широкую кольцевую проточку соединяет каналы Г и Д обеспечивая тем самым слив топлива из полости Ю в регулятор частоты вращения СТ, минуя синхронизатор мощности. Поскольку частоты вращения ротора СТ в этот момент значительно превышает настройку регулятора последний начинает осуществлять интенсивный слив топлива из полости Ю и переводит двигатель на пониженный режим. Понижение мощности исправного двигателя будет происходить до тех пор, пока суммарная мощность двигателей не достигнет величины, потребной для вращения несущего винта с частотой вращения $(95 \pm 2)\%$.

Клапаны минимального давления

Клапаны минимального давления 37 и 43 (см. рис. 8.12) являются устройствами, ограничивающими нижний предел расхода топлива в диапазоне режимов, определяемых регуляторами частоты вращения турбокомпрессора и свободной турбины. Величина расхода топлива контролируется клапанами по давлению топлива, отбираемого из-за дозирующей иглы автомата приемистости.

Клапан 43 обеспечивает ограничение минимального расхода топлива на режиме малого газа, определяемое регулятором частоты вращения ТК. Настройка клапана обеспечивает включение его в работу при падении давления топлива за дозирующей иглой автомата приемистости до 1,2 МПа (12 кгс/см^2), что соответствует расходу топлива 90 кг/ч. Ограничивающим фактором при этом является снижение устойчивости факела пламени в камере сгорания. Возникновение указанной ситуации возможно при запуске двигателя в полете или на высокогорной площадке. В этих случаях регулятор частоты вращения ТК с целью поддержания постоянства $n_{\text{тк}}$ уменьшает подачу топлива в двигатель. При высоте более 3 км расход

топлива может упасть ниже минимальной величины, при которой уже не гарантируется устойчивое горение топлива в камере сгорания. Начиная с этого момента параметры двигателя на малом газе будут определяться клапаном минимального давления, обеспечивающим постоянную подачу топлива в двигатель. Частота вращения ротора ТК будет при этом возрастать (рис. 8.33).

Клапан 37 (см. рис. 8.12) ограничивает нижний предел расхода топлива на режимах, определяемых регулятором частоты вращения свободной турбины. Минимальное давление топлива, на которое настроен клапан, составляет 1,8 МПа (18 кгс/см²), что соответствует величине располагаемой мощности, примерно 294 кВт (400 л. с.). Падение мощности ниже указанного предела может при большой частоте вращения несущего винта привести к расцеплению муфты свободного хода.

Оба клапана по конструкции (рис. 8.34) и принципу работы аналогичны и отличаются только исходной затяжкой настроечной пружины. Узел клапана состоит из втулки 1, золотника 2, пружины 6, упора 5 и пробки 4. На втулке выполнены окна А и Б, через которые производится перепуск топлива из полости Ю основной дозирующей иглы на слив через клапаны автоматических устройств. На поверхности золотника имеется широкая кольцевая проточка для прохода топлива и разгрузочные канавки для создания лабиринтного уплотнения по зазору. Под нижний торец золотника подводится топливо из канала за дозирующей иглой автомата приемистости. Сверху на золотник действует усилие пружины 6 и давление слива.

В случае, когда сила давления дозированного топлива будет выше силы затяжки пружины и давления слива, золотник займет крайнее верхнее положение, обеспечивая при этом беспрепятственный слив топлива из полости Ю через открытые окна А и Б. При снижении давления дозированного топлива до минимальной величины, заданной силой затяжки пружины, золотник смещается вниз и прикрывает своей кромкой окна слива из полости Ю, предотвращая дальнейшее перемещение основной дозирующей иглы на уменьшение расхода топлива.

Исполнительный механизм ИМ-47 с блокировочным золотником

Исполнительный механизм ИМ-47 управляет положением основной дозирующей иглы на взлетном и чрезвычайном режимах по сигналам от электронного регулятора двигателя ЭРД-ЗВМ и регулятора температуры РТ-12-6. Воздействие на ИМ-47 может представлять собой сумму сигналов от обоих регуляторов, либо сигнал от одного из них.

Исполнительный механизм (рис. 8.35) состоит из поляризованного реле 1 с подвижным якорем-заслонкой 3, клапана 4 и регулировочного винта 6. В корпусе 10 клапана выполнен осевой канал с калиброванным отверстием диаметром 1 мм, через который к клапану подводится топливо из полости Ю основной дозирующей иглы. Клапан 4 с пружиной размещены в стакане 9, закрепленном на корпусе 10. Усилие на закрытие клапана создается пружиной 8 через якорь-заслонку 3. Сила натяжения пружины регулируется

толщиной шайб 5. Ход якоря-заслонки ограничена снизу торцом клапана 4, а сверху — регулировочным винтом 6.

При обесточенном реле усилием пружины через якорь клапан прижимается к седлу, перекрывая канал слива топлива из полости Ю в полость Б клапана. При подаче электрического сигнала на реле заслонка 3 начинает колебаться с частотой, определяемой скважностью (продолжительностью) сигнала, обеспечивая при этом слив топлива из полости Ю основной дозирующей иглы. Величина слива и положение основной дозирующей иглы будет определяться при работе исполнительного механизма продолжительностью поступающих на реле сигналов.

Появление на реле сигналов с повышенной скважностью (например, при ложном срабатывании регулятора температуры) может вызвать резкое снижение мощности двигателя. Для предотвращения этого явления в линии слива топлива из полости Ю установлен блокировочный золотник, отключающий исполнительный механизм при падении частоты вращения ротора ТК до 84%.

Узел блокировочного золотника (рис. 8.36) состоит из втулки 1, золотника 2, пружины 4 и регулировочного винта 7, ввернутого в пробку 6. Через верхний и средний ряды отверстий втулки и проточку золотника соединяются каналы А и В, обеспечивающие слив топлива из полости Ю основной дозирующей иглы в исполнительный механизм.

Через нижний ряд отверстий втулки из канала Г под торец золотника подводится командное давление топлива, пропорциональное квадрату частоты вращения ротора ТК. Сверху на золотник действует усилие от затяжки пружины и давления слива. При частоте вращения ТК выше 84% золотник под действием командного давления находится в крайнем верхнем положении, соединяя своей широкой проточкой каналы А и В и обеспечивая, тем самым, беспрепятственный слив топлива из полости Ю в исполнительный механизм. Уменьшение частоты вращения ТК до 84% вызывает одновременное уменьшение командного давления и перемещение золотника вниз. При этом своим пояском Б золотник перекрывает канал А, отсекая тем самым топливный клапан исполнительного механизма от полости Ю основной дозирующей иглы.

Настройка блокировочного золотника осуществляется изменением силы затяжки пружины 4 регулировочным винтом 7 (на корпусе агрегата промаркирован цифрой «6»). Увеличение силы затяжки пружины увеличивает значение $n_{\text{тк}}$, при котором происходит блокировка исполнительного механизма.

Узел воздушного фильтра с редуктором

Воздушный фильтр предназначен для очистки воздуха, подводимого из-за компрессора двигателя в воздушные полости автоматов запуска и приемистости, а также для редуцирования давления поступающего в них воздуха.

Фильтр (рис. 8.37) состоит из каркаса 2 и фильтрующей сетки, припаянных к штуцеру 4 подвода воздуха. Штуцер вворачивается в корпус 3 фильтра, который, в свою очередь, штуцером 7 крепится к корпусу редуктора 8. Через полость корпуса 8 фильтр сообщается

с воздушной полостью автомата приемистости. Редуцирование давления поступающего воздуха осуществляется входным жиклером 9, ввернутым в штуцер 7, и стравливающим жиклером 5 (на корпусе агрегата имеет маркировку «П»), ввернутым в переходник 6.

Отвод воздуха от фильтра к автомату запуска осуществляется по трубке от штуцера фильтра. Стравливающий жиклер автомата запуска (на корпусе агрегата имеет маркировку «4») устанавливается через переходник в штуцере отвода воздуха.

Роль входного жиклера выполняет калиброванное отверстие, высверленное в теле штуцера.

Автомат запуска

Автомат запуска 46 (рис. 8.12) предназначен для регулирования подачи топлива в камеру сгорания на первом этапе запуска (до $n_{тк} = 45\%$).

Процесс запуска является неустановившимся режимом, сопровождающимся интенсивным ростом температуры газа и частоты вращения турбокомпрессора. Для обеспечения этого режима необходима избыточная мощность на турбине компрессора, которая создается за счет превышения предполагаемого расхода топлива над расходом, потребным на установившихся режимах. Величина избыточной мощности определяет важнейшую характеристику процесса запуска — время выхода двигателя на малый газ.

Получение оптимальной пусковой характеристики двигателя, обеспечивающей минимальное время запуска, гарантируется за счет точной дозировки топлива, подаваемого в камеру сгорания. При этом предельное значение расхода топлива ограничивается допустимой температурой газа перед турбиной и устойчивостью процессов, протекающих в камере сгорания и в компрессоре.

Дозирование топлива производится автоматом запуска в соответствии с изменением расхода воздуха через двигатель, причем расход воздуха контролируется по давлению за компрессором (p_k), которое в данном случае выступает в роли задающего параметра. При запуске в высотных условиях подача топлива также корректируется по давлению наружного воздуха — p_n .

Принципиально автомат запуска (рис. 8.38) разделяется на топливную и воздушную части, связанные между собой рычагом 20. Топливная часть автомата состоит из топливного клапана и датчика давления дозированного топлива.

Топливный клапан 16 является исполнительным механизмом автомата запуска, регулирующим слив топлива из командной полости «Ю» основной дозирующей иглы. По конструкции топливный клапан аналогичен сливным клапанам регуляторов частоты вращения ТК и СТ.

Датчик давления дозированного топлива выполняет функцию механизма обратной связи, корректирующего подачу топлива в соответствии с давлением перед форсунками. Узел датчика состоит из диафрагмы 10, сухаря 11, штока 19 и втулки 17. Диафрагма устанавливается в расточку крышки 12 клапана и поджимается при монтаже к втулке 17 через кольцо 8 сухаря. Втулка 17 является направляющей штока 19, который одним концом упирается в сухарь,

а другим — в торец регулировочного винта 18 рычага 20. В правую полость диафрагмы через канал Б подается топливо из-за дозирующей иглы автомата приемистости. Создаваемое давлением топлива усилие через диафрагму, сухарь и шток передается на рычаг 20.

Воздушная часть автомата запуска состоит из узла воздушной мембраны 24 и высотного корректора.

Узел воздушной мембраны является чувствительным элементом, измеряющим давление воздуха за компрессором двигателя. Мембрана 24 выполнена из обрезиненного полотна и зажата между двумя, склепанными между собой, дисками 23. Справа на мембрану опирается пружина 7, сила натяжения которой регулируется винтом 6, ввернутым в пробку 5 воздушной полости. Слева мембрана через иглу 22 связана с рычагом 20.

В правую полость мембраны, замкнутую крышкой 4, через фильтр 47 (см. рис. 8.12) подается воздух из-за компрессора.

Давление воздуха при этом редуцируется входным и стравливающим жиклерами (стравливающий жиклер имеет маркировку «А»).

Левая полость мембраны через отверстие А (рис. 8.38) в корпусе сообщается с атмосферой.

Воздушный корректор предназначен для понижения настройки автомата запуска при уменьшении давления наружного воздуха. Основным элементом корректора является пакет двух герметичных анероидов 1, поджатых регулировочным винтом 2 через шток 28 к опорному рычагу 27. Опорный рычаг устанавливается на оси, запрессованной в опорной втулке 31. Положение оси регулируется винтом 30.

От анероидов развиваемое ими усилие через рычаг корректора 25 передается на рычаг 20.

Двушлицей рычаг 20, связывающий между собой воздушную и топливную части автомата запуска, выполняет функцию элемента сравнения, управляющего в соответствии с балансом действующих на него со стороны мембран 10 и 24 усилий положением топливного клапана 16. В нижнем (по схеме) плече рычага устанавливается упор 15 топливного клапана и регулировочный винт 18. На верхнем плече выполнена глухая расточка под опорную иглу 22 воздушной мембраны. Ось вращения рычага запрессована во втулку 21, установленную между корпусами топливной и воздушной части автомата. Уплотнение зазора между рычагом и втулкой обеспечивается резиновым кольцом.

На неработающем двигателе под действием усилий со стороны пружин 7 и 13 рычаг 20 повернут против часовой стрелки, прижимая при этом клапан 16 к седлу.

При запуске двигателя давление топлива в полостях насоса-регулятора, а значит и перед диафрагмой 10, возрастает. В то же время давление воздуха в правой полости мембраны 24 первоначально практически остается неизменным из-за действия стравливающего жиклера А (см. рис. 8.12). В результате этого под действием усилия, создаваемого давлением топлива, рычаг 20 поворачивается по часовой стрелке и открывает клапан 16, соединяющий командную полость Ю основной дозирующей иглы со

сливом. Благодаря этому дозирующая игла первоначально удерживается на упоре минимального расхода 20 (см. рис. 8.12).

По мере возрастания частоты вращения ротора ТК давление воздуха в полости мембраны 24 начинает увеличиваться. При этом усилие, создаваемое давлением воздуха на мембрану, преодолевает силу давления топлива на диафрагму 10 и поворачивает рычаг 20 против часовой стрелки, т. е. на прикрытие клапана 16 и уменьшение слива из командной полости Ю. Этот процесс сопровождается повышением давления в полости Ю и перемещением основной дозирующей иглы на увеличение расхода топлива. Возросшее при этом давление дозированного топлива тормозит движение рычага 20 на прикрытие клапана 16, благодаря чему ограничивается скорость перемещения дозирующей иглы и, соответственно, нарастание давления перед форсунками.

При достижении $n_{тк}=45$ % клапан 16 настолько прикрывает слив из полости Ю, что это уже не обеспечивает требуемого закона подачи топлива. Начиная с этого момента в процесс регулирования включается автомат приемистости, открывающий слив из полости Ю через дифференциальный клапан 57 (см. рис. 8.12). Некоторое время после этого регулирования подачи топлива в двигатель осуществляется автоматами запуска и приемистости совместно, после чего клапан 16 (рис. 8.38) автомата запуска закрывается, что означает выключение его из работы.

В дальнейшем, на режимах выше малого газа, автомат запуска в регулировании расхода топлива участия не принимает. Самопроизвольное включение в работу автомата запуска на повышенных режимах может произойти в случае нарушения герметичности или засорения магистрали подвода воздуха в полость воздушной мембраны. Падение давления в этой полости приводит к открыванию слива из полостей Ю и, как следствие, к переходу дозирующей иглы в сторону минимального расхода топлива.

Из анализа работы автомата запуска следует, что темп роста температуры газа и частоты вращения ротора ТК при запуске будет определяться двумя факторами: силой натяжения пружины 7 и пропускной способностью жиклера А (см. рис. 8.12).

Натяжение пружины 7 оказывает существенное влияние на расход топлива в начальный момент запуска, когда давление воздуха в полости мембраны 24 практически не отличается от атмосферного. Увеличение затяжки пружины винтом 6 приводит к возрастанию усилия, действующего на закрытие слива топлива из полости Ю, что способствует перенастройке дозирующей иглы на увеличение расхода топлива.

С увеличением давления за компрессором расход топлива в основном определяется скоростью нарастания давления в полости воздушной мембраны 24, которая, в свою очередь, зависит от пропускной способности срабатывающего жиклера А. При увеличении диаметра жиклера давления в мембранной полости падает, что обеспечивает увеличение слива из полости Ю и перенастройку дозирующей иглы на уменьшение расхода топлива. Снижается при этом соответственно и темп нарастания $n_{тк}$ и t_r^* .

При запуске двигателя в высотных условиях уменьшение расхода воздуха может вызвать заброс температуры газа перед турбиной или срыв пламени в камере сгорания. Для предотвращения этих явлений производится перенастройка автомата запуска на меньшую подачу топлива при помощи высотного корректора. С подъемом на высоту анероиды 1 высотного корректора расширяются и через опорный 27 и промежуточный рычаг корректора 25 создают на рычаге 20 автомата запуска усилие на открытие топливного клапана 16 и, соответственно, на увеличение слива из полости Ю. Основная дозирующая сила при этом перемещается в сторону меньших расходов топлива.

Настройка и регулировка высотного корректора производится винтами 2 и 30 в заводских условиях.

Автомат приемистости

Автомат приемистости (АП) предназначен для дозирования топлива на неустановившихся режимах запуска (при $n_{тк}$ свыше 45%) и приемистости по оптимальному закону, обеспечивающему минимальное время приемистости и исключающему заброс температуры газа перед турбиной и неустойчивую работу компрессора.

При отказе или выключении электронных регуляторов на взлетном режиме автомат приемистости работает как ограничитель максимального расхода топлива (ОМР).

По функциональной схеме и принципу работы АП двигателя ТВ3-117 относится к комбинированным автоматам, программирующим подачу топлива по двум параметрам — давлению воздуха за компрессором $p_{к*}$ и частоте вращения ротора турбокомпрессора $n_{тк}$.

В соответствии с этим автомат приемистости делится на два автоматических устройства: устройство регулирования площади проходного сечения дозирующей иглы и механизм регулирования перепада давлений на игле, причем управление дозирующей иглой АП производится в соответствии с $p_{к*}$, а перепад давлений на игле регулируется в соответствии с $n_{тк}$.

Устройство регулирования площади дозирующего сечения (рис. 8.39) состоит из узла дозирующей иглы с сервопоршнем и блока сильфонов с рычагом. Узел дозирующей иглы, состоящий из золотника 13 и втулки 11, является в данном устройстве исполнительным механизмом. Величина дозирующего сечения определяется зазором между внутренним пояском втулки и профильной частью иглы. Перемещение золотника производится сервоприводом, состоящим из сервопоршня 7 и пружины 10. В обе полости поршня подается топливо из магистрали постоянного давления, причем в линии подвода в нижнюю полость Ж устанавливается дроссель 12. Перемещение поршня и иглы происходит за счет регулирования давления в полости Ж путем слива топлива через клапан 17.

Крайние положения дозирующей иглы определяются регулировочным винтом минимального расхода 8 и регулировочным винтом максимального расхода 22.

Блок сильфонов является задающим устройством, управляющим положением дозирующей иглы в соответствии с давлением воздуха за компрессором.

Конструктивно блок состоит из двух сильфонов — вакуумного (компенсационного) 2 и воздушного 5, спаянных между собой через фланцы. Оба сильфона установлены в корпусе 1, который крепится к крышке 16 узла дозирующей иглы. Полость корпуса 1 через жиклер 4, закрытый сеткой, сообщается с атмосферой. В полость сильфона 5 через воздушный фильтр 47 (см. рис. 8.12) из диффузора камеры сгорания подается воздух, давление которого редуцируется жиклером П.

Сильфоны через ось 3 соединены с двуплечим рычагом 18, ось вращения которого 23 жестко связана с крышкой 16. Левое плечо рычага нагружено сверху усилием пружины 20, сила натяжения которой регулируется винтом 21. Через пружину обратной связи 19 рычаг также связан с дозирующей иглой.

На установившихся режимах работы двигателя сильфоны, а также пружины 19 и 20 устанавливают рычаг 18 в положение, при котором топливный клапан 17 обеспечивает слив из полости Ж дозирующей иглы, равный подводу топлива в эту полость через дроссель 12.

Золотник дозирующей иглы 13 будет при этом находиться в равновесном положении, при котором его пропускная способность больше потребного расхода топлива, определяемого основной дозирующей иглой. Исходя из этого, на установившемся режиме дозирующая игла АП на расход топлива влияния оказывать не будет.

В процессе разгона двигателя происходит увеличение давления p_k , подаваемого в воздушный сильфон 5, вследствие чего сильфон расширяется и поворачивает рычаг 18 против часовой стрелки, т. е. на прикрытие клапана 17. Результатом этого является повышение давления в полости Ж и перемещение дозирующей иглы вверх на увеличение расхода топлива. Одновременно с этим происходит увеличение силы натяжения пружины 19, которая, срабатывая как механизм обратной связи, перемещает рычаг по часовой стрелке и приоткрывает слив из полости Ж через клапан 17. Перемещение иглы на увеличение подачи топлива в результате замедляется.

При выходе двигателя на заданный режим увеличение $\dot{n}_{тх}$ и p_k^* прекращается. Дозирующая игла АП при этом опять устанавливается в равновесное положение, при котором ее настройка выше, чем у основной дозирующей иглы.

Скорость перемещения дозирующей иглы АП на переходных режимах определяется пропускной способностью срабатывающего жиклера П (см. рис. 8.12). Например, увеличение диаметра жиклера П снижает как величину давления в воздушном сильфоне 5, так и скорость его нарастания. В результате этого уменьшается усилие на закрытие топливного клапана 17, что вызывает уменьшение давления в полости Ж и смещение дозирующей иглы в сторону меньших расходов топлива. Уменьшается при этом и скорость перемещения иглы, что приводит к снижению темпа нарастания температуры газа и частоты вращения турбокомпрессора на режиме разгона и увеличению времени приемистости.

Регулировка подачи топлива в процессе приемистости может осуществляться и путем изменения силы натяжения пружины 20 регулирующим винтом 21 (на корпусе агрегата имеет маркировку «14»). При повороте винта по часовой стрелке происходит увели-

чение силы натяжения пружины, благодаря чему создается усилие на закрытие клапана 17 и, соответственно, на повышение давления в полости Ж. В результате этого характеристика подачи топлива параллельно смещается в зону больших расходов.

Особенностью рассмотренного устройства является то, что в начальном периоде приемистости оно не способно предотвратить заброс температуры газа перед турбиной. Объясняется это инерционностью двигателя, что проявляется в отставании изменения η_{TK} от изменения расхода топлива. В результате этого в начальный момент разгона, когда основная дозирующая игла резко перемещается на увеличение подачи топлива, частота вращения ротора ТК и, следовательно, расход воздуха через двигатель первоначально остаются неизменными. Это вызывает переобогащение смеси в камере сгорания, что создает предпосылки для превышения максимально допустимой температуры газа, возникновению помпажа компрессора и срыва пламени в камере сгорания. Исключение этих явлений обеспечивается автоматом приемистости за счет срезки топлива в начальном периоде разгона путем ограничения перепада давлений на дозирующей игле АП.

Механизм регулирования перепада состоит из (см. рис. 8.12) регулируемого дросселя Д, (см. рис. 8.12) мембраны нулевого перепада 54, дифференциального клапана 57 и жиклера 58 постоянного слива. Все перечисленные устройства последовательно расположены в топливной магистрали, через которую происходит постоянный слив части топлива из магистрали перед дозирующей иглой АП. Функцию датчика перепада давлений в данном устройстве выполняет мембрана нулевого перепада совместно с дросселем и сливным жиклером. Измерителем и, одновременно, исполнительным механизмом является дифференциальный клапан.

Регулируемый дроссель (рис. 8.40) состоит из корпуса 5, обтянутого снаружи фильтрующей сеткой 4, регулировочного винта 1, ввернутого в корпус и втулки 2. Для прохода топлива в корпусе выполнены четыре радиальных отверстия А. Втулка 2 прижата своим буртиком к корпусу гайкой 3. В нижней части втулки выполнен профильный срез.

Топливо, поступающее к дросселю из канала перед дозирующей иглой АП, через сетку и отверстия А проходит внутрь его корпуса, откуда через сечение, образованное профильным срезом втулки и регулировочным винтом, отводится в левую полость мембраны нулевого перепада.

Величина перепада давлений на дросселе определяется его пропускной способностью, которая регулируется винтом 1. При заворачивании винта площадь проходного сечения жиклера уменьшается, а перепад давлений увеличивается.

Мембрана нулевого перепада (рис. 8.41) предназначена для создания давления топлива, пропорционального перепаду давлений на дозирующей игле АП. Узел мембраны состоит из обрезиненной диафрагмы 3, зажатой между двумя металлическими дисками, клапана 4, перепускной втулки 1 и крышки 2.

Правая полость мембраны сообщена с полостью за дозирующей иглой АП. Через левую полость мембраны производится перепуск

на слив топлива, поступающего из полости перед дозирующей иглой АП через дроссель. Величина слива регулируется мембраной и клапаном. В процессе работы клапан занимает равновесное положение, при котором производится слив топлива из левой полости, обеспечивающей поддержание давления в ней, равного давлению в правой полости, т. е. давлению за дозирующей иглой АП. Поскольку подача топлива в левую полость производится через дроссель, то результатом работы мембраны будет создание на дросселе перепада давлений, равного перепаду давлений на дозирующей игле АП. Учитывая, что расход топлива через дроссель D и жиклер 58 (см. рис. 8.12) одинаков, перепады давлений на них будут пропорциональны друг другу. Отсюда следует, что перепад на сливном жиклере 58 будет всегда пропорциональным перепаду на дозирующей игле АП. Величина перепада на жиклере определяется как разность между давлением топлива в правой полости мембраны дифференциального клапана 57 и давлением слива, которое практически является величиной постоянной. Следовательно, давление в правой полости дифференциального клапана является величиной, пропорциональной перепаду давлений на дозирующей игле АП.

Узел дифференциального клапана (рис. 8.42) состоит из мембраны 6, пружины 7 с опорными тарелками и регулировочным винтом 9 и золотникового механизма.

В правой полости мембраны, как уже было показано, поддерживается давление, пропорциональное перепаду на дозирующей игле АП, а в левую полость через канал B подается давление, пропорциональное квадрату частоты вращения ТК от датчика 67 (см. рис. 8.12).

Золотниковый механизм дифференциального клапана (см. рис. 8.42) состоит из золотника 2, втулки 1 и пружины 3, поджимающей золотник к упору 10 мембраны. Неподвижной опорой пружины 3 является торец втулки золотника. На поверхности золотника выполнены две широкие проточки для прохода топлива и ряд разгрузочных канавок в средней части, образующих лабиринтное уплотнение зазора золотника. Во втулке золотника имеется два ряда радиальных отверстий, один из которых (левый) связан с полостью Ю основной дозирующей иглы, а второй — со сливной магистралью.

Золотниковый механизм в данном узле является исполнительным устройством, регулирующим перепад на дозирующей игле АП путем регулирования слива из командной полости Ю основной дозирующей иглы.

Управление золотником осуществляет мембрана, которая, как следует из анализа действующих на нее сил, будет поддерживать на игле АП перепад, пропорциональный квадрату частоты вращения ТК. Величина перепада задается пружиной 7, натяжение которой регулируется винтом 9 (согласно маркировке на корпусе агрегата — винт «17»).

На установившемся режиме работы двигателя, когда перепад давлений на дозирующей игле АП меньше настройки дифференциального клапана, мембрана 6 под действием усилия от командного давления топлива прогибается вправо. Соответственно и золотник 2 клапана под действием своей пружины 3 будет смещен

в крайнее правое положение, отсекая при этом полость Ю основной дозирующей иглы от полости слива.

При переводе двигателя на повышенный режим одно из автоматических устройств насоса-регулятора перекрывает слив из полости Ю основной дозирующей иглы, что вызывает быстрое ее перемещение на увеличение расхода топлива. Поскольку положение дозирующей иглы АП и ее пропускная способность первоначально остаются неизменными, то увеличение расхода топлива вызывает рост перепада давлений на ее дозирующем сечении и пропорциональное повышение давления в правой полости дифференциального клапана. Мембрана 6, прогибаясь при этом влево, смещает золотник 2 в положение, при котором он соединяет полость Ю основной дозирующей иглы со сливом. В результате уменьшения давления в полости Ю движение основной дозирующей иглы на увеличение подачи топлива приостанавливается, что обеспечивает ограничение максимального перепада на игле АП и, тем самым, предотвращает недопустимый заброс температуры газа перед турбиной.

В дальнейшем, по мере увеличения n_{TK} и p_k^* , дозирующая игла АП начинает перемещаться на увеличение проходного сечения, что способствует уменьшению перепада давлений на ее дозирующем сечении и давления топлива в правой полости мембраны дифференциального клапана. Одновременно с этим возрастает и величина командного давления в левой полости мембраны, что вызывает перемещение золотника клапана вправо, т. е. на прикрытие слива из полости Ю.

Результатом этого будет ускорение движения основной дозирующей иглы на увеличение расхода топлива и возрастание перепада давлений на дозирующей игле АП пропорционально квадрату частоты вращения ТК.

При достижении заданной частоты вращения турбокомпрессора основная дозирующая игла становится под контроль одного из автоматических устройств, в результате чего ее движение на увеличение подачи топлива прекращается. Вслед за этим останавливается и дозирующая игла АП, причем ее пропускная способность становится больше, чем у основной иглы. Перепад давления на дозирующем сечении иглы АП становится меньше настройки дифференциального клапана, что вызывает его закрытие.

Регулировка дифференциального клапана производится изменением силы натяжения пружины 7 винтом 9 (согласно маркировке на корпусе агрегата — винт «17»). При заворачивании винта сила натяжения пружины увеличивается, что создает дополнительное усилие на открытие дифференциального клапана. Клапан, таким образом, перенастраивается на более глубокую срезку топлива, т. е. на поддержание меньшего перепада давлений на дозирующей игле АП. Результатом этого будет снижение темпа роста n_{TK} и t_r^* при разгоне двигателя и увеличение времени приемистости.

Вступление в работу автомата приемистости в качестве ограничителя максимального расхода топлива (ОМР) происходит на взлетном режиме в случае отказа электронных регуляторов. В этом случае исполнительный механизм ИМ-47 перекрывает слив

из полости Ю основной дозирующей иглы, вызывая тем самым ее перемещение на увеличение расхода топлива. Дозирующая игла АП при этом устанавливается на упор максимального расхода, определяемый положением винта 22 (см. рис. 8.39), а перепад давлений на ее дозирующем сечении начинает возрастать, превышая настройку дифференциального клапана. Это вызывает смещение клапана влево и открытие слива из полости Ю. Движение основной дозирующей иглы в сторону больших расходов при этом прекращается, в результате чего перепад давлений на дозирующем сечении иглы АП становится постоянным. Соответственно, постоянным становится и расход топлива.

Величина максимального расхода зависит от положения регулировочного винта 22, определяющего максимальную площадь дозирующего сечения иглы АП, и от настройки дифференциального клапана, который задает величину максимального перепада давлений.

Регулировка максимального расхода производится винтом 22 согласно маркировке на корпусе агрегата — винт «15». Заворачивание винта будет соответствовать уменьшению дозирующего сечения и уменьшению максимального расхода топлива.

Настройка ОМР на максимальный расход топлива незначительно отличается от настройки электронных регуляторов, обеспечивающих работу двигателя на взлетном режиме. В определенных полетных условиях настройка ОМР оказывается меньшей, чем настройка ЭРД-ЗВМ (или РТ-12-6). В результате этого при выходе на взлетный режим включение ОМР может произойти до вступления в работу ЭРД. При этом ЭРД фактически оказывается заблокированным, так как срезка топлива, осуществляемая ОМР, не дает возможности вывести двигатель на режим максимальной мощности. Невозможным при этом станет и выход двигателя на чрезвычайный режим.

С целью исключения влияния настройки ОМР на работу ЭРД в конструкцию автомата приемистости включен механизм перенастройки, включающий (см. рис. 8.12) электромагнитный клапан МКТ-163 56 и дополнительный жиклер перенастройки 55. При подаче электрического сигнала на электромагнит он обеспечивает слив топлива из магистрали за мембраной нулевого перепада, что вызывает падение давления в правой полости дифференциального клапана 57 и его закрытие. В результате этого дифференциальный клапан прекратит срезку топлива, что обеспечит увеличение перепада давлений на игле АП, т. е. повышение настройки автомата приемистости. Таким образом, работа АП в качестве ОМР при исправных электронных регуляторах блокируется. Расход топлива в этом случае будет определяться исключительно положением основной дозирующей иглы вне зависимости от положения дозирующей иглы АП.

Подача сигнала на механизм перенастройки осуществляется электронным регулятором ЭРД-ЗВМ в процессе выхода двигателя на взлетный режим при достижении $n_{\text{тк}}$ на 5 % ниже максимального значения. Раннее отключение дифференциального клапана обеспечивает улучшение приемистости двигателя, так как снятие ограничения по максимальному перепаду на игле АП способствует более интенсивному нарастанию подачи топлива в камеру сгорания.

Регулятор направляющих аппаратов (РНА) является частью автоматической системы регулирования компрессора, управляющей по определенной программе (см. рис. 8.3) положением лопаток ВНА и НА первых четырех ступеней и клапанами перепуска воздуха. Кроме регулятора направляющих аппаратов 28 (см. рис. 8.12), расположенного в насосе-регуляторе, система регулирования компрессора включает нижний гидроцилиндр с концевым переключателем, механизмы поворота лопаток НА, клапаны перепуска воздуха в систему рычагов и тяг обратной связи.

Принципиально регулятор направляющих аппаратов состоит из двух узлов: верхнего гидроцилиндра и командного узла.

Верхний гидроцилиндр является исполнительным механизмом РНА, управляющим по сигналам от командного узла верхним механизмом поворота лопаток НА. Узел верхнего гидроцилиндра (рис. 8.43) состоит из втулки 3, поршня 2, регулируемых упоров 7 и 14, рычага 5, сухаря 6 и силового валика 4. Втулка и поршень — стальные. Внутренняя поверхность втулки обработана с высоким классом чистоты и хромирована для большей износостойкости. В средней части втулки выполнен паз для прохода рычага 5, соединенного с поршнем 2 при помощи сухаря 6. На обоих концах поршня по наружной его поверхности выполнены кольцевые проточки с буртиками для установки уплотнительных фторопластовых манжет 10, зафиксированных на поршне стопорными 13 и регулировочными 12 шайбами. Для герметичности под манжеты 10 устанавливаются резиновые кольца 11.

Полости поршня А и Б закрываются пробками 1 и 8 с ввернутыми в них регулируемыми упорами 7 и 14, ограничивающими ход поршня. Изменение давления топлива в полостях А и Б, происходящее по сигналам от командного узла РНА, вызывает перемещение поршня, которое через рычаг 5 передается на силовой валик 4. На другом конце валика (см. рис. 8.44) установлен силовой рычаг 29, передающий развиваемое поршнем усилие на верхний механизм поворота лопаток НА.

Командный узел РНА (рис. 8.44) состоит из золотникового механизма 2, рычагов-весов 11, узла поршня 20 командного давления, механизма температурной коррекции и механизма обратной связи. Узел поршня 20 и механизм температурной коррекции (6, 7, 8 и 9) выполняют функцию задающего устройства, вырабатывающего сигналы пропорциональные, соответственно, частоте вращения ротора ТК и температуре воздуха на входе в двигатель.

Рычаг-весы 11, суммируя эти сигналы, формирует итоговый сигнал, пропорциональный приведенной частоте вращения ротора ТК и передает его на золотниковый механизм, управляющий подводом топлива в рабочие полости гидроцилиндров.

Механизм обратной связи, возвращая в определенный момент времени рычаг-весы и золотниковый механизм в исходное положение, устанавливает в процессе регулирования определенное соответствие между изменением приведенной частоты вращения ТК и изменением положения лопаток НА (авна).

Золотниковый узел (рис. 8.44) состоит из втулки 17, золотника 2 и пружины 12. В средней части втулки имеется ряд радиальных отверстий Б, через которые к золотнику из каналов корпуса агрегата подводится топливо от качающего узла насоса-регулятора (недозированное топливо). Через крайние ряды отверстий А и В осуществляется перепуск недозированного топлива в полости верхнего и нижнего гидроцилиндров. Золотник в средней части имеет широкую кольцевую проточку, ограниченную с двух сторон рабочими поясками, которые своими отсечными кромками регулируют перепуск недозированного топлива к окнам А или В. Для повышения точности управления гидроцилиндрами рабочие пояски золотника выполнены с отрицательным перекрытием окон А и В, т. е. проточными. Два крайних пояска золотника, имеющие трехгранную форму, обеспечивают его центрирование во втулке, а также перепуск на слив топлива из полостей гидроцилиндров. На правом конце золотника выполнен буртик, являющийся опорой пружины 12, поджимающей золотник к рычагу-весам. Второй опорой пружины является торец втулки 17.

Узел поршня 20 командного давления состоит из втулки, установленной в расточке корпуса и поршня. Под торец поршня подводится командное давление топлива, пропорциональное квадрату частоты вращения ТК. Усилие от давления топлива через поршень и опорную иглу передается на верхнее плечо рычага весов.

Механизм температурной коррекции состоит из термопатрона 72 (см. рис. 8.12), рычага 8 (рис. 8.44), пружины 9 и кронштейна 6. Изменение силы затяжки пружины, воздействующей на нижнее плечо рычагов-весов, происходит при перемещении штока термопатрона, вызывающего поворот рычага 8. Настройка механизма температурной коррекции может быть отрегулирована винтом 7.

Узел рычага-весов состоит из рычага 11, кронштейна 3 и регулировочных винтов-упоров 4 и 5. В средней части рычага установлен шарикоподшипник с осью для крепления рычага на кронштейне. В нижнем плече рычага имеется паз, в котором на двух роликах перемещается ползун 10. В верхней части рычага установлен винт 4, воспринимающий усилия от командного поршня. Через винт 5 усилие от рычага-весов передается на золотник 2. Винтом 5 регулируется нейтральное положение золотника.

Механизм обратной связи состоит из валика 14 с профилированным кулачком 15, тяги 16, ползуна 10, пружины 13 и регулировочного винта 19. Кулачок 15 стяжным болтом крепится на валике 14, вращающемся в соосном отверстии силового валика 25. На внешнем конце валика установлен рычаг 26 обратной связи. Воздействие на рычаг 26 и валик с кулачком передается от одной из лопаток ВНА через регулируемые тяги l_1 и l_2 (рис. 8.45). Положение рычага 26 контролируется по лимбу насоса-регулятора с градуировкой через 1° , который используется при настройке и проверке механизма обратной связи. При вращении валика 14 усилие от кулачка 15 передается на ползун 10 через тягу 16, поджатую к кулачку пружиной 13. Ось вращения тяги крепится в штоке 18, положение которого регулируется винтом 19 через червячное кольцо 1.

На установившихся режимах работы двигателя и при неизменной температуре наружного воздуха t_n рычаг-весы находится в равновесии, удерживая при этом золотник 2 в нейтральном положении. Золотник своими рабочими поясками перекрывает каналы A и B , запирая топливо в полостях гидроцилиндров и фиксируя тем самым силовые поршни в определенном положении. Благодаря наличию отрицательного перекрытия золотника при его нейтральном положении обеспечивается некоторый ток топлива в системе золотник-гидроцилиндры, что исключает образование в ней застойных зон и повышает чувствительность при перемещении золотника.

При увеличении частоты вращения ТК (при неизменной температуре наружного воздуха) возрастает усилие, действующее на рычаг-весы со стороны поршня командного давления. Рычаг-весы поворачивается против часовой стрелки, а золотник под действием своей пружины перемещается в положение правее нейтрального. При этом через окна B золотник открывает подвод топлива с высоким давлением в полость B верхнего гидроцилиндра (см. рис. 8.43), сообщая одновременно полость A со сливом. Поршень 2, перемещаясь влево, в сторону упора 7, поворачивает через рычаг 5 силовой валик с рычагом 29 (см. рис. 8.44), который через рычажные планки поворачивает лопатки HA на открытие (уменьшение α_{BHA}). Синхронно с верхним гидроцилиндром работает в это время нижний гидроцилиндр, обеспечивая равномерный поворот лопаток и исключая перекося поворотных колец HA .

Поворот лопаток BHA через тяги обратной связи l_1 и l_2 вызывает поворот валика 14 с кулачком 15 (см. рис. 8.44), который отжимает вниз тягу 16, поворачивая ее по часовой стрелке. Поворот тяги, в свою очередь, вызывает смещение вниз ползуна 10, за счет чего увеличивается плечо воздействия пружины 9 температурной коррекции на нижнее плечо рычага-весов. В результате рычаг-весы начинает поворачиваться по часовой стрелке, возвращаясь в исходное положение. Вместе с этим начинает смещаться влево и золотник. В момент возврата золотника в нейтральное положение каналы A и B перекрываются, а лопатки HA фиксируются в новом положении при меньшем значении α_{BHA} .

В случае уменьшения частоты вращения ТК РНА работает аналогично, но в обратную сторону, обеспечивая поворот лопаток HA на перекрытие.

Величина, на которую изменяется угол установки лопаток HA при изменении n_{TK} , определяется длиной тяг обратной связи, силой затяжки пружины 9 (рис. 8.44), положением штока 18, а также профилем кулачка 15. Профиль кулачка выполнен таким образом, что преобразует квадратичную зависимость командного давления топлива от n_{TK} в линейную зависимость перемещения поршней гидроцилиндров. В результате этого изменение угла поворота лопаток HA будет находиться в линейной зависимости от частоты вращения ТК.

При постоянной частоте вращения ТК изменение температуры наружного воздуха означает изменение приведенной частоты вращения, что также вызывает необходимость изменения положения лопаток HA . В этом случае РНА приводится в действие по сигналу от термопатрона через рычаг 8 и пружину 9.

Так, например, при увеличении t_n (что соответствует уменьшению $n_{\text{ткр}}$) шток термопатрона выходит вверх и, поворачивая рычаг 8 против часовой стрелки, сжимает пружины 9. В результате этого рычаг-весы поворачивается по часовой стрелке, а золотник смещается в положение левее нейтрального. При этом золотник обеспечивает подвод топлива с высоким давлением в полость И (см. рис. 8.43) верхнего гидроцилиндра и, соответственно, слив из полости «Ж», вызывая тем самым перемещение поршня 2 к упору 14, т. е. на закрытие лопаток НА. Одновременно с этим валик 14 (рис. 8.44) с кулачком 15 через систему тяг обратной связи поворачивается по часовой стрелке, а тяга 16 под действием пружины 13 — против часовой стрелки. При этом ползун 10, смещаясь вверх по нижнему плечу рычага-весов, вызывает его поворот против часовой стрелки вследствие уменьшения плеча воздействия пружины 9. Возврат рычага-весов и золотника в исходное положение фиксирует лопатки НА в новом положении, соответствующем большему значению $\alpha_{\text{ВНА}}$.

Коррекция положения лопаток НА осуществляется в диапазоне температур наружного воздуха от минус 60 до 60°C.

При запуске двигателя и на режимах, при которых приведенная частота вращения ТК ниже 81%, усилие, действующее на рычаг-весы со стороны пружины 9, всегда превышает усилие от поршня командного давления, в результате чего рычаг-весы оказывается повернутым по часовой стрелке, а золотник устанавливается в положении, левее нейтрального. Полость А (рис. 8.43) при этом постоянно соединяется золотником с магистралью высокого давления, а полость Б — со сливом. В результате этого уже в начальный момент запуска поршень 2 устанавливается на упор 14, обеспечивая установку лопаток на угол $27 \pm 1,5^\circ$. В данном положении лопатки удерживаются до того момента, когда приведенная частота вращения ТК достигнет 81%. При дальнейшем увеличении приведенной частоты вращения лопатки НА постепенно разворачиваются на открытие. При достижении максимального значения $n_{\text{ткр}}$ (103 %) поршень 2 устанавливается на упор 7, соответствующий установке лопаток НА на угол — $(6,5 \pm 0,5)^\circ$.

Регулирование углов поворота НА осуществляется изменением длины тяг l_1 и l_2 (см. рис. 8.45).

Клапан стравливания воздуха

Клапан стравливания воздуха служит для стравливания воздуха из магистралей и агрегатов топливной системы двигателя, а также для заполнения внутренних полостей топливной системы маслом при внутренней консервации.

Клапан — шарикового типа (рис. 8.46), состоит из втулки 1, шарика 2, пружины 3 и штуцера 4. Штуцер, являющийся корпусом клапана, вворачивается в резьбовое отверстие корпуса агрегата. Седлом шарика является втулка 1, закрепленная в штуцере завальцовкой буртика. Полость клапана заглушена пробкой 5, накруткой на штуцер.

Расположение клапана на агрегате показано на рис. 8. 11.

ГИДРОЦИЛИНДР С КОНЦЕВЫМ ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛЕМ

Гидроцилиндр (рис. 8.47) предназначен для поворота лопаток входного направляющего аппарата и направляющих аппаратов первых четырех ступеней компрессора, а также для управления клапанами перепуска воздуха.

Гидроцилиндр установлен внизу на корпусе компрессора и крепится к нему при помощи кронштейна.

В состав гидроцилиндра входит узел силового поршня и узел концевого переключателя, расположенные в литом алюминиевом корпусе 1.

Узел поршня является исполнительным механизмом системы регулирования компрессора и служит для управления нижним механизмом поворота лопаток НА по командам от регулятора направляющих аппаратов, расположенного в агрегате НР-ЗВМ. Узел силового поршня включает поршень 2, рычаг 3 с сухарем 11 и силовой валик 4 с рычагом. Поршень перемещается в расточке корпуса 1. Через сухарь 11 и рычаг 3 поршень связан с силовым валиком 4, установленным в корпусе 1 на двух шарикоподшипниках. На внешний хвостовик валика, имеющий трехгранную форму, установлен рычаг, соединяющий узел силового поршня с нижней рычажной планкой механизма поворота лопаток. Перемещение поршня происходит под действием давления топлива, поступающего в гидроцилиндр от регулятора направляющих аппаратов через штуцеры А и Б. С двух сторон полости поршня закрываются пробками 10 и 14, ввернутыми в корпус гидроцилиндра. В передней (по полету) пробке 14 установлен винт 13, служащий упором минимального установочного угла лопаток НА. Задним упором поршня, соответствующим максимальному установочному углу лопаток, является гильза 6 концевого переключателя. Положение гильзы регулируется винтом 8.

Герметизация полостей поршня осуществляется резино-фторопластовыми уплотнениями 12. Просочившееся через уплотнения топливо отводится в сливную магистраль через штуцер Е.

Узел концевого переключателя предназначен для управления клапанами перепуска воздуха. Основными элементами переключателя являются гильза 6 и золотник 5, установленные в расточке хвостовика пробки 10. На внешнюю поверхность хвостовика устанавливается корпус 7 переключателя, зафиксированный на нем резьбовой заглушкой 9. В заглушку вворачивается регулировочный винт 8, определяющий осевое положение гильзы в расточке пробки.

На поверхности золотника выполнены две кольцевые проточки, разделенные рабочим пояском. Крайние положения золотника в гильзе ограничиваются винтом 8 и выступом гильзы.

При запуске двигателя топливо с высоким давлением поступает через штуцер А в левую полость поршня, в то время как правая полость через штуцер Б сообщается со сливом. В результате поршень смещается в крайнее правое положение до упора в гильзу 6, перемещая одновременно в правое положение и золотник 5. При этом золотник перепускает топливо с высоким давлением из штуцера Г, через штуцер В в клапаны перепуска воздуха, обеспечивая их открытие.

По мере увеличения частоты вращения ТК поршень по команде от регулятора направляющих аппаратов перемещается влево, обеспечивая поворот лопаток НА на открытие. Вслед за поршнем под действием давления топлива перемещается и золотник. При возрастании приведенной частоты вращения до 84...87% золотник своим рабочим пояском перекрывает магистраль высокого давления, сообщая одновременно клапаны перепуска воздуха через штуцеры *В* и *Д* со сливом. В этот момент оба клапана под действием своих пружин закрываются.

8.6. СИСТЕМА ОГРАНИЧЕНИЯ МАКСИМАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ

Система ограничения максимальных режимов предназначена для ограничения частоты вращения ротора турбокомпрессора на взлетном и чрезвычайном режимах с повышенной точностью в зависимости от температуры и давления наружного воздуха. Выполнение данной программы обеспечивает:

- ограничение максимальной располагаемой мощности двигателя и поддержание ее постоянства с изменением высоты полета и температуры наружного воздуха;

- ограничение максимальной приведенной частоты вращения ротора ТК на высоте полета более расчетной;

- ограничение максимальной частоты вращения ротора ТК при высоких температурах наружного воздуха.

В состав системы входят (рис. 8.48):

- электронный регулятор двигателя ЭРД-ЗВМ (контур ТК);

- датчик частоты вращения ротора ТК ДЧВ-2500;

- приемник температуры воздуха на входе в двигатель П-77;

- датчик давления атмосферного воздуха (измерительный комплекс давления) ИКД 27 Да-220-780;

- исполнительный механизм ИМ-47 насоса-регулятора.

Система датчиков ДЧВ-2500, П-77 и ИКД27Да220-780 обеспечивает выдачу на контур ТК ЭРД электрических сигналов, пропорциональных частоте вращения ротора ТК, температуре воздуха на входе в двигатель и барометрическому давлению воздуха. В контуре ТК сигналы преобразуются и сравниваются. Если фактическая величина $n_{\text{ТК}}$ окажется больше максимального значения, на которое настроен ЭРД, контур ТК выдает на исполнительный механизм насоса-регулятора управляющий сигнал определенной скважности. Скважность S представляет собой соотношение времени включенного ($\tau_{\text{вкл}}$) и выключенного ($\tau_{\text{выкл}}$) состояния реле исполнительного механизма, выраженное в процентах (рис. 8.49). В зависимости от величины превышения фактической величины $n_{\text{ТК}}$ над настроенным максимальным значением $n_{\text{ТК, макс}}$ скважность может изменяться от 0 до 100 %. Исполнительный механизм в соответствии с полученным сигналом воздействует на основную дозирующую иглу насоса-регулятора, производя слив топлива из ее командной полости Ю (см. рис. 8.12) до тех пор, пока частота вращения ротора не станет равной настроенному значению.

В системе ограничения режимов контур ТК ЭРД работает совместно с регулятором температуры РТ-12-6, который подключается

к процессу регулирования расхода топлива при достижении температуры газа перед турбиной $(985 \pm 5)^\circ\text{C}$.

Управляющее воздействие на исполнительный механизм насоса-регулятора, таким образом, может представлять собой как сигнал от каждого регулятора в отдельности, так и сумму сигналов от обоих регуляторов.

Одновременно с подачей сигнала на исполнительный механизм контур ТК выдает сигнал на включение светосигнального табло «РТ (ЭРД) ЛЕВ. (ПРАВ.) РАБОТАЕТ».

В процессе выхода двигателя на взлетный режим от контура ТК поступает также команда на электромагнит МКТ-163 механизма перенастройки автомата приемистости (см. п. 8.5.1 «Автомат приемистости»).

ЭЛЕКТРОННЫЙ РЕГУЛЯТОР ДВИГАТЕЛЯ ЭРД-ЗВМ

Электронный регулятор двигателя представляет собой специализированную электронную цифровую вычислительную машину с неизменной программой, работающую в реальном масштабе времени. ЭРД входит составной частью в систему ограничения максимальных режимов и систему защиты свободной турбины и предназначен для выработки управляющих сигналов на исполнительный механизм насоса-регулятора ИМ-47, исполнительный механизм системы защиты свободной турбины ИМ-3А и на исполнительный механизм МКТ-163 перенастройки автомата приемистости.

Основные технические данные

1. Электропитание регулятора осуществляется:
 - от шин бортовой аккумуляторной батареи, напряжением, В 27
 - от выпрямительного устройства бортовой системы электроснабжения трехфазного переменного тока напряжением, В 27
2. Потребляемая мощность, Вт не более 60
3. Точность поддержания регулируемых параметров:
 - расчетной частоты вращения ТК, % $\pm 0,5$
 - максимальной частоты вращения ТК, % $\pm 0,15$
 - приведенной частоты вращения ТК, % $\pm 0,35$
 - частоты вращения ТК на чрезвычайном режиме, % $\pm 0,6$
4. Время непрерывной работы, ч не более 10
5. Масса регулятора, кг 4,2...0,5

Конструктивно ЭРД (рис. 8.50) состоит из литого основания с четырьмя крепежными лапками и кожуха. Для улучшения теплоотвода на опорных поверхностях лопаток отсутствует лакокрасочное покрытие, а на боковых стенках основания выполнены ребра.

На лицевой панели ЭРД расположены:

вилки Х1 и Х2 для стыковки ЭРД с системами двигателя и вертолета;
контрольная розетка ХЗ для стыковки ЭРД с пультом наземного контроля ПНК-ЗВМ;
клемма заземления Х4;
регулирующие винты «РЕГУЛИРОВКА $n_{\text{ТК}}$ » и «РЕГУЛИРОВКА ЧР».

В состав ЭРД входят три функциональных узла (рис. 8.51):
источник питания (ИП);
автомат защиты свободной турбины (АЗСТ);
контур ограничения частоты вращения турбокомпрессора (контур ТК).

Источник питания обеспечивает питание встроенных устройств агрегата, датчиков давления и температуры воздуха и регулировочных резисторов.

АЗСТ обеспечивает выполнение следующих функций:
выработку сигнала на исполнительный механизм ИМ-3А системы защиты свободной турбины и на светосигнальное табло «ПРЕВЫШЕНИЕ $n_{\text{СТ}}$ ЛЕВ. (ПРАВ.) ДВИГ» при достижении частоты вращения СТ (118 ± 2) %;

контроль исправности АЗСТ и цепей ИМ-3А на работающем двигателе при частоте вращения СТ (96 ± 2)%.

Устройство и принцип работы АЗСТ описан в п. 8.7. «Система защиты свободной турбины».

Основными функциями контура ТК являются:

ограничение частоты вращения турбокомпрессора на взлетном режиме с коррекцией по p_n и t_n по закону:

$$n_{\text{ТК}} = 109,1 + 0,159 t_n - 14,41 p_n;$$

ограничение максимальной частоты вращения турбокомпрессора, $n_{\text{ТКmax}} = 101$ %;

ограничение максимальной приведенной частоты вращения турбокомпрессора ($n_{\text{ТКпр}} = 103$ %) путем коррекции $n_{\text{ТК}}$ по закону:

$$n_{\text{ТК}} = 100,5 + 0,192 t_n;$$

перенастройку контура ТК, обеспечивающую перевод двигателя на чрезвычайный режим (ЧР) с одновременной выдачей сигнала на табло «ЧР» при выполнении следующих условий:

а) наличие сигнала от выключателя ЧР;

б) наличие разницы в частотах вращения ТК своего и соседнего двигателя 5...9 %;

в) при достижении $n_{\text{ТК}}$ значения на 1 % ниже взлетного режима;

ограничение частоты вращения ТК на чрезвычайном режиме значением, превышающим частоту вращения взлетного режима на $1^{+0,2}$ %;
расчет по заданному закону и выдачу управляющего сигнала на исполнительный механизм ИМ-47;

выдачу управляющего сигнала на исполнительный механизм МКТ-163 перенастройки автомата приемистости в процессе разгона двигателя при достижении $n_{\text{ТК}}$ значения на 5 % ниже расчетного значения $n_{\text{ТК}}$ для взлетного режима;

снятие управляющего сигнала с МКТ-163 в процессе сброса газа при достижении $n_{\text{тк}}$ значения, на 7 % ниже расчетного значения $n_{\text{тк}}$ для взлетного режима;

В режиме «КОНТРОЛЬ» контур ТК обеспечивает снижение ограничиваемого значения $n_{\text{тк}}$ на 4 % по сигналу от специального переключателя.

Конструктивно контур ТК (рис. 8.51) выполнен в виде платы микро-ЭВМ, состоящий из устройства ввода (УВ), процессора (ПРЦ), постоянного запоминающего устройства (ПЗУ), оперативного запоминающего устройства (ОЗУ), устройства вывода (УВыв) и аппаратной части системы встроенного контроля (АВСК). Контур ТК работает циклически. В течение каждого цикла расчета УВ получает информацию, поступающую от датчиков частоты вращения ТК в виде частотных сигналов $f_{\text{тк}}$ и $f_{\text{ткстар}}$, от датчиков p_n и t_n и регулировочных винтов $R1$ и $R2$ в виде напряжений U_{p_n} , U_{t_n} , $UR1$, $UR2$.

Входные сигналы от датчиков p_n и t_n и регулировочных резисторов поступают на УВ в соответствии с временной диаграммой, формируемой ПРЦ. Преобразованный в цифровой код сигнал, записывается в соответствующую ячейку ОЗУ.

Частотный сигнал в виде нормированной частоты $f_{\text{тк}}$ и $f_{\text{ткстар}}$ подается на УВ, где формируется код текущей величины $n_{\text{тк}}$. Ввод кодов текущей частоты в ОЗУ осуществляется по опросу метки конца измерения. ПРЦ, запустив измерение, начинает анализировать метку конца измерения. По формированию метки ПРЦ читает код текущей частоты вращения ТК.

Цифровая микро-ЭВМ по поступающей в ОЗУ входной информации вычисляет коды управляющих воздействий по программе, хранящейся в ПЗУ. Управляющие воздействия выдается в виде выходного дискретного сигнала перенастройки автомата приемистости на МКТ-163, а также сигнала, пропорционального коду управляющего воздействия, на исполнительный механизм насоса-регулятора для регулирования $n_{\text{тк}}$. При этом заданное значение $n_{\text{тк}}$ выбирается по минимуму из рассчитанных по законам регулирования значений $n_{\text{тк}}$, но не более максимально допустимой частоты вращения. По разности между выбранным и фактическим значением частоты вращения ТК вычисляется код воздействия на исполнительный механизм насоса-регулятора, также формируются команды на МКТ-163 и светосигнальные табло. При совместной работе электронного регулятора двигателя и регулятора температуры их сигналы поступают на ИМ-47 через схему «ИЛИ». Совместная работа регуляторов осуществляется путем приостановки работы УВыв ЭРД на время прохождения импульсного сигнала от регулятора температуры, по окончании которого возобновляется работа УВыв.

ЭРД имеет систему встроенного контроля, работающего циклически. При обнаружении отказа в одном, двух или трех циклах система встроенного контроля регулятора сохраняет на ИМ-47 управляющий сигнал предыдущего исправного цикла, а при сохранении отказа в течение четырех циклов подряд и более снимает управляющий сигнал с исполнительного механизма, МКТ-163 и сигнализатора «ЧР» и формирует команду на светосигнальное

табло «ОТКЛЮЧЕНИЕ ЭРД ЛЕВ. (ПРАВ.) ДВИГ.», которая снимается автоматически в случае, если система контроля перестает фиксировать отказ.

Проверка контура ТК производится в процессе опробования двигателя после установки его на вертолет. Для проверки необходимо предварительно перевести двигатель на режим правой коррекции, установить переключатель контура ТК на пульте управления ЭРД (рис. 8.52) в положение «КОНТРОЛЬ» («ТК ЛЕВ.» или «ТК ПРАВ.»), после чего плавным перемещением рычага «шаг—газ» увеличить режим работы двигателя до начала мигания табло «РТ (ЭРД) ЛЕВ. (ПРАВ.) РАБОТАЕТ». При этом движение рычага «шаг—газ» прекращается и фиксируется величина $n_{\text{ТК}}$, которая должна быть на $(4 \pm 1) \%$ меньше требуемой величины для взлетного режима (см. п. 8.11 «Регулировка взлетного режима»). Через 10...30 с, переместив рычаг «Шаг—газ» в сторону увеличения режима, убедиться в том, что частота вращения ТК не увеличивается. Частота вращения несущего винта не должна при этом падать ниже 92 %.

После проверки двигатель переводится на режим левой коррекции (светосигнальное табло при этом гаснет), после чего переключатель контура ТК устанавливается в положение «РАБОТА».

ДАТЧИК ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ ТУРБОКОМПРЕССОРА ДЧВ-2500

Датчик ДЧВ-2500 предназначен для преобразования частоты вращения ротора ТК в электрические импульсы напряжения, частота следования которых пропорциональна частоте вращения ротора ТК, и выдачи их на контур ТК электронного регулятора двигателя. Датчик работает совместно с индуктором, расположенным в коробке приводов двигателя.

Основные технические данные

1. Амплитуда выходных импульсов напряжения при соответствующих параметрах индуктора и активной нагрузке обмоток, В не менее 2

2. Электрическое сопротивление изоляции обмоток датчика относительно корпуса и между собой:

в нормальных климатических условиях,

МОм не менее 20

в условиях повышенной влажности,

МОм не менее 1

в условиях максимальной температуры, МОм не менее 5

Датчик состоит (рис. 8.53) из катушки 1, корпуса 2, колодки 3, магнита 6, изоляционной прокладки 5 и крышки 4. Корпус изготовлен из немагнитной нержавеющей стали. В глухой ступенчатой расточке корпуса размещается катушка, постоянный магнит и колодка. В колодке, выполненной из пресс-материала, опрессованы 4 штыря-контакта, которые соединены в нижней части через контак-

тные наконечники с выводами обмоток катушки. Катушка состоит из двух обмоток, выполненных из теплостойкого провода.

Пространство между корпусом, катушкой и колодкой заполнено электроизоляционным материалом. Датчик крепится к корпусу коробки приводов агрегатов слева по полету специальным накладным фланцем.

При вращении индуктора, кинематически связанного с ротором ТК, каждый из его зубьев, проходя в непосредственной близости от торца магнита датчика, измеряет магнитное поле охватывающее витки катушки. В результате этого в катушке датчика индуцируются электрические импульсы, частота следования которых (f_{TK}) пропорциональна количеству зубьев индуктора и частоте его вращения, и следовательно и частоте вращения ТК.

ПРИЕМНИК ТЕМПЕРАТУРЫ П-77

Приемник температуры предназначен для пропорционального преобразования температуры воздуха на входе в двигатель в электрический сигнал, выдаваемый на контур ТК ЭРД. В комплект датчика входит приемник температуры и медно-асбестовое уплотнительное кольцо. Приемник вворачивается в специальное гнездо воздухопровода обдува термонасоса насоса-регулятора.

Основные технические данные

1. Температурный диапазон работы,
°C от минус 70 до 300
2. В зоне штепсельного разъема
приемника температура не должна
превышать, °C 200
3. Сопротивление изоляции в нормальных климатических условиях,
МОм не менее 20
4. Масса приемника, кг не более 0,15

Конструктивно приемник (рис. 8.54) выполнен неразъемным. Основными элементами приемника являются теплочувствительный элемент 1, арматура 3 и штепсельный разъем 5. Теплочувствительный элемент выполнен из платиновой проволоки 9, намотанной на слюдяные пластины 7. С обеих сторон теплочувствительного элемента приклеены слюдяные изоляционные прокладки 8, поверх которых помещаются бронзовые теплопроводящие пружинящие пластины 6.

Собранный элемент вставляется в арматуру 3, изготовленную из нержавеющей стали, и закрепляется гайкой 4.

Принцип действия приемника основан на использовании свойства платиновой проволоки изменять свое электрическое сопротивление в зависимости от температуры. Каждому значению температуры соответствует определенное значение электрического сопротивления.

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС ДАВЛЕНИЯ ИКД27Да-220-780

Измерительный комплекс давления предназначен для измерения атмосферного давления и выдачи напряжений постоянного

тока, пропорциональных измеряемому давлению, на контур ТК ЭРД. ИКД устанавливается на вертолете.

Измерительный комплекс представляет собой (рис. 8.55) прибор манометрического типа и состоит из трех основных частей: чувствительного элемента, индукционного преобразователя и электронного преобразователя.

Чувствительный элемент представляет собой anerоидную коробку 3, приваренную к центру 2, и предназначен для преобразования измеренного атмосферного давления в линейное перемещение якоря 24. Индукционный преобразователь, обеспечивающий преобразование линейного перемещения якоря, в электрический сигнал, состоит из двух магнитопроводов 21, 26 с катушками 22, 25 и якоря 24. Якорь закреплен на пустотелом штоке, надетом на стержень 27, который, в свою очередь, закреплен к верхнему центру 5 anerоидной коробки. Для уменьшения воздействия от вибраций и линейных ускорений предусмотрено балансирующее устройство 12, шарнирно соединенное со стержнем 27.

Индукционный преобразователь закрыт корпусом 10 с гермоводами 15 и вваренным штуцером 16 для подвода воздуха из атмосферы.

Электронный преобразователь 20 представляет собой две печатные платы с расположенными на них элементами электронной схемы (стабилизатор, генератор, выпрямитель). В Верхней плате электронного преобразователя имеются клеммы для соединения с выводами индукционного преобразователя.

Измеряемое давление воспринимается anerоидной коробкой, перемещение которой преобразуется индукционным преобразователем в электрический сигнал, пропорциональный измеряемому давлению. Выходное напряжение индукционного преобразователя выпрямляется и поступает к выходным клеммам прибора в виде напряжения постоянного тока, пропорционального измеряемому давлению.

8.7. СИСТЕМА ЗАЩИТЫ СВОБОДНОЙ ТУРБИНЫ

Система защиты свободной турбины предназначена для аварийного выключения двигателя при нарушении кинематической связи ротора СТ с главным редуктором. Срабатывание системы происходит при достижении $n_{ст}=(118\pm 2)\%$.

В состав системы входят (рис. 8.56):

электронный регулятор двигателя ЭРД-ЗВМ (автомат защиты свободной турбины — АЗСТ);

два датчика частоты вращения ротора СТ ДТА-10;

исполнительный механизм ИМ-3А;

клапан постоянного перепада насоса-регулятора.

Датчики ДТА-10 выдают на АЗСТ сигналы, пропорциональные частоте вращения ротора СТ. АЗСТ контролирует величину $n_{ст}$ и сравнивает ее с максимально допустимой. В случае, если частота вращения СТ достигает предельного значения, АЗСТ выдает сигнал исполнительному механизму ИМ-3А на останов двигателя и,

одновременно, на включение светосигнального табло «ПРЕВЫШЕНИЕ $n_{ст}$ ».

При получении сигнала исполнительный механизм производит мгновенный слив топлива из правой полости клапана постоянного перепада (см. рис. 8.12), что вызывает его перемещение на слив топлива в магистраль нагнетания качающего узла. Подача топлива в каналы основной дозирующей иглы при этом фактически прекращается, что приводит к закрытию запорных клапанов и останову двигателя.

Для уменьшения вероятности ложной выдачи сигналов АЗСТ выполнен по двухканальной схеме, причем сигнал на останов двигателя поступает только в случае срабатывания обоих каналов. Выдача сигнала на табло происходит и в случае срабатывания одного канала.

АВТОМАТ ЗАЩИТЫ СВОБОДНОЙ ТУРБИНЫ (АЗСТ)

АЗСТ является составной частью электронного регулятора двигателя ЭРД-ЗВМ. Конструктивно АЗСТ включает два одинаковых канала (рис. 8.51) и схему контроля.

Каждый канал автомата состоит из следующих элементов:

усилитель-формирователь импульсов частотного сигнала $f_{ст}$ (УФИ СТ), поступающего от датчика ДТА-10;

схема формирования периода частоты $f_{ст}$ и преобразования полученного временного интервала в код;

схема дешифрации кода предельно допустимого значения $f_{ст}$;

четырёхразрядный счетчик числа превышений (СЧП).

Каждый из каналов производит измерение частоты $f_{ст}$, сравнивает полученное значение с диапазоном срабатывания АЗСТ и формирует сигнал «ПРЕВЫШЕНИЕ $n_{ст}$ ».

Канал АЗСТ работает циклически. Длительность цикла пропорциональна частоте вращения СТ и равна двум периодам частотного сигнала $f_{ст}$ от датчика $n_{ст}$.

Частотный сигнал $f_{ст}$ с датчика ДТА-10 поступает на выход УФИ СТ, который нормирует его по уровню. С выхода УФИ СТ нормированный импульсный сигнал той же частоты, что и $f_{ст}$, поступает на вход схемы формирования временного интервала, равного по длительности периоду частоты.

Путем заполнения опорной частотой 125 кГц временный интервал преобразуется в цифровой код частоты вращения СТ, который затем сравнивается с кодом предельно допустимой частоты вращения. При достижении предельного значения $n_{ст}$ происходит срабатывание двух каналов АЗСТ с выдачей команды через усилитель мощности (УМ) и схему «И» на исполнительный механизм ИМ-3А и через схему «ИЛИ» на светосигнальное табло «ПРЕВЫШЕНИЕ $n_{ст}$ ЛЕВ. (ПРАВ.) ДВИГ.».

При срабатывании только одного из каналов АЗСТ сигнал на ИМ-3А не формируется и выдается команда только на светосигнальное табло. В случае, если второй канал в течение 0,2 с не срабатывает, схема контроля выдает команду на принудительную установку в исходное положение обоих каналов с одновременным отключением табло.

В режиме «Контроль» по сигналу от переключателя, расположенного на пульте ЭРД (см. рис. 8.52), производится занижение границы диапазона срабатывания АЗСТ до величины $n_{ст}=(96\pm2)\%$. Проверка производится в процессе совместного опробования двигателей при проведении предполетной подготовки. Первоначально производится поканальная проверка АЗСТ, для чего переключатель АЗСТ проверяемого двигателя устанавливается в положение «СТ1», что соответствует подаче сигнала «контроль» на первый канал. После этого вводом правой коррекции режим работы двигателей повышается до частоты вращения несущего винта, при которой загорается табло «ПРЕВЫШЕНИЕ $n_{ст}$ » проверяемого двигателя. Величина $n_{нв}$ должна при этом составлять $(91,5\pm2)\%$. Введя затем левую коррекцию, необходимо уменьшить частоту вращения несущего винта на 5...7% и убедиться в том, что табло «ПРЕВЫШЕНИЕ $n_{ст}$ » продолжает гореть. Это свидетельствует о том, что первый канал находится на самоблокировке. Для проверки второго канала первый канал необходимо разблокировать, для чего переключатель АЗСТ устанавливается в положение «РАБОТА». Табло «ПРЕВЫШЕНИЕ $n_{ст}$ » должно при этом погаснуть. После этого переключатель АЗСТ устанавливается в положение «СТ2» и производится проверка второго канала согласно указанной методике.

Для проверки АЗСТ с выдачей сигнала исполнительному механизму ИМ-3А на останов двигателя после проверки первого канала переключатель переводится в положение «СТ2» без задержки в положении «РАБОТА». Первый канал при этом остается на самоблокировке, что контролируется по табло «ПРЕВЫШЕНИЕ $n_{ст}$ », которое продолжает гореть.

После этого вводом правой коррекции режим работы двигателей повышается до тех пор, пока не произойдет выключение проверяемого двигателя по сигналу от ИМ-3А.

После проверки переключатель АЗСТ устанавливается в положение «РАБОТА» и отключением на 2...3 с питания ЭРД снимается блокировка с АЗСТ.

ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЙ МЕХАНИЗМ ИМ-3А

Исполнительный механизм ИМ-3А предназначен для перепуска на слив топлива высокого давления из клапана постоянного перепада насоса-регулятора при подаче электрического сигнала от автомата защиты свободной турбины. ИМ-3А крепится на корпусе первой опоры двигателя слева по полету.

Основные технические данные

1. Параметры топлива на входе в исполнительный механизм:

максимальное давление,	
МПа (кгс/см ²)	7(70)
чистота фильтрации, мм	0,012...0,016

2. Давление топлива в сливной магистрали, МПа (кгс/см²)
3. Параметры тока, подводимого к электромагниту:

напряжение, В	27±2,7
сила тока, А	не более 1,5
4. Масса, кг	не более 1,2

Исполнительный механизм состоит (рис. 8.57) из корпуса 1, топливного фильтра 2, клапана 3 и электромагнита 4 с заслонкой. В корпус вворачивается штуцер 5 подвода топлива от насоса-регулятора и штуцер 6 слива. Топливный фильтр 2 по конструкции аналогичен ранее описанным центральным топливным фильтрам насоса-регулятора, отличаясь от них размерами и отсутствием магнитного кольца.

При отсутствии сигнала на электромагните его сердечник под действием пружины сдвигается влево, закрывая заслонкой клапан 3. При подаче на электромагнит сигнала от АЗСТ его заслонка перемещается вправо, открывая клапан 3. При этом топливо высокого давления из полости А, пройдя фильтр и клапан, поступает в полость Б и далее через штуцер 6 в магистраль слива.

ДАТЧИК ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ СВОБОДНОЙ ТУРБИНЫ ДТА-10

Датчик частоты вращения ДТА-10 предназначен для пропорционального преобразования частоты вращения ротора СТ в электрические импульсы напряжения, выдаваемые на АЗСТ электронного регулятора двигателя. Датчик работает совместно с гайкой-индуктором, расположенным на роторе свободной турбины. Крепятся датчики на корпусе уплотнения пятой опоры двигателя. На каждом двигателе установлены четыре датчика, из которых два являются резервными.

Основные технические данные

1. Амплитуда выходных импульсов напряжения датчика при соответствующих параметрах индуктора и активной нагрузке обмоток, В не менее 2
2. Электрическое сопротивление обмотки датчика в нормальных климатических условиях, Ом 175С10
3. Электрическое сопротивление изоляции обмотки датчика в нормальных климатических условиях, МОм не менее 20
4. Масса, кг не более 0,1

Датчик состоит (рис. 8.58) из постоянного магнита 5, катушки 1 и контактной колодки 3 со штырями 4. Узлы датчика размещены в корпусе 2 выполненном из нержавеющей стали. По принципу работы датчик аналогичен ранее рассмотренному датчику ДЧВ-2500.

8.8. СИСТЕМА ОГРАНИЧЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ГАЗА ПЕРЕД ТУРБИНОЙ

Система ограничения температуры газа предназначена для автоматического ограничения температуры газа перед турбиной до заданного предела на взлетном и чрезвычайном режимах в усло-

виях повышенных температур наружного воздуха. В состав системы входят (рис. 8.59):

электронный регулятор температуры РТ-12-6;

батарея термопар Т-102;

исполнительный механизм ИМ-47 насоса-регулятора.

Термопары обеспечивают выдачу сигналов, пропорциональных температуре газа перед турбиной t_r^* , и имеют два канала. Один канал используется для контроля температуры газа на работающем двигателе, а второй служит для выдачи сигналов на регулятор температуры. В регуляторе полученный от термопар сигнал сравнивается с опорным напряжением датчика, пропорциональным максимальной температуре газа. При повышении t_r^* выше температуры, соответствующей настройке регулятора, возникает рассогласование между входным напряжением $U_{вх}$ (термоэлектродвижущей силой) от термопар и величиной опорного напряжения $U_{оп}$ датчика. Разность сигналов ΔU от элемента сравнения поступает на вход в управляющую обмотку каскада усилителя, где он усиливается и далее через контур ТК электронного регулятора двигателя поступает на исполнительный механизм ИМ-47 насоса-регулятора в виде высокочастотных импульсов. Исполнительный механизм, воздействуя на основную дозирующую иглу, обеспечивает уменьшение расхода топлива и снижение t_r^* . Сигнал на ИМ-47 подается с определенной скважностью (см. рис. 8.49), которая в зависимости от величины превышения фактической величины t_r^* над настроенным значением РТ может изменяться от 0 до 100%. Сплошной сигнал ($S=100\%$) на исполнительный механизм поступает при возрастании температуры газа до максимально допустимого значения $(985 \pm 5)^\circ\text{C}$.

РЕГУЛЯТОР ТЕМПЕРАТУРЫ РТ-12-6

Регулятор температуры предназначен для усиления и преобразования входного сигнала от термопар в электрическое напряжение, управляющее работой исполнительного механизма насоса-регулятора.

Все основные элементы схемы регулятора (см. рис. 8.60) смонтированы в блоках, которые установлены на литом корпусе и соединены между собой печатным монтажом. На лицевой панели регулятора расположены клеммная колодка для подключения термопар, силовой штепсельный разъем для подключения регулятора к электрической схеме вертолета и контрольный разъем для подключения пульта контроля ПКРТ.

В режиме «КОНТРОЛЬ» настройка регулятора снижается на $140...170^\circ\text{C}$. Для проверки работы РТ двигатель переводится на режим правой коррекции, после чего, нажав на кнопку «КОНТРОЛЬ» на панели РТ, необходимо плавно увеличить режим работы двигателя до начала мигания светосигнального табло «РТ (ЭРД) ЛЕВ. (ПРАВ.) ДВИГ. РАБОТАЕТ». При этом температура газа должна быть на уровне $820...850^\circ\text{C}$.

После проверки кнопку «КОНТРОЛЬ» отпустить, при этом светосигнальное табло должно погаснуть, а температура газа и величина $n_{тк}$ возрастают.

ТЕРМОПАРА Т-102

Термопара предназначена для выдачи двух автономных сигналов, пропорциональных температуре газа перед турбиной, одновременно на измеритель и регулятор температуры.

Основные технические данные

1. Диапазон измерения температуры,
°C от 0 до 1125
2. Рабочий диапазон измерения
температуры, °C от 450 до 950
3. Сопротивление изоляции термо-
пары:
при нормальных климатических
условиях, МОм не менее 0,5
при температуре рабочего конца
от 700 до 720°C, МОм не менее 0,05
4. Масса термопары, кг 0,11

Термопара Т-102 является двояной, т. е. в одном корпусе расположены две пары термоэлектродов 2 (рис. 8.61), в качестве которых использована проволока из сплавов хромеля и алюмеля. Термоэлектроды армированы на термоцементной массе во втулке 3, приваренной к камере торможения 1. Для прохода газа камера торможения имеет входное В и выходное А отверстия. К корпусу 4 термопары приварена крышка 5 с закрепленными на ней винтами 8 и 9 термоэлектродного материала, к которым приварены термоэлектроды 2.

Электрическое соединение между термопарами, а также между термопарами и измерительной аппаратурой осуществляется при помощи гибких компенсационных проводов, подсоединенных к контактным винтам 8 и 9 посредством наконечников и закрепляются самоконтрящимися гайками 6 и 7. Для удобства монтажа и во избежание перепутывания полярности контактные винта 9 (из хромеля) имеют резьбу М4, а контактные винта 8 (из алюмеля) — резьбу М5. Кроме того на крышке термопары со стороны выходных концов каждого спая термопар нанесен отличительный знак «V».

При нагреве рабочего спая двух электродов термопары на свободных ее концах возникает термоэлектродвижущая сила (ТЭДС), величина которой пропорциональна разности температур между рабочим спаем и свободными концами.

8.9. ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ И ХАРАКТЕРНЫЕ НЕИСПРАВНОСТИ АГРЕГАТОВ ТОПЛИВНОЙ СИСТЕМЫ И СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

При оперативных видах технического обслуживания производится внешний осмотр агрегатов и трубопроводов систем.

При осмотре трубопроводов необходимо убедиться в отсутствии: ослабления крепления отбортовочных хомутов и зажимных колодок трубопроводов;

касания трубопроводов между собой и в соседние детали (зазор между трубопроводами и неподвижными деталями должен быть не менее 3 мм);

потертостей, царапин, забоин, риск на трубопроводах (повреждения глубиной 0,1 мм НЕ ДОПУСКАЮТСЯ);

вмятин на трубопроводах (вмятины глубиной более 10% диаметра трубопровода НЕ ДОПУСКАЮТСЯ);
следов коррозии.

При внешнем осмотре агрегатов топливной системы необходимо убедиться в отсутствии их механических повреждений, надежности крепления, отсутствии течи топлива по разъемам фланцев агрегатов и из-под штуцеров в местах подсоединений трубопроводов, а также в сохранности пломб и стопорения регулировочных элементов. При периодических видах технического обслуживания производится замена фильтрующего элемента фильтра 8Д2.966.236, промывка топливных фильтров насоса-регулятора и исполнительного механизма ИМ-3А, промывка воздушного фильтра и жиклеров редуктора насоса-регулятора, а также прочистка жиклерного отверстия эжектора.

При замене фильтрующего элемента 8Д2.966.236 одновременно заменяются уплотнительные кольца 6 (см. рис. 7.4) и, при необходимости, кольцо 7. Загрязненный фильтр промывается на ультразвуковой установке с последующей проверкой времени заполнения по прибору ПКФ600/015. Время заполнения не должно превышать 5 с.

Входной топливный фильтр и воздушный фильтр насоса-регулятора промываются в бензине волосяной кистью с последующей обдувкой их воздухом.

Центральные топливные фильтры насоса-регулятора после снятия прополаскиваются чистым бензином и обдуваются сжатым воздухом с давлением не более 1,5 кгс/см².

ВНИМАНИЕ! 1. При промывке фильтр не разбирать.

2. При обдувке фильтра струю воздуха необходимо направить перпендикулярно оси фильтра.

После осмотра центральные фильтры промываются на ультразвуковой установке с последующей проверкой на приборе ПКФ. Время заполнения фильтров должно быть не более 5 с. Аналогично обслуживается топливный фильтр агрегата ИМ-3А, но без промывки на ультразвуковой установке.

После промывки топливных фильтров производится стравливание воздуха из внутренних полостей насоса-регулятора через клапан 17 (см. рис. 8.11).

Прочистка жиклерного отверстия эжектора производится концевой проволокой диаметром 0,8 мм.

Демонтаж, осмотр и очистка жиклеров автомата запуска и автомата приемистости производится поочередно. Стравливающие жиклеры А и П и их переходники промываются бензином и прочищаются иглой. Входной жиклер автомата приемистости промывается и прочищается вместе со штуцером.

Характерные неисправности агрегатов системы автоматического регулирования приведены в табл. 8.1.

Таблица 8.1

Характерные неисправности агрегатов системы автоматического регулирования и способы их устранения

Неисправности	Причины	Способы устранения
1. Течь топлива из дренажного штуцера, насоса-регулятора, превышающая 25 см ³ /мин	Негерметичность торцевого уплотнения насоса-регулятора	Заменить насос-регулятор
2. Наличие металлической стружки на центральных топливных фильтрах насоса-регулятора	а) Приработка деталей; б) повышенный износ деталей качающегося узла насоса-регулятора	Промыть топливные фильтры, произвести опробование двигателя. При повторном обнаружении стружки заменить насос-регулятор
3. Нет воспламенения или позднее воспламенение топлива при запуске	При наличии топлива в выхлопном патрубке: а) течь топлива через дренажный клапан при запуске; б) мало давление топлива в первом контуре форсунок; в) неисправен клапан наддува воздуха; г) неисправны свеча зажигания или агрегат зажигания При отсутствии топлива в выхлопном патрубке: а) воздушные пробки в топливных магистралях; б) не в норме частота вращения ротора ТК при открытии запорного клапана; в) негерметичность соединений трубопроводов подвода топлива в первый контур форсунок	Произвести ложный запуск двигателя и проверить наличие топлива в выхлопном патрубке Промыть дренажный клапан и повторно проверить отсутствие течи. Если дефект не устранен — заменить клапан Проверить величину давления топлива при ложном запуске и, при необходимости, произвести регулировку Заменить клапан наддува воздуха Заменить, в зависимости от причины свечу, высоковольтный провод или агрегат зажигания Стравить воздушные пробки через клапан насоса регулятора и повторно проверить наличие топлива в выхлопном патрубке Проверить и, при необходимости, произвести регулировку частоты вращения ТК при открытии запорного клапана Устранить негерметичность подтяжкой гаск, болтов или штуцеров соединений или заменой уплотнительных колец, прокладок и т. п.
4. Нет раскрутки или зависание	а) Течь топлива через дренажный клапан;	Проверить величину утечки через дренажный клапан при

Неисправности	Причины	Способы устранения
частоты вращения ротора ТК при запуске	<p>б) недостаточная раскрутка ротора двигателя стартером;</p> <p>в) раннее отключение воздушного стартера;</p> <p>г) угол ВНА на упоре малого газа не соответствует $27 \pm 1,5^\circ$;</p> <p>д) засорение воздушного фильтра или входных жиклеров автомата запуска или (и) автомата приемистости насоса-регулятора;</p> <p>е) негерметичность магистрали подвода воздуха к насосу-регулятору;</p> <p>ж) не в норме давление топлива в магистрали первого контура форсунок;</p> <p>з) неудовлетворительная регулировка автомата запуска</p>	<p>ложном запуске. При наличии течи промыть клапан или, при необходимости, заменить его</p> <p>Замерить давление воздуха перед стартером при холодной прокрутке двигателя</p> <p>Проверить чистоту воздушного фильтра стартера. Если фильтр чистый — произвести регулировку частоты вращения ТК при отключении стартера.</p> <p>Проверить и, при необходимости, отрегулировать упоры гидроцилиндров</p> <p>Промыть воздушный фильтр. Промыть и прочистить входные жиклеры</p> <p>Устранить негерметичность</p> <p>Проверить давление топлива в первом контуре при ложном запуске. При необходимости произвести регулировку.</p> <p>Произвести регулировку запуска</p>
5. Частота вращения ротора ТК при отключении стартера не укладывается в норму	Неудовлетворительная регулировка механизма отключения воздушного стартера	Произвести регулировку частоты вращения ТК при отключении воздушного стартера
6. Температура газа при запуске выше нормы (см. рис. 8.62 и 8.63)	<p>а) Засорение стравливающего жиклера А, автомата запуска или жиклера П автомата приемистости;</p> <p>б) неудовлетворительная регулировка автомата запуска или автомата приемистости</p>	<p>Промыть и прочистить стравливающие жиклеры</p> <p>Произвести проверку и регулировку запуска</p>
7. Частота вращения ротора ТК на малом газе не укладывается в норму (см. рис. 8.10)	<p>а) рычаг управления двигателем на насосе-регуляторе не стоит на упоре малого газа ($\alpha = 0 \dots 3^\circ$);</p> <p>б) неудовлетворительная настройка регулятора частоты вращения ТК</p>	<p>Отрегулировать тяги управления двигателем</p> <p>Произвести регулировку малого газа</p>

Неисправности	Причины	Способы устранения
8. Частота вращения ротора ТК при проверке регулятора температуры газа ниже нормы (84%)	Неудовлетворительная настройка блокировочного золотника исполнительного механизма ИМ-47	Произвести регулировку срабатывания блокировочного золотника
9. Зависание частоты вращения ротора ТК при перемещении РУД на увеличенном режиме выше малого газа	а) Засорение воздушного фильтра или входного жиклера автомата приемистости; б) негерметичность соединений трубопровода подвода воздуха к автомату приемистости;	Промыть воздушный фильтр и входной жиклер автомата приемистости Устранить негерметичность подтяжкой соединений
	в) неудовлетворительная регулировка автомата приемистости	Отрегулировать автомат приемистости. Если дефект не устранен — заменить насос-регулятор
10. Велик заброс температуры газа перед турбиной при приемистости	а) Засорение стравливающего жиклера «П» автомата приемистости; б) неудовлетворительная регулировка автомата приемистости.	Промыть и прочистить стравливающий жиклер Проверить и отрегулировать частичную приемистость
11. Уменьшение (больше нормы) частоты вращения ротора ТК на взлетном режиме регулятором частоты вращения СТ	Положение рычага перенастройки частоты вращения несущего винта не соответствует норме	Переключателем на рычаге «Шаг—газ» установить рычаг перенастройки в положение $(66 \pm 2)^\circ$
12. Диапазон перенастройки частоты вращения несущего винта не в норме	а) Разрегулированы упоры вертолетной тяги управления рычагом перенастройки; б) неудовлетворительная настройка регулятора частоты вращения СТ	Проверить углы установки рычага перенастройки по лимбу насоса-регулятора, когда вертолетная тяга находится на упорах. При необходимости произвести регулировку упоров Проверить настройку и, при необходимости, произвести регулировку регулятора частоты вращения СТ
13. Разница в частотах вращения турбокомпрессоров более 2% при совместной работе двигателей на первом крейсерском и номинальном режимах	а) Неудовлетворительная настройка регуляторов частоты вращения СТ; б) отклонение от нормы характеристики углов направляющих аппаратов на одном из двигателей	Выполнить работы согласно п. 12,6 таблицы Проверить и, при необходимости, отрегулировать углы поворота направляющих аппаратов

Неисправности	Причины	Способы устранения
14. Частота вращения ротора ТК на взлетном режиме не соответствует при включенном ЭРД графику а (см. рис. 8.65). Светосигнальное табло «РТ (ЭРД) ЛЕВ. (ПРАВ.) РАБОТАЕТ» не горит	<p>Если величина n_{TK} ниже нормы:</p> <p>а) нарушение герметичности соединений трубопроводов подвода воздуха к автомату приемистости;</p> <p>б) засорение входного жиклера автомата приемистости или воздушного фильтра;</p> <p>в) засорение центральных топливных фильтров насоса-регулятора;</p> <p>г) негерметичность клапанов перепуска воздуха;</p> <p>д) отклонение от нормы характеристики углов направляющих аппаратов</p> <p>е) негерметичность ускорительного клапана основной дозирующей иглы</p> <p>Если величина n_{TK} выше нормы:</p> <p>а) неисправность в электрической цепи от датчика ДЧВ-2500 до ЭРД-ЗВМ;</p> <p>б) неисправность ДЧВ-2500 или ЭРД-ЗВМ</p>	<p>Выполнить работы согласно пп. 9,а и 9,б таблицы</p> <p>Промыть топливные фильтры</p> <p>Заменить клапан перепуска воздуха или нижний гидроцилиндр</p> <p>Выполнить работы согласно п. 13,б таблицы</p> <p>Заменить насос-регулятор</p> <p>Устранить неисправность в цепи</p> <p>Заменить датчик ДЧВ-2500 или электронный регулятор ЭРД-ЗВМ</p>
15. Низкая температура газа на режимах	<p>а) Неправильное подсоединение компенсационных проводов на соединительной и переходной колодках термопар;</p> <p>б) неисправен измеритель температуры газа;</p> <p>в) замыкание на массу коллектора термопар на соединительной колодке;</p> <p>г) нарушение изоляции или обрыв термоэлектродов термопар</p>	<p>Обеспечить правильное подсоединение проводов</p> <p>Заменить измеритель</p> <p>Заменить коллектор</p> <p>Заменить поврежденные термопары</p>
16. Велика температура газа на режимах	<p>а) Неисправен измеритель температуры газа;</p> <p>б) неисправна заслонка или клапан противообледенительной системы;</p>	<p>Заменить измеритель</p> <p>Устранить неисправность в электроцепи или заменить заслонку и клапан</p>

Неисправности	Причины	Способы устранения
	<p>в) негерметичность клапана перепуска воздуха;</p> <p>г) негерметичность в системе отбора воздуха на нужды вертолета;</p> <p>д) неудовлетворительная настройка регулятора температуры РТ-12-6</p>	<p>Проверить герметичность и, в случае необходимости, заменить клапан</p> <p>Устранить негерметичность</p> <p>Проверить настройку регулятора пультом ПКРТ. Произвести регулировку или замену РТ</p>
17. Частота вращения ротора ТК при проверке контура ТК ЭРД не в норме	<p>а) Неисправность в электрической цепи от датчика ДЧВ-250 до ЭРД;</p> <p>б) неисправен датчик ДЧВ-2500;</p> <p>в) неисправен ЭРД</p>	<p>Устранить неисправность</p> <p>Заменить датчик</p>
18. Раннее включение системы ограничения температуры газа	<p>а) Неисправен измеритель температуры газа;</p> <p>б) не в норме общее сопротивление цепей термопар;</p> <p>в) неисправны термопары;</p> <p>г) неудовлетворительная настройка или неисправность регулятора термопары</p>	<p>Заменить измеритель</p> <p>Отрегулировать общее сопротивление цепей</p> <p>Неисправную термопару заменить</p> <p>Выполнить работы согласно п. 16,д таблицы</p>
19. Включение светосигнального табло «ПРЕВЫШЕНИЕ $n_{ст}$ » на рабочих режимах	<p>а) Неисправность в электрической цепи датчиков ДТА-10;</p> <p>б) неисправность датчиков ДТА-10</p>	<p>Устранить неисправность</p> <p>Перестыковкой штепсельных разъемов подключить резервные датчики</p>

8.10. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ ПО ПРОВЕРКЕ НАСТРОЙКИ И РЕГУЛИРОВКЕ АГРЕГАТОВ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

ПРОВЕРКА И РЕГУЛИРОВКА ЛОЖНОГО ЗАПУСКА

При проведении ложного запуска проверяется частота вращения ротора ТК при открытии запорного клапана первого контура и величина давления топлива. Перед ложным запуском к штуцеру отвода топлива в первый контур на насосе-регуляторе подсоединяется манометр со шкалой до 10 кгс/см².

Частота вращения при открытии запорного клапана определяется по появлению давления в первом контуре форсунок и должна составлять $n_{TK}=15...20\%$. Регулировка n_{TK} при открытии запорного клапана производится заменой жиклера K насоса-регулятора.

Давление топлива в конце ложного запуска (при установившейся n_{TK}) должно быть в пределах $0,25...0,3$ МПа ($2,5...3$ кгс/см²). Регулировка давления топлива производится винтом 13 (см. рис. 8.12) автомата запуска.

Примечание. Влияние винта 13 на давление топлива показано в табл. 8.2. Там же показано влияние на регулируемые параметры прочих винтов, упоминаемых в разд. 8.11.

ПРОВЕРКА И РЕГУЛИРОВКА ЗАПУСКА ДВИГАТЕЛЯ

В процессе запуска проверяется:

температура газа при приведенной частоте вращения ротора ТК

$n_{TK,сп}=40\%$;

максимальная температура газа на конечном этапе запуска.

Таблица 8.2

Влияние регулировочных винтов агрегата НР-3ВМ на регулируемые параметры

Регулировочный винт	Цена одного оборота винта	Допустимый диапазон регулировки, обороты винта	Требуемая величина регулируемого параметра при проверке
Регулируемый параметр			
1. Максимальная настройка регулятора частоты вращения ротора ТК ($n_{TK, макс}$)	0,5%	± 12	Определяется расчетным путем
2. Частота вращения ротора ТК на режиме малого газа	0,4% (1 щелчок, 1 оборот — 18 щелчков)	+1,0 -1,5	См. рис. 8.10
3. Частота вращения НВ	3%	± 1	96 \pm 0,5%
4. Частота вращения НВ	0,35%	± 9	
5. Частота вращения ротора ТК при отключении воздушного стартера	4%	± 1	60...65%
6. Частота вращения ротора ТК при срабатывании блокировочного золотника ИМ-47	6,5%	$\pm 1,5$	84%
13. Давление топлива при ложном запуске	0,05 МПа (0,5 кгс/см ²)	$\pm 1,5$	0,25...0,3 МПа (2,5...3 кгс/см ²)

Регулировочный винт	Цена одного оборота винта	Допустимый диапазон регулировки, обороты винта	Требуемая величина регулируемого параметра при проверке
Регулируемый параметр			
15. Частота вращения ротора ТК, определенная ограничителем максимального расхода топлива	0,75 %	± 3	См. график Д, рис. 8.65
17. Максимальная температура газа на конечном этапе запуска; Время частичной приемистости	При заворачивании винта t_r снижается, а $t_{пр}$ растет	+3 -2	См. рис. 8.63, $\tau_{пр} = 3...6$ с

Требуемые значения температуры газа определяются по графикам (8.62 и 8.63) в зависимости от t_n . Регулировка t_r при $n_{тк}=40\%$ производится подбором стравливающего жиклера А. Регулировка $t_{гmax}$ производится винтом 17 (см. рис. 8.12) дифференциального клапана автомата приемистости. При полном использовании допустимого диапазона регулировки винтом 17 разрешается проведение регулировки заменой стравливающего жиклера П автомата приемистости.

ПРОВЕРКА И РЕГУЛИРОВКА МОМЕНТА ВЫДАЧИ СИГНАЛА НА ОТКЛЮЧЕНИЕ ВОЗДУШНОГО СТАРТЕРА

Отключение воздушного стартера определяется по выключению табло «СВ РАБОТАЕТ» и должно происходить в процессе запуска при $n_{тк}=60...65\%$.

ВНИМАНИЕ. Если стартер при $n_{тк}=65\%$ не отключается, необходимо прекратить запуск двигателя нажатием на кнопку «ПРЕКРАЩЕНИЕ ЗАПУСКА» и закрытием стоп-крана.

Регулировка момента отключения стартера производится винтом 5 (см. рис. 8.12) насоса-регулятора.

ПРОВЕРКА И РЕГУЛИРОВКА МИНИМАЛЬНОЙ НАСТРОЙКИ РЕГУЛЯТОРА ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ РОТОРА ТК (НА РЕЖИМЕ МАЛОГО ГАЗА)

Требуемая величина $n_{тк}$ на режиме малого газа определяется по графику в зависимости от t_n (см. рис. 8.10). Регулировка $n_{тк}$ малого газа производится винтом 2 (см. рис. 8.12) регулятора частоты вращения ротора ТК.

ПРОВЕРКА И РЕГУЛИРОВКА ЧАСТИЧНОЙ ПРИЕМИСТОСТИ

Проверка частичной приемистости производится при опробовании двигателя. Для этого двигатель предварительно выводится на режим правой коррекции, на котором фиксируется величина $n_{тк}$, после чего двигатель переводится на режим малого газа.

Приемистость проверяется переводом двигателя за 1...2 с на режим правой коррекции. Время перехода двигателя от режима малого газа до момента, когда $n_{\text{тк}}$ станет на 1...1,5% меньше, чем зафиксированная ранее при правой коррекции, должно быть в пределах 3...6 с. Температура газа при этом не должна превышать значений, указанных на рис. 8.64.

Регулировка частичной приемистости производится регулировочным винтом 17 (см. рис. 8.12) либо стравливающим жиклером П автомата приемистости.

ПРОВЕРКА И РЕГУЛИРОВКА НАСТРОЙКИ РЕГУЛЯТОРА ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ СВОБОДНОЙ ТУРБИНЫ (НЕСУЩЕГО ВИНТА)

Перед проверкой синхронизатор мощности проверяемого двигателя отключается (отсоединяется трубопровод отбора воздуха к СМ от соседнего двигателя).

Рычаг перенастройки на насосе-регуляторе должен быть установлен в положение $(66 \pm 2)^\circ$.

По графику Б, приложенному к формуляру двигателя (рис. 8.65), определить для измеренной величины t_n частоту вращения ротора ТК, соответствующую расходу топлива $G_T = (300 \pm 10)$ кг/ч.

После запуска обоих двигателей перемещением РРУД и рычага «Шаг—газ» проверяемый двигатель выводится на режим, определенный по графику Б. Частота вращения НВ должна при этом составлять $(96 \pm 0,5)\%$.

При необходимости регулировки $n_{\text{нв}}$ до 1,5% она производится винтом 4 насоса-регулятора. При необходимости регулировки $n_{\text{нв}}$ более 1,5% она производится винтами 3 и 4 в одну сторону, при этом на каждый винт должна приходиться половина потребной регулировки.

В затруднительных случаях для облегчения определения величины и направления регулировки винтами 3 и 4 на одном из двигателей от рычага перенастройки (РП), установленного в положение $\alpha_{\text{рп}} = (66 \pm 2)^\circ$, отсоединяется тяга управления. В процессе совместного опробования переключателем перенастройки РП соседнего двигателя устанавливается в положение, устраняющего дефект (вилка в $n_{\text{тк}}$, уменьшение $n_{\text{тк}}$ на взлетном режиме). После останова двигателей проверить положение РП по лимбу насоса и определить величину и направление вращения винтов 3 и 4, исходя из расчета, что отклонение на 1° по лимбу изменяет $n_{\text{нв}}$ приблизительно на 0,13%.

ПРОВЕРКА И РЕГУЛИРОВКА ВЗЛЕТНОГО РЕЖИМА

Проверка производится с установленными загрузочными шайбами на лопастях НВ или при требуемой нагрузке вертолета.

Перед проверкой необходимо:

отключить регулятор температуры РТ-12-6;

установить рычаг перенастройки в положение $\alpha_{\text{рп}} = (66 \pm 2)^\circ$;

определить требуемую величину $n_{\text{тк}}$ для взлетного режима по графику Аэрд (см. рис. 8.65) с учетом высотной поправки (рис. 8.66).

После запуска перемещением РРУД и загрузкой НВ вывести двигатель на первый крейсерский режим, с которого затем совершить три выхода на взлетный режим.

Фактическое значение $n_{\text{тк}}$ определяется как среднеарифметическая величина по результатам трех выходов. Фактическая величина $n_{\text{тк}}$ не должна отличаться от требуемой более чем на $\pm 0,5\%$.

ВНИМАНИЕ! Если на взлетном режиме температура газа стремится превысить 990°C , проверку произвести при снижении $t_{\text{н}}$ ниже 20°C .

Регулировка $n_{\text{тк}}$ производится винтом «РЕГУЛИРОВКА $n_{\text{тк}}$ » на электронном регуляторе двигателя.

ПРОВЕРКА И РЕГУЛИРОВКА ОГРАНИЧИТЕЛЯ МАКСИМАЛЬНОГО РАСХОДА ТОПЛИВА (ОМР)

Требуемая величина $n_{\text{тк}}$ при работе двигателя на ОМР определяется по графику Д (см. рис. 8.65) с учетом высотной поправки (см. рис. 8.66).

После запуска и прогрева двигателя ЭРД и РТ отключаются, после чего производится трехкратный выход двигателя на взлетный режим (см. проверку взлетного режима) и определяется фактическая величина $n_{\text{тк}}$. Регулировка ОМР производится винтом 15 (см. рис. 8.12) насоса-регулятора.

ПРОВЕРКА И РЕГУЛИРОВКА МАКСИМАЛЬНОЙ НАСТРОЙКИ РЕГУЛЯТОРА ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ РОТОРА ТК

Проверка максимальной настройки регулятора $n_{\text{тк}}$ производится на технологической площадке ($\alpha_{\text{РУД}}=135...140^\circ$), на которой настройка регулятора снижается на $6...8\%$.

Перед проверкой необходимо расконтрить и вывернуть винт упора РУД на НР, а упор РРУД в кабине вертолета установить в положение, обеспечивающее перемещение рычага до 140° по лимбу насоса-регулятора.

Требуемая величина $n_{\text{тк}}$ на технологической площадке определяется по одной из формул:

$$\text{или} \quad n_{\text{тк,нр}} = 101,5 - \Delta n_{\text{тк,пасп}} + 0,192(t_{\text{н}} - 5) \quad \text{— для } t_{\text{н}} < 5^\circ\text{C}$$

$$n_{\text{тк,нр}} = 101,5 - \Delta n_{\text{тк,пасп}} \quad \text{— для } t_{\text{н}} \geq 5^\circ\text{C},$$

где $\Delta n_{\text{тк,пасп}}$ — снижение настройки регулятора на технологической площадке, %, определяемое из п. 10 паспорта насоса-регулятора.

Проверка $n_{\text{тк}}$ производится трехкратным выводом двигателя при помощи РРУД на режим, соответствующий $\alpha_{\text{РУД}}=135...140^\circ$, при выключении ЭРД.

Регулировка максимальной настройки регулятора частоты вращения ТК производится винтом 1 насоса-регулятора.

ПРОВЕРКА И РЕГУЛИРОВКА УГЛОВ ПОВОРОТА НАПРАВЛЯЮЩИХ АППАРАТОВ КОМПРЕССОРА

Проверка углов поворота НА производится при скорости ветра не менее 5 м/с. Перед проверкой на ось стрелки указателя положения лопаток ВНА на корпусе первой опоры устанавливается отметчик, подключенный к бортовой сети вертолета 27 В.

После запуска прямым движением РРУД двигатель выводится на режимы, соответствующие $n_{\text{ткпр}}=85, 90$ и 95%; на каждом режиме измерить $n_{\text{тк}}$ и нажать на кнопку отметчика.

По значениям $\alpha_{\text{ВНА}}$, снятым с отметчика, строится по трем точкам график зависимости $\alpha_{\text{ВНА}}$ от $n_{\text{ткпр}}$, причем $n_{\text{ткпр}}$ должна соответствовать измеренной $n_{\text{тк}}$ на контрольных режимах.

При смещении углов установки НА ниже номинального значения до 4° или выше номинального значения до 2° допускается проведение их регулировки. В случае отклонения углов установки НА на большие величины двигатель отстраняется от эксплуатации.

При упрощенном методе проверка углов поворота НА производится по частоте вращения $n_{\text{ткпр}}$ закрытия клапанов перепуска воздуха и по одной точке на номинальном режиме работы двигателя.

Закрытие клапанов перепуска воздуха должно происходить при $n_{\text{ткпр}}$, не отличающейся от значения, записанного в формуляре двигателя более, чем на 1%*.

При проверке угла установки НА на номинальном режиме (или — при отсутствии ветра — в режиме висения на высоте 5...7 м) значение $\alpha_{\text{ВНА}}$ фиксируется по следу от стрелки на пластине, наложенном на лимб ВНА. Определив $n_{\text{ткпр}}$, соответствующую режиму измерения $\alpha_{\text{ВНА}}$, полученное значение наносится на график зависимости $\alpha_{\text{ВНА}}$ от $n_{\text{ткпр}}$. Нанесенная точка должна быть в зоне настройки графика (рис. 8.67).

Регулировка углов поворота НА производится измерением длины тяг l_1 и l_2 (см. рис. 8.45). Изменение длины l_1 осуществляется поворотом регулировочного винта и вызывает изменение угла наклона характеристики. Уменьшение l_1 увеличивает угол γ , увеличение — уменьшает его.

Заворачивание регулировочного винта на четыре оборота увеличивает длину l_1 на 2 мм, что соответствует изменению $\alpha_{\text{ВНА}}$ на крайних точках 85 и 95% примерно на 1° .

Изменение длины l_2 осуществляется поворотом передней проушины тяги и вызывает параллельное смещение характеристики. Увеличение l_2 смещает характеристику, а уменьшение — вниз. Один оборот тендера тяги смещает характеристику примерно

* Закрытие клапанов определяется по падению температуры газа перед турбиной (на 20...50°C) или по прекращению выхода струи воздуха из отводящего патрубка.

на 3°. После регулировки тяги l_2 проволокой диаметром 0,5 мм проверить перекрытие контрольного отверстия тяги резьбовой проушины. Проволока в контрольное отверстие проходить не должна.

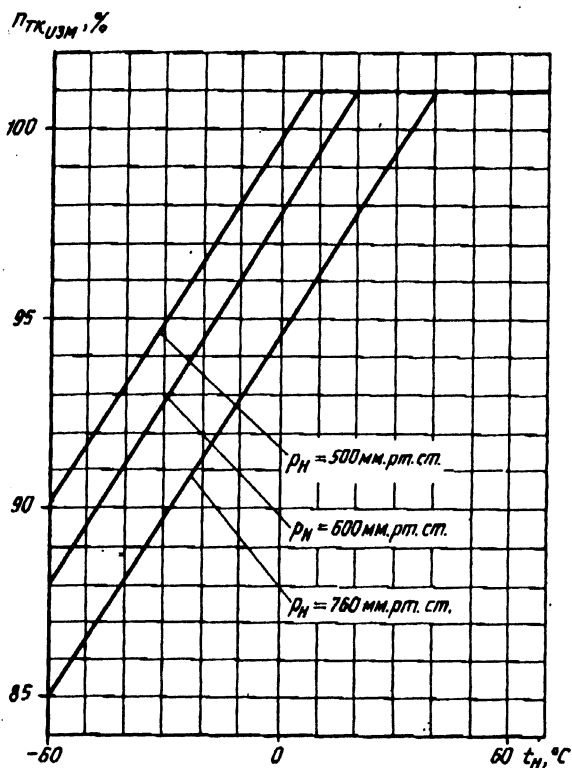


Рис. 8.1. Зависимость частоты вращения ротора турбокомпрессора на взлетном режиме от температуры и давления наружного воздуха

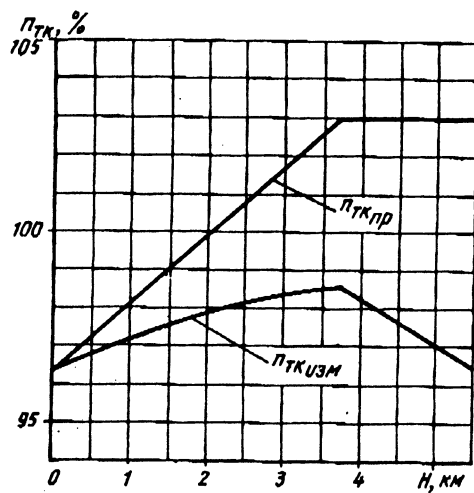


Рис. 8.2. Зависимость измеренной и приведенной частоты вращения турбокомпрессора от высоты полета

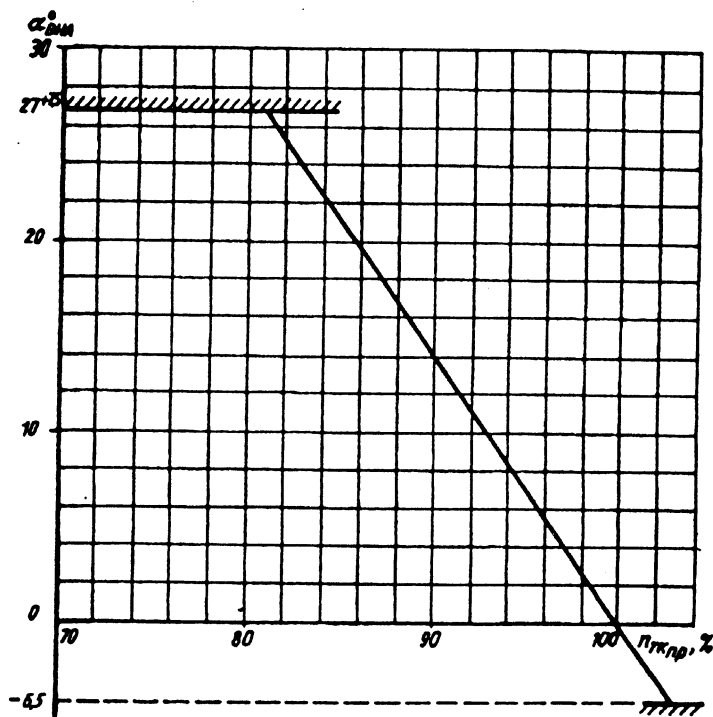


Рис. 8.3 Зависимость угла установки лопаток направляющих аппаратов по лимбу ВНА от приведенной частоты вращения ротора турбокомпрессора

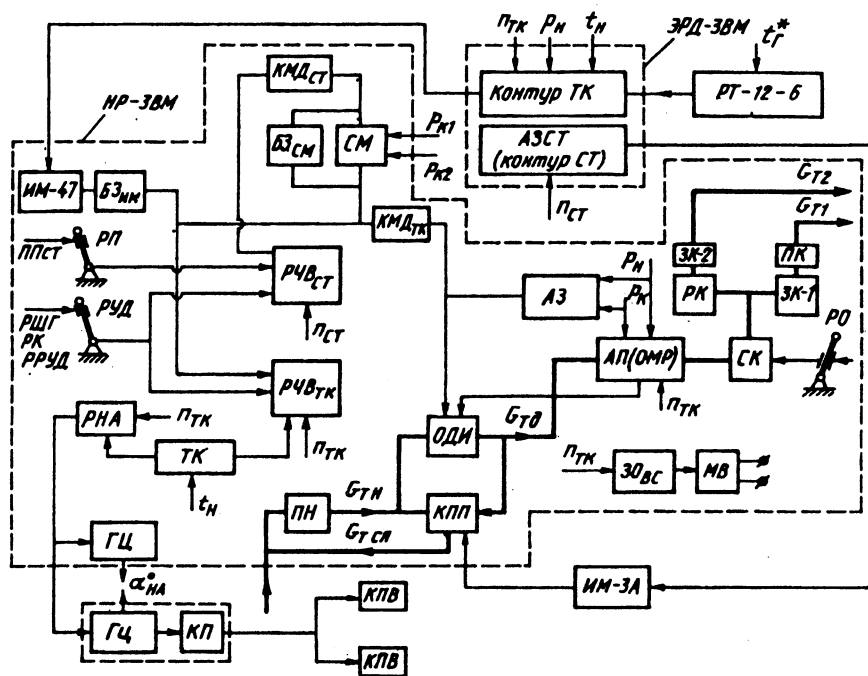


Рис. 8.4. Структурно-функциональная схема системы автоматического регулирования

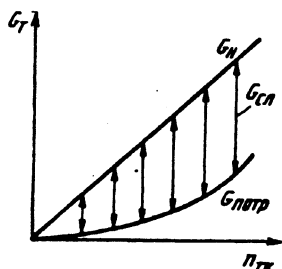


Рис. 8.5. Зависимость потребного и располагаемого расходов топлива от частоты вращения ротора турбокомпрессора

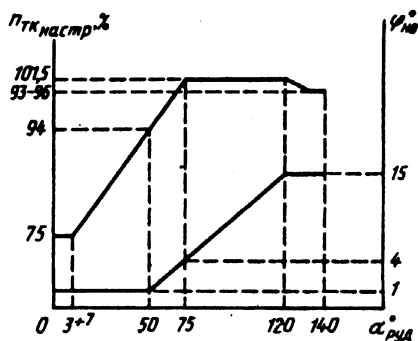


Рис. 8.6. Настроечная характеристика регулятора частоты вращения турбокомпрессора

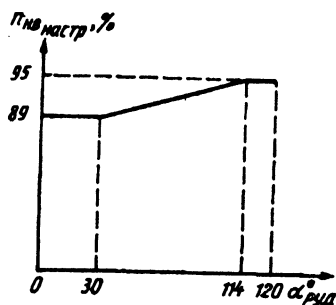


Рис. 8.7. Настроечная характеристика регулятора частоты вращения свободной турбины

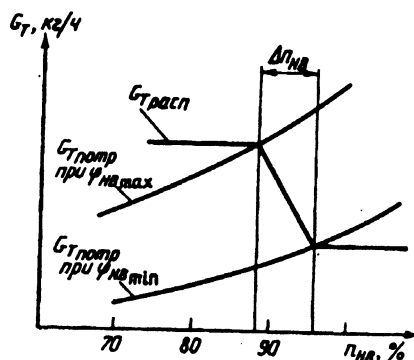


Рис. 8.8. Статическая характеристика регулятора частоты вращения свободной турбины

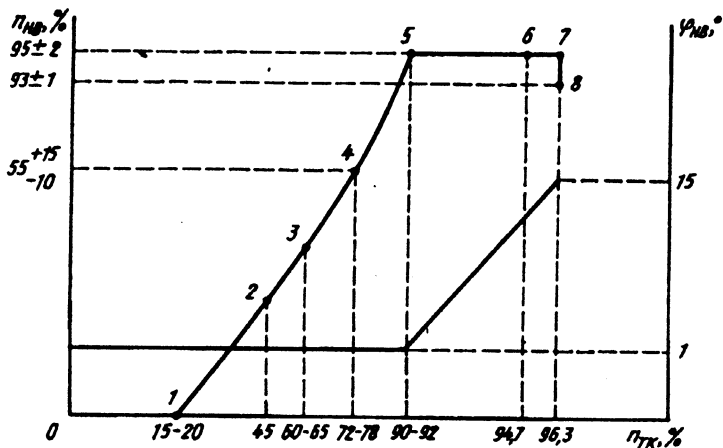


Рис. 8.9. Зависимость частоты вращения несущего винта от частоты вращения ротора турбокомпрессора при стандартных атмосферных условиях

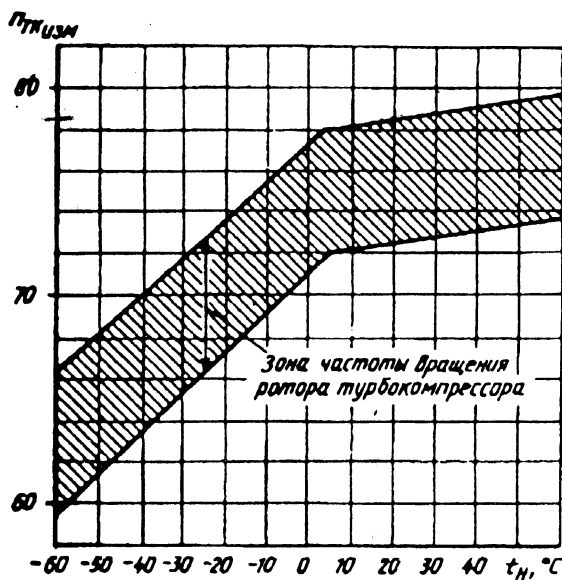


Рис. 8.10. Зависимость измеренной частоты вращения ротора турбокомпрессора на режиме малого газа от температуры наружного воздуха

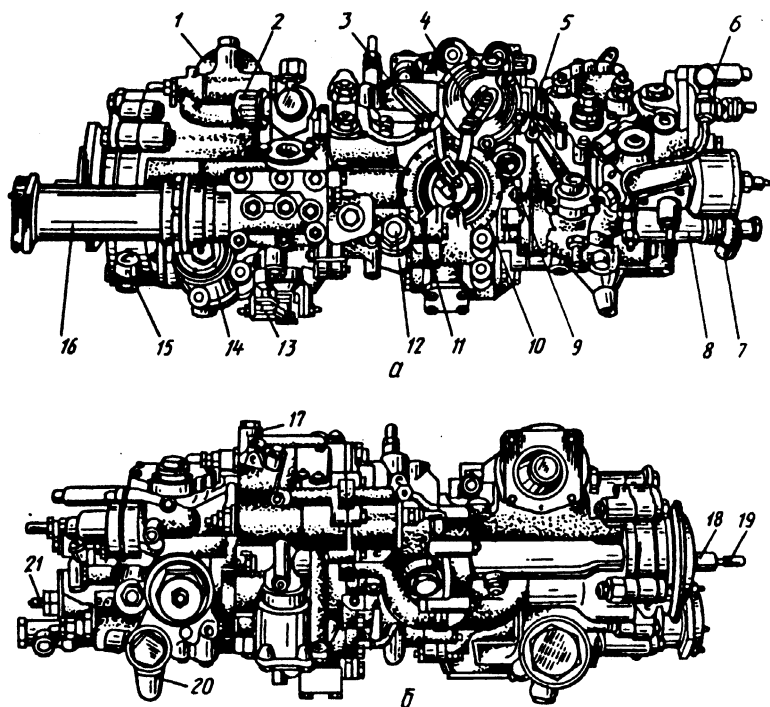


Рис. 8.11. Насос-регулятор НР-3ВМ:

а — вид слева; *б* — вид справа;

1 — исполнительный механизм ИМ-47; 2 — штуцер подвода топлива от фильтра тонкой очистки; 3 — рычаг перенастройки регулятора частоты вращения СТ; 4 — рычаг управления двигателем (РУД); 5 — рычаг стоп-крана; 6 — электромагнитный клапан МКТ-163; 7 — штуцер подвода воздуха; 8 — воздушный фильтр; 9, 12 — пробки центральных топливных фильтров; 10 — лимб РУД; 11 — лимб рычага перенастройки; 13 — рычаг обратной связи регулятора направляющих аппаратов; 14 — гидроцилиндр; 15 — штуцер дренажа; 16 — термопатрон; 17 — клапан стравливания воздуха; 18 — рессора привода насоса высокого давления; 19 — рессора привода датчиков частоты вращения СТ; 20 — штуцер отвода топлива во второй контур форсунок; 21 — штуцер отвода топлива в первый контур форсунок

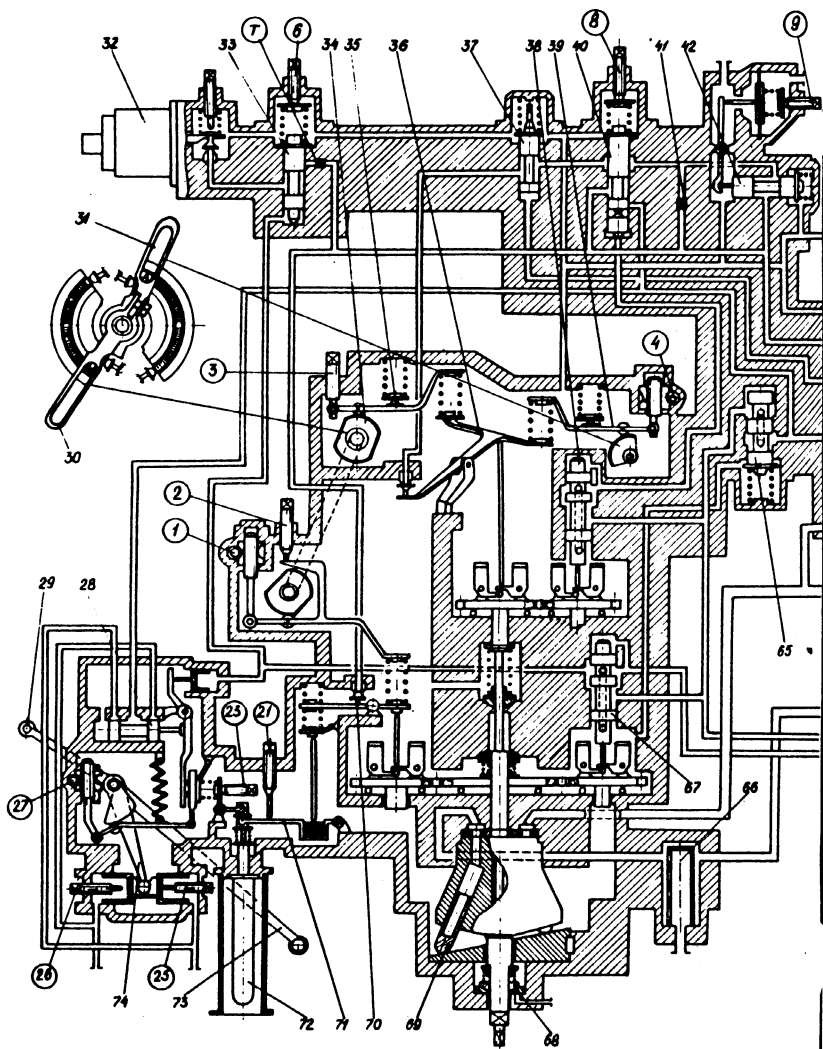


Рис. 8.12. Принципиальная схема

1* — винт регулировки максимальной частоты вращения ротора ТК; 2 — винт регулировки частоты вращения несущего винта; 5 — винт регулировки частоты вращения лотника исполнительного механизма ИМ-47; 8 — винт золотника аварийного мощностного; 10 — винт регулировки распределительного клапана второго контура; 13 — винт регулировки максимального расхода топлива; 16 — винт минимального расхода топлива; 19 — винт максимального расхода топлива основной дозирующей; 21 — винт упора термокорректора; 23 — винт параллельного смещения режима гидроцилиндра; 26 — упор малого газа гидроцилиндра; 27 — винт регу-

* На рисунке поз. 1 — 27 даны в кружках.

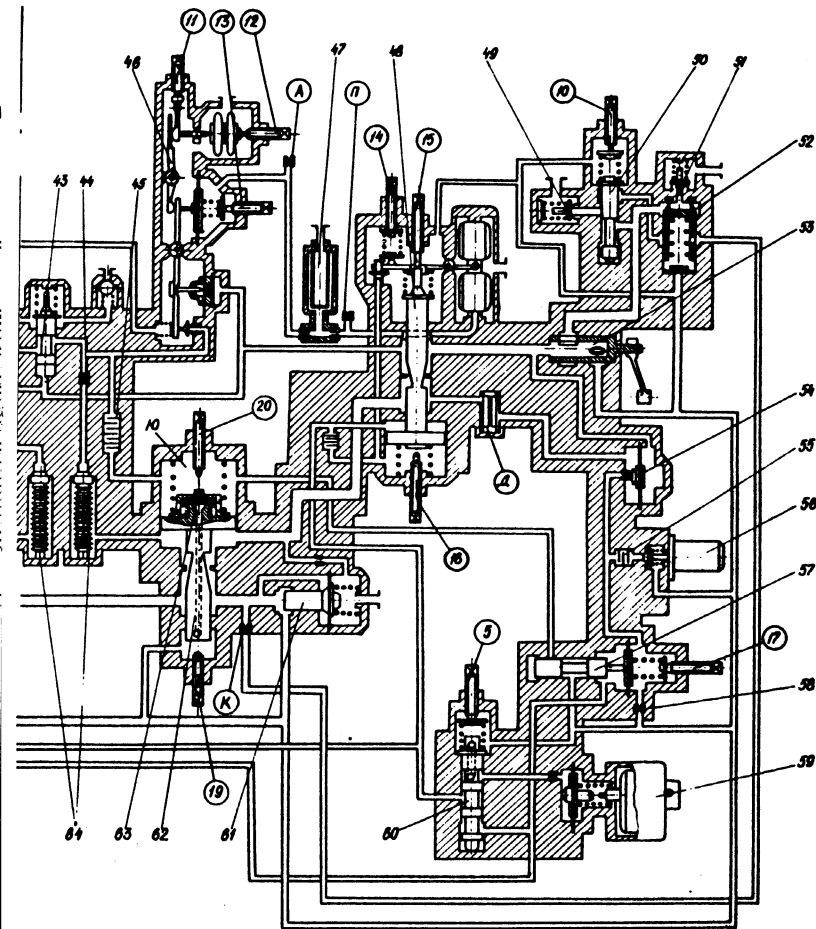
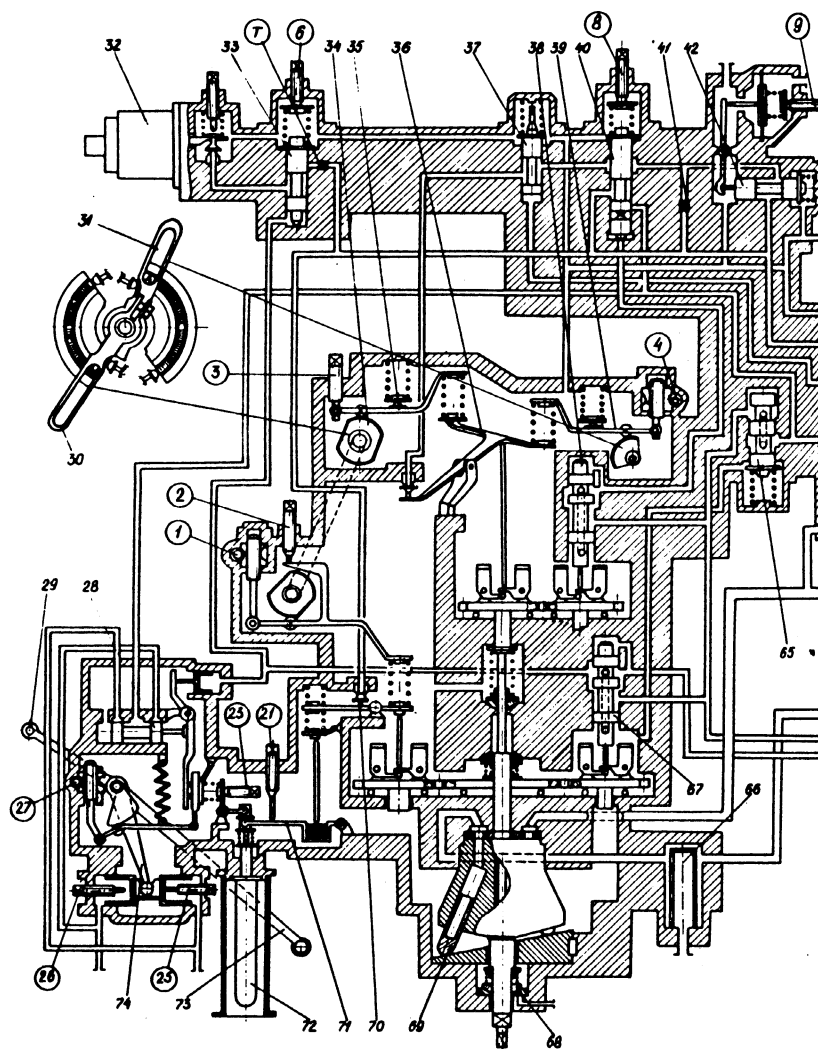


Рис. 8.12. Принципиальная схема насоса-регулятора НР-3ВМ:

1* — винт регулировки максимальной частоты вращения ротора ТК; 2 — винт регулировки частоты вращения несущего винта; 3 — винт регулировки частоты вращения лотника исполнительного механизма ИМ-47; 4 — винт золотника аварийного контура; 5 — винт регулировки распределительного клапана второго контура; 6 — винт регулировки автомата запуска; 7 — винт регулировки автомата приемистости; 8 — винт регулировки максимального расхода топлива; 9 — винт минимального расхода топлива; 10 — винт максимального расхода топлива основной дозирующей иглы; 11 — винт упора термокорректора; 12 — винт параллельного смещения характеристики гидроцилиндра; 13 — винт упора малого газа гидроцилиндра; 14 — винт регулировки углов поворота направляющих аппаратов компрессора; 15 — винт регулировки углов поворота направляющих аппаратов компрессора; 16 — винт регулировки углов поворота направляющих аппаратов компрессора; 17 — винт регулировки углов поворота направляющих аппаратов компрессора; 18 — винт регулировки углов поворота направляющих аппаратов компрессора; 19 — винт регулировки углов поворота направляющих аппаратов компрессора; 20 — винт регулировки углов поворота направляющих аппаратов компрессора; 21 — винт регулировки углов поворота направляющих аппаратов компрессора; 22 — винт регулировки углов поворота направляющих аппаратов компрессора; 23 — винт регулировки углов поворота направляющих аппаратов компрессора; 24 — винт регулировки углов поворота направляющих аппаратов компрессора; 25 — винт регулировки углов поворота направляющих аппаратов компрессора; 26 — винт регулировки углов поворота направляющих аппаратов компрессора; 27 — винт регулировки углов поворота направляющих аппаратов компрессора; 28 — винт регулировки углов поворота направляющих аппаратов компрессора; 29 — винт регулировки углов поворота направляющих аппаратов компрессора; 30 — винт регулировки углов поворота направляющих аппаратов компрессора; 31 — винт регулировки углов поворота направляющих аппаратов компрессора; 32 — винт регулировки углов поворота направляющих аппаратов компрессора.

регулировки минимальной частоты вращения ротора ТК; 3, 4 — винты регулирования ротора ТК отключения воздушного стартера; 6 — винт блокировочного золотника синхронизатора мощности; 9 — винт регулировки синхронизатора 11 — винт регулировки высотного корректора автомата запуска; 12 — винт параллельного смещения характеристики автомата приемистости; 15 — винт топлива автомата приемистости; 17 — винт дифференциального клапана автомата иглы; 20 — винт минимального расхода топлива основной дозирующей иглы; теристики направляющих аппаратов компрессора; 25 — упор максимального лировки углов поворота направляющих аппаратов компрессора; 28 — регулятор

* На рисунке поз. 1 — 27 даны в кружках.

направляющих аппаратов компрессора; 29 — силовой рычаг регулятора направляющих аппаратов; 30 — рычаг управления двигателем (РУД); 31 — рычаг перенастройки регулятора частоты вращения несущего винта; 32 — исполнительный механизм ИМ-47; 33 — блокировочный золотник исполнительного механизма; 34 — кулачок корректора настройки регулятора частоты вращения свободной турбины; 35 — корректор настройки регулятора частоты вращения свободной турбины; 36 — регулятор частоты вращения свободной турбины; 37 — клапан минимального давления контура регулятора СТ; 38 — датчик командного давления топлива свободной турбины; 39 — механизм перенастройки регулятора частоты вращения свободной турбины; 40 — золотник аварийного отключения синхронизатора мощности; 41 — обводной жиклер синхронизатора мощности; 42 — синхронизатор мощности; 43 — клапан минимального давления контура регулятора ТК; 44 — питающий жиклер основной дозирующей иглы; 45 — дроссельный пакет основной дозирующей иглы; 46 — автомат запуска; 47 — воздушный фильтр; 48 — дозирующая игла автомата приемистости; 49 — запорный клапан канала второго контура форсунок; 50 — распределительный клапан второго контура форсунок; 51 — подпорный клапан канала первого контура форсунок; 52 — запорный клапан канала первого контура форсунок; 53 — стоп-кран; 54 — мембрана нулевого перепада автомата приемистости; 55 — жиклер перенастройки автомата приемистости; 56 — электромагнитный клапан МКТ-163 перенастройки автомата приемистости; 57 — дифференциальный клапан автомата приемистости; 58 — жиклер постоянного слива автомата приемистости; 59 — механизм подачи сигнала на отключение воздушного стартера; 60 — командный золотник отключения воздушного стартера; 61 — клапан постоянного перепада; 62 — основная дозирующая игла; 63 — ускорительный клапан основной дозирующей иглы; 64 — центральные топливные фильтры; 65 — клапан постоянного давления; 66 — входной фильтр грубой очистки; 67 — датчик командного давления топлива турбокомпрессора; 68 — торцевое уплотнение; 69 — насос высокого давления; 70 — регулятор частоты вращения ротора турбокомпрессора; 71 — рычаг связи температурного корректора с регулятором ТК; 72 — термопатрон; 73 — рычаг обратной связи регулятора направляющих аппаратов; 74 — гидроцилиндр насоса-регулятора; А, К, П, Т — регулировочные жиклеры

Примечания: 1. Позиции, обведенные на рисунке в кружок, являются регулировочными элементами и имеют соответствующую маркировку на корпусе насоса-регулятора.

2. Регулировочные элементы, соответствующие позициям 7, 18, 22 и 24 на данной модификации насоса-регулятора отсутствуют.

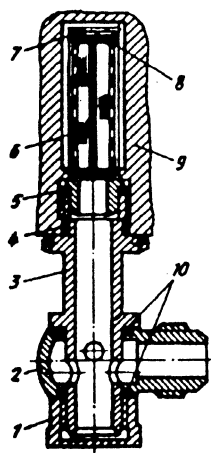


Рис. 8.13. Входной топливный фильтр.

1 — пробка; 2 — поворотный штуцер; 3 — проходной штуцер; 4 — уплотнительное кольцо; 5 — регулировочная шайба; 6 — сетка; 7 — каркас; 8 — дно фильтра; 9 — корпус насоса; 10 — уплотнительное кольцо

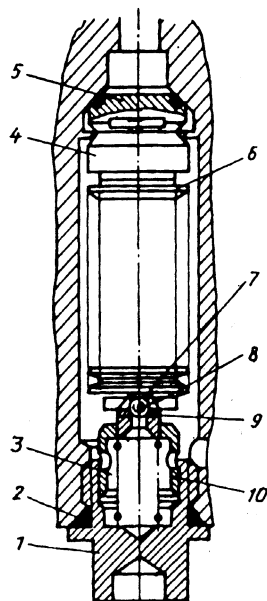


Рис. 8.14. Центральный топливный фильтр.

1 — пробка; 2 — уплотнительное кольцо; 3 — пружина; 4 — магнитное кольцо; 5 — каркас; 6 — капсула; 7 — пружина клапана; 8 — шариковый клапан; 9 — регулировочная шайба; 10 — втулка

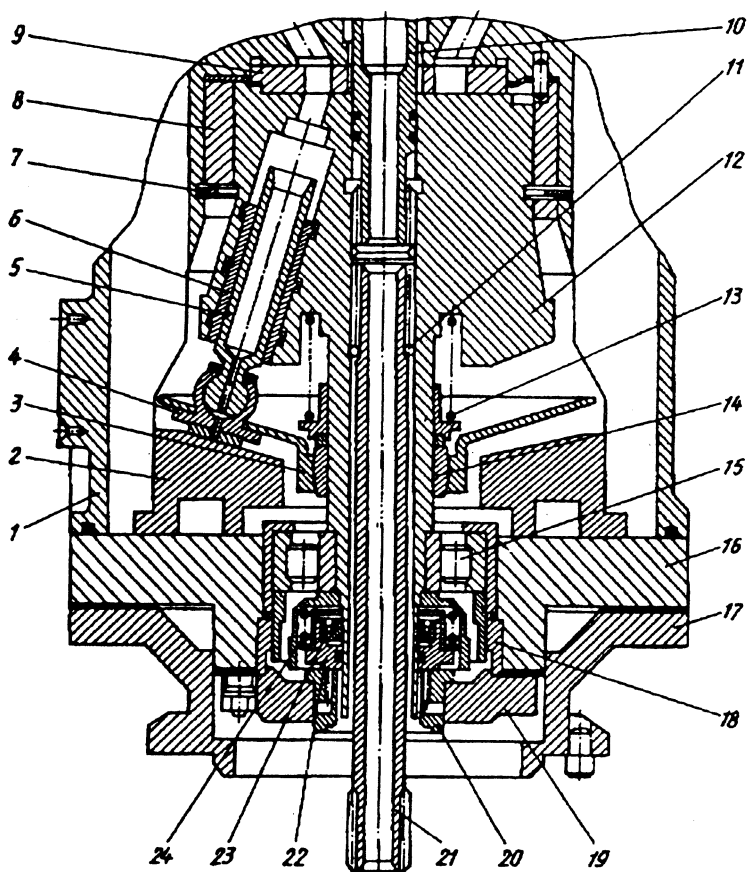


Рис. 8.15. Насос высокого давления:

1 — корпус; 2 — опорная шайба; 3 — сепаратор; 4 — подпятник плунжера; 5 — плунжер; 6 — втулка плунжера; 7 — пружинное кольцо; 8 — медно-графитовый подшипник; 9 — распределительный золотник; 10 — рессора привода центробежных датчиков частоты вращения турбокомпрессора; 11 — стопорное кольцо; 12 — ротор; 13 — пружина; 14 — сферическое опорное кольцо; 15 — роликовый подшипник; 16 — проставка; 17 — фланец; 18 — втулка; 19 — крышка уплотнения; 20 — упорная втулка торцевого уплотнения; 21 — рессора ротора; 22 — плавающая втулка; 23 — манжета; 24 — пружина торцевого уплотнения

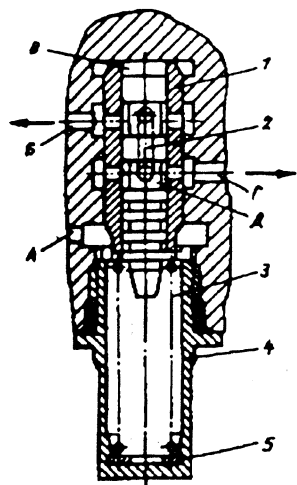


Рис. 8.16. Клапан постоянного давления:

1 втулка; 2 — золотник; 3 — пружина; 4 — пробка; 5 — регулировочная шайба; А — полость слива; Б — канал отвода топлива; В — полость постоянного давления; Г — канал подвода топлива

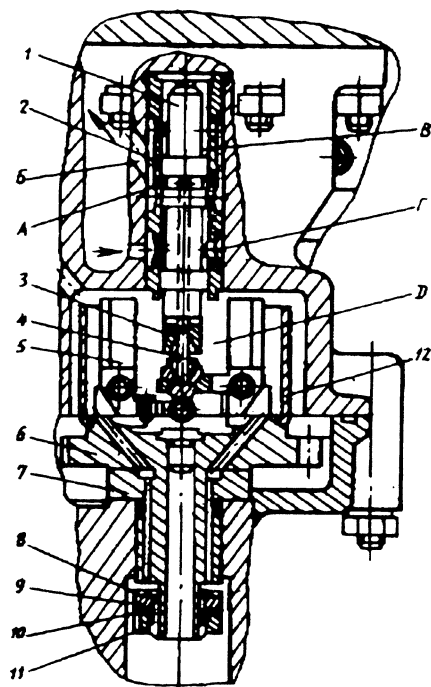


Рис. 8.17. Датчик командного давления топлива турбокомпрессора и свободной турбины:

1 — золотник; 2 — втулка; 3 — опора; 4 — игла; 5 — грузик; 6 — вилка; 7 — подшипник скольжения; 8 — шайба регулировочная; 9 — шайба; 10 — замок; 11 — гайка; 12 — кожух; А, Б, В — полости командного давления; Г — полость постоянного давления; Д — полость слива

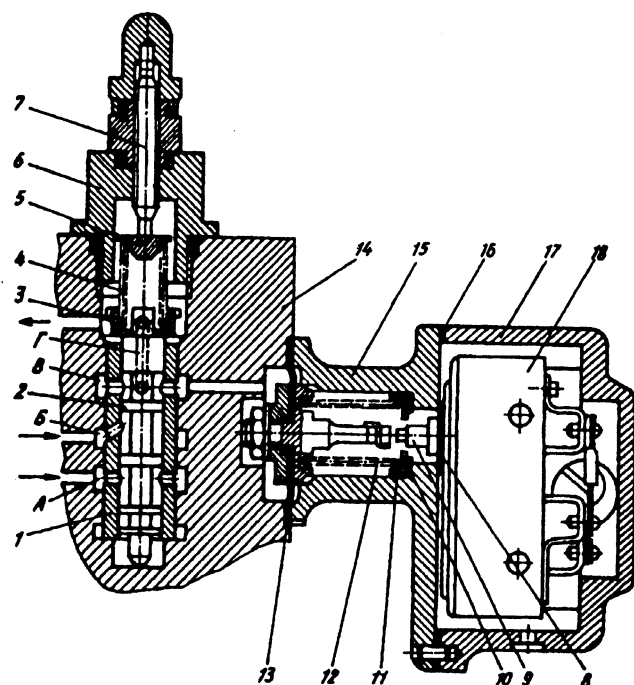


Рис. 8.18. Механизм отключения воздушного стартера:

1 — втулка; 2 — золотник; 3 — тарелка; 4 — пружина; 5 — опора; 6 — пробка; 7 — регулировочный винт; 8 — прокладка; 9 — кнопка микровыключателя; 10 — регулировочная шайба; 11 — тарелка; 12 — пружина; 13 — мембрана; 14 — корпус агрегата; 15 — переходник; 16 — прокладка; 17 — корпус; 18 — микровыключатель;
 А, Б, В — проточки; Г — осевой канал золотника

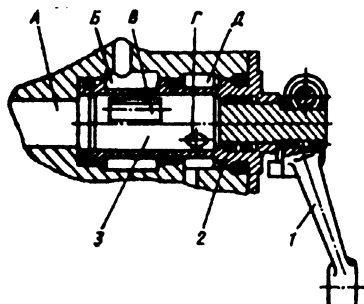


Рис. 8.19. Стоп-кран:

1 — рычаг; 2 — втулка; 3 — золотник;
 А — канал подвода топлива; Б — канал от-
 вода топлива; В, Г — окна золотника; Д —
 полость слива

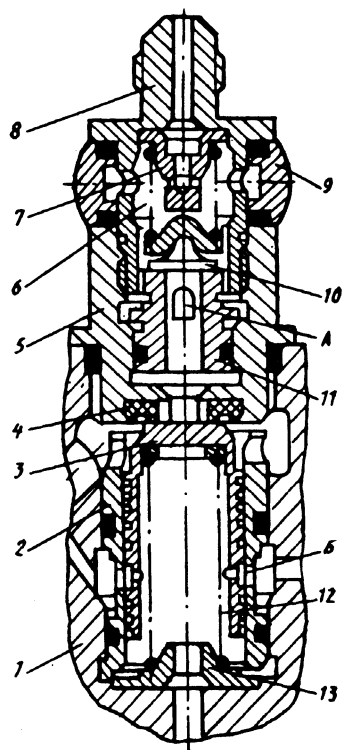


Рис. 8.20. Запорный и подпор-
 ный клапаны первого контура
 форсунок:

1 — корпус агрегата; 2 — втул-
 ка; 3 — поршень; 4 — седло;
 5 — футорка; 6 — пружина; 7 —
 упор; 8 — проходной штуцер;
 9 — штуцер отвода топлива;
 10 — клапан подпорный; 11 —
 втулка; 12 — пружина; 13 — та-
 релка;
 А — профилированное окно;
 Б — отверстия для подвода топ-
 лива

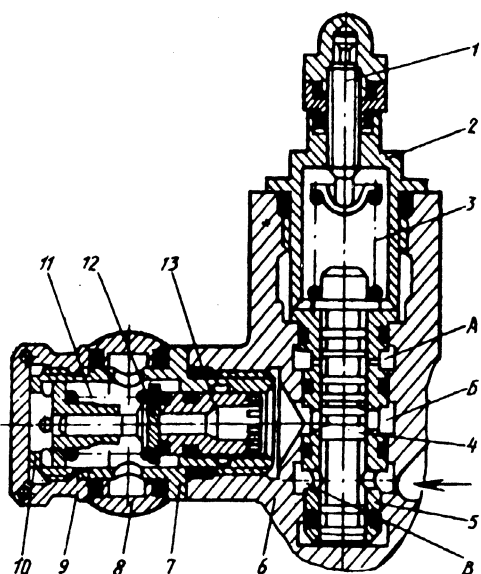


Рис. 8.21. Распределительный и запорный клапаны второго контура форсунок:

1 — регулировочный винт; 2 — пробка; 3 — пружина; 4 — золотник; 5 — втулка; 6 — корпус агрегата; 7 — проходной штуцер; 8 — штуцер отвода топлива; 9 — колпачок; 10 — направляющая втулка; 11 — пружина; 12 — клапан; 13 — седло клапана;

А, Б, В — проточки

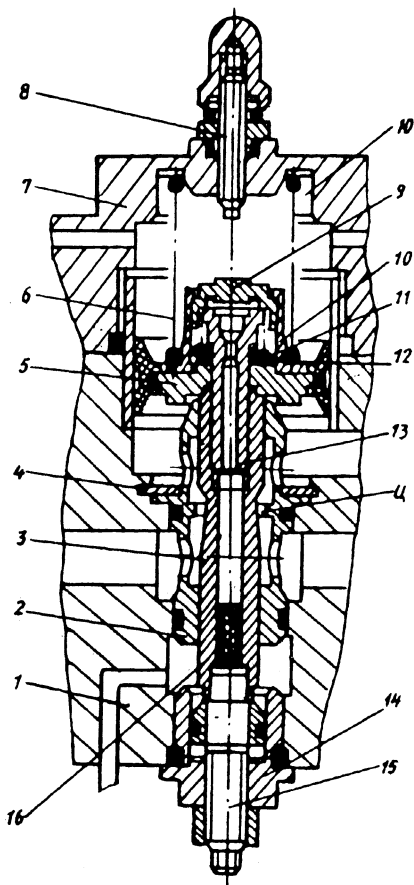


Рис. 8.22. Основная дозирующая игла:

1 — корпус агрегата; 2 — втулка; 3 — стопорное кольцо крепления втулки; 4 — сервопоршень; 5 — пружина сервопоршня; 6 — корпус; 7 — корпус; 8 — ускорительный клапан; 9 — стакан клапана; 10 — пружина клапана; 11 — опора пружины; 12 — болт; 13 — футорка; 14 — винт максимального расхода; 15 — фильтр; 16 — дозирующее сечение

Рис. 8.23. Клапан постоянного перепада:

1 — мембрана; 2 — винт крепления мембраны; 3 — корпус; 4 — втулка; 5 — золотник; 6 — кольцо мембраны; 7 — жиклер; 8 — тарелка пружины; 9 — крышка; 10 — пружина; 11, 12 — опоры; 13 — регулировочная шайба;
 А — отверстия для подвода топлива; Б — демпфирующий зазор; В — отверстия для слива топлива

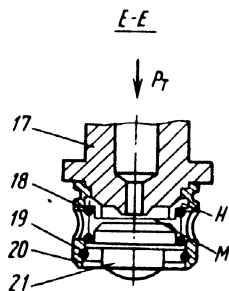
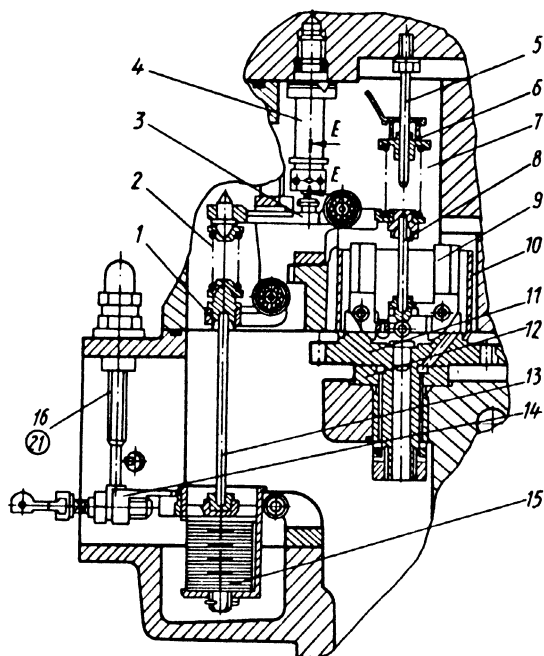
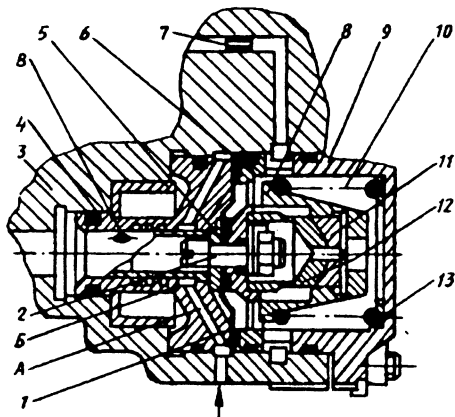


Рис. 8.24, а. Регулятор частоты вращения ТК — узел центробежного датчика с двуплечим рычагом и топливным клапаном:

1 — промежуточный рычаг температурного корректора; 2 — пружина; 3 — рычаг двуплечий; 4 — топливный клапан; 5 — направляющий палец; 6 — тарелка; 7 — пружина настройки; 8 — игла; 9 — центробежные грузики; 10 — кожух центробежного датчика; 11 — вилка центробежного датчика; 12 — втулка-подшипник; 13 — игла; 14 — рычаг температурного корректора; 15 — термокомпенсатор; 16 — винт упора температурного корректора; 17 — клапан проточный; 18 — пружина клапана; 19 — стопорное кольцо; 20 — стакан; 21 — тарелка клапана

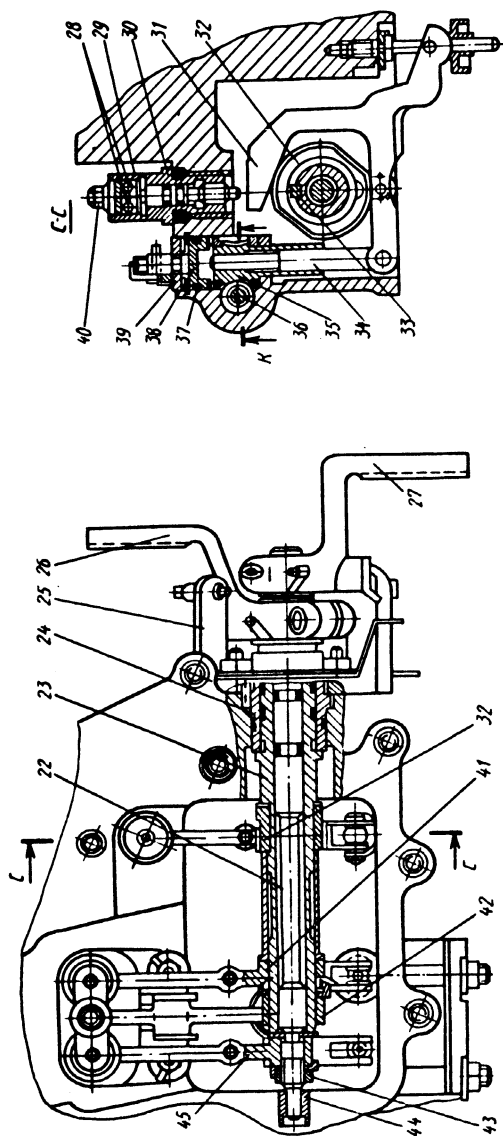


Рис. 8.24, 6. Регулятор частоты вращения ТК — задающее устройство:

22 — валик рычага переаппарки несущего винта; 23 — валик рычага управления двигателем; 24 — втулка; 25 — крышка; 26 — рычаг управления двигателем (РУД); 27 — рычаг переаппарки; 28 — шарик; 29 — пружина; 30 — футорка; 31 — промежуточный рычаг задающего устройства; 32 — кулачок регулятора частоты вращения ротора турбокомпрессора; 33 — шпонка; 34 — шток; 35 — червячок регулятора частоты вращения ротора турбокомпрессора; 36 — регулировочный винт максимальной частоты вращения ротора турбокомпрессора; 37 — уплотнительное кольцо; 38 — упорная крышка; 39 — упорная шайба; 40 — регулировочный винт малого газа; 41 — кулачок 6%-ной коррекции регулятора частоты вращения свободной турбины; 42 — серва рычага; 43 — стопорная гайка; 44 — втулка; 45 — кулачок 15%-ной коррекции регулятора частоты вращения свободной турбины

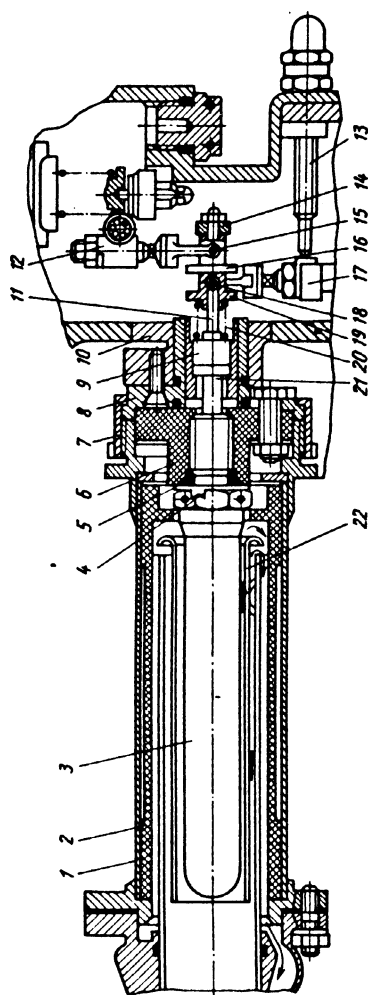


Рис. 8.25. Температурный корректор:

1 — теплоизолятор; 2 — корпус; 3 — колба сифона; 4 — замок; 5 — уплотнительное кольцо; 6 — втулка; 7 — накидная гайка; 8 — втулка; 9 — втулка толкателя; 10 — крышка; 11 — шток толкателя; 12 — рычаг коррекции настройки регулятора направляющих аппаратов; 13 — винт упора температурного корректора; 14 — гайка; 15, 18 — вилки рычагов; 16 — упор; 17 — рычаг коррекции настройки регулятора частоты вращения ротора турбокомпрессора; 19 — муфта; 20 — пружина; 21 — шток сифона; 22 — кожух

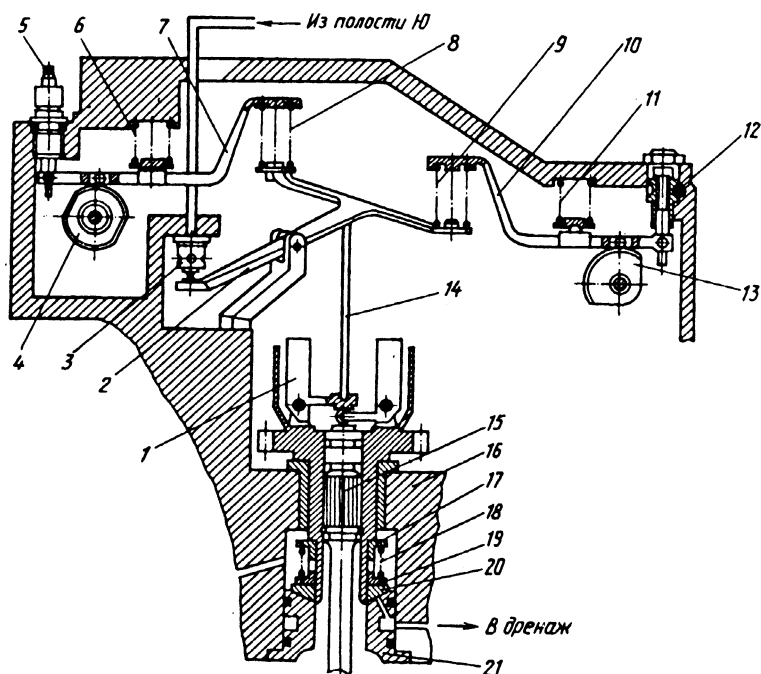


Рис. 8.26. Принципиальная схема регулятора частоты вращения свободной турбины:

1 — центробежный датчик частоты вращения; 2 — рычаг; 3 — топливный клапан; 4 — кулачок 6%-ной коррекции; 5, 12 — регулировочные винты; 6, 11 — загрузочные пружины; 7 — рычаг механизма 6%-ной коррекции; 8, 9 — настроенные пружины; 10 — рычаг механизма 15%-ной коррекции; 13 — кулачок механизма 15%-ной коррекции; 14 — игла; 15 — рессора; 16 — корпус агрегата; 17, 19 — опорные втулки; 18 — пружина торцевого уплотнения; 20 — плавающее кольцо; 21 — опорная втулка торцевого уплотнения

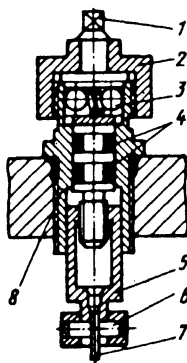


Рис. 8.27. Регулировочный винт механизма 6%-ной коррекции:

1 — регулировочный винт; 2 — контргайка; 3 — шарик; 4 — уплотнительное кольцо; 5 — шток; 6 — ось рычага; 7 — штифт; 8 — футорка

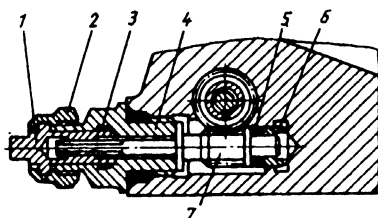


Рис. 8.28. Регулировочный винт механизма 15%-ной коррекции:

1 — регулировочный винт; 2 — контргайка; 3 — уплотнительное кольцо; 4 — футорка; 5 — регулировочная шайба; 6 — втулка; 7 — червяк

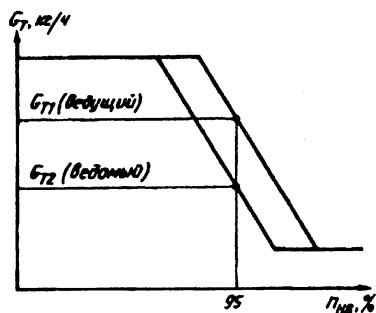


Рис. 8.29. Статистическая характеристика регуляторов частоты вращения свободной турбины левого и правого двигателей

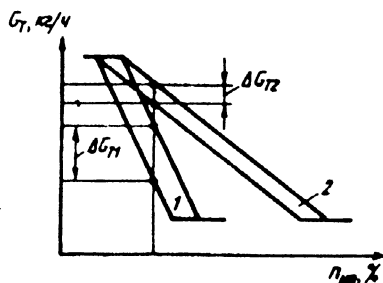


Рис. 8.30. Статистическая характеристика регуляторов частоты вращения свободных турбин при малом (график 1) и большом (график 2) статизме

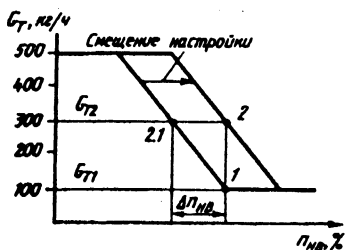


Рис. 8.31. Смещение статической характеристики регулятора частоты вращения свободной турбины при повороте РУД

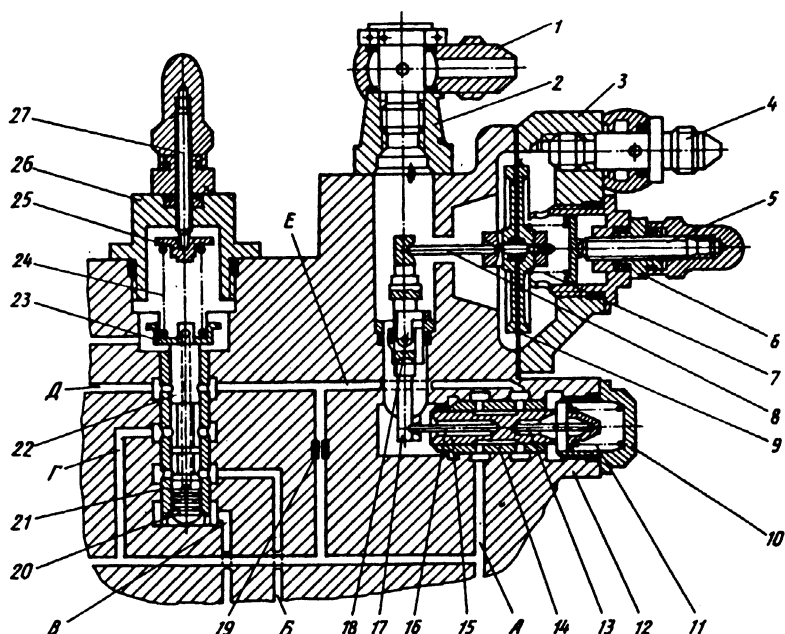


Рис. 8.32. Синхронизатор мощности с золотником аварийного отключения:

1 — штуцер подвода воздуха из-за компрессора соседнего двигателя; 2 — крышка; 3 — крышка воздушной мембраны; 4 — штуцер подвода воздуха из-за компрессора своего двигателя; 5 — регулировочный винт; 6 — футорка; 7 — пружина мембраны; 8, 13, 16 — опорные иглы; 9 — мембрана; 10 — пробка; 11 — пружина золотника; 12 — корпус агрегата; 14 — втулка; 15 — золотник; 17 — рычаг; 18 — кронштейн; 19 — обводной жиклер; 20 — толкатель; 21 — втулка; 22 — золотник; 23 — тарелка; 24 — пружина; 25 — опора; 26 — пробка; 27 — регулировочный винт;

A, Г — каналы подвода топлива из полости Ю; Б — канал подвода топлива от насоса; В — канал командного давления; Д, Е — каналы отвода топлива

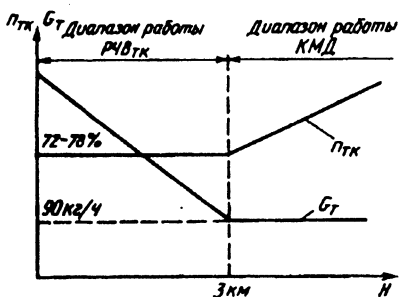


Рис. 8.33. Зависимость частоты вращения ротора турбокомпрессора и расхода топлива на режиме малого газа от высоты полета

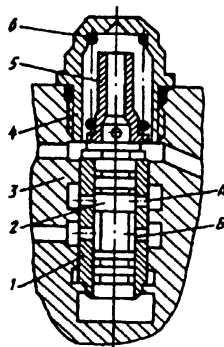


Рис. 8.34. Клапан минимального давления:
1 — втулка; 2 — золотник;
3 — корпус агрегата;
4 — пробка; 5 — упор;
6 — пружина;
А, Б — окна

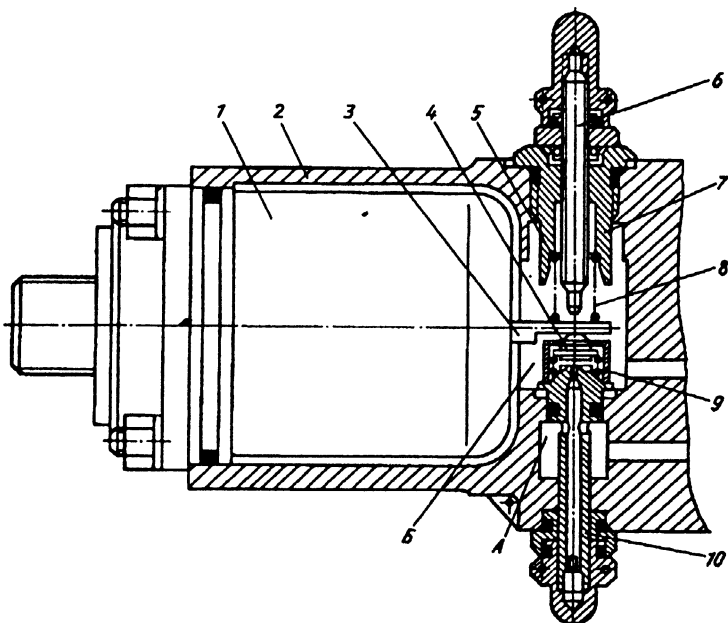


Рис. 8.35. Исполнительный механизм ИМ-47:

1 — реле; 2 — корпус; 3 — якорь-заслонка; 4 — клапан; 5 — регулировочная шайба; 6 — регулировочный винт; 7 — пробка; 8 — пружина; 9 — стакан; 10 — корпус клапана;
А — канал подвода топлива из полости Ю; Б — полость слива

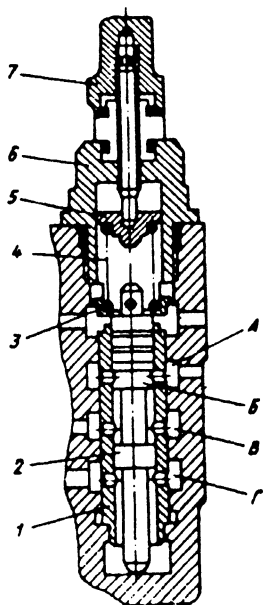


Рис. 8.36. Блокировочный золотник исполнительного механизма:

1 — втулка; 2 — золотник; 3 — тарелка; 4 — пружина; 5 — опора; 6 — пробка; 7 — регулировочный винт;
 А — канал отвода топлива к ИМ-47; Б — поясок золотника; В — канал подвода топлива из полости Ю; Г — канал командного давления

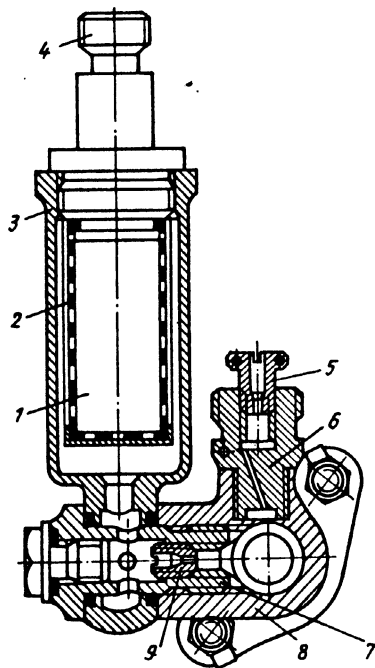


Рис. 8.37. Узел воздушного фильтра с редуктором:

1 — сетка фильтра; 2 — каркас; 3 — корпус; 4 — штуцер подвода воздуха; 5 — стравливающий жиклер автомата приемистости; 6 — переходник; 7 — штуцер; 8 — корпус редуктора; 9 — входной жиклер автомата приемистости

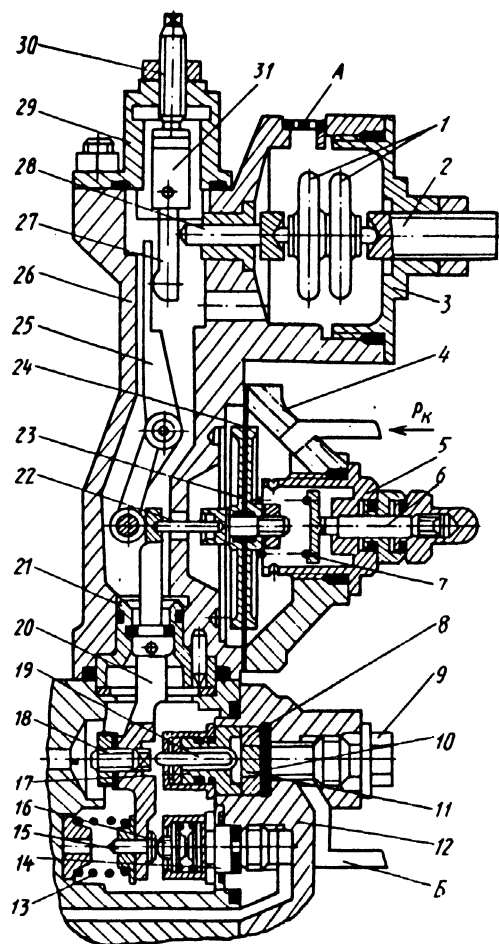


Рис. 8.38. Автомат запуска:

- 1 — анероиды; 2 — регулировочный винт анероидов; 3 — крышка анероидов; 4 — крышка мембраны; 5 — пробка; 6 — регулировочный винт; 7 — пружина мембраны; 8 — кольцо сухаря; 9 — пробка диафрагмы; 10 — диафрагма; 11 — сухарь; 12 — крышка клапана; 13 — пружина клапана; 14 — гнездо клапана; 15 — упор; 16 — топливный клапан; 17 — направляющая втулка; 18 — регулировочный винт; 19 — шток; 20 — рычаг; 21 — упорная игла; 22 — опорный рычаг корректора; 23 — диск; 24 — мембрана; 25 — промежуточный рычаг корректора; 26 — корпус; 27 — опорный рычаг корректора; 28 — шток; 29 — крышка; 30 — регулировочный винт корректора; 31 — опорная втулка;
- А — отверстие для подвода воздуха; Б — канал подвода топлива

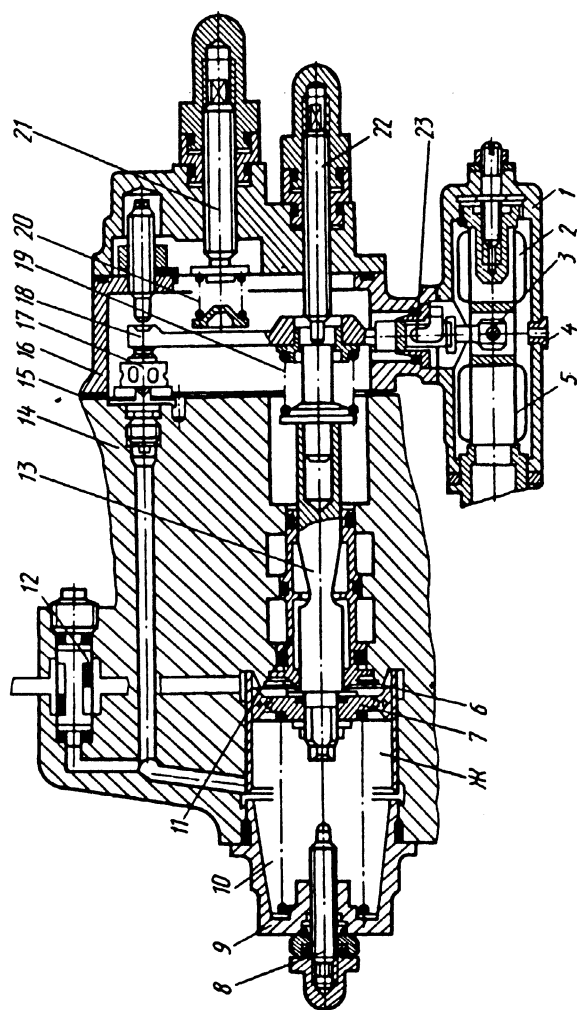


Рис. 8.39. Узел дозирующей иглы автомата присеистости с блоком сильфонов:

1 — корпус сильфонов; 2 — вакуумный сильфон; 3 — ось крепления рычага; 4 — жиклер; 5 — воздушный сильфон; 6 — стопорное кольцо; 7 — сервопоршень дозирующей иглы; 8 — регулировочный винт минимального расхода; 9 — футорка; 10 — пружина сервопоршня; 11 — втулка; 12 — дроссель; 13 — золотник; 14 — корпус насоса-регулятора; 15 — прокладка; 16 — крышка; 17 — топливный клапан; 18 — рычаг; 19 — пружина обратной связи; 20 — пружина настройки; 21 — регулировочный винт параллельного смещения характеристики автомата; 22 — регулировочный винт максимального расхода; 23 — ось вращения рычага; Ж — командная полость сервопоршня

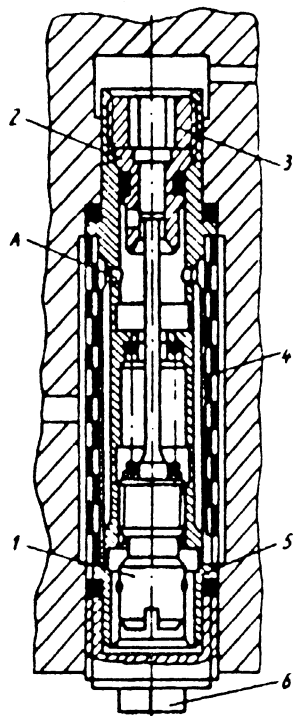


Рис. 8.40. Регулируемый дроссель автомата приемистости:

1 — регулировочный винт; 2 — втулка; 3 — гайка;
4 — фильтрующая сетка; 5 — корпус; 6 — пробка;
А — отверстия

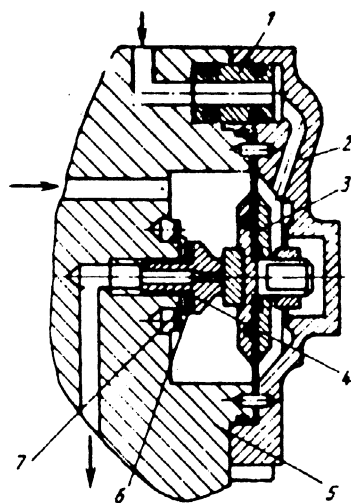


Рис. 8.41. Мембрана нулевого перепада автомата приемистости:

1 — перепускная втулка; 2 — крышка;
3 — диафрагма; 4 — клапан; 5 — корпус
насоса-регулятора; 6 — уплотнительное
кольцо; 7 — замок

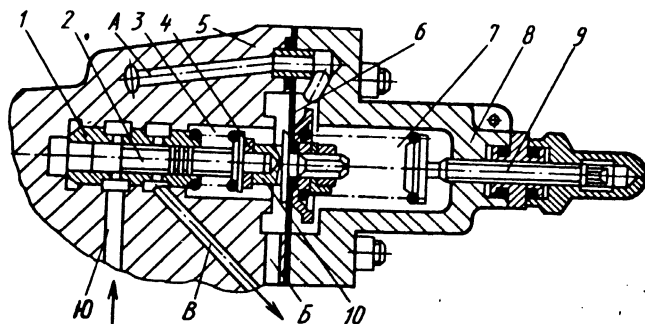


Рис. 8.42. Дифференциальный клапан автомата приемистости:

1 — втулка; 2 — золотник; 3 — пружина золотника; 4 — регулировочная шайба; 5 — корпус насоса-регулятора; 6 — мембрана; 7 — пружина мембраны; 8 — крышка; 9 — регулировочный винт; 10 — упор пружины;

А — канал подвода топлива от дросселя; Б — канал командного давления; В — канал слива; Ю — канал подвода топлива из полости Ю

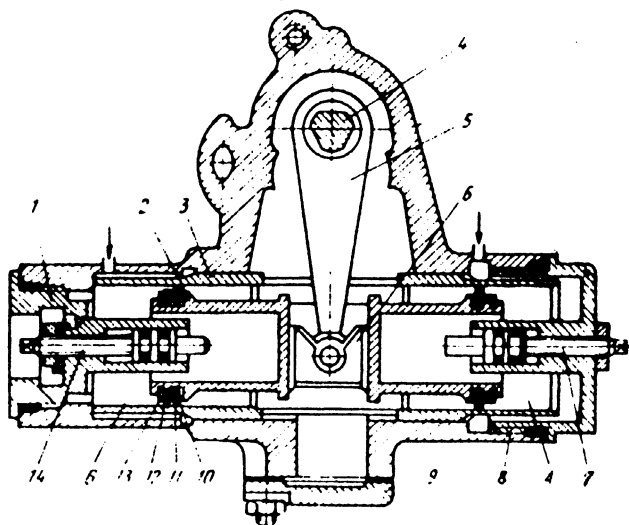


Рис. 8.43. Гидроцилиндр регулятора направляющих аппаратов компрессора:

1, 8 — пробки; 2 — поршень; 3 — втулка поршня; 4 — силовой валик; 5 — рычаг; 6 — сухарь; 7 — регулировочный упор $-(6,5 \pm 0,5)^\circ$; 9 — крышка; 10 — манжета; 11 — уплотнительное кольцо; 12 — регулировочная шайба; 13 — стопорное кольцо; 14 — регулируемый упор $(27 \pm 1,5)^\circ$; А, Б — топливные полости высокого давления

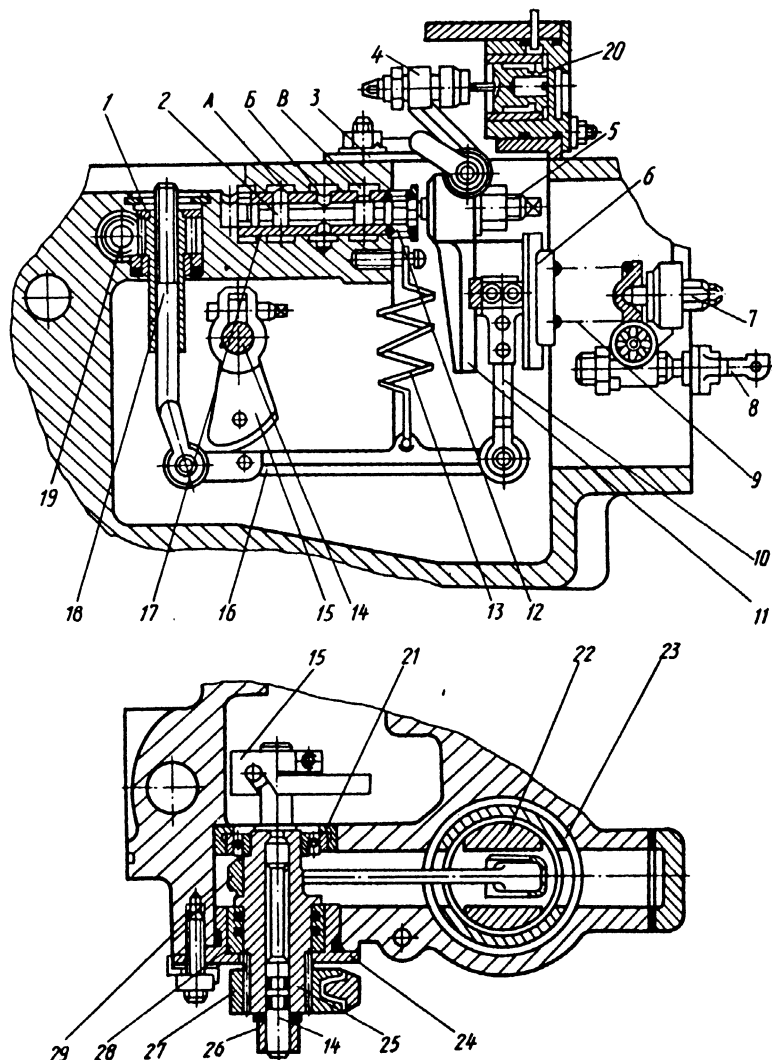


Рис. 8.44. Командный узел РНА компрессора:

1 — червячное кольцо; 2 — командный золотник; 3 — кронштейн; 4 — регулировочный винт поршня командного давления; 5 — регулировочный винт механизма температурной коррекции; 6 — кронштейн; 7 — регулировочный винт механизма температурной коррекции; 8 — рычаг температурной коррекции; 9 — пружина; 10 — ползун; 11 — рычаг-весы; 12 — пружина командного золотника; 13 — загрузочная пружина; 14 — валик механизма обратной связи; 15 — кулачок обратной связи; 16 — тяга; 17 — втулка; 18 — шток; 19 — регулировочный винт обратной связи; 20 — узел поршня командного давления; 21 — втулка; 22 — поршень гидроцилиндра; 23 — втулка поршня; 24 — крышка; 25 — силовой валик поворота лопаток НА; 26 — рычаг управления механизма обратной связи; 27 — силовой рычаг НА; 28 — втулка; 29 — силовой рычаг гидроцилиндра;

А, В — отверстия отвода топлива к гидроцилиндрам; Б — отверстие подвода топлива от насоса

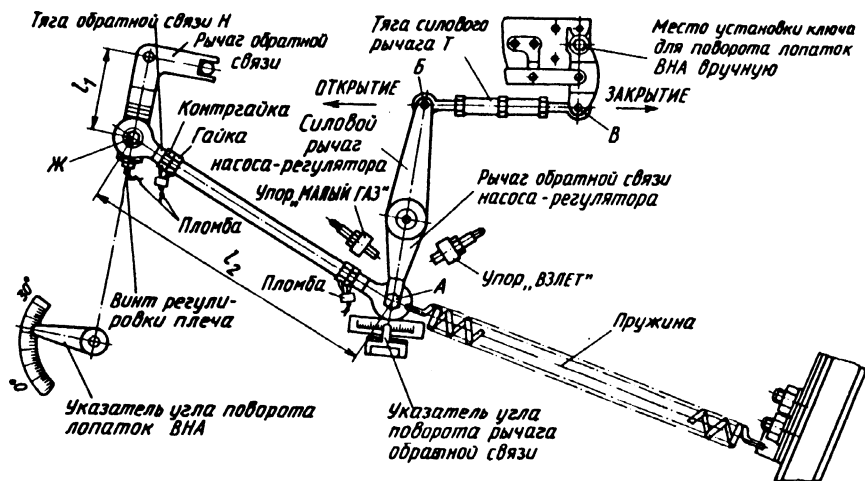


Рис. 8.45. Схема расположения тяг обратной связи регулятора направляющих аппаратов компрессора

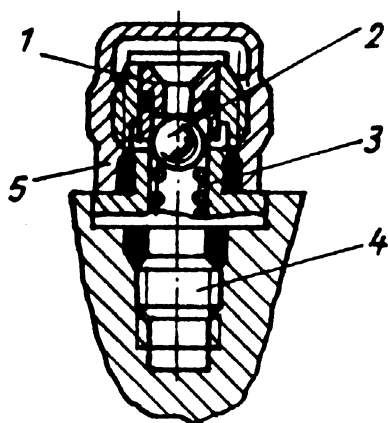


Рис. 8.46. Клапан стравливания воздуха:

1 — втулка; 2 — шарик; 3 — пружина; 4 — штуцер; 5 — пробка

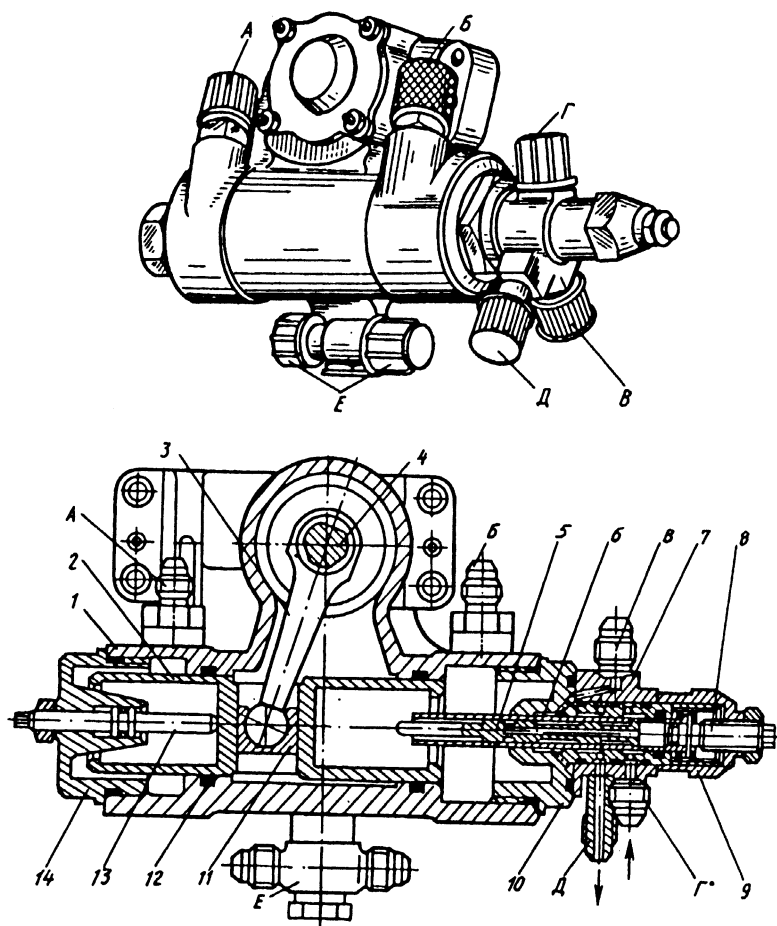


Рис. 8.47. Гидроцилиндр с концевым переключателем:

1 — корпус; 2 — силовой поршень; 3 — рычаг; 4 — силовой валик; 5 — золотник концевого переключателя; 6 — гильза; 7 — корпус переключателя; 8 — регулировочный винт упора малого газа; 9 — заглушка; 10, 14 — пробки; 11 — сухарь; 12 — резино-фторопластовое уплотнение; 13 — регулировочный винт упора взлетного режима;

А, Б — штуцера подвода (слива) топлива к силовому поршню; В — штуцер отвода топлива к клапанам перепуска воздуха; Г — штуцер подвода топлива к концевому переключателю; Д, Е — штуцера слива

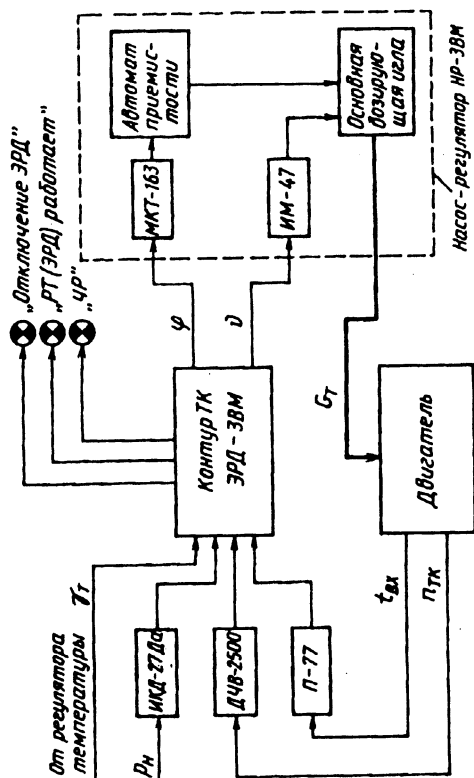


Рис. 8.48. Структурная схема системы ограничения максимальных режимов

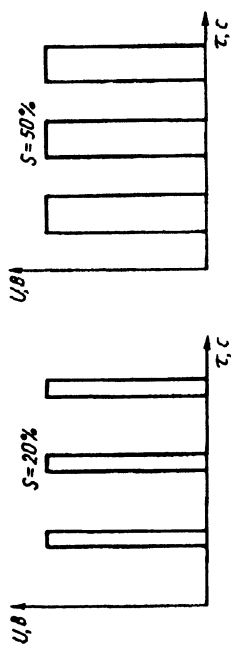


Рис. 8.49. Формы напряжения на электромагните исполнительного механизма ИМ-47 при различной скважности сигнала

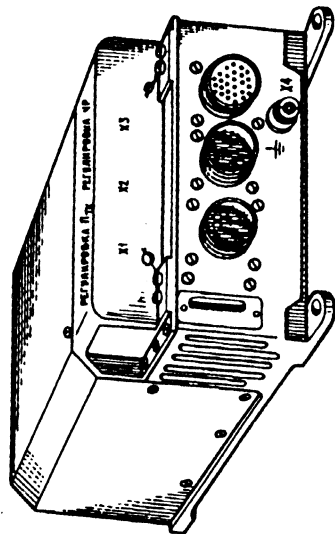


Рис. 8.50. Электронный регулятор двигателя ЭРД-3ВМ

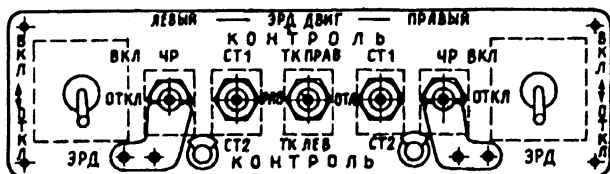


Рис. 8.52. Пульт управления ЭРД-3ВМ

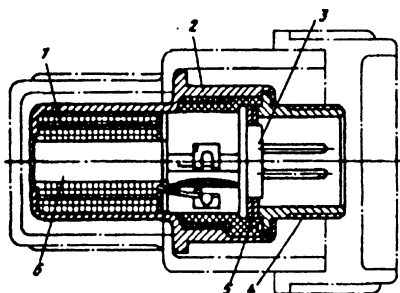


Рис. 8.53. Датчик частоты вращения ДЧВ-2500:

1 — катушка; 2 — корпус; 3 — колодка; 4 — крышка; 5 — изоляционная прокладка; 6 — магнит

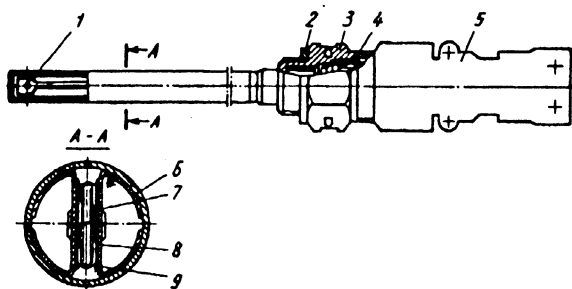


Рис. 8.54. Приемник температуры воздуха П-77:

1 — тепловосensibleный элемент; 2 — уплотнительное кольцо; 3 — арматура; 4 — гайка; 5 — штепсельный разъем; 6 — пружинящая пластина; 7 — слюдяная пластина; 8 — изоляционная прокладка; 9 — платиновая проволока

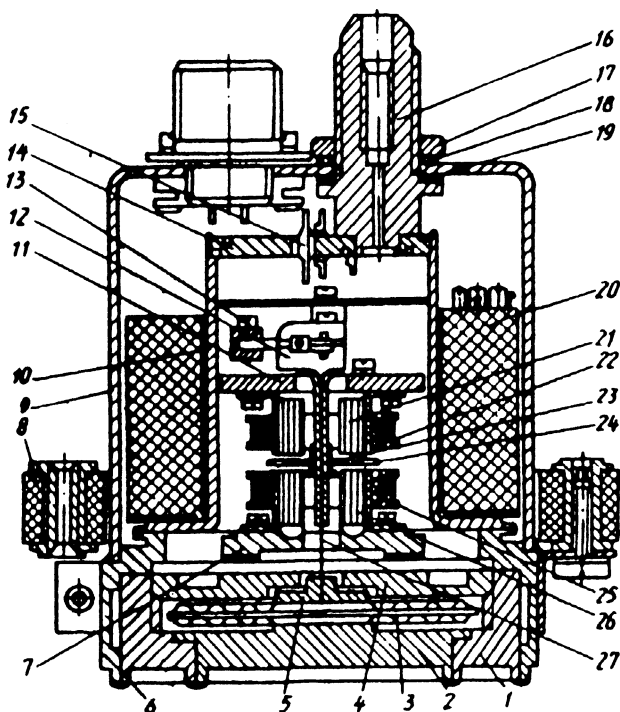


Рис. 8.55. Измерительный комплекс давления ИКД-27Да-220-780:

- 1 — корпус; 2, 5 — центры; 3 — anerоидная коробка;
 4, 14 — крышки; 6 — кольцо; 7 — основание; 8 —
 амортизатор; 9 — кожух; 10 — корпус; 11 — плата;
 12 — балансирующее устройство; 13 — балансир; 15 —
 гермовводы; 16 — штуцер; 17 — гайка; 18, 19 — про-
 кладки; 20 — преобразователь; 21, 26 — магнитопрово-
 ды; 22, 25 — катушки; 23 — футорка; 24 — якорь;
 27 — стержень

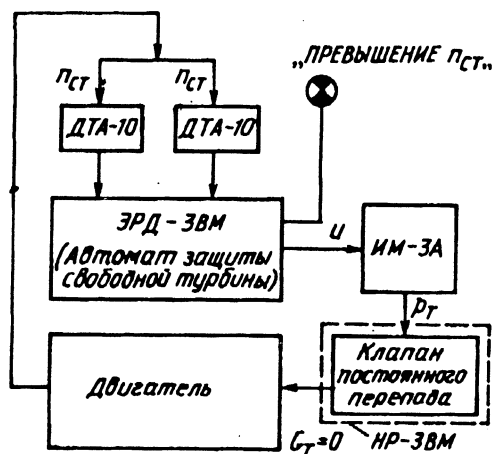


Рис. 8.56. Структурная схема системы защиты свободной турбины

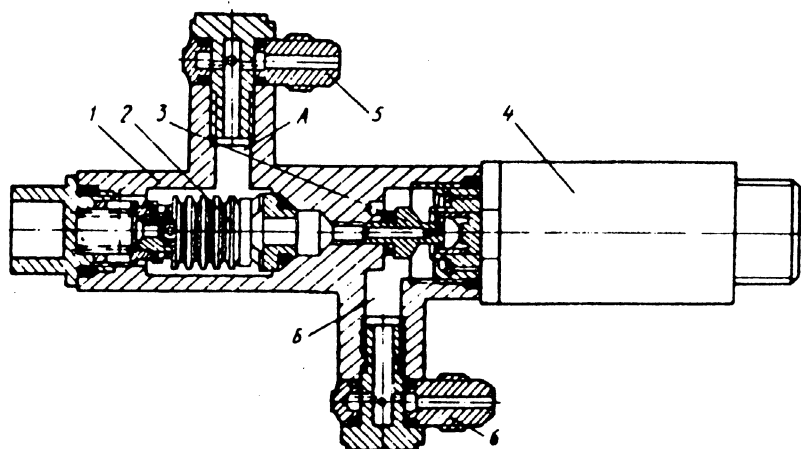


Рис. 8.57. Исполнительный механизм ИМ-ЗА:
 1 — корпус; 2 — фильтр; 3 — клапан; 4 — электромагнит с заслонкой;
 5 — штуцер подвода топлива из насоса-регулятора; 6 — штуцер отвода
 топлива на слив;
 А — полость высокого давления; Б — полость слива

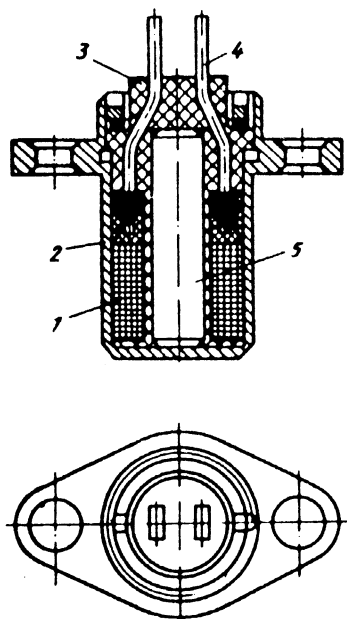


Рис. 8.58. Датчик частоты вращения ДТА-10:
1 — катушка; 2 — корпус; 3 — контактная колодка; 4 — штырь; 5 — магнит

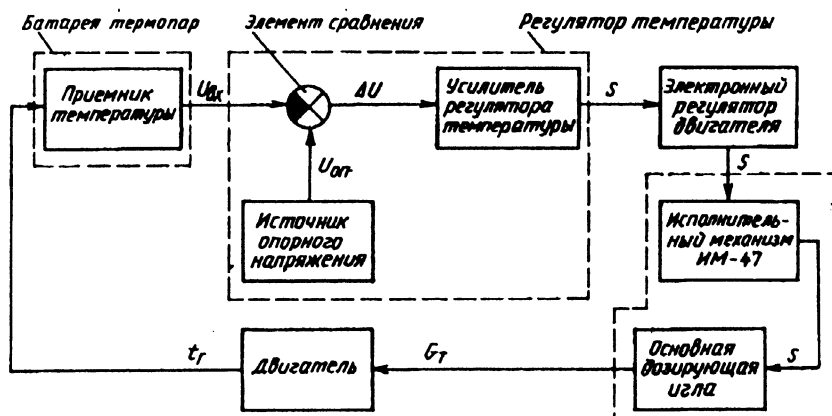


Рис. 8.59. Структурная схема системы ограничения температуры газа перед турбиной компрессора

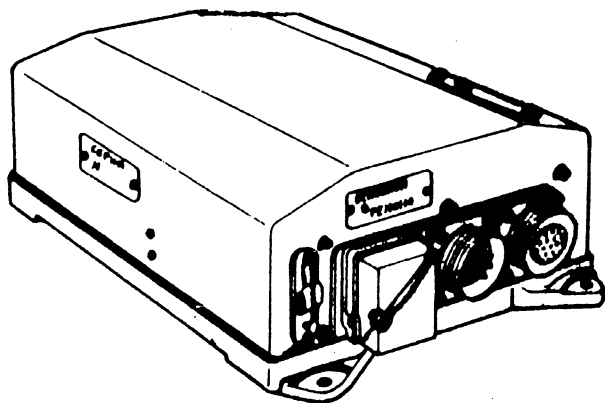


Рис. 8.60. Регулятор температуры РТ-12-6

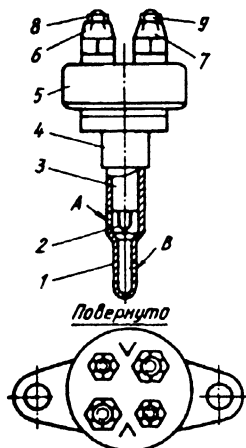


Рис. 8.61. Термопара Т-102:

1 — камера торможения; 2 — термо-
электроды; 3 — втулка; 4 — корпус; 5 —
крышка; 6, 7 — самоконтрящиеся гайки;
8, 9 — винты;

A, B — отверстия подвода газа

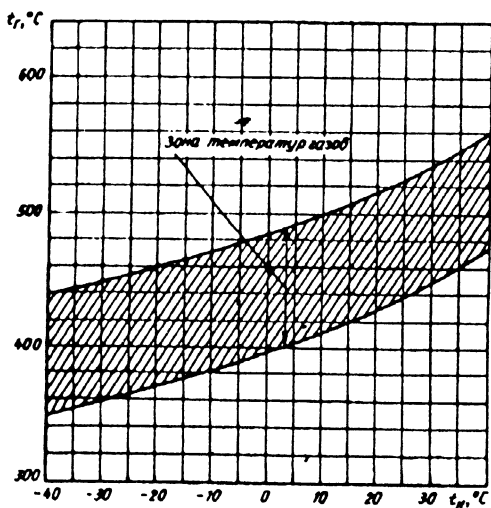


Рис. 8.62. Зависимость температуры газа при частоте вращения $n_{\text{к.вр.}}=40\%$ от температуры наружного воздуха при отлаженном запуске

Рис. 8.63. Зависимость максимальной температуры газа от температуры воздуха при отлаженном запуске

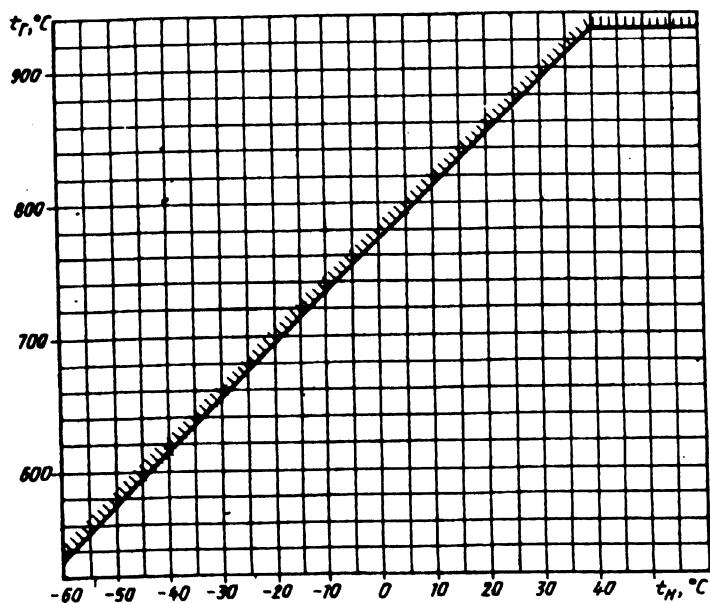
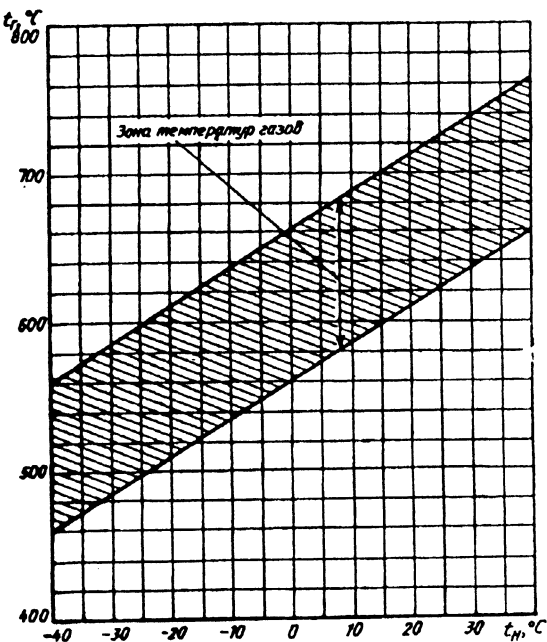


Рис. 8.64. Зависимость максимально допустимой температуры газа от температуры наружного воздуха при проверке частичной приемистости

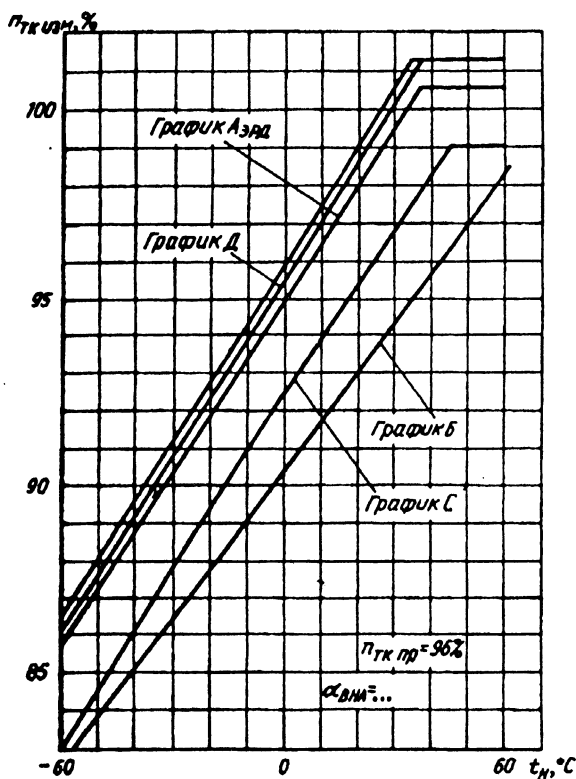


Рис. 8.65. Образец графиков Аэрд, Б, Д и С:

Аэрд — график зависимости измеренной частоты вращения ротора ТК от температуры наружного воздуха на взлетном режиме; Б — график зависимости измеренной частоты вращения ротора ТК от температуры наружного воздуха при постоянном расходе топлива (330 ± 10) кг/ч; С — график зависимости измеренной частоты вращения ротора ТК от температуры наружного воздуха на номинальном режиме; Д — график зависимости измеренной частоты вращения ротора ТК на взлетном режиме от температуры наружного воздуха при максимальном расходе топлива

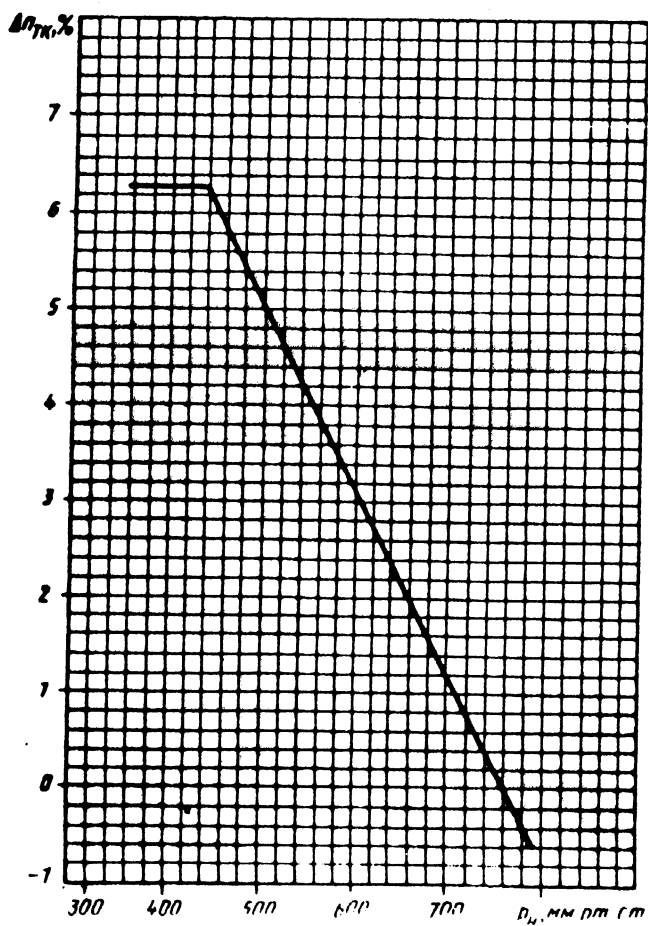


Рис. 8.66. График определения поправок Δn_{TK} для взлетно-го режима в зависимости от p_H

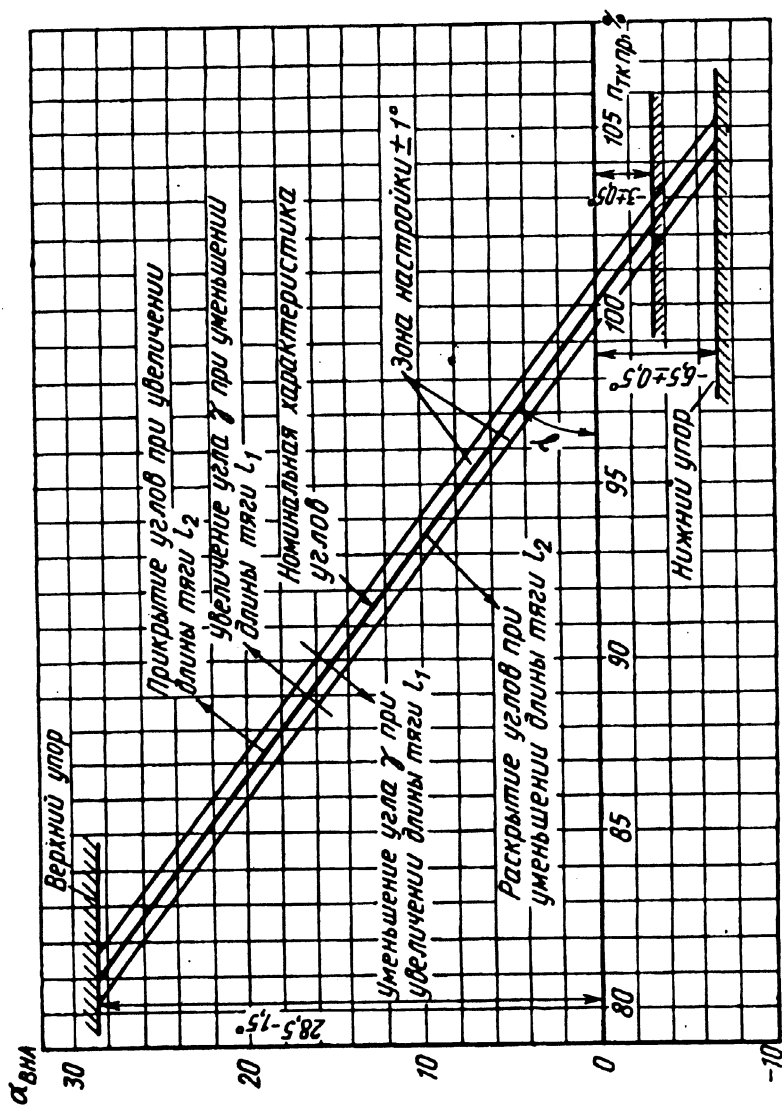


Рис. 8.67. График зависимости углов поворота лопаток направляющих аппаратов $\alpha_{вн}$ от приведенной частоты вращения ротора турбокомпрессора

Глава IX

СИСТЕМА ЗАПУСКА

Система запуска предназначена для раскрутки ротора двигателя и своевременного поджига топлива, подаваемого в камеру сгорания насосом-регулятором в процессе запуска, а также для осуществления ложного запуска и холодной прокрутки.

Система запуска воздушная. В качестве источника сжатого воздуха на вертолете используется автономная вспомогательная силовая установка АИ-9В (АИ-9). Применение воздушной системы запуска позволило значительно увеличить выходную мощность источника энергии для раскрутки и уменьшить ее относительную массу по сравнению с электрической системой.

Система запуска включает:

- пусковую систему, предназначенную для раскрутки ротора;
- систему зажигания;
- систему управления.

Пусковая система состоит из воздушного стартера, источника сжатого воздуха (ВСУ) и воздушных трубопроводов.

Система зажигания состоит из агрегата зажигания, двух пусковых свечей, источника электрической энергии и электрических цепей.

Система управления включает автоматическую панель, которая управляет агрегатами пусковой системы и системы зажигания и соединяющие их электрические цепи. При этом дозированная подача топлива в камеру сгорания осуществляется насосом-регулятором по определенной программе.

Контроль за параметрами двигателя при запуске осуществляется по приборам контроля работы силовой установки:

- частоте вращения ротора турбокомпрессора;
- температуре газов перед турбиной компрессора;
- давлению масла на входе в двигатель;

- температуре масла на выходе из двигателя и светосигнальному табло панели запуска.

Основные технические данные

1. Масса системы запуска, кг . . 130
2. Выходная мощность источника энергии, кВт 22...24
3. Относительная масса системы запуска, г/Вт 5,4...5,9
4. Воздушный стартер: СВ-78БА
 - расход воздуха через турбину, кг/с до 0,4
 - максимальное избыточное давление воздуха перед турбиной, МПа (кгс/см²) до 19 (1,9)

максимальная допустимая температура на входе в турбину, °C	... 160
максимальная допустимая частота вращения, с ⁻¹	... 815
передаточное отношение редуктора	... 1:8,9
масса стартера, кг	... 5,8
направление вращения ротора (смотря по потоку)	правое
5. Источник электроэнергии для запуска	две аккумуляторные батареи 12САМ-28 (20НКБН 25-У3)
6. Автоматическая панель управления воздушным запуском:	АПД-78А
полный цикл работы панели, с	... 55±4
7. Агрегат зажигания:	
режим работы	кратковременный
частота следования разрядов на свечах при напряжении питания (27±1) В, имп/с	... от 6 до 25
сила тока, потребляемого агрегатом при напряжении питания (27±1) В, А	... 5±2
амплитуда напряжения на выходе датчиков контроля в пределах, В	... от 50 до 150
длительность включения определяется автоматикой запуска двигателя, в исключительных случаях допускается производить подряд несколько включений без перерывов, общей длительностью, с	... не более 90
масса агрегата зажигания, кг	... не более 3,35
Свеча зажигания:	СП-26ПЗТ
пробивное напряжение в нормальных условиях в состоянии поставки, В	... не более 1400
масса, кг	... 0,070

9.1. АГРЕГАТЫ ПУСКОВОЙ СИСТЕМЫ

ВОЗДУШНЫЙ СТАРТЕР СВ-78БА

Воздушный стартер СВ-78БА (рис. 9.1) предназначен для раскрутки ротора турбокомпрессора и представляет собой активную осевую одноступенчатую воздушную турбину с планетарным ре-

дуктором и управляющими устройствами. Стартер устанавливается на коробке приводов двигателя и крепится к ее переходнику легкоъемным хомутом. Для устранения вибрации стартера при работе двигателя предусмотрен резиновый амортизатор 29, соединяющий корпус стартера с корпусом компрессора.

Воздушный стартер состоит из воздушного клапана; командного агрегата; турбины; редуктора; воздушного фильтра.

Воздушный клапан является исполнительным механизмом, предназначен для открытия и закрытия доступа сжатого воздуха от вспомогательной силовой установки к турбине стартера.

Воздушный клапан состоит из корпуса 4, втулки 5 и поршня 6 со штоком 7.

Корпус воздушного клапана состоит из наружной и внутренней обечайек, соединенных между собой тремя полыми стойками 26. Верхняя стойка служит для доступа воздуха из полости А через корпус командного агрегата 9 в полости Б и В. Одна из нижних стоек предназначена для вывода электрических проводов сигнализации открытого положения поршня клапана и центробежного выключателя стартера. Корпус 4 воздушного клапана одним фланцем крепится шпильками к корпусу 13 турбины, а ко второму фланцу крепится переходник 31 крепления воздушного трубопровода. На корпусе воздушного клапана закреплен командный агрегат 9 и воздушный фильтр 3. Во внутренней обечайке корпуса 4 размещена втулка 5 с поршнем 6 и герметично установлен корпус соплового аппарата 10 турбины, на стенке которого имеются контакты центробежного датчика предельной частоты вращения стартера.

Во втулке 5 размещены: поршень 6, шток 7 поршня, пружины 8, 27 поршня и корпус 25 механизма электрических контактов для указания открытого положения воздушного клапана. Поршень 6 имеет уплотняющий элемент из двух фторопластовых манжет. Внутри поршня в направляющем корпусе установлен шток 7 с упорным кольцом. Шток перемещается вместе с поршнем. При сдвиге поршня на $0,6 \pm 0,2$ мм от закрытого положения срабатывает механизм электрических контактов для указания открытого положения клапана и загорается табло «СВ работает». При равенстве давлений в полостях А и В (полости Б и В соединены между собой отверстием во фланце крепления и стенке втулки 5) поршень под действием пружин 8, 27 закрывает воздушный клапан.

Командный агрегат (рис. 9.2) предназначен для управления воздушным клапаном стартера и состоит из корпуса 1, электромагнитного клапана 15, ограничителя со штоком 5.

Внутри корпуса расположен тарельчатый клапан 2 с толкателем 11.

К корпусу командного агрегата крепится шпильками электромагнитный клапан 15. Шток 13 электромагнитного клапана имеет фторопластовое покрытие и поджат пружиной 14. Ограничитель

со штоком 5 предназначен для ограничения давления воздуха перед турбиной стартера в случае его превышения. На штоке 5 закреплена лабиринтная втулка 7. Настройка ограничителя производится затяжкой пружины 3.

Турбина (см. рис. 9.1) состоит из корпуса 13 с выхлопными окнами, соплового аппарата 10, диска 11 с лопатками и вала 12 турбины. Диск рабочего колеса турбины установлен на шлицы вала турбины и крепится на нем корпусом 21 центробежного выключателя стартера. На втором конце вала имеются шлицы для установки ведущей шестерни редуктора и резьба для гайки, закрепляющей все элементы ротора на валу турбины. Вал турбины двухопорный. Передний роликовый подшипник установлен в корпусе 13 турбины, а задний шариковый подшипник в корпусе 14 редуктора.

Редуктор стартера планетарный, двухступенчатый. Он состоит из корпуса 14, ведущей шестерни, трех сдвоенных шестерен сателлитов планетарного механизма, смонтированных в корпусе 16, выполняющих роль водила, и рессоры 18. Вращение с ведущей шестерни передается на большие шестерни сателлитов, установленные на шлицах валов малых шестерен, которые обкатываются по неподвижному зубчатому венцу корпуса редуктора и вращают корпус 16 водила.

Редуктор стартера в процессе работы смазывается маслом Б-3В (ЛЗ-240). Система смазки автономная, барботажем — 120 см³ масла заливается через верхнюю пробку корпуса 14.

Воздушный фильтр предназначен для очистки от механических частиц воздуха, поступающего в полости командного агрегата и поршня клапана, и для исключения заедания их элементов. Воздушный фильтр (рис. 9.3) состоит из корпуса 1 в котором крышкой 6 через пружину поджат сетчатый фильтр 3, имеющий перепускной клапан 7.

РАБОТА СТАРТЕРА

В исходном положении воздушные клапаны стартеров закрыты пружинами. Сжатый воздух при работе АИ-9В (АИ-9) на холостом ходу через центральное отверстие закрытой заслонки клапана перепуска КП-9В подводится на вход воздушных клапанов. Через трубопроводы 2 (см. рис. 9.1) и командные агрегаты воздух из этой полости попадает внутрь поршня, оставляя их в закрытом положении. Для обогрева клапанов воздух стравливается в атмосферу через отверстия 1.

При нажатии на кнопку «ЗАПУСК» подается напряжение на электромагнитный клапан 15 (см. рис. 9.2), который закрывает тарельчатый клапан 2 и разобщает полость перед поршнем клапана с полостью внутри поршня, сообщая ее через жиклер 12 с атмосферой. Воздушный клапан стартера начинает плавно открываться (время полного открытия клапана 3—6 с), загорается табло «СВ РАБОТАЕТ». Автоматически срабатывает клапан перепуска на АИ-9В (АИ-9), прекращая перепуск воздуха в атмосферу и

направляя его на раскрутку стартера. При превышении давления воздуха перед турбиной выше расчетного лабиринтная втулка 7 перемещает шток 5 и открывает доступ воздуха по обводному каналу 4 из полости перед поршнем в его внутреннюю полость с большим сечением, чем сечение жиклера 12. Воздушный клапан прикрывается, устанавливая расчетное давление перед турбиной. При обесточивании электромагнитного клапана давление в полостях снаружи и внутри воздушного клапана выравнивается и он закрывается.

При превышении предельной частоты вращения (858 с^{-1}) стартер отключается центробежным выключателем.

Вспомогательная силовая установка — АИ-9В (АИ-9) выполнена автономной, располагается в верхней части фюзеляжа вертолета за гидроотсеком.

Описание ВСУ дано в гл. X.

9.2. АГРЕГАТЫ СИСТЕМЫ ЗАЖИГАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ

АГРЕГАТ ЗАЖИГАНИЯ СК-22-2К

Агрегат зажигания СК-22-2К представляет собой низковольтную конденсаторную систему, являющуюся источником электроэнергии, необходимой для образования искры в момент разряда между электродами запальных свечей. Агрегат зажигания выполнен в виде прямоугольной коробки и крепится с помощью пластинчатых кронштейнов с резиновыми амортизаторами к корпусу компрессора и первой опоры справа внизу (по полету).

Агрегат зажигания имеет две независимые равноценные электрические цепи, каждая из которых работает совместно с одной из запальных свечей. В агрегате зажигания применены разрядники Р-26 с радиоактивным изотопом. Мощность дозы излучения на наружной поверхности агрегата не превышает допустимой нормы, поэтому на агрегате зажигания и упаковке отсутствует знак радиационной опасности для обслуживающего персонала и не требуется специальных средств защиты.

С внешней стороны корпуса агрегата зажигания имеются штепсельные разъемы «ПИТАНИЕ» и «КОНТРОЛЬ» и два ниппеля высоковольтных выводов для подключения экранированных высоковольтных проводов длиной до 1,5 м с уплотнительными втулками. В эксплуатации штепсельный разъем «КОНТРОЛЬ» закрыт заглушкой. Агрегат зажигания закрыт крышкой, приваренной к корпусу после сборки.

Работа агрегата зажигания (рис. 9.4) основана на принципе накопления электрического заряда на накопительном конденсаторе и кратковременного разряда конденсатора через межэлектродный промежуток свечи. В схему агрегата зажигания встроен специальный датчик контроля. Работа датчика контроля основана на принципе трансформатора тока. Проверка работоспособности агрегата зажигания производится прибором типа ИЧИ-2, который под-

ключается к штепсельному разъему «КОНТРОЛЬ» и измеряет частоту следования разрядов на свечах зажигания.

Свеча зажигания СП-26ПЗТ — полупроводникового типа. Обе свечи зажигания установлены на фланцах корпуса камеры сгорания сверху. Свеча зажигания конструктивно выполнена неразборной, экранированной, с керамической изоляцией. Рабочая часть свечи имеет центральный 1 (рис. 9.5) и боковой 5 электроды, между которыми расположен полупроводниковый элемент 4. Электрический разряд в искровом промежутке свечи 4 происходит по поверхности полупроводникового элемента и имеет форму удлиненного факела благодаря наличию в корпусе 3 направляющего канала. Электрический контакт свечи с контактным устройством осуществляется через контактный стержень 2 центрального электрода. Полупроводниковый элемент 4 свечи обеспечивает снижение пробивного напряжения межэлектродного промежутка и его стабилизацию в процессе эксплуатации.

Корпус 3 свечи имеет резьбу для монтажа угольника на свечу и фланец для крепления свечи на двигателе. Для охлаждения рабочей части свечи воздухом в корпусе 3 имеются два диаметрально противоположных окна Б. С агрегатом зажигания свечи соединяются двумя высоковольтными экранированными проводами. Провода крепятся к корпусу двигателя хомутами.

Высоковольтный провод 5 (рис. 9.6) отличается от остальных проводов электрооборудования двигателя повышенным сопротивлением изоляции, так как он передает электрический заряд высокого напряжения. На провод надет защитный шланг 4. На концах провода припаяны наконечники для контактирования со свечой и агрегатом зажигания. Наконечник 1 для агрегата зажигания — штыревого типа. Высоковольтный провод 5 выведен к концу штыря 12 наконечника и там припаян к штырю. Провод у наконечника защищен изолятором 11. Наконечник 1 закрепляется на агрегате зажигания круглой накидной гайкой 2.

Наконечник 6 для свечи — углового типа со штекерным устройством. Высоковольтный провод 5 припаян к штекеру 7, который защищен изолятором 8. Наконечник 6 закрепляется на свече накидной гайкой 9. Металлический экранирующий шланг 3 по концам припаян к футоркам 10.

Аккумуляторные батареи являются источником постоянного тока и устанавливаются в отдельных нишах фюзеляжа вертолета.

Панель управления воздушным запуском АПД-78А представляет собой автоматическое устройство, обеспечивающее запуск двигателей на земле и в полете, холодную прокрутку ротора и прекращение работы системы запуска в любой момент времени.

В состав АПД-78А входят: автомат запуска с программным механизмом, пусковые сопротивления, автоматы защиты сети, реле включения схемы и микровыключатели. При работе панели выполняется определенная последовательность срабатывания элементов системы запуска как по времени, так и по частоте вращения ротора турбокомпрессора. Панель управления одна на оба двигателя и установлена на вертолете.

9.3. РАБОТА СИСТЕМЫ ЗАПУСКА

При нажатии на кнопку «ЗАПУСК» загорается табло «АВТОМАТ ВКЛЮЧЕН», АПД-78А начинает обрабатывать цикл запуска.

Воздушный стартер начинает плавную раскрутку ротора двигателя, загорается табло «СВ РАБОТАЕТ». АИ-9В (АИ-9) автоматически переходит на режим отбора воздуха. На 5-й секунде начинают работать агрегат зажигания и пусковые свечи. При достижении $n_{тк}=15...20\%$ топливо через первый контур поступает в камеру сгорания. При этом во второй контур форсунок от воздушного стартера через клапан наддува поступает сжатый воздух. На 30-й секунде отключается агрегат зажигания. При $n_{тк}=60...65\%$ микровыключатель топливного насоса-регулятора отключает стартер и переключает панель запуска на ускоренную доработку. Если же ротор турбокомпрессора не достигнет $n_{тк}=65\%$ за 55 с, стартер отключится панелью запуска.

Запуск двигателя в полете разрешается производить при $n_{тк}$ не более 7%.

Характерные неисправности агрегатов системы запуска и способы их устранения представлены в табл. 9.1.

Таблица 9.1

Характерные неисправности агрегатов системы запуска и способы их устранения

Неисправности	Причины	Способ устранения
1. Нет раскрутки ротора турбокомпрессора	Неисправна электропроводка в цепи электромагнитного клапана стартера Неисправен электромагнитный клапан Обрыв соединительной рессоры стартера	Устранить неисправность Заменить электромагнитный клапан Заменить рессору при удовлетворительном состоянии стартера. При неудовлетворительном состоянии стартера заменить стартер
2. Нет поджига топлива	Неисправна электропроводка Неисправна свеча Неисправен агрегат зажигания	Устранить неисправность Заменить свечу Заменить СК-22-2К
3. Раскрутка ротора турбокомпрессора при запуске АИ-9В	Засорен воздушный фильтр стартера Неисправна электропроводка	Промыть воздушный фильтр Выключить АЗС ПОС вертолета, при прекращении раскрутки устранить неисправность в цепи (заменить стартер)
4. Подтекание топлива из окон сброса воздуха стартера после останова двигателя	Неисправен клапан наддува воздуха	Заменить клапан наддува

Неисправности	Причины	Способ устранения
5. Выброс масла из окон воздушного стартера	Неисправно уплотнение	Заменить стартер
6. Позднее отключение стартера	Засорен воздушный фильтр стартера Неисправна электроцепь в системе запуска Угол ВНА на упоре не соответствует $(27 \pm 1,5)^\circ$ Нарушение регулировки насоса-регулятора	Промыть фильтр Устранить неисправность в цепи Проверить величину угла по лимбу ВНА, при необходимости отрегулировать упоры гидроцилиндров Отрегулировать винтом 5 насоса-регулятора частоту вращения при отключении стартера в пределах (60—65%)

ВНИМАНИЕ! При неотключении стартера на $n_{TK}=65\%$ (не погасло табло «СВ РАБОТАЕТ») выключить его вручную нажатием на кнопку «ПРЕКРАЩЕНИЕ ЗАПУСКА» с закрытием стоп-крана. Если не отключается, выключить АИ-9В (АИ-9).

ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ! Если стартер не отключен на n_{TK} более 68%, он подлежит замене.

9.4. ОСОБЕННОСТИ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ АГРЕГАТОВ СИСТЕМЫ ЗАПУСКА

Кроме смотровых работ, при обслуживании агрегатов системы запуска производится промывка воздушного фильтра стартера и замена масла в редукторе. Фильтр с сеткой саржевого плетения подлежит промывке на ультразвуковой установке.

Холодная прокрутка двигателя производится:

для заполнения маслосистемы после установки двигателя на вертолет и при замене масла;
проверки работы воздушного стартера;
продувки проточной части и охлаждения двигателя;
перед первым запуском в начале летнего дня при отрицательных температурах наружного воздуха.

Примечание. При температуре наружного воздуха и масла на выходе из двигателя от минус 35 до минус 40 °С перед запуском необходимо выполнить две холодных прокрутки двигателя с интервалом между ними 3 мин.

Холодная прокрутка производится в таком же порядке, как и обычный запуск двигателя, но без включения агрегата зажигания и подачи топлива в камеру сгорания, для чего стоп-кран необходимо оставить в положении «ЗАКРЫТО», а переключатель «ЗАПУСК—ПРОКРУТКА» установить в положение «ПРОКРУТКА».

В процессе холодной прокрутки в двигателе не должно быть посторонних шумов, давление масла в двигателе должно быть не менее 0,05 МПа (0,5 кгс/см²) и частота вращения ротора турбокомпрессора не менее 20%.

Ложный запуск двигателя производится для:

проверки герметичности трубопроводов топливной системы двигателя;

проверки работоспособности систем, участвующих в запуске;

проверки работоспособности дренажной системы;

расконсервации и консервации топливной системы двигателя.

Ложный запуск производится в таком же порядке, как и обычный запуск двигателя, но без зажигания топлива, для чего переключатель «ЗАПУСК—ПРОКРУТКА» необходимо установить в положение «ПРОКРУТКА».

В процессе ложного запуска в двигателе не должно быть посторонних шумов, давление масла в двигателе должно быть не менее 0,05 МПа (0,5 кгс/см²), частота вращения ротора турбокомпрессора не менее 20% и из выхлопного патрубка должно выбрасываться топливо.

Примечания: 1. Продолжительность цикла работы пусковой панели при ложном запуске и холодной прокрутке — (55±4) с.

2. После проведения ложного запуска необходимо произвести холодную прокрутку двигателя.

В процессе устранения выявленных неисправностей могут производиться замены:

пусковых свечей;

агрегата зажигания;

высоковольтных проводов пусковых свечей;

рессоры стартера;

электромагнитного клапана стартера;

стартера.

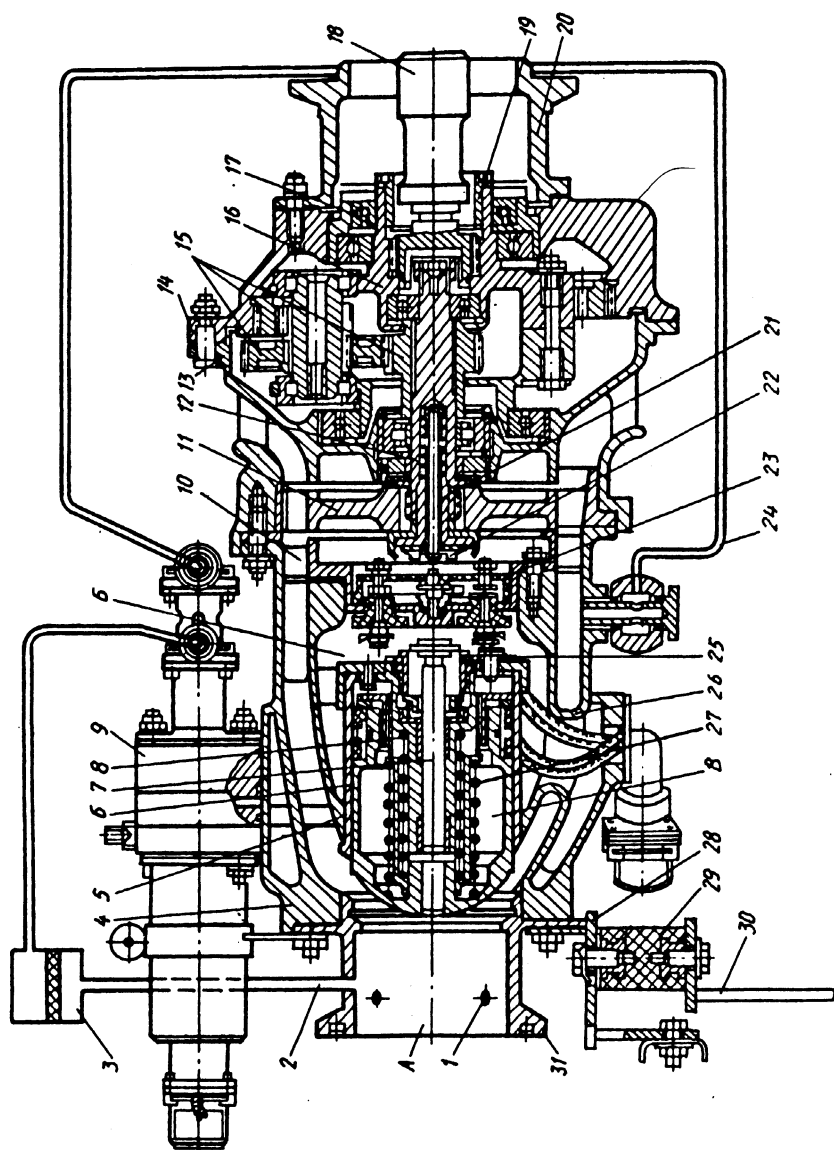


Рис. 9.1. Воздушный стартер СВ-78БА:

1 — отверстия для обогрева воздушного клапана; 2 — трубопровод подвода воздуха из полости пере-
ходника воздушного клапана к командному агрегату; 3 — фильтр воздушный; 4 — корпус воздушного
клапана; 5, 19 — втулка; 6 — поршень клапана; 7 — шток поршня; 8, 27 — пружины поршня; 9 —
командный агрегат; 10 — соловый аппарат; 11 — диск турбины; 12 — вал турбины; 13 — корпус тур-
бины; 14 — корпус редуктора; 15 — шестерня редуктора; 16 — корпус сателлитов (водило); 17 —
манжета; 18 — рессора; 20, 31 — переходник; 21 — корпус центробежного выключателя предельной
частоты вращения стартера; 22 — центробежный грузик; 23 — корпус контактов выключателя предельной
частоты вращения стартера; 24 — трубопровод подвода воздуха из полости перед турбиной к лабиринтного вы-
ключателя командного агрегата; 25 — корпус механизма электрических контактов сигнализатора откры-
того положения клапана; 26 — стойка пола; 28 — кронштейны стартера; 29 — амортизатор; 30 —
кронштейн на корпусе компрессора двигателя;

А — полость перед поршнем; В — полость внутренней обечайки корпуса клапана;

В — полость внутри поршня

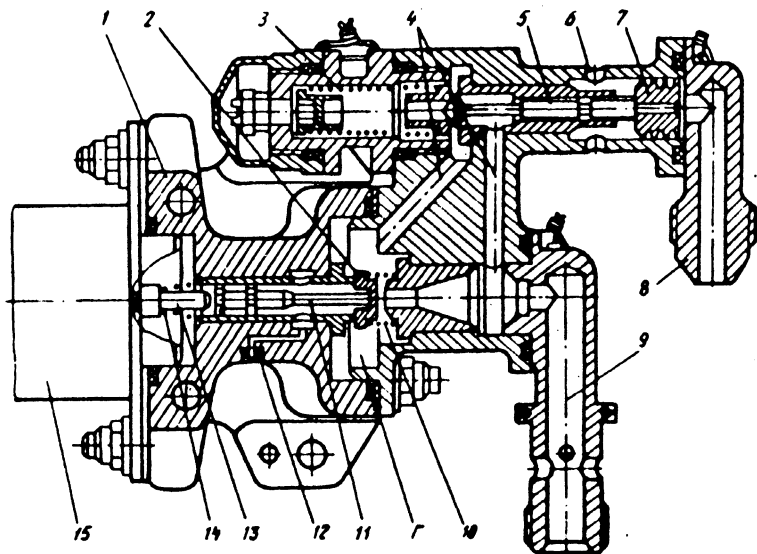


Рис. 9.2. Командный агрегат:

1 — корпус; 2 — тарельчатый клапан; 3, 10, 14 — пружина;
4 — обводной канал; 5 — шток ограничителя; 6 — отверстие сброса
воздуха; 7 — лабиринтная втулка; 8 — штуцер подвода воздуха из
полости перед турбиной стартера; 9 — штуцер подвода воздуха из
полости перед поршнем клапана; 11 — толкатель; 12 — жиклер;
13 — шток электромагнитного клапана; 15 — электромагнитный кла-
пан;
Г — полость тарельчатого клапана

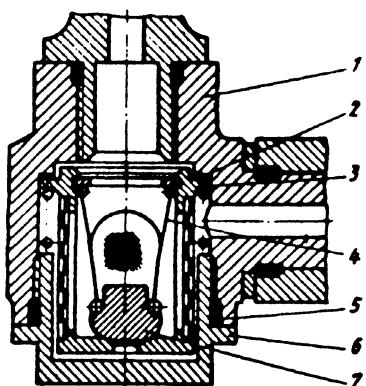


Рис. 9.3. Фильтр воздушного стартера:

1 — корпус фильтра; 2, 5 —
кольцо уплотнительное; 3 —
фильтр; 4 — пружина; 6 —
крышка; 7 — клапан перепускной

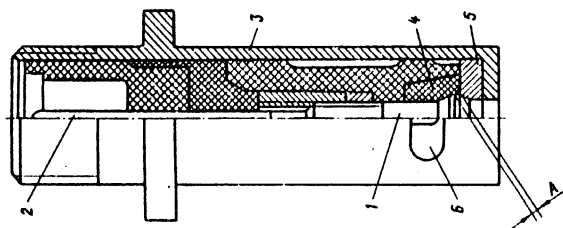


Рис. 9.5. Свеча зажигания:

1 — электрод центральный; 2 — стержень кон-
тактный; 3 — корпус;
4 — элемент полупро-
водниковый; 5 — элект-
род боковой;
А — искровой промежу-
ток; Б — окна для ох-
лаждения свечи

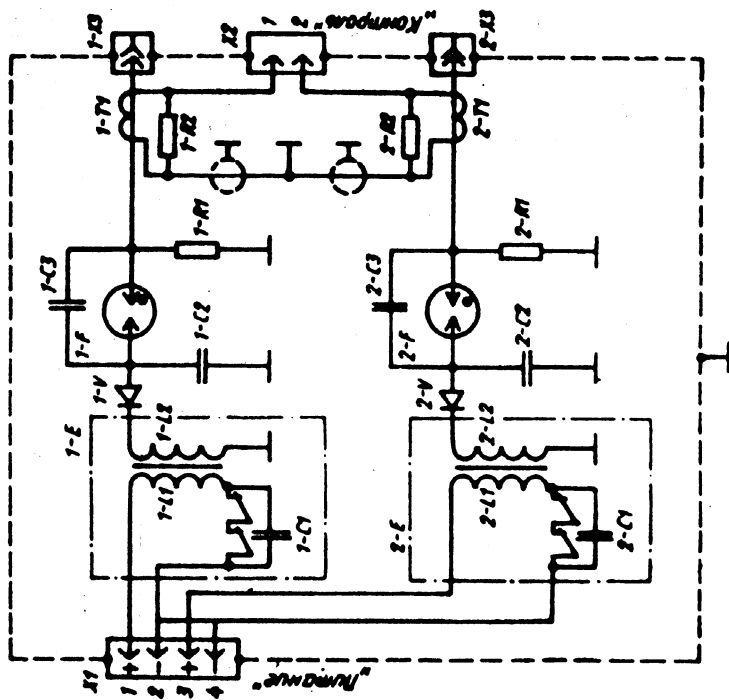


Рис. 9.4. Принципиальная электрическая схема агрегата зажигания

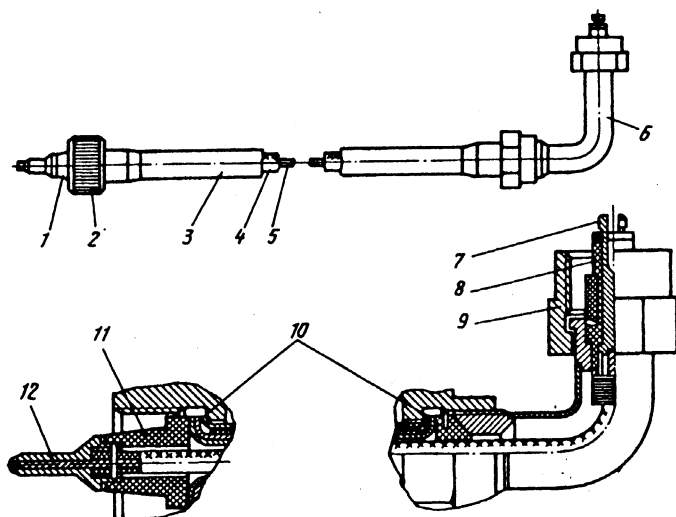


Рис. 9.6. Высоковольтный провод:

1 — наконечник провода (к агрегату зажигания); 2, 9 — гайка на-
кидная; 3 — шланг экранирующий; 4 — шланг защитный; 5 —
провод высоковольтный; 6 — наконечник провода (к свече); 7 —
штекер; 8, 11 — изолятор; 10 — футорки; 12 — штырь

Глава X

ВСПОМОГАТЕЛЬНАЯ СИЛОВАЯ УСТАНОВКА

В состав вспомогательной силовой установки вертолетов с двигателями ТВЗ-117ВМ входит газотурбинный двигатель АИ-9В с автономной масляной системой, собственной топливной аппаратурой, системой регулирования, топливопитания и запуска. На вертолетах с двигателями ТВЗ-117ВК в качестве ВСУ применяется двигатель АИ-9, который используется для запуска и самолетных двигателей. В данной главе рассмотрены вопросы конструкции и эксплуатации двигателя АИ-9В. Отличия двигателя АИ-9В от двигателя АИ-9 даны в конце главы.

10.1. ДВИГАТЕЛЬ АИ-9В

Двигатель АИ-9В предназначен для: питания сжатым воздухом систем запуска основных двигателей на земле и в полете;

питания бортовой сети вертолета постоянным током на земле при проверке электрооборудования и в полете при отказе основных генераторов.

Двигатель также может быть использован для обогрева салона на земле при низких температурах наружного воздуха.

Основными узлами двигателя являются: воздухозаборник, корпус приводов, компрессор, камера сгорания, турбина, выходное сопло, агрегаты систем, обслуживающие работу двигателя.

Воздухозаборник двигателя образован стенками маслобака кольцевого типа, который крепится к корпусу приводов.

Корпус приводов служит для размещения агрегатов двигателя и приводов к ним. Своими стенками корпус приводов образует проточную часть подвода воздуха к компрессору.

Компрессор — центробежный, одноступенчатый с наклонным колесом полуоткрытого типа и радиальным диффузором. Сжатый воздух от компрессора подается в камеру сгорания и в кольцевой ресивер. Из ресивера через клапан перепуска КП-9В воздух сбрасывается в атмосферу или отбирается для раскрутки воздушного стартера при запуске основных двигателей.

Камера сгорания кольцевого типа, противоточная. Применение противоточной камеры с поворотом газовоздушного потока дважды на 180 ° значительно уменьшило длину двигателя.

Турбина — осевая, реактивная, одноступенчатая, служит для преобразования энергии газового потока в работу на валу, используемую для вращения ротора компрессора и агрегатов двигателя.

Выходное сопло состоит из наружного кожуха и стекателя, соединенных между собой двумя накрест расположенными стойками.

Масляная система двигателя — автономная, циркуляционная, под давлением. Суфлирование двигателя осуществляется через выходное сопло.

Система топливопитания и регулирования — автономная. Отбор топлива к вспомогательной силовой установке производится из магистрали питания правого двигателя вертолета до пожарного крана.

Система запуска — электрическая, раскрутка ротора двигателя осуществляется стартер-генератором. Запуск двигателя — автоматический. Управление запуском и работой двигателя — дистанционное. Запуск двигателя производится от двух бортовых аккумуляторных батарей 12-САМ-28 или наземного источника питания.

Параметры, контролируемые при работе двигателя даны в табл. 10.1.

Основные технические данные двигателя АИ-9В

1. Направление вращения ротора (если смотреть со стороны выходного сопла) левое
2. Максимальная высота, при которой разрешается эксплуатация двигателя, м 4000
3. Минимально допустимая величина напряжения при запуске, В 18
4. Рабочая частота вращения ротора, об/мин от 35300 ± 475
до 39150 ± 475
5. Номинальная частота вращения, об/мин 36750 ± 475
6. Предельная частота вращения, об/мин 39150 ± 475
7. Основные параметры двигателя на режиме отбора воздуха в земных стандартных условиях:
 - количество отбираемого воздуха, кг/с 0,4
 - давление отбираемого воздуха, МПа (кгс/см^2) . не менее 0,19 (1,9)
 - температура отбираемого воздуха, $^{\circ}\text{C}$ не менее 160
 - расход топлива, кг/ч не более 80
8. Режим работы:
 - три последовательных отбора воздуха в систему запуска.
 - Непрерывное время работы не более 10 мин. После этого охлаждение двигателя не менее 15 мин;
 - питание бортсети постоянным током на земле или в полете.
 - Непрерывное время работы не более 30 мин, после чего охлаждение не менее 15 мин;

питание бортсети постоянным током, после чего три последовательных отбора воздуха с перерывами между отборами не менее 1 мин. Непрерывное время работы не более 30 мин, после чего охлаждение не менее 15 мин.

Примечания: 1. В случае необходимости разрешается производить пять последовательных отборов воздуха с перерывами между отборами не менее 1 мин. Непрерывное время работы двигателя при этом должно быть не более 13 мин, после чего двигатель подлежит останову для охлаждения не менее чем на 15 мин.

2. Режим холостого хода — режим, когда двигатель работает на рабочей частоте вращения, генератор не загружен, и воздух из рессивера перепускается в атмосферу через клапан КП-9В. Продолжительность непрерывной работы на холостом ходу не более 30 мин.

3. Режим отбора воздуха — режим, когда двигатель работает на рабочей частоте вращения, воздух из рессивера отбирается для запуска основного двигателя, генератор не загружен.

4. Генераторный режим — режим, когда двигатель работает на рабочей частоте вращения, генератор СТГ-3 серии II выдает постоянный ток в бортсеть мощностью до 3 кВт, а воздух из рессивера через клапан КП-9В перепускается в атмосферу.

5. Продолжительность одного отбора воздуха не более 45 с.

6. Не допускается одновременный отбор воздуха и электроэнергии.

9. Применяемое топливо Т1 и ТС-1 по ГОСТ 10227-62, Т-7П по ВТУ 38-1-87-67 и их смеси
10. Давление топлива на входе в двигатель, МПа (кгс/см²). 0,06—0,017 (0,6—1,7)
11. Топливный насос-регулятор: . . . НР-9В
тип насоса центробежный
создаваемое давление, МПа (кгс/см²) не более 2,75 (27,5)
тип регулятора статический
12. Пусковой топливный насос: . . . 726
тип насоса шестеренчатый, электроприводной
создаваемое давление, МПа (кгс/см²) 0,3^{+0,05} (3^{+0,5})
13. Применяемое масло Б-3В по ГОСТ 5566—70 или по ТУ 38-101295—75
14. Маслонасос шестеренчатый двухсекционный
15. Давление масла, МПа (кгс/см²) . . 0,25...0,5 (2,5...5)
16. Расход масла, не более, л/ч . . 0,15
17. Количество заливаемого масла, л 2,5
18. Температура масла, не более, °С 165
19. Стартер-генератор: СТГ-3 серии II
тип постоянного тока

- передаточное число в генераторном режиме . . . 4,9844
 передаточное число в стартерном режиме 0,2006
20. Агрегат зажигания КР-12СИ
 тип вибраторный
21. Пусковая свеча СД-55АНМ
22. Сухая масса, не более, кг 70
23. Габаритные размеры, мм:
 длина 888
 ширина 530
 высота 490
24. Ресурс двигателя определяется по паспорту

Таблица 10.1

Параметры, контролируемые при работе двигателя

Измеряемый параметр	Измерительный прибор	Примечание
Температура газа за турбиной	Указатель ТСТ-2 Термопара Т-82С	Предел измерения от 0 до 900 °С
Давление масла на входе в двигатель	Датчик МСТВ-1,2А	Сигнальная лампочка загорается при достижении $P_M = 0,12 \pm 0,03$ МПа ($1,2 \pm 0,3$ кгс/см ²)
Рабочая частота вращения двигателя	Датчик, встроенный в агрегат НР-9В	Сигнальная лампочка загорается при достижении двигателем 35300 ± 475 об/мин
Превышение предельно допустимой частоты вращения двигателя	Датчик, встроенный в агрегат НР-9В	Сигнальная лампочка загорается при превышении двигателем 39150 ± 475 об/мин, при этом двигатель автоматически выключается
Давление в магистрали отбора воздуха для запуска основного двигателя	Манометр на давление от 0 до 0,3 МПа (3 кгс/см ²)	Давление воздуха изменяется при изменении атмосферных условий
Мощность генератора СТГ-3 серии II	Вольтметр Амперметр	Пределы измерения: вольтметра — от 0 до 30 В, амперметра — от 0 до 100 А

10.2. КОНСТРУКЦИЯ ДВИГАТЕЛЯ

Корпус приводов (рис. 10.2) — литой из магниевого сплава. Наружная и внутренняя оболочки корпуса соединены между собой четырьмя стойками. Вертикальные стойки — полые. В нижней стойке размещается рессора 18 и трубка 17 подачи масла на

смазку деталей редуктора и центрального привода. Через верхнюю стойку масляная полость редуктора сообщается с маслобаком.

На переднем фланце наружной оболочки корпуса крепится маслобак. К заднему фланцу крепится передний корпус компрессора. К фланцам внутренней оболочки крепятся стартер-генератор 1, корпус 4 редуктора и корпус 8 центрального привода.

В нижней части корпуса имеется развитый коробчатый прилив с фланцем. Прилив соединяется двумя втулками 19 с маслобаком и является дополнительной масляной емкостью. На фланце прилива установлен маслонасос к которому крепится насос-регулятор НР-9В.

На наружной оболочке расположены:

над верхней стойкой — фланец трубопровода подвода воздуха к лабиринтному уплотнению центрального привода;

справа сверху (смотря со стороны выходного сопла) — клапан пускового топлива;

в районе горизонтальных стоек — две бобышки для крепления цапф подвески двигателя;

справа на задней стенке коробчатого прилива — кронштейн 16 крепления электроприводного пускового насоса 726;

сверху на шпильках маслобака закреплена такелажная серьга.

Редуктор обеспечивает работу стартера-генератора как в стартерном, так и в генераторном режимах. Редуктор состоит из корпуса 4, крышки 20 и блока шестерен 6, установленных в подшипники. Уплотнение носка ведомой шестерни генератора осуществляется резиновой манжетой 23 и маслостонной резьбой, выполненной на шестерне 22.

Центральный привод состоит из двух конических шестерен, установленных на подшипниках качения в корпусе 8. К заднему фланцу корпуса привода крепится корпус 11 подшипников ведущей шестерни. При помощи шлиц ведущая шестерня соединяется с рессорами 7, 14 передачи вращения от редуктора и от ротора двигателя. От осевых перемещения рессора 14 ротора фиксируется в шестерне при помощи штифта.

Вращение на маслонасос и НР-9В передается от ведомой шестерни центрального привода через рессору 18.

Уплотнение центрального привода осуществляется резиновой манжетой 12 и воздушным лабиринтом 13. Воздух к лабиринту подается по внешнему трубопроводу из рессивера компрессора. Под фланец трубопровода на рессивере установлены фильтрующая сетка и жиклер. Смазка деталей центрального привода и редуктора осуществляется под давлением маслом, которое подается от маслонасоса по трубке 17, запрессованной в нижней стойке. Отработанное масло стекает по стойке в полость коробчатого прилива.

Для улучшения охлаждения стартер-генератора организован отсос воздуха через его внутреннюю полость и кольцевую щель путем эжекции, получаемой при прохождении воздуха по тракту двигателя. Кольцевая щель образована корпусом 5 приводов и кожухом 2 эжектора, который крепится к прижимному кольцу 3.

стартер-генератора. Герметичность в стыке стартер-генератора и кожуха эжектора достигается резиновым кольцом.

Компрессор двигателя (рис. 10.3) — центробежный, одноступенчатый, с наклонным колесом полуоткрытого типа и радиальным диффузором. Компрессор состоит из:

корпуса ротора (детали 9, 10, 11, 12);

радиального диффузора 2;

наружного кожуха (детали 5, 6);

переднего корпуса 3 с демпфером 1;

ротора (детали 34, 35).

Корпус ротора — сварной, состоит из корпуса 12 в котором размещены подшипники опор вала турбины, диафрагмы 9, конуса 10 и поддона 11. Для уменьшения подвода тепла к масляным полостям поверхности конуса и поддона покрыты асбестовой теплоизоляционной тканью. В передней части диафрагмы 9 выполнено два кольцевых выступа, на внутренней поверхности которых нанесено уплотнительное покрытие. За внешним выступом на диафрагме выполнен кольцевой фланец с резьбовыми отверстиями. Периферийная часть диафрагмы представляет собой кольцевой обод с ввернутыми в него шпильками.

Радиальный диффузор 2 представляет собой конический диск с равномерно расположенными по окружности торцовыми лопатками. Радиальный диффузор центрируется по внешнему кольцевому выступу диафрагмы и крепится к ее фланцу винтами через регулировочное кольцо 26. Коническая поверхность диска с передним корпусом образуют за колесом компрессора щелевой и лопаточный диффузоры.

Наружный кожух компрессора состоит из двух обечаек 5, 6, скрепленных стойками, и рессивера 7. Своим цилиндрическим пояском внутренняя обечайка 5 центрируется по наружному диаметру диафрагмы 9, а фланцем крепится на шпильках ее кольцевого обода.

На обечайках кожуха выполнены просечки для стоек и отверстия для установки деталей уплотнений внутренних трубопроводов. В наружной обечайке также выполнены просечки для перепуска воздуха в рессивер. К корпусу ротора на шпильках со стороны камеры сгорания крепится экран 8, который предохраняет внутренние трубопроводы от воздействия горячих газов.

К переднему фланцу и наружной обечайке 6 кожуха приварен рессивер 7, имеющий горловину с фланцем для установки клапана перепуска воздуха КП-9В. На рессивере также расположены пять фланцев для крепления:

корпуса маслофилтра;

трубопровода откачки масла из корпуса ротора;

трубопровода суфлирования масляной полости корпуса ротора с маслобаком;

трубопровода наддува лабиринтного уплотнения центрального привода;

решетки трубопровода суфлирования полости за колесом компрессора с атмосферой. Под фланцами наружных трубопроводов

суфлирования полостей за колесом компрессора и корпуса ротора установлены пластинчатые жиклеры, а под фланцем трубопровода наддува установлен жиклер и фильтрующая сетка.

К заднему фланцу наружного кожуха крепится корпус камеры сгорания. В проточке переднего фланца по наружному диаметру центрируется передний корпус 3 компрессора и крепится к нему на шпильках.

Передний корпус 3 компрессора состоит из профилированной стенки с двумя фланцами и демпфера 1. На переднем фланце корпуса выполнен центрирующий поясик и установлены шпильки для крепления демпфера и корпуса приводов. Полость, образованная демпфером и передним корпусом отверстиями сообщена с воздушным трактом колеса компрессора. Демпфер исключает помпаж при запуске двигателя (выполняет роль клапанов перепуска воздуха).

На внутреннюю профилированную поверхность переднего корпуса нанесено уплотняющее покрытие, позволяющее обеспечить минимальный зазор между торцами лопаток колеса компрессора и передним корпусом.

На наружной поверхности профилированной стенки расположены (смотря сзади) слева сверху две бобышки для крепления хомута электрического соединителя. На шпильках переднего фланца наружной обечайки кожуха компрессора справа сверху установлен кронштейн датчика МСТВ-1,2А, ниже передний кронштейн агрегата зажигания, слева внизу кронштейн крепления электромагнитного клапана подачи пускового топлива на рабочие топливные форсунки.

Ротор компрессора состоит из входного направляющего аппарата 34 и рабочего колеса 35, зафиксированных между собой двумя штифтами и напрессованных на шлицевую втулку 32. Шлицевая втулка с деталями ротора компрессора установлена на шлицы вала 15 турбины и закреплена на нем гайкой, поджимающей ее к внутреннему разрезному кольцу шарикоподшипника 22 через регулировочное кольцо 28 и детали 29, 30, 31, 36 уплотнения. На заднем торце колеса 35 компрессора расположены два кольцевых пилообразных выступа, образующих с кольцевыми выступами диафрагмы 9 корпуса ротора торцевое лабиринтное уплотнение.

Камера сгорания (рис. 10.4) состоит из корпуса 3 и жаровой трубы 2. Корпус 3 камеры сгорания выполнен из обечайки, имеющей форму полутора и двух фланцев 1, 7. К наружной поверхности обечайки корпуса приварены ребра 12 жесткости, восемь фланцев 4 крепления рабочих топливных форсунок 5, фланец крепления пускового воспламенителя и коробка 10 дренажа со штуцером 11 слива несгоревшего топлива в дренажный бачок при неудавшемся запуске. Корпус 3 камеры сгорания является силовым узлом. Передним фланцем 1 корпус крепится к заднему фланцу наружного кожуха компрессора. На шпильках крепления корпуса камеры сгорания также устанавливаются задний кронштейн крепления агрегата зажигания, кронштейны крепления двигателя, дре-

нажного бачка и отбортовочные хомуты. К заднему фланцу 7 корпуса с внутренней стороны крепится корпус соплового аппарата турбины, а снаружи фланец выходного сопла.

Жаровая труба 2 кольцевого типа противоточная, выполнена из кольцевых обечаек, приваренных друг к другу контактной сваркой.

Только два кольца соединяются по стыку с помощью заклепочного шва, исключающего погрешности при изготовлении и доводке камеры сгорания. На наружном фронтальном кольце жаровой трубы контактной сваркой приварены восемь бобышек. В отверстия бобышек входят рабочие топливные форсунки 5 выполняющие роль штифтов, обеспечивающих фиксацию жаровой трубы и свободное ее расширение при нагреве. Жаровая труба наружным и внутренним посадочными кольцами телескопически соединяется с кольцами соплового аппарата турбины.

Турбина двигателя состоит из статора и ротора.

Статор турбины состоит из:

- корпуса;
- соплового аппарата 11 (рис. 10.1);
- опор вала турбины;
- деталей системы смазки опор;
- деталей уплотнения опор.

Ротор турбины состоит из:

- вала, смонтированного на двух опорах в корпусе ротора;
- рабочего колеса 12 турбины;
- деталей уплотнения масляных полостей ротора и их крепления.

Корпус соплового аппарата выполнен из обечайки и двух фланцев. В передней части обечайки с внутренней стороны нанесено уплотнительное покрытие, по которому работают торцы лопаток рабочего колеса турбины. На фланце корпуса соплового аппарата выполнен центрирующий пояс. Сопловой аппарат 11 к фланцу корпуса крепится заклепками.

Сопловой аппарат 11 литой, состоит из наружной, внутренней обечайки с конической диафрагмой и сопловых лопаток. Обе обечайки заканчиваются посадочными кольцами, на которые опирается жаровая труба. Коническая диафрагма имеет уплотнительный пояс. На конической диафрагме выполнены отверстия для охлаждения диска рабочего колеса и наддува уплотнений роликоподшипника.

Опоры вала 15 (см. рис. 10.3) турбины смонтированы в корпусе 12 ротора.

В корпусе ротора смонтированы следующие детали статора:

спереди:

- переднее форсуночное кольцо 21;
- наружное кольцо подшипника шарикового 22;
- корпус 27 переднего уплотнения;

сзади:

- заднее форсуночное кольцо 19;
- наружное кольцо подшипника 18 роликового;
- фланец 14 лабиринтов;

лабиринтное кольцо 13.

Масло на смазку подшипников опор подводится к переднему форсуночному кольцу 21 по внешнему трубопроводу через маслофильтр и двум внутренним трубкам. Переднее и заднее 19 форсуночные кольца связаны телескопической трубкой. Слив отработанного масла производится через отверстия корпуса ротора и конуса в его нижнюю часть, откуда по внутренней и внешней трубкам откачивается откачивающей ступенью маслососа в маслобак.

Наружные кольца подшипников 18, 22 установлены в корпус 12 ротора через демпферы. Выступы гладких колец демпферов подшипников в горизонтальной плоскости входят в соответствующие пазы корпусов уплотнений и фиксируют наружные обоймы от проворачивания.

Корпус 27 переднего уплотнения крепится к корпусу ротора винтами и воспринимает осевое усилие ротора. Совместно с деталями уплотнения корпус предохраняет воздушную полость за колесом компрессора от попадания в нее масла со стороны подшипника.

В задний выступ корпуса ротора упирается заднее форсуночное кольцо 19, наружная обойма подшипника 18 роликового, которая поджата винтами крепления фланца 14 лабиринтов и лабиринтного кольца 13. Фланец 14 лабиринтов имеет торцевые выступы и втулку уплотнения со специальным покрытием. На внутренней поверхности лабиринтного кольца 13 нанесено графито-тальковое покрытие, а снаружи в пазу установлено разрезное уплотнительное кольцо.

Вал 15 ротора полый. На переднем конце вала выполнена резьба и шлицы для установки и фиксации деталей ротора компрессора. Внутри вала также выполнены шлицы для установки рессоры ротора. Полость вала закрыта герметичной крышкой, установленной со стороны рабочего колеса.

На валу 15 установлены и стянуты гайкой 33:
торцевой лабиринт 17;
радиальный лабиринт 16;
внутреннее кольцо подшипника 18 роликового;
распорная втулка 20;
регулирующее кольцо подшипника;
разрезное внутреннее кольцо подшипника 22 шарикового;
регулирующее кольцо 28 рабочего колеса компрессора;
детали переднего уплотнения (два кольца 36, распорное кольцо 31 и расположенные между ними установленные в уплотнительную втулку корпуса 27 два разрезных стальных 30 и железоникель-графитовые 29 уплотнительные кольца);

шлицевая втулка 32 с деталями ротора компрессора 34, 35
На заднем развитом фланце вала 15 выполнен радиальный гребешковый лабиринт. К фланцу четырьмя призонными болтами крепится рабочее колесо 12 турбины (см. рис. 10.1).

Предмаслянные полости опор вала турбины наддуваются спереди воздухом из-за рабочего колеса компрессора, а сзади вто-

ричным воздухом камеры сгорания. Передняя предмасляная полость по трубке суфлируется с атмосферой. Масляная полость опор ротора трубопроводом соединена с полостью маслобака.

Выходное сопло (см. рис. 10.1) двигателя состоит из наружного кожуха 13 с фланцами и стекателя 14, соединенных двумя накрест расположенными стержнями, обеспечивающими свободу радиальных температурных расширений деталей.

На наружном кожухе сопла в горизонтальной плоскости имеются два фланца крепления термопар для измерения температуры газа на выходе из турбины; сверху фланец суфлирования маслобака и внизу фланец для установки эжекторного патрубка дренажного бачка. Выходное сопло крепится снаружи к фланцу корпуса камеры сгорания.

10.3. МАСЛЯНАЯ СИСТЕМА

Масляная система двигателя обеспечивает подвод масла к узлам трения, его отвод, охлаждение и суфлирование масляных полостей. Масляная система состоит из:

- маслобака (см. рис. 10.1);
- маслонасоса 21;
- маслофилтра;
- форсуночных колец;
- трубопроводов и каналов;
- датчика давления масла МСТВ-1,2А.

Корпус маслобака (рис.10.5) сварной, состоит из внутренней 12, наружной 13 обечаек и стенки 14, образующих кольцевую полость в форме полутора. На стенке маслобака установлены сверху одна и внизу две втулки для суфлирования масляной полости редуктора и соединения нижней полости маслобака с коробчатым приливом корпуса приводов. Также справа сверху (смотря сзади) на стенке установлен штуцер 7 подвода масла, откачиваемого от подшипников ротора в воздухоотделитель.

На наружной обечайке расположены:

- справа заливная горловина 10;
- ниже смотровое окно 11;
- внизу кран слива масла 1;
- слева внизу бобышка 3 для установки термометра при отладке двигателя;
- слева сверху штуцер 4 суфлирования маслобака;
- над ним штуцер 6 суфлирования масляной полости подшипников ротора.

Внутри маслобака расположены воздухоотделитель 15 и суфлирующий бачок 5.

Корпус воздухоотделителя 15 — цилиндрической формы, приварен к кожуху 16. Внутри корпуса расположены два сваренных по основанию конуса. На наружном конусе выполнен ряд отверстий, а внутренний конус имеет центральное отверстие для отвода отделенного от воздуха масла в патрубок кожуха. Кожух 16 служит

для обеспечения максимального контакта масла с внутренней обечайкой маслобака и улучшения теплоотвода. Масло откачивающей ступенью маслониасоса из полости корпуса ротора тангенциально по трубке подается в корпус воздухоотделителя. Воздух, выделенный из откачиваемой эмульсии, поступает в маслобак.

Обечайка суфлирующего бачка 5 изнутри приварена к наружной обечайке маслобака в районе штуцеров суфлирования. Через отверстие в верхней части обечайки полость суфлирующего бачка соединяется с маслобаком. Масловоздушная эмульсия из полости подшипников ротора двигателя поступает в суфлирующий бачок через верхний штуцер 6 наружной обечайки. Отделенный от масла воздух вследствие эжекции через штуцер 4 суфлирования, внешний трубопровод и патрубок отводится в выходное сопло. Выделенное масло через два отверстия А глухой втулки, приваренной в нижней части обечайки суфлирующего бачка, стекает в основной объем бака.

Маслониасос (рис. 10.6) состоит из шестерни 17 привода, двух шестерен 20, 21 откачивающей, двух шестерен 11, 13 нагнетающей секций и перепускного клапана 4, смонтированных в корпусе 9. Шестерни насосов и привода вращаются на подшипниках скольжения. Внутренние шлицы шестерни 17 привода разделены упорным пружинным кольцом 16. С верхней частью шлиц сопрягается рессора привода насоса, а с нижней частью - шлицевой валик насоса-регулятора. Шестеренчатый механизм закрыт крышкой 12, имеющей центровочный бурт, окно всасывания В и отверстие Л для выхода масла на смазку деталей центрального привода.

На корпусе маслониасоса установлены:

штуцер 26 подвода масла к маслофильтру на смазку подшипников ротора;

штуцер 24 откачки масла из полости подшипников ротора;

штуцер 22 отвода масла из откачивающей ступени в воздухоотделитель;

перепускной клапан 4.

Маслофильтр (рис. 10.7) состоит из корпуса 3, сердечника 4 с припаянной латунной сеткой 2 и стопорного кольца 1. Корпус 3 маслофильтра имеет входной штуцер А и штуцер Б отвода масла к МСТВ-1,2А. Сердечник состоит из двух уплотняющих втулок, каркаса и сетки. Сердечник фиксируется в кожухе стопорным кольцом. Масло через входной штуцер поступает во внутреннюю полость корпуса, пройдя фильтрующую сетку идет на смазку подшипников ротора и через штуцер отвода к датчику МСТВ-1,2А.

На наружной поверхности (см. рис. 10.3) переднего форсуночного кольца 21 выполнена канавка, полость которой заполняется маслом, подаваемым по внутренним трубкам от маслофильтра. По окружности кольца выполнены три прилива, через отверстия которых масло подается на смазку подшипника 22 шарикового. Масло от переднего форсуночного кольца через трубку подводится ко втулке заднего форсуночного кольца 19 и заполняет полость его канавки.

Смазка подшипника 18 роликового производится через отверстия двух приливов, расположенных в верхней части заднего форсуночного кольца. Форсуночные кольца центрируются и уплотняются по наружному диаметру стенок масляных канавок и упираются спереди и сзади во внутренние выступы корпуса ротора.

Внешние трубопроводы масляной системы состоят из изогнутых трубок с накидными гайками или приваренными фланцами. Внутренние трубопроводы состоят из трубок, входящих в соответствующие уплотнительные втулки. Выводы внутренних трубопроводов корпуса ротора уплотняются пакетами уплотнений, которые состоят из двух защитных шайб, двух уплотнительных и прижимного колец. Все детали пакета стянуты гайкой 24 во втулке, которая устанавливается в отверстие наружного кожуха компрессора.

Сигнализатор давления масла МСТВ-1,2А (рис. 10.8) предназначен для выдачи сигнала при достижении в магистрали нагнетания давления масла $0,12 \pm 0,03$ МПа ($1,2 \pm 0,3$ кгс/см²). Состоит из корпуса, мембраны 1 штока 2 с изоляционным наконечником, пружины 4 с подвижным контактом 5, неподвижного контакта 6, электроцепи и сигнальной лампы 7 «ДАВЛЕНИЕ МАСЛА». При достижении давления масла в полости мембраны $0,12 \pm 0,03$ МПа ($1,2 \pm 0,3$ кгс/см²) мембрана прогибается, сжимает пружину и замыкает подвижный и неподвижный контакты, при этом в кабине пилотов загорается сигнальная лампа «ДАВЛЕНИЕ МАСЛА». При падении давления масла ниже давления срабатывания мембрана устанавливается в исходное положение и пружина размыкает контакты цепи.

РАБОТА МАСЛЯНОЙ СИСТЕМЫ

Масло из коробчатого прилива корпуса приводов нагнетающей ступенью маслоснасоса подается:

- по внутренним каналам насоса и трубке, запрессованной в нижней стойке корпуса приводов, к жиклерам на смазку трущихся поверхностей редуктора и центрального привода;

- по внешнему трубопроводу к маслофильтру на смазку подшипников ротора.

Отработанное масло из редуктора и центрального привода сливается через полую стойку в полость коробчатого прилива, а из полости корпуса ротора откачивается откачивающей ступенью маслоснасоса в воздухоотделитель маслобака. Масляная полость редуктора соединяется с маслобаком, а полость подшипников ротора с суфлирующим бачком. Полость суфлирующего бачка, связанная с полостью маслобака отверстием, суфлируется за счет эжекции по внешнему трубопроводу в выходное сопло.

10.4. ТОПЛИВНАЯ СИСТЕМА

Топливная система (рис. 10.9) обеспечивает питание двигателя топливом на всех режимах его работы и состоит из:

системы низкого давления;
пусковой системы; системы высокого давления;
дренажной системы.

СИСТЕМА НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ

Система низкого давления включает расходный топливный бак 26 вертолета, его подкачивающий насос 25, пожарный клапан 22, фильтр 20 тонкой очистки с клапаном консервации и трубопроводы. Отбор топлива к двигателю АИ-9В производится из магистрали питания правого двигателя до пожарного крана 24 вертолета.

ПУСКОВАЯ СИСТЕМА

Пусковая система выполнена на двигателе и состоит из пускового топливного насоса 15 726, электромагнитного клапана 14 пускового топлива, пускового воспламенителя 13, клапана 12 подачи пускового топлива на рабочие топливные форсунки 11 в процессе запуска и трубопроводов.

Пусковой топливный насос 15 726 — шестеренчатого типа. Состоит из корпуса насоса и привода, соединенных фланцами. В корпусе насоса установлены две шестерни нагнетающей ступени и редукционный клапан. На корпусе расположены штуцер подвода топлива от насоса-регулятора, штуцер выхода топлива и дренажный штуцер. Привод насоса осуществляется от электродвигателя МУ-10АТБ.

Клапан пускового топлива (рис. 10.10) состоит из корпуса 6 клапана, в котором установлены штуцеры 1, 4 подвода и отвода топлива и электромагнитный клапан 5. В штуцере подвода 1 размещен фильтр 3, поджатый пружиной 2. При подаче напряжения в обмотку 8 электромагнитного клапана его подвижный якорь 7 перемещается, сжимает пружину 10 и открывает доступ топлива из полости входного штуцера к пусковой форсунке. При снятии напряжения с обмотки пружина перемещает подвижный якорь в исходное положение и перекрывает подачу топлива в пусковую форсунку.

Пусковой воспламенитель (рис. 10.11) — состоит из корпуса 2, свечи 6, пусковой форсунки 3 и юбки с дефлектором. Корпус 2 воспламенителя выполнен в виде полусферы с фланцем 1 крепления, дефлектором 9 и двумя бобышками 5, 7 для установки свечи 6 и пусковой форсунки 3. Дефлектор 9 препятствует прямому попаданию топлива на свечу и является стабилизатором пламени факела, выходящего из воспламенителя. Юбка 8 (см. рис. 10.4) воспламенителя представляет собой цилиндр, имеющий фланец крепления и защитный козырек со стороны жаровой трубы. Юбка устанавливается под фланец корпуса воспламенителя. В юбке имеются отверстия В для подвода воздуха в полость воспламенителя, а для направления воздушного потока к корню топливного факела

к ней приварен дефлектор 6, который в собранном воспламенителе плотно прилегает к его дефлектору.

Пусковая форсунка (рис. 10.12) состоит из корпуса 1, фильтра 2 и распылителя 3, имеющего два тангенциальных отверстия для подвода топлива в вихревую камеру.

Вращающая струя топлива в виде полого конуса впрыскивается в полусферическую камеру, где оно поджигается 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 жаровую трубу, где происходит воспламенение основного топлива, поступающего из рабочих форсунок.

Конструкция и работа электромагнитного клапана подачи пускового топлива на рабочие топливные форсунки в процессе запуска аналогичны конструкции и работе клапана пускового топлива.

СИСТЕМА ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

Система высокого давления (см. рис. 10.9) состоит из насоса-регулятора НР-9В, рабочих топливных форсунок 11, топливного коллектора, обратного клапана 10 и трубопроводов.

В литом корпусе насоса-регулятора установлены:

одноступенчатый центробежный топливный насос 18 высокого давления;

статический регулятор постоянной физической частоты вращения ротора двигателя;

сигнализаторы 28, 29 контроля выхода ротора двигателя на рабочую и предельно-допустимую частоту вращения;

электромагнитный клапан 9 останова;

клапан 7 стравливания воздуха;

жиклер 17;

фильтры (входной 19, командного давления 2, выхода топлива к рабочим форсункам 8);

рессора привода и штуцеры.

Статический регулятор — однорежимный. Частота вращения ротора двигателя регулятором поддерживается практически постоянной на всех режимах за счет изменения расхода топлива. Управление дозирующей кромкой золотника 3 и сигнализаторами 28, 29 контроля производится командным давлением топлива, величина которого пропорциональна частоте вращения ротора.

Регулятор состоит из втулки 4, золотника 3, пружины и двух регулировочных винтов 16 — рабочей частоты вращения № 4 и 6 — минимального расхода топлива № 5. К регулировочному винту 6 минимального расхода топлива штифтом крепится промежуточная втулка с пазом, в захваты которой устанавливается золотник 3. Положение втулки и величина паза определяет диапазон хода дозирующей кромки золотника. Сверху на золотник

действует командное давление топлива, а снизу пружина и давление слива.

Электрогидравлические сигнализаторы рабочей 28 и предельной 29 частоты вращения состоят из втулки, золотника, пружины, регулировочных шайб, колпачков, мембраны, штока и узла контактов.

В корпусе 6 форсунки (рис. 10.13) установлены и поджаты резьбовой пробкой 7 завихритель 3, пружина 2 и сетчатый фильтр 1. Под фланец крепления форсунки устанавливается кожух 4 с отверстиями. В передней части на корпусе 6 форсунки нарезаны винтовые шлицы, которые совместно с кожухом 4 обеспечивают подкрутку и поступление воздуха в зону горения. Топливо в форсунку поступает из коллектора через ниппель, поджатый гайкой 9. Пройдя сетчатый фильтр, топливо из полости пружины по каналу, образованному лыской завихрителя и корпуса, подводится к тангенциальному пазу завихрителя, откуда попадает в камеру завихрителя и сопло и впрыскивается в жаровую трубу в виде мельчайших капель, образующих полый конус распыла.

Топливный коллектор 13 (см. рис. 10.4) состоит из трубок, проходных и поворотного ниппелей и штуцера, спаянных в форме незамкнутого кольца. Конструкция коллектора в виде незамкнутого кольца и трубок, изогнутых определенным образом, обеспечивает качественный монтаж коллектора на форсунки и допускает расширение его в процессе работы двигателя.

Насос-регулятор (см. рис. 10.9) работает следующим образом. Топливо из системы низкого давления, пройдя входной фильтр 19 НР-9В, подводится к осевой расточке крыльчатки 18 насоса, попадает в ее радиальные каналы и приводится во вращение. Под действием центробежных сил топливо отбрасывается на периферию крыльчатки под давлением. Через канал в корпусе топливо под командным давлением, пропорциональным частоте вращения ротора, подводится к золотникам сигнализаторов 28, 29 и через дополнительный фильтр 2 в полость над золотником 3. Через постоянный сменный жиклер 17 топливо над рабочим давлением подводится к дозирующей кромке золотника 3 и пройдя дополнительный фильтр 8, электромагнитный клапан останова 9, обратный клапан 10 поступает к рабочим форсункам 11. Жиклер 17 обеспечивает расход топлива по разгонной характеристике при запуске.

При достижении настроечной величины рабочей частоты вращения командное давление топлива в полости над золотником 3 достигает величины, способной преодолеть усилие пружины и давление слива, действующие снизу на золотник и прикрывает доступ топлива к форсункам.

При уменьшении частоты вращения ротора командное давление топлива уменьшается, и пружинной золотник перемещается в сторону увеличения доступа топлива к форсункам.

Контроль частоты вращения ротора осуществляется по двум световым табло, одно из которых включается сигнализатором 28 при достижении рабочей частоты вращения двигателя, второе вклю-

чается сигнализатором 29 при достижении предельно допустимой частоты вращения, и при этом одновременно выдается команда на останов двигателя и обесточивается клапан останова 9.

ДРЕНАЖНАЯ СИСТЕМА ДВИГАТЕЛЯ

Дренажная система (рис. 10.14) двигателя предназначена для сбора и отвода дренажных жидкостей из камеры сгорания, уплотнений НР-9В и пускового топливного насоса. Состоит из дренажного бачка 2, тройника 11 и трубопроводов. Дренажный бачок 2 сварной, емкостью 400 см³, крепится глухим штуцером и двумя фланцевыми к корпусу камеры сгорания снизу.

Слив несгораемого топлива из камеры сгорания в бачок производится через отсечной клапан 3, который закрывается при избыточном давлении воздуха на клапан более 0,04 МПа (0,4 кгс/см²). Слив дренажа из уплотнения насоса-регулятора 7 производится через штуцер на бачке. Отвод сливаемых жидкостей из бачка 2 производится за счет эжекции выходящих газов в выходное сопло. Суфлирование полости бачка 2 с закапотным пространством производится через тройник 11, к которому также подводится трубопровод 9 дренажа пускового насоса. На бачке выполнено резьбовое отверстие для установки сливного крана 12 (закрыто пробкой).

10.5. СИСТЕМА ЗАПУСКА

Система запуска обеспечивает запуск, прекращение запуска и останов двигателя, проведение холодной прокрутки и ложного запуска и работу стартер-генератора в генераторном режиме.

Агрегаты системы запуска расположены на двигателе (стартер-генератор, агрегат зажигания, пусковая свеча, клапан пускового топлива, клапан останова — в НР-9В, клапан подачи пускового топлива на рабочие форсунки, пусковой топливный насос) и на вертолете (пожарный клапан, автоматическая панель запуска АПД-9В, дифференциально-минимальное реле ДМР-200Д, регулятор напряжения РН-120У, автомат защиты сети от перенапряжения АЗП-8М, выносное сопротивление ВС-25ТВ, реле максимальных оборотов РМО-16, переключатели, реле, АЗС, сигнальные лампы).

АГРЕГАТЫ СИСТЕМЫ ЗАПУСКА

Стартер-генератор (рис. 10.15) СТГ-3 серии II представляет собой четырехполюсную машину постоянного тока параллельного возбуждения. Исполнение полужакрытое, в щитах имеются окна для входа и выхода охлаждающего воздуха. Продувка стартер-генератора осуществляется вентилятором 7. Для улучшения охлаждения стартер-генератора на выходе из него создается дополнительное разряжение 250—350 мм вод. ст. за счет эжекции воздуха, проходящего по тракту двигателя.

Агрегат зажигания (рис. 10.16) КР-12СИ предназначен для преобразования напряжения 27 В $\pm 10\%$ в высокое напряжение 12000—15000 В, которое подается на свечу. Индукционная катушка с вибратором 2 и конденсатором 1 установлены в экранирующем кожухе агрегата.

При нажатии на пусковую кнопку первичная обмотка подключается к источнику напряжения и по ней начинает протекать ток, создавая вокруг первичной обмотки 3 магнитное поле. Вследствие этого сердечник намагничивается и при достижении определенной напряженности магнитного поля якорь, преодолевая сопротивление пружины, притягивается к торцу сердечника. Контакты 2 прерывателя агрегата размыкаются, ток прекращается, магнитный поток исчезает, сердечник размагничивается и пружина якоря возвращает контакты прерывателя в первоначальное положение, цепь первичной обмотки вновь замкнется. Быстрое исчезновение магнитного потока в агрегате при размыкании контактов прерывателя индуцирует во вторичной обмотке 4 электродвижущую силу, благодаря чему на электродах свечи создается напряжение, достаточное для пробоя искрового промежутка и образования искры, воспламеняющей топливную смесь в момент запуска двигателя.

Пусковая свеча СД-55АНМ (рис. 10.17) неразборная, экранированная, предназначена для воспламенения топливной смеси в запальнике камеры сгорания при помощи искрового разряда высокого напряжения. Свеча состоит из корпуса-экрана 2 с керамической трубкой 3 и сердечника 1 с центральным электродом, запрессованным в нем. Второй электрод 8 (см. рис. 10.11) выполнен в корпусе пускового воспламенителя.

Усилие закручивания свечи при установке ее в воспламенитель не более 30 Н·м (3 кгм).

РАБОТА СИСТЕМЫ ЗАПУСКА

При нажатии на кнопку «ЗАПУСК» вступает в работу АПД-9В, которая обеспечивает автоматическое подключение и отключение агрегатов системы запуска по заданной программе, загорается сигнальное табло «АВТОМАТ ВКЛЮЧЕН». Цикл работы панели запуска 30 с.

Через 5 с подается питание на:

стартер-генератор через пусковое сопротивление;
пусковой насос;

электромагнитный клапан пускового топлива.

Через 6 с подается питание на:

клапан подачи пускового топлива на рабочие форсунки;
клапан останова НР-9В.

Через 6,5 с шунтируется пусковое сопротивление цепи стартер-генератора, который начинает более интенсивную раскрутку ротора двигателя.

Через 12 с снимается питание с клапана пускового топлива, агрегата зажигания и пусковой свечи, клапана подачи пускового топлива на рабочие форсунки, пускового насоса.

В процессе запуска двигателя при понижении силы тока, потребляемого стартер-генератором, до 70—50 А (что происходит при частоте вращения ротора двигателя 17000—25000 об/мин) токовое реле РМО-16 отключает его питание. После отключения стартер-генератора двигатель выводится на режим холостого хода избыточной мощностью турбины. Если в течение 20 с токовое реле не отключит стартер-генератор от бортсети и двигатель за это время не выйдет на режим холостого хода (не достигнет номинальных оборотов), то стартер-генератор и двигатель (снимется напряжение с клапана останова) будут отключены панелью запуска.

Включение стартер-генератора на бортсеть осуществляется выключателем ДМР-200Д и происходит в тот момент, когда напряжение генератора превысит напряжение бортсети. РН-12ОУ поддерживает при этом напряжение на клеммах стартер-генератора постоянным. ВС-25ТВ уровень напряжения стартер-генератора регулируется в пределах $\pm 10\%$.

Останов двигателя производится нажатием на кнопку «ОСТАНОВ» или выключателем предельной частоты вращения насоса-регулятора.

Ложный запуск происходит аналогично запуску двигателя, но зажигание не включается. В отличие от запуска холодная прокрутка производится без включения зажигания и подачи пускового и рабочего топлива. Длительность холодной прокрутки и ложного запуска 20 с.

10.6 СИСТЕМА ПЕРЕПУСКА ВОЗДУХА

Устойчивая беспомпажная работа двигателя на запуске, холостом ходе и генераторном режимах обеспечивается клапаном перепуска воздуха, путем перепуска части воздуха из-за компрессора в атмосферу. Клапан перепуска воздуха КП-9В (рис. 10.18) автоматического действия, состоит из корпуса 1 с кожухом, поршня 3 с пружиной 4 и уплотнением, клапана 2, штуцера, малого клапана 5 с пружиной, заслонки 8 с кулачком 7 и пружиной 6 кручения. Клапан устанавливается на фланец 11 горловины ресивера через соплó Вентури 10.

На запуске, холостом ходе и генераторном режиме заслонка под действием пружины 6 находится в закрытом положении, малый клапан 5 закрыт, полость над поршнем через малый клапан и штуцер сообщена с атмосферой, под действием пружины 4 клапан перепуска открыт и полость ресивера сообщается с атмосферой.

При отборе воздуха под действием перепада давлений заслонка 8 открывается, кулачком 7 открывает малый клапан 5 при этом полость над поршнем разобщается с атмосферой и сообщается с

каналом отбора. Под действием давлений воздуха поршень 3 перемещается вниз и клапан закрывается, прекращая перепуск воздуха в атмосферу.

При прекращении отбора воздуха под действием витой пружины 6 заслонка 8 закрывается и открывается перепуск воздуха в атмосферу.

Сопло Вентури 10 ограничивает расход воздуха через клапан перепуска в режиме отбора при заедании поршня 3 клапана в открытом положении и исключает недопустимое повышение температуры газов при этом.

10.7. ЭКСПЛУАТАЦИЯ И ОСОБЕННОСТИ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ДВИГАТЕЛЯ АИ-9В

В процессе запуска двигателя необходимо следить за изменением параметров:

температуры газов за турбиной, которая не должна превышать 880 °С;

напряжения в сети запуска, которое не должно падать ниже 18 В;

частоты вращения двигателя; при достижении рабочей частоты сигнальная лампа «НОМИНАЛЬНЫЕ ОБОРОТЫ» должна загореться не позднее чем через 20 с после нажатия на кнопку «ЗАПУСК».

Запуск двигателя прекратить нажатием на кнопку «ОСТАНОВ», если:

по истечении 9 с нет показания температуры газов;

напряжение в сети запуска падает ниже 18 В;

температура газов за турбиной стремится превысить 880°С;

через 30 с с начала запуска продолжает гореть сигнальная лампа работы автоматической панели запуска;

замечены какие-либо другие отклонения в работе двигателя и его систем.

ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ: 1. В случае неудавшегося запуска двигателя по причине невоспламенения топлива (нет показания температуры газов) следующий запуск производить только после выполнения холодной прокрутки.

2. ЗАПРЕЩАЕТСЯ в процессе запуска включать отбор воздуха на основные двигатели и переключать стартер-генератор в генераторный режим.

3. Допускается три последовательных запуска двигателя АИ-9В, учитывая и ложные запуски, с перерывами между ними не менее 3 мин, после чего необходим перерыв для охлаждения не менее 15 мин.

После выхода двигателя на режим холостого хода, убедиться в том, что:

горит сигнальная лампа «НОМИНАЛЬНЫЕ ОБОРОТЫ»;

температура газов за турбиной не превышает 720°С;

горит сигнальная лампа «ДАВЛЕНИЕ МАСЛА».

Примечание. В процессе запуска и в начальный момент после выхода на холостой ход допускается мигание сигнальной лампы «ДАВЛЕНИЕ МАСЛА».

давление воздуха в магистрали отбора должно быть не менее, указанного на графике (рис. 10.19) для данных атмосферных условий.

Переход двигателя на режим отбора воздуха или на генераторный режим производится только после его прогрева на режиме холостого хода в течение 0,5...1 мин и только при его нормальной работе. На режиме отбора воздуха температура газов за турбиной должна быть не более 750°C, а давление воздуха в магистрали отбора может понижаться не более чем на 0,02 МПа (0,2 кгс/см²) по сравнению с давлением при работе на холостом ходу. При работе двигателя в генераторном режиме температура газов за турбиной должна быть также не более 750°C.

Останов двигателя производится после его охлаждения на режиме холостого хода в течение 0,5—1 мин нажатием на кнопку «ОСТАНОВ». При необходимости останов двигателя может быть выполнен без его охлаждения. Для этого необходимо предварительно прекратить отбор воздуха (прекратить запуск основного двигателя) или выключить генератор.

При достижении предельной частоты вращения двигатель останавливается автоматически. При этом загорается табло красного цвета, которое сигнализирует об останове двигателя по забросу частоты вращения выше предельной. После останова двигателя табло продолжает гореть и сигнализирует о невозможности последующего запуска. Для последующего запуска двигателя необходимо:

привести электросистему запуска в исходное положение, для чего кратковременно ее обесточить и снова включить;

осмотреть двигатель, определить причину его выключения и устранить неисправность.

Техническое обслуживание вспомогательной силовой установки производится в соответствии с регламентом обслуживания вертолета и указаниями в паспортах на его агрегаты. Выполнение работ при этом необходимо производить в точном соответствии с технологическими указаниями «Инструкции по эксплуатации и техническому обслуживанию двигателя АИ-9В». Регулировки, устранение дефектов и работы, выполняемые по формам обслуживания должны быть записаны в формуляре двигателя и в паспортах агрегатов. Обслуживание двигателя АИ-9В производится одновременно с выполнением работ по техническому обслуживанию силовой установки вертолета.

При оперативных видах обслуживания производится осмотр на отсутствие внешних повреждений двигателя, агрегатов и его систем, подтверждение надежности их крепления, отсутствие течи топлива, масла и посторонних предметов в отсеке двигателя. Проверяется уровень масла в маслобаке и при необходимости производится его дозаправка.

При периодическом обслуживании дополнительно к смотровым работам производится обслуживание топливного фильтра тонкой очистки и стравливание воздушных пробок из топливной системы.

Примечание. Стравливание воздушных пробок производится после любой разгерметизации топливной системы.

В процессе эксплуатации двигателя разрешается производить подрегулировку насоса-регулятора НР-9В:

винтом № 4 рабочей частоты вращения (маркировка регулировочных винтов нанесена на корпусе насоса-регулятора):

если при запуске двигатель не выходит на режим холостого хода через 20 с с момента нажатия на кнопку «ЗАПУСК» (не загорается табло «НОМИНАЛЬНЫЕ ОБОРОТЫ») и самопроизвольно выключается, необходимо увеличить расход топлива путем завинчивания винта на 15—30° (на 1—4 шлица) за один прием;

если при запуске загорается сигнальное табло «ПРЕДЕЛЬНЫЕ ОБОРОТЫ» и двигатель самопроизвольно выключается (после останова горит табло «ПРЕДЕЛЬНЫЕ ОБОРОТЫ»), необходимо уменьшить расход топлива путем вывинчивания винта на 15—30° за один прием.

Примечание. Допустимый диапазон регулировки винтом № 4 в пределах: на завинчивание 90° и на отвинчивание в пределах 270° от положения, предусмотренного заводом-изготовителем агрегата;

винтом № 5 минимального расхода топлива:

если в момент прекращения отбора воздуха происходит отключение двигателя по предельной частоте вращения (загорается табло «ПРЕДЕЛЬНЫЕ ОБОРОТЫ»), необходимо винт № 5 вернуть на 15° (1—2 шлица) за один прием;

если при выключении двигателя в момент прекращения отбора воздуха не загорается табло «ПРЕДЕЛЬНЫЕ ОБОРОТЫ», необходимо винт № 5 вывернуть на 15° за один прием.

Примечания: 1. Допустимый диапазон регулирования винтом № 5 $\pm 90^\circ$ от положения завода-изготовителя агрегата.

2. При неудовлетворительной отладке двигателя регулировочные винты № 4 и 5 насоса-регулятора вернуть в исходное положение (винт № 4 до размера L_4 винт № 5 до размера L_5 , указанных в паспорте агрегата) и повторить отладку двигателя.

3. Размеры L_4 и L_5 измеряются штанген-циркулем от фланца корпуса насоса-регулятора до торца регулировочного винта;

заменой жиклера:

если в процессе запуска происходит отключение двигателя по предельной частоте вращения (если использован диапазон регулировки винтом № 4), необходимо заменить жиклер, стоящий в насосе-регуляторе, на жиклер меньшего диаметра 1,15 мм или 0,9 мм из запасного комплекта. После запуска двигателя необходимо проверить отсутствие течи топлива из-под жиклера.

Установленный ресурс двигателя указывается в его формуляре. Для учета наработки в формуляр двигателя записывается:

количество запусков;

количество отборов воздуха;

время работы двигателя в генераторном режиме.

Примечания: 1. В количество запусков двигателя засчитывается:

количество горячих запусков;

количество неудавшихся запусков;

количество ложных запусков и холодных прокруток;

2. В количество отборов воздуха засчитываются все отборы воздуха для

запуска основных двигателей, независимо от продолжительности производившегося отбора.

При устранении неисправностей в процессе эксплуатации на двигателе могут быть заменены:

масляный бак;
 маслонасос;
 датчик давления масла;
 центральный привод;
 уплотнительные кольца трубопровода откачки масла;
 насос-регулятор;
 воспламенитель;
 рабочие топливные форсунки;
 пусковой топливный насос с электроприводом;
 электромагнитный клапан пускового топлива;
 электромагнитный клапан подачи пускового топлива на рабочие форсунки;
 стартер-генератор;
 агрегат зажигания;
 запальная свеча;
 клапан перепуска воздуха из-за компрессора;
 дренажный бачок;
 трубопроводы, болты, прокладки, гайки, контровка и другие мелкие детали.

Характерные неисправности основных узлов двигателя АИ-9В и способы их устранения даны в табл. 10.2.

Таблица 10.2

Характерные неисправности основных узлов двигателя АИ-9В и способы их устранения

Неисправность	Причина неисправности	Способ устранения неисправности
1. При запуске двигателя ротор не вращается	1. Не полностью произведена подготовка к запуску	Проверить выполнение всех операций подготовки к запуску
	2. Не подается электропитание к стартеру-генератору	Проверить: исправность источников запуска; работу электроавтоматики запуска; надежность крепления электропроводов к клеммам стартер-генератора
	3. Неисправность стартер-генератора	Заменить стартер-генератор

Неисправность	Причины неисправности	Способ устранения неисправности
<p>2. При запуске нет воспламенения топлива в двигателе (нет роста температуры газов за турбиной)</p>	<p>1. Нет искры на запальной свече</p>	<p>1. Проверить искрообразование на свече, предварительно установив зазор между ее электродами 2, 4...2,7 мм. Искровой разряд на свече должен быть между 5 и 12 с цикла запуска</p> <p>2. При отсутствии разряда на свече проверить подачу напряжения к агрегату зажигания. Если напряжения на входе в агрегат нет, устранить неисправность в электропроводке</p> <p>3. При наличии напряжения на входе в агрегат осмотреть его контакты и выполнить работы, указанные в паспорте агрегата в разд. 8 «Заметки по эксплуатации и хранению»</p> <p>4. При исправности контактов заменить свечу. Если после замены свечи снова нет искрообразования на ней, заменить агрегат зажигания и вновь проверить искровой разряд</p>
	<p>2. Нет подачи топлива к пусковой форсунке</p>	<p>1. Осмотреть и промыть топливный фильтр тонкой очистки на входе в двигатель.</p> <p>2. Проверить работу пускового насоса, который должен создавать давление топлива 0,3...0,35 МПа (3...3,5 кгс/см²) в период запуска между 5 и 12 с.</p> <p>3. Проверить работу клапана пускового топлива и клапана подачи пускового топлива на рабочие форсунки в процессе запуска. Подача топлива на пусковую форсунку должна быть на 5 с, на рабочие форсунки — на 6 с. При отсутствии подачи топлива на форсунки устранить неисправность электропроводки или заменить клапан</p>
	<p>3. Закоксование пусковой форсунки</p>	<p>Проверить работу пусковой форсунки. В случае появления капельной течи топлива из форсунки или при его полном отсутствии — пусковую форсунку заменить</p>

Неисправность	Причина неисправности	Способ устранения неисправности
3. Заброс температуры газов за турбиной в процессе запуска	<p>1. Недостаточная раскрутка ротора двигателя стартер-генератором</p> <p>2. Скопление топлива в камере сгорания перед запуском</p> <p>3. Наличие повышенных отборов или утечек воздуха в вертолетной воздушной системе запуска</p> <p>4. Большой расход топлива в процессе запуска двигателя</p>	<p>1. Проверить напряжение источника запуска, которое должно быть: перед запуском 24...30 В, в процессе запуска — не менее 18 В</p> <p>2. Заменить стартер-генератор</p> <p>Произвести холодную прокрутку двигателя</p> <p>Поставить заглушку на фланце КП-9В отбора воздуха от двигателя и проверить возможность запуска. При удовлетворительном запуске устранить неисправность в воздушной системе запуска вертолета</p> <p>Заменить топливный жиклер НР-9В на жиклер меньшего диаметра</p>
4. Помпаж двигателя при выходе на режим холостого хода	<p>1. Нет или неполный перепуск воздуха через клапан КП-9В в атмосферу</p> <p>2. Большой расход топлива по характеристике запуска</p> <p>3. Засорение фильтра командного канала насоса-регулятора</p>	<p>1. Убедиться в отсутствии отборов воздуха в вертолетную систему запуска</p> <p>2. Заменить перепускной клапан КП-9В</p> <p>Заменить топливный жиклер НР-9В на жиклер меньшего диаметра</p> <p>Снять и промыть фильтр командного канала насоса-регулятора или заменить НР-9В</p>
5. Медленная раскрутка ротора в процессе запуска или зависание оборотов (не загорается табло «НОМИНАЛЬНЫЕ ОБОРОТЫ» в течение 20 с с начала запуска, и двигатель самопроизвольно останавливается)	<p>1. Отсутствует дополнительная подача топлива от пускового насоса к рабочим форсункам через электромагнитный клапан подачи топлива</p> <p>2. Засорение в насосе-регуляторе фильтра подачи топлива к рабочим форсункам</p> <p>3. Мал расход топлива в процессе запуска</p> <p>4. Мал расход топлива на режиме холостого хода</p>	<p>Проверить работу клапана подачи пускового топлива к рабочим форсункам</p> <p>Снять и промыть фильтр подачи топлива к рабочим форсункам в насосе-регуляторе</p> <p>Заменить топливный жиклер НР-9В на жиклер большего диаметра</p> <p>Увеличить расход топлива винтом № 4 насоса-регулятора</p>

Неисправность	Причина неисправности	Способ устранения неисправности
6. Выключение двигателя по предельной частоте вращения	<p>1. Наличие воздуха в топливной системе</p> <p>2. Засорение фильтра командного давления топлива насоса-регулятора</p> <p>3. Велик расход топлива на режиме холостого хода</p>	<p>Произвести стравливание воздуха из топливной системы</p> <p>Снять и промыть фильтр командного давления топлива в НР-9В</p> <p>Уменьшить расход топлива винтом № 4 НР-9В</p>
7. Температура газов за турбиной превышает допустимую для данного режима	<p>1. Наличие повышенных отборов или утечек воздуха из воздушной системы запуска вертолета</p> <p>2. Не закрывается клапан перепуска воздуха в атмосферу в режиме отбора воздуха</p> <p>3. СТГ-3 при работе в генераторном режиме выдает мощность более 3 кВт</p> <p>4. Одновременный отбор воздуха и электроэнергии</p>	<p>Убедиться в отсутствии повышенных отборов и утечек, при необходимости устранить неисправность</p> <p>Заменить перепускной клапан КП-9В</p> <p>Проверить выходные параметры СТГ-3 в генераторном режиме (силу тока и напряжение), при отсутствии других отклонений уменьшить расход электроэнергии до допустимых пределов, выключив часть потребителей</p> <p>Не допускается одновременный отбор воздуха и электроэнергии</p>
8. При работе двигателя на холостом ходу (в режиме перепуска) давление по контрольному манометру ниже давления по графику для данных атмосферных условий	<p>1. Большие погрешности манометра</p> <p>2. Наличие повышенных отборов или утечек воздуха из воздушной системы запуска вертолета</p>	<p>Проверить показания манометра, при необходимости заменить его</p> <p>Определить место утечек, устранить неисправность</p>
9. При запуске основного двигателя понижается давление воздуха в магистрали отбора до величины, ниже допустимой [более 0,02 МПа (0,2 кгс/см ²)], определенной по графику	1. Через КП-9В происходит сброс воздуха в атмосферу	При негерметичности клапана перепуска воздуха заменить его

Неисправность	Причина неисправности	Способ устранения неисправности
10. Течь топлива или масла через сальник насоса-регулятора в дренаж выше допустимой (более 5 капель в минуту)	Негерметичность сальника уплотнения насоса-регулятора	Заменить сальник уплотнения или насос-регулятор
11. При работе двигателя после прогрева не горит или мигает табло «ДАВЛЕНИЕ МАСЛА»	<ol style="list-style-type: none"> 1. Перегорела лампа табло 2. Неисправна электропроводка 3. Неисправен сигнализатор давления масла МСТВ-1, 2А 4. Попадание посторонних частиц под перепускной клапан 5. Уменьшение упругости пружины перепускного клапана маслоагрегата 	<p>Заменить лампы</p> <p>Устранить неисправность</p> <p>Заменить сигнализатор</p> <p>Снять, осмотреть и промыть перепускной клапан, предварительно слив масло из маслобака</p> <p>Отрегулировать натяжение пружины шайбами, предварительно слив масло из маслобака.</p> <p>Разрешается установка набора шайб (с учетом установленных на заводе-изготовителе) толщиной до 2 мм</p> <p>Примечания: 1. Комплект шайб толщиной 0,5 и 1 мм прикладывается в одиночный комплект запасных частей двигателя.</p> <p>2. Изменение давления масла шайбами составляет при толщине шайбы 0,5 мм до 0,02 МПа (0,2 кгс/см²), 1 мм до 0,035 МПа (0,35 кгс/см²), 2 мм до 0,05 МПа (0,5 кгс/см²)</p> <p>3. На маслоагрегатах последних серий устанавливается перепускной клапан с регулировочным винтом</p>
12. При работе двигателя: течь масла по разъему корпусов компрессора и камеры сгорания; выбивание масла из КП-9В; расход масла выше допустимой величины; дымление из выходного сопла	Негерметичность уплотнения трубопровода откачки масла из опор двигателя	Заменить детали уплотнения трубопровода откачки (предварительно слить масло и снять двигатель с вертолета)

При замене агрегатов необходимо соблюдать следующие условия:

1. Все отверстия и фланцы, открываемые при демонтаже агрегатов (узлов), должны закрываться заглушками или крышками.

2. Снятые с двигателя агрегаты должны быть законсервированы согласно указаниям в паспортах на эти агрегаты. Вновь устанавливаемые агрегаты перед монтажом необходимо сверить с паспортом и расконсервировать.

3. При монтаже агрегатов (узлов) на двигатель необходимо ставить новые замки, шайбы и прокладки, предусмотренные спецификацией и прикладываемые в одиночный комплект запасных частей двигателя.

4. Новые прокладки смазывать перед установкой уплотняющей смазкой. Для смазывания паронитовых прокладок применяется резино-графитная смазка следующего состава:

графит серебристый по ГОСТ 5279—61 или скрытнокристаллический (аморфный) по ГОСТ 5420—50—1, 5—2 %;

клей резиновый торговый по ГОСТ 2199—43.

Составляющие смазки тщательно перемешиваются (комочки графита в смазке не допускаются).

Смазка наносится на сухую прокладку за 10...15 мин до ее постановки.

5. Гайки крепления агрегатов необходимо затягивать равномерно до упора, а затем постепенно подтягивать их в порядке, диаметрально противоположном друг другу.

6. После замены агрегатов, а также масляных и топливных трубопроводов необходимо произвести ложный запуск. Если течей нет, то нормально запустить двигатель и проверить работу замененных агрегатов.

7. О выполненных заменах агрегатов и узлов сделать соответствующую запись в паспортах и формуляре двигателя, а также в паспортах снятых агрегатов (узлов) с указанием причины снятия, наработки и выполнения консервации.

Примечания: 1. На двигателях последних серий устанавливается модифицированный маслоснасос № 9В.07.01.070 вместо маслососа № 9В.07.01.000. Обратная замена маслоснасосов не допускается.

2. При замене центрального привода необходимо промыть масляный фильтр и масляный бак.

3. При установке КП-9В на фланец рессивера необходимо проверить на нем наличие сопла Вентури.

Для замены трубопроводов необходимо:

1. Перед снятием трубопроводов демонтировать хомуты и планки крепления трубопроводов.

2. После отсоединения трубопроводов от штуцеров на штуцеры и трубопроводы ставить заглушки.

3. Перед установкой на двигатель трубопроводы промыть в чистом керосине или бензине и продуть сжатым воздухом.

4. При монтаже трубки устанавливать на штуцеры без напряжений, гайки трубок навинчивать на штуцеры свободно, от руки. Если эти условия при установке трубопроводов не выполняются, то разрешается подгиб трубопроводов по месту не более чем на 15 мм при диаметре трубопроводов от 6 до 10 мм с толщиной стенки 1 мм на длине плеча не менее 120—200 мм. После подгибки проверить, нет ли трещин в местах сгиба.

ЗАПРЕЩАЕТСЯ: подгибать трубки у шпильки и штуцеров на расстоянии, менее чем 25 мм от конца шпильки или места пайки штуцера;
подгибать трубки в окончательно закрепленном положении;
подгибать топливный коллектор;
ставить трубопроводы и зажимы при отсутствии металлизации.

5. При установке необходимо выдерживать зазор между трубопроводами и окружающими деталями не менее 3 мм.

6. Проверить герметичность трубопроводов (ложным запуском), работу двигателя в процессе запуска и на режимной работе. После останова повторно убедиться в отсутствии течей.

При замене двигателя АИ-9В, проведении работ, выполняемых при его хранении, консервации и расконсервации необходимо соблюдать общие требования к данным работам и специальные требования:

1. Ящик с двигателем поднимать при помощи троса за четыре скобы, закрепленные на ящике, краном грузоподъемностью не менее 300 кгс.

2. При осмотре двигателя перед его установкой необходимо помнить, что при выпуске и ремонте двигателя на лопатках рабочего колеса турбины допускаются выборки материала по задним кромкам и округления торцов лопаток, о чем производится запись в разд. 3 «Индивидуальные особенности двигателя» формуляра двигателя. Браковочным признаком это не является.

3. После установки термопар на двигатель, необходимо путем подогрева каждой термопары проверить правильность ее монтажа. Стрелка указателя должна отклоняться в сторону больших показаний.

Электросхема измерения температуры газов за турбиной двигателя приведена на рис. 10.20.

4. Во избежание попадания топлива и масла в воздушную систему запуска вертолета в процессе расконсервации, консервации двигателя АИ-9В необходимо на фланец КП-9В отбора воздуха в систему устанавливать специальную заглушку (заглушка прикладывается в комплект оборудования вертолета).

Во всех случаях, когда измеряемые параметры работы двигателя выходят за допустимые пределы, необходимо двигатель остановить, проверить правильность показаний измерительного прибора или выдачу соответствующего сигнала и, только убедившись в его исправности, приступить к определению неисправностей двигателя и проведению работ по их устранению.

10.8. ОТЛИЧИЯ ДВИГАТЕЛЯ АИ-9В ОТ ДВИГАТЕЛЯ АИ-9

Основные технические данные двигателей

	АИ-9В	АИ-9
1. Условные обозначения . . .		
2. Рабочая частота вращения ротора, об/мин	от 35300±475 до 39100±475	от 37000±500 до 41000±500
3. Номинальная частота вращения ротора, об/мин	36750±475	38500±500
4. Предельная частота вращения ротора, об/мин	39150±475	41000±500
5. Основные параметры двигателя на режиме отбора воздуха:		
количество отбираемого воздуха, кг/с	0,4	0,38
давление отбираемого воздуха, МПа (кгс/см ²). .	не менее 0,19 (1,9)	0,14 (1,4)
температура отбираемого воздуха, °С	не менее 160	130
расход топлива, кг/ч . . .	не более 80	75
6. Пусковой топливный насос:	726	НП-9
тип насоса	шестеренчатый, электроприводной	коловратный
создаваемое давление, МПа (кгс/см ²)	0,3 ^{+0,05} (3 ^{+0,5})	0,24...0,45 (2,4...4,5)
7. Количество заливаемого масла, л	2,5 ^{+0,1}	2 ^{+0,2}
8. Стартер-генератор	СТГ-3 серии II	—
9. Пусковой электродвигатель	—	СТ-115А
10. Сухая масса, кг	не более 70	45
11. Габаритные размеры, мм		
длина	888	740,5
ширина	530	515
высота	490	490,3

Корпус приводов

На наружной обечайке корпуса сверху выполнен фланец крепления пускового насоса НП-9. Во внутренней обечайке корпуса установлен только центральный привод для передачи вращения от электродвигателя через храповую муфту на ведущую шестерню привода. Через рессоры вращение от ведущей шестерни привода передается на ротор двигателя и привод насоса-регулятора и маслоснабжения. Пусковой насос НП-9 приводится во вращение через рессору, которая установлена в конической шестерне, получающей вращение от ведущей шестерни электродвигателя. На хвостовике ведущей шестерни электродвигателя закреплен ходовой винт, на котором установлена гайка-храповик, которая при запуске соединяется с храповиком ведущей шестерни центрального привода. После выключения электродвигателя шлицы храповиков расцепляются и вращение пускового насоса и электродвигателя прекращается.

Уплотнение хвостовика ведущей шестерни центрального привода осуществляется двумя уплотнительными резиновыми манжетами. Воздушная полость между манжетами соединяется с атмосферой через суфлер. Просочившееся масло через переднюю манжету рессоры стекает через отверстия в рессоре привода ротора двигателя в полость коробчатого прилива.

На хвостовике ведущей шестерни центрального привода отсутствует воздушный лабиринт.

Компрессор

На наружном кожухе компрессора отсутствуют фланцы отбора воздуха на наддув уплотнения ведущей шестерни центрального привода и суфлирования полости за колесом компрессора с атмосферой.

Маслобак

Подвод откачиваемого масла в воздухоотделитель производится через штуцер сверху непосредственно на верхний конус. Габариты, расположение штуцеров и приливов на наружной обечайке маслобака двигателя АИ-9 отличаются от габаритов и расположения аналогичных штуцеров и приливов маслобака двигателя АИ-9В.

Топливная система

В пусковой системе (см. рис. 10.9) двигателя АИ-9 отсутствует обратный клапан 10 и электромагнитный клапан 12 подачи пускового топлива на рабочие топливные форсунки в процессе запуска. В дренажной системе отсутствует дренажный бачок.

Система запуска

Электродвигатель СТ-115А предназначен для раскрутки ротора двигателя до начала работы турбины до 17500—20500 об/мин. Номинальный крутящий момент на валу электродвигателя 1,4 Н·м (14 кг·см). В электродвигателе смонтирован центробежный автомат. При достижении якорем электродвигателя 17500—20500 об/мин

грузики автомата под действием центробежных сил расходятся. перемещают стержень, который, сжимая пружину, размыкает цепь контактора и выключает электродвигатель из работы.

На вертолете для обеспечения запуска двигателя АИ-9 установлена автоматическая панель запуска АПД-9 и пусковое сопротивление ПС-250-0,12, а ДМР-2ООД, РН-12ОУ, РМО-16, ВС-25ТВ и АЗП-8М отсутствуют.

Эксплуатация и особенности технического обслуживания АИ-9

Генераторный режим отсутствует. Температура газов за турбиной при запуске двигателя АИ-9 не должна превышать 850°C.

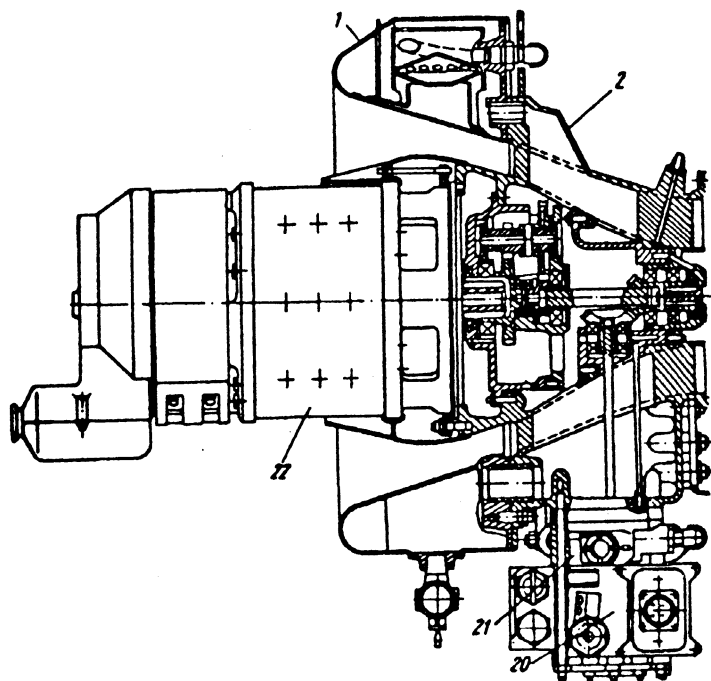
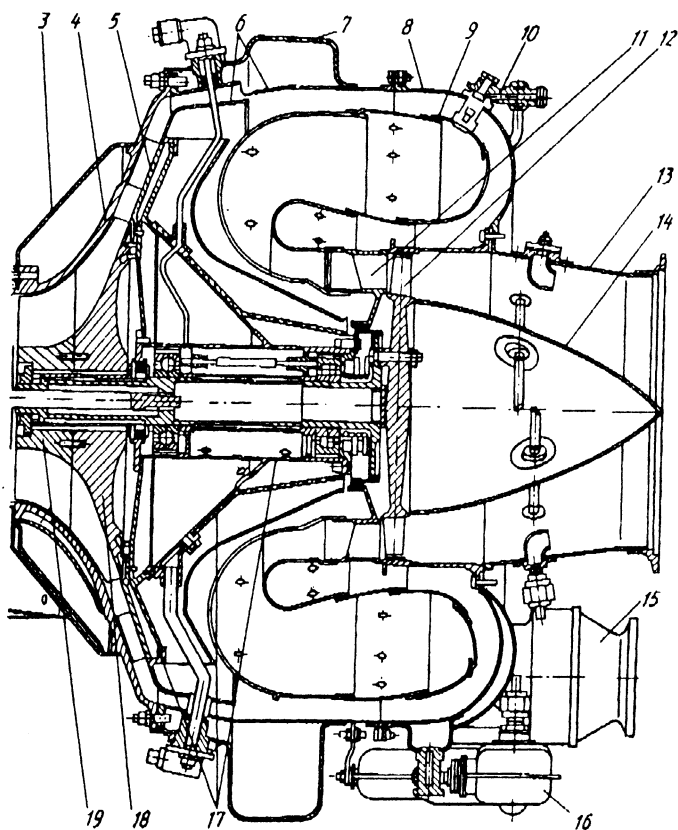


Рис. 10.1. Продольный раз

1 — воздухозаборник; 2 — корпус приводов; 3 — демпфер; 4 — кожух компрессора; 7 — ресивер; 8 — корпус камеры сгорания; колесо турбины; 13 — кожух выходного сопла; 14 — стекатель; 17 — корпус ротора; 18 — колесо компрессора; 19 — входной насос; 22 — стартер-генератор



рез двигателя АИ-9В:

корпус компрессора передний; 5 — диффузор радиальный; 6 —
9 — жаровая труба; 10 — форсунка; 11 — сопловой аппарат; 12 —
15 — клапан перепуска воздуха КП-9В; 16 — бачок дренажный;
направляющий аппарат; 20 — насос-регулятор НР-9В; 21 — масло-
СТГ-3 серии II

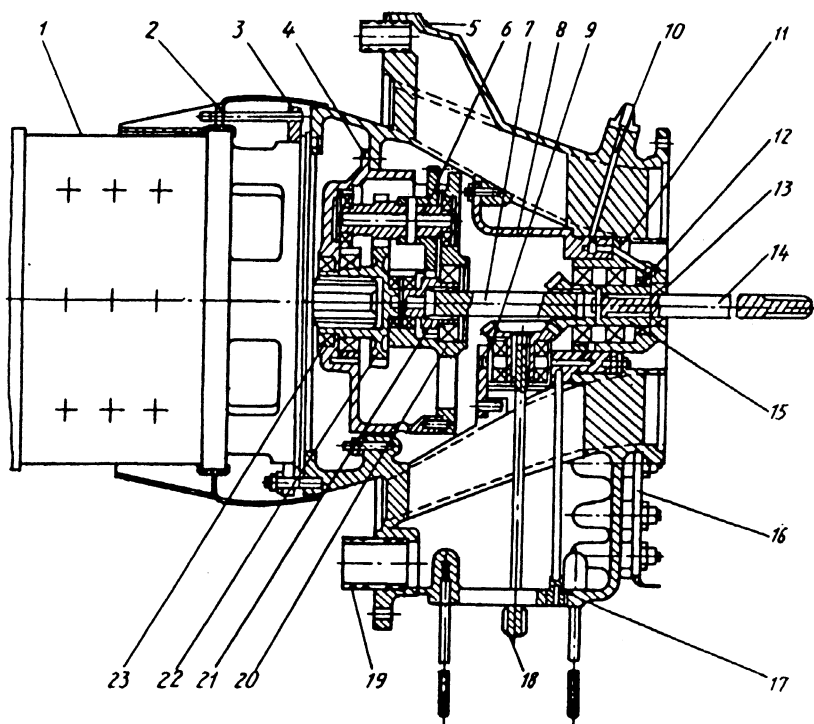


Рис. 10.2. Корпус приводов:

1 — стартер-генератор; 2 — кожух эжектора; 3 — кольцо прижимное;
 4 — корпус редуктора; 5 — корпус приводов; 6 — блок шестерен; 7,
 14, 18 — рессора; 8 — корпус центрального привода; 9 — жиклер;
 10 — канал подвода воздуха на подпор лабиринтного уплотнения; 11 —
 корпус подшипников; 12, 23 — манжета резиновая; 13 — лабиринт;
 15 — шестерня центрального привода ведущая; 16 — кронштейн креп-
 ления пускового насоса 726; 17 — трубка; 19 — втулка; 20 — крышка;
 21, 22 — шестерня редуктора

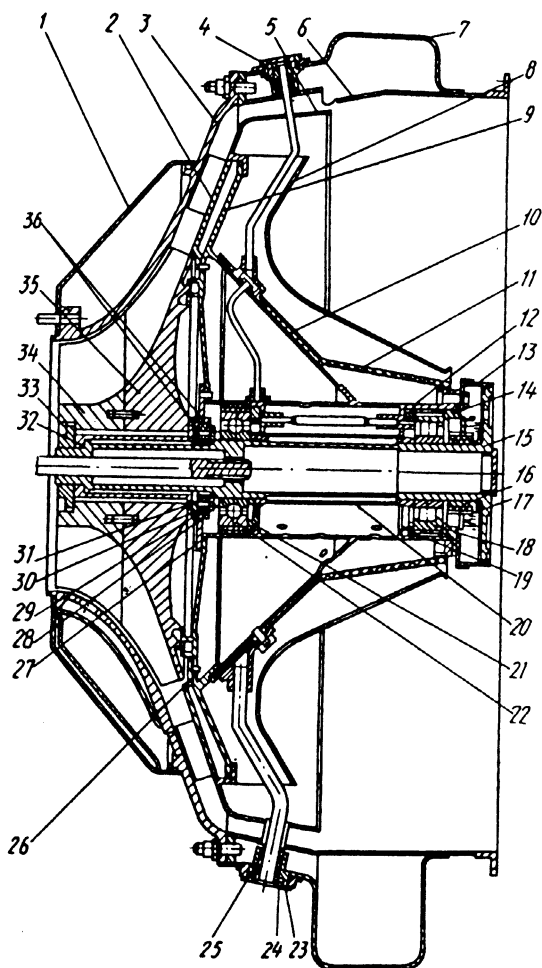


Рис. 10.3. Компрессор:

- 1 — демпфер; 2 — диффузор радиальный; 3 — корпус передний; 4 — фланец крепления корпуса маслофильтра; 5 — обечайка внутренняя; 6 — обечайка наружная; 7 — ресивер; 8 — экран; 9 — диафрагма; 10 — конус; 11 — поддон; 12 — корпус; 13 — кольцо лабиринтное; 14 — фланец лабиринтов; 15 — вал турбины; 16 — лабиринт торцевой; 17 — лабиринт торцевой; 18 — подшипник роликовый; 19 — кольцо форсуночное заднее; 20 — втулка распорная; 21 — кольцо форсуночное переднее; 22 — подшипник шариковый; 23 — фланец крепления трубопровода откачки масла из корпуса ротора; 24, 33 — гайка; 25 — кольцо уплотнительное; 26 — кольцо регулировочное диффузора; 27 — корпус переднего уплотнения; 28 — кольцо регулировочное рабочего колеса компрессора; 29 — кольцо уплотнительное железоникельграфитовое; 30 — кольцо разрезное стальное; 31 — кольцо распорное; 32 — втулка шлицевая; 34 — входной направляющий аппарат; 35 — рабочее колесо компрессора; 36 — кольцо уплотнения

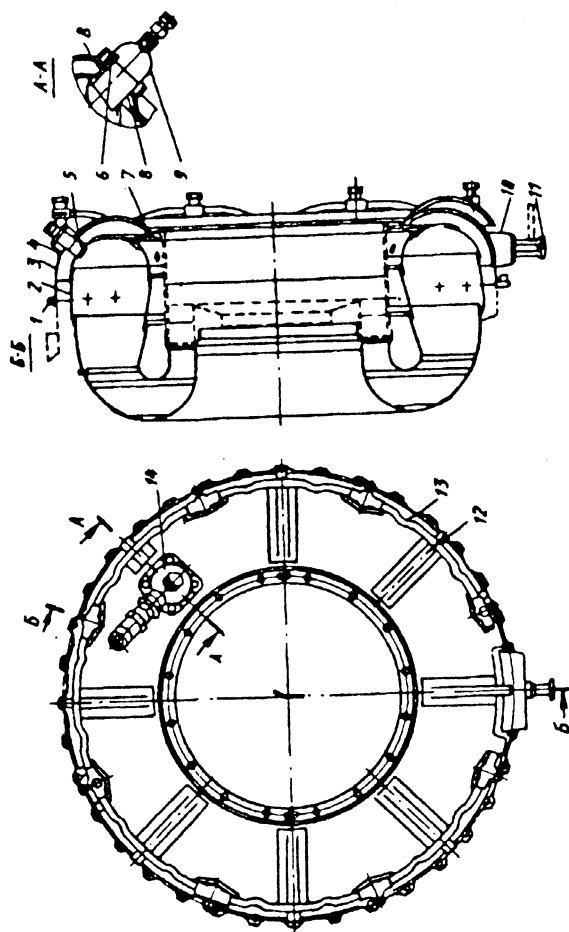


Рис. 10.4. Камера сгорания:

1 — фланец крепления корпуса компрессора; 2 — жаровая труба; 3 — корпус камеры сгорания; 4 — фланец крепления рабочих форсунок; 5 — форсунка; 6 — дефлектор; 7 — фланец крепления соплового аппарата и выходного сопла; 8 — юбка воспламенителя; 9, 14 — воспламенитель; 10 — коробка дренажа; 11 — штуцер; 12 — ребро жесткости; 13 — коллектор топливный;

В — отверстия для подвода воздуха в полость воспламенителя

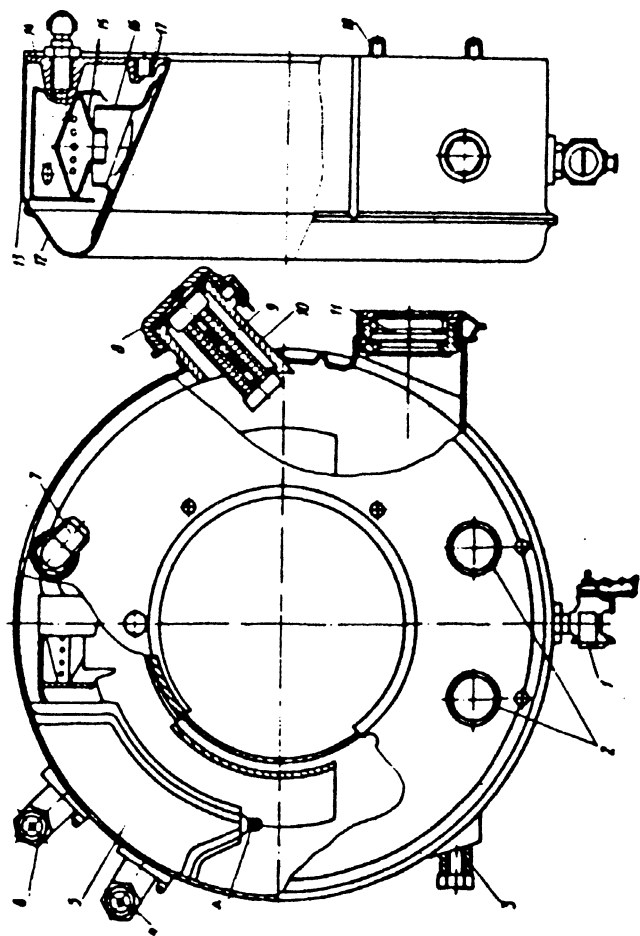


Рис. 10.5. Маслобак:

1 — кран сливной; 2 — канал соединения маслобака с полостью корпуса привода; 3 — бобышка для установки термометра при отладке двигателя; 4 — штуцер отвода воздуха в выходное сопло; 5 — бакоч суфлирующий; 6 — штуцер суфлирования масляной полости подшипников ротора; 7 — штуцер подвода масла из откачивающей секции маслонасоса; 8 — крышка; 9 — фильтр; 10 — горловина заливная; 11 — окно смотровое; 12 — обечайка внутренняя; 13 — обечайка наружная; 14 — стенка; 15 — воздухоотделитель; 16 — кожух; 17 — канал суфлирования масляной полости корпуса привода с маслобаком; 18 — шпилька;

А — отверстия слива масла из суфлирующего бака

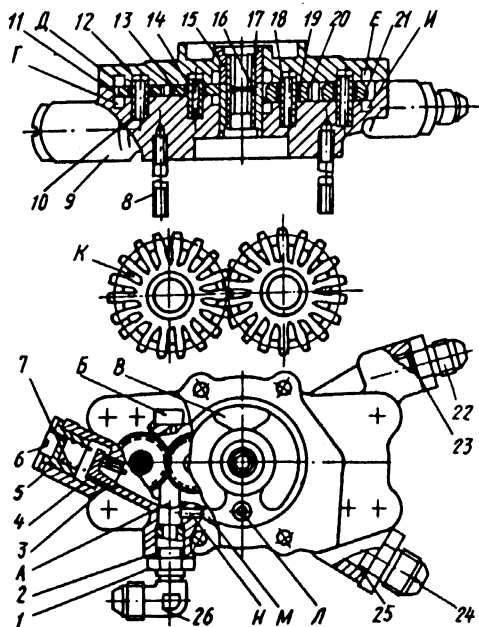


Рис. 10.6. Маслонасос:

1 — гайка; 2, 5, 23, 25 — кольцо уплотнительное резиновое; 3 — втулка; 4 — клапан; 6 — заглушка; 7 — пружина; 8 — шпилька; 9 — корпус маслонасоса; 10, 18 — ось; 11, 13 — шестерни нагнетающей секции; 12 — крышка маслонасоса; 14, 19 — втулка шестерни бронзовая; 15 — подшипник скольжения; 16 — кольцо пружинное; 17 — шестерня привода насоса; 20, 21 — шестерни откачивающей секции; 22 — штуцер отвода масла в воздухоотделитель; 24 — штуцер откачки масла из полости корпуса ротора; 26 — штуцер подвода масла к маслофильтру; А, М — полость масляная; Б — полость всасывания; В — окно всасывания; Г, Д — каналы всасывания нагнетающей ступени; Е, И — каналы всасывания откачивающей ступени; К — канавка радиально-фрезерованная; Л — отверстие для выхода масла на смазку деталей редуктора и центрального привода; Н — канал

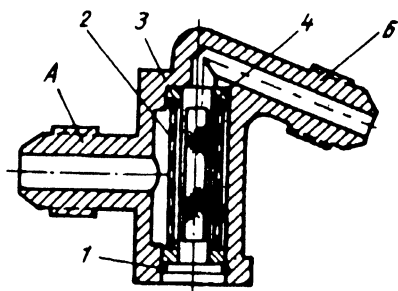


Рис. 10.7. Маслофильтр:

1 — кольцо стопорное; 2 — сетка; 3 — корпус фильтра; 4 — сифон;
А — штуцер входной; Б — штуцер отвода масла к МСТВ-1,2А

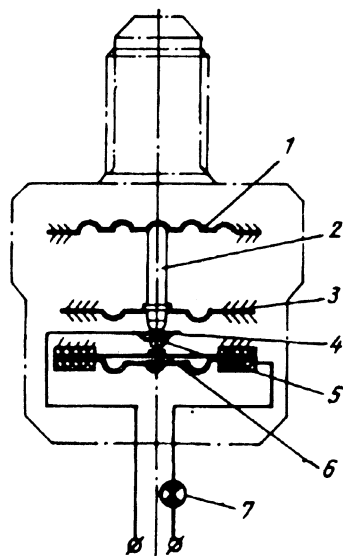


Рис. 10.8. Принципиальная схема сигнализатора минимального давления масла:

1 — мембрана; 2 — шток; 3 — упор; 4 — пружина; 5 — контакт подвижный; 6 — контакт неподвижный; 7 — лампа сигнальная

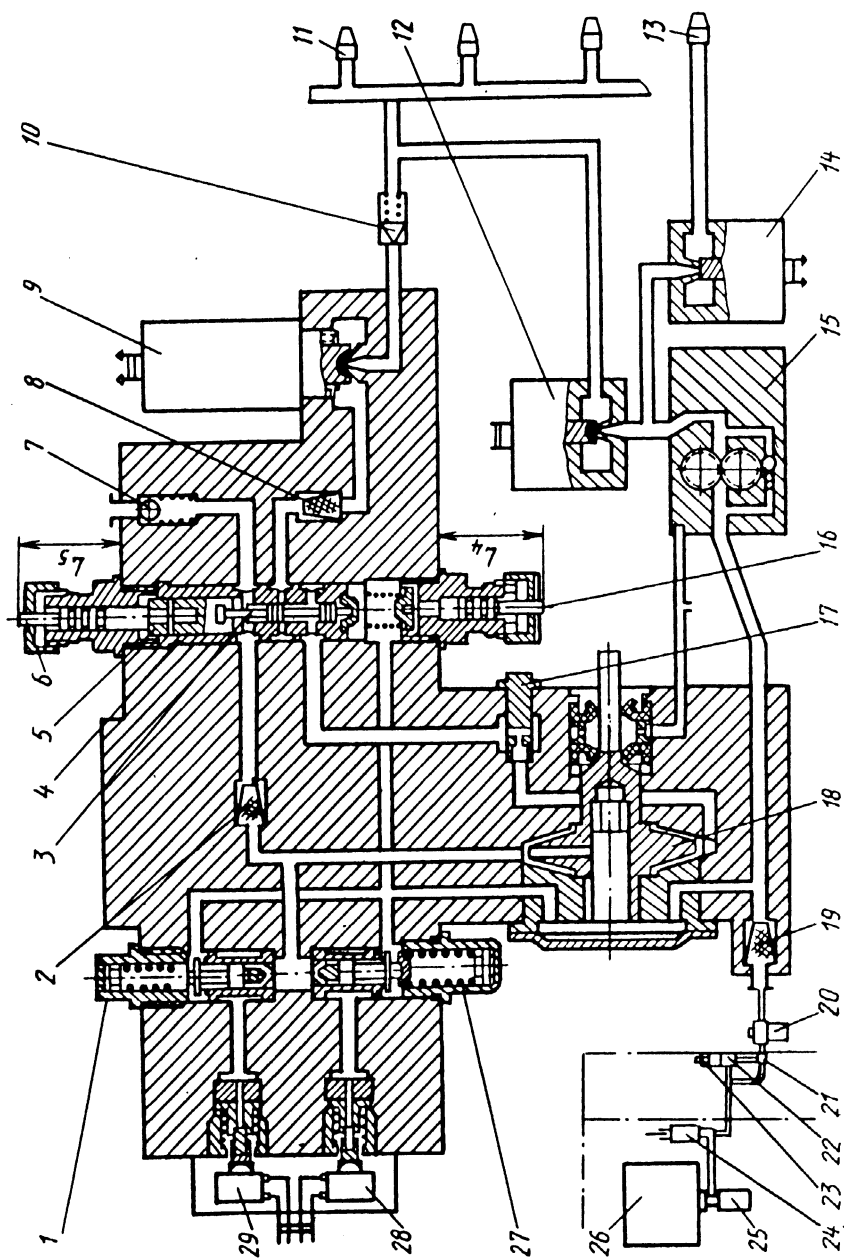


Рис. 10.9. Схема топливной системы двигателя АИ-9В:

1, 27 — колпачок предельно допустимой и рабочей частоты вращения ротора двигателя; 2, 8, 19 — фильтр топливный (входной, командного давления, выхода топлива к рабочим форсункам); 3 — золотник; 4 — втулка золотника; 5 — втулка промежуточная с пазом; 6 — винт № 5 регулирования минимального расхода топлива; 7 — клапан стравливания; 9 — клапан останова; 10 — клапан обратный; 11 — форсунка топливная рабочая; 12 — клапан подачи пускового топлива на рабочие форсунки в процессе запуска; 13 — воспламенитель пусковой; 14 — клапан пускового топлива; 15 — насос пусковой; 16 — винт № 4 регулирования рабочей частоты вращения; 17 — жиклер сменный; 18 — насос; 20 — фильтр тонкой очистки с клапаном консервации; 21 — клапан предельный; 22 — клапан пожарный отсечной; 23 — кнопка включения пожарного клапана при обслуживании; 24 — кран пожарный правый; 25 — насос подкачивающий; 26 — бак топливный расходный; 28, 29 — сигнализатор рабочей и предельной частоты вращения ротора двигателя

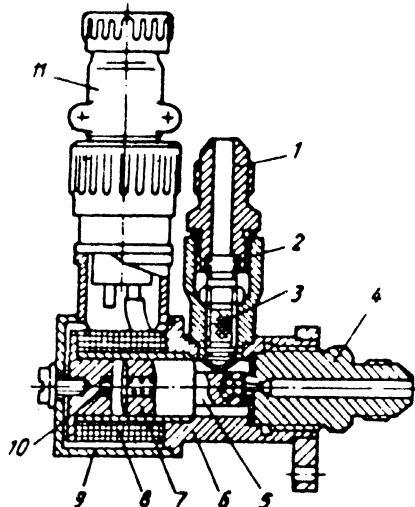


Рис. 10.10. Клапан пускового топлива:

1 — штуцер подвода топлива; 2, 10 — пружина; 3 — фильтр; 4 — штуцер отвода топлива; 5 — клапан; 6 — корпус клапана; 7 — якорь; 8 — обмотка; 9 — крышка; 11 — соединитель электрический

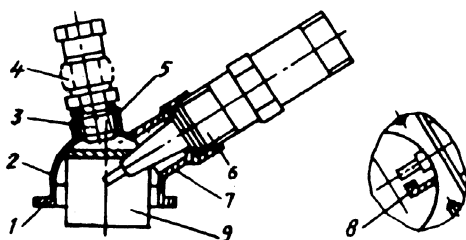


Рис. 10.11. Воспламенитель:

1 — фланец крепления воспламенителя к корпусу камеры сгорания; 2 — корпус; 3 — форсунка пусковая; 4 — коллектор топливный; 5 — бобышка для крепления пусковой форсунки; 6 — свеча; 7 — бобышка для крепления свечи; 8 — разрядник; 9 — дефлектор

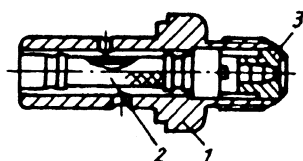


Рис. 10.12. Пусковая форсунка:

1 — корпус; 2 — фильтр; 3 — распылитель

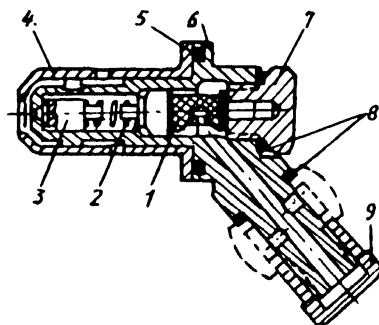


Рис. 10.13. Рабочая форсунка:

1 — фильтр; 2 — пружина; 3 — завихритель; 4 — кожух; 5, 8 — кольцо уплотнительное; 6 — корпус; 7 — пробка; 9 — гайка

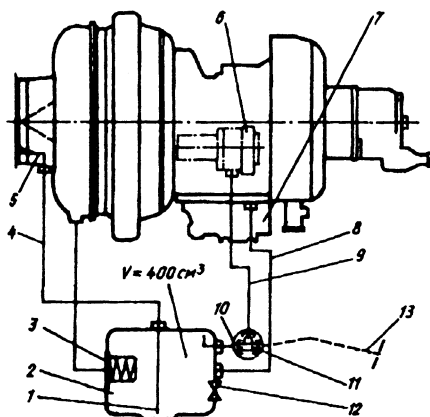


Рис. 10.14. Схема дренажной системы:

1, 4 — трубопроводы отвода топлива из бака в эжекторный патрубок; 2 — бак; 3 — клапан; 5 — патрубок эжекторный; 6 — пусковой топливный насос 726; 7 — насос-регулятор НР-9В; 8 — трубопровод дренажа уплотнения привода насоса-регулятора; 9 — трубопровод дренажа уплотнения привода пускового насоса; 10, 13 — трубопроводы суфлирования бака; 11 — тройник суфлирования дренажной системы с закапотным пространством; 12 — сливной кран (закрит пробкой)

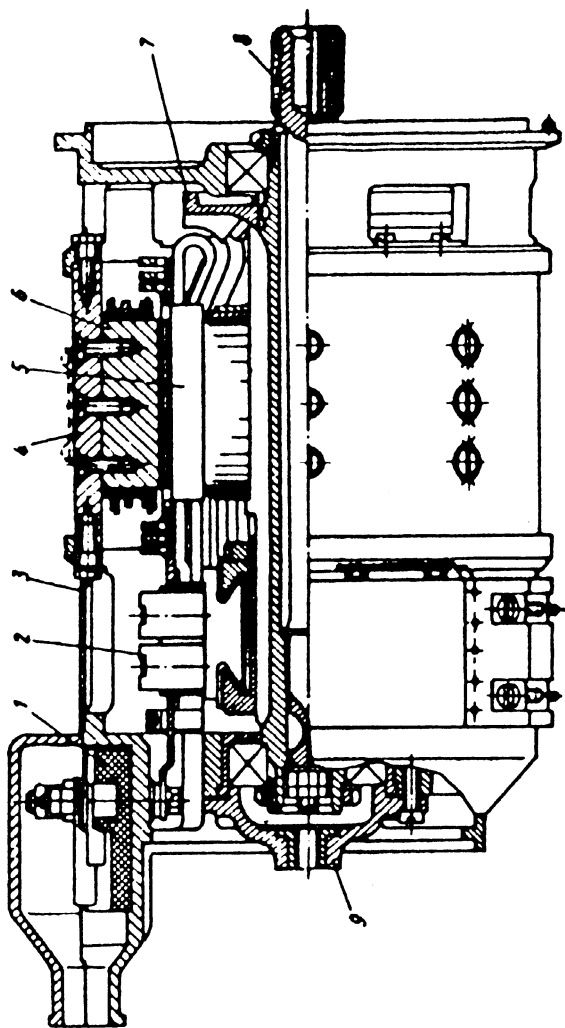


Рис. 10.15. Стартер-генератор СТГ-3 серии II:

1 — панели; 2 — щетки; 3 — лента защитная; 4 — корпус; 5 — якорь; 6 — полюс дополнительный; 7 — вентилятор; 8 — вал приводной; 9 — фланец

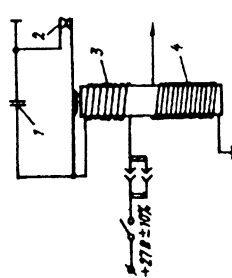


Рис. 10.16. Схема агрегата зажигания:

1 — конденсатор; 2 — вибратор;
3 — обмотка первичная; 4 — обмотка вторичная

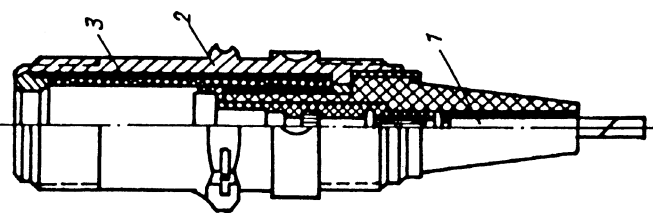


Рис. 10.17. Пусковая свеча:

1 — сердечник; 2 — корпус-электрод; 3 — трубка керамическая

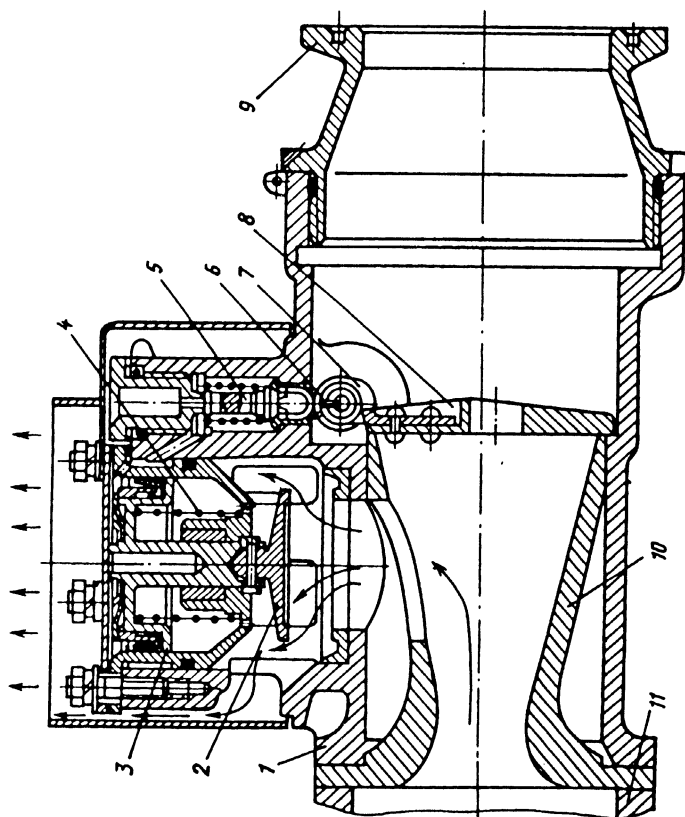


Рис. 10.18. Клапан перепуска воздуха КП-9В:

1 — корпус клапана; 2 — грибок клапана; 3 — поршень; 4 — пружина поршня; 5 — клапан малый; 6 — пружина заслонки; 7 — кулачок заслонки; 8 — заслонка клапана; 9 — фланец присоединения трубопровода потребителя воздуха; 10 — сопло Вентури; 11 — фланец горловины ресивера

$P_{отб, узд}, \text{ МПа (кгс/см}^2\text{)}$

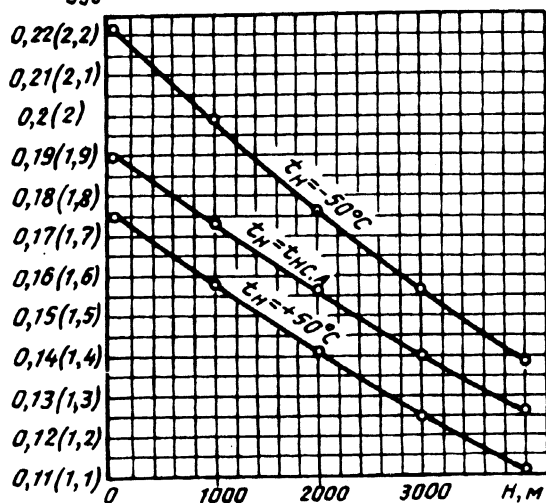


Рис. 10.19. График изменения давления воздуха в магистрали отбора воздуха от двигателя АИ-9В при его работе на холостом ходу (без отбора на потребители) в зависимости от окружающей температуры и высоты расположения аэродрома или полета

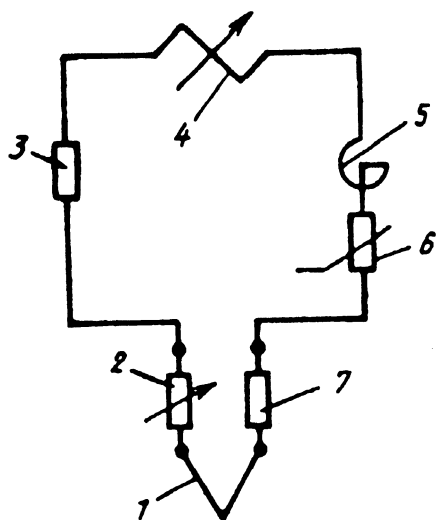


Рис. 10.20. Электросхема измерения температуры газов за турбиной двигателя:

1 — термопара Т-82С; 2 — сопротивление подгоночное; 3 — сопротивление добавочное; 4 — измеритель ТСТ-2; 5 — биметаллический корректор; 6 — термосопротивление; 7 — сопротивление компенсационных проводов и термопар

ГЛАВА XI

ОТЛИЧИТЕЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ДВИГАТЕЛЯ ТВЗ-117ВМА

Двигатель ТВЗ-117ВМА является модификацией двигателя ТВЗ-117ВМ и предназначен для установки на вертолеты как основной, так и одновинтовой схем (кроме вертолета Ми-8 всех модификаций). В зависимости от типа вертолета и климатических условий двигатель может эксплуатироваться с установленным на входе пылезащитным устройством (ПЗУ) либо без него. Обтекатель с кронштейном крепления на двигателе не устанавливается.

11.1. ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ДАННЫЕ ДВИГАТЕЛЯ

Для двигателя ТВЗ-117ВМА основными режимами работы являются: взлетный, номинальный, I и II крейсерские и малый газ, причем взлетный режим по своим параметрам соответствует чрезвычайному режиму для двигателя ТВЗ-117ВМ.

Значения основных параметров двигателей по режимам при стандартных атмосферных условиях приведены в табл. 11.1.

Таблица 11.1

Значения основных параметров двигателя по режимам при стандартных атмосферных условиях

Режим	Мощность на выводном валу, кВт		Частота вращения. %				Температура газа перед турбиной, °С, не более		Удельный расход топлива, кг/кВт·ч, не более	
			ротора ТК		ротора НВ					
	без ПЗУ	с ПЗУ	без ПЗУ	с ПЗУ	одно-винтовая схема	соосная схема	без ПЗУ	с ПЗУ	без ПЗУ	с ПЗУ
Взлетный	1617	1544	97,4 ±0,5	97,4 ±0,5	93±1	88±1	920	915	0,313	0,322
Номинальный	1250	1250	94,7 ±0,5	95,2 ±0,5	95±2	90±2	845	855	0,337	0,341
I крейсерский	1103	1103	93,6 ±0,5	94,1 ±0,5	95±2	90±2	815	825	0,351	0,356
II крейсерский	882	882	91,7 ±0,5	92,2 ±0,5	95±2	90±2	770	780	0,378	0,385
Малый газ	147		72...78		55 ⁺¹⁵ ₋₁₀	50 ⁺¹⁵	780		165	

При работе двигателя на взлетном режиме поддержание постоянства мощности на выводном валу обеспечивается электронным регулятором двигателя (ЭРД) до высоты полета 2,2 км. При работе двигателя на земле и стандартном атмосферном давлении ЭРД поддерживает постоянство взлетной мощности до температуры наружного воздуха 30°C.

Ограничения времени работы движения на основных режимах приведены в табл. 11.2.

Таблица 11.2

Ограничения времени работы двигателя на основных режимах

Режим	Допустимое время непрерывной работы, мин	Допустимое время работы, % от ресурса
Взлетный	6 От 6 до 15 От 15 до 30	5 1,25 (входит в 5%) Два раза за ресурс (входит в 5%)
	90 (при неработающем втором двигателе)	Один раз за ресурс, после чего двигатель подлежит замене
Номинальный	60	40
Крейсерские	Не ограничено	Не ограничено
Малый газ	20	Не ограничено

Максимально допустимая измеренная частота вращения ротора ТК на взлетном режиме составляет 101,15%, а температура газа перед турбиной 990°C. Ограничение данных параметров обеспечивает электронная часть системы автоматического регулирования. В случае отказа электронного регулятора двигателя параметры двигателя ограничиваются путем уменьшения максимального расхода топлива. При этом максимальная измеренная частота вращения ротора ТК составляет 102,5%, а мощность двигателя может достигать значения 1985 кВт.

Контроль работы двигателя и его систем на режимах производится по указателю измерителя режимов ИР-117В, по частоте вращения роторов ТК и НВ, температуры газа перед турбиной, давлению и температуре масла, а также по предупредительным сигналам, выдаваемым контролирующей аппаратурой на светосигнальные табло. Перечень сигналов приведен в гл. I (табл. 1.1). В зависимости от типа вертолета тексты сигналов могут отличаться от приведенных в таблице. Так, на вертолетах соосной схемы вступления в работу ЭРД или (и) регулятора температуры на взлетном режиме контролируется по табло «ОГРАНИЧЕНИЕ РЕ-

ЖИМА ЛЕВ. (ПРАВ.) ДВИГ.», а срабатывание системы защиты свободной турбины — по табло «ОБОРОТЫ СТ».

11.2. УПРАВЛЕНИЕ ДВИГАТЕЛЕМ

На вертолетах одновинтовой схемы управление двигателем осуществляется рычагом «шаг—газ», рукояткой коррекции и рычагами раздельного управления (РРУД). Воздействие данных органов управления на двигатель описано в гл. VIII (разд. 8.4).

На вертолетах соосной схемы основными органами управления двигателя являются: рычаг общего шага (РОШ) и РРУД*.

РОШ кинематически связан с автоматом перекоса несущих винтов и с насосами-регуляторами обоих двигателей, а РРУД — только с насосами-регуляторами.

Перевод двигателей с режима малого газа на основные полетные режимы производится одновременным перемещением обоих РРУД в положение «АВТОМАТИКА», что соответствует переводу ручки коррекции вправо на вертолетах одновинтовой схемы. Шаг несущих винтов при этом сохраняется минимальным, соответствующим $\varphi_{\text{нв}}=4^\circ$. Дальнейшее повышение режима работы двигателей осуществляется увеличением шага несущих винтов при помощи РОШ. При выводе двигателей на взлетный режим $\varphi_{\text{нв}}$ достигает значения $22...23^\circ$.

Ручная перенастройка частоты вращения несущих винтов при помощи механизма 15%-ной коррекции на вертолетах соосной схемы не предусмотрена.

При обрыве в полете гибкого валика привода РЧВ_{СТ} отключение синхронизатора мощности исправного двигателя происходит при достижении $n_{\text{нв}}=(101\pm 2)\%$.

11.3. КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ДВИГАТЕЛЯ И ЕГО СИСТЕМ

Основные узлы двигателя ТВЗ-117ВМА, его масляная система и система запуска по конструктивному выполнению и принципу работы не отличаются от аналогичных систем двигателя ТВЗ-117ВМ.

Некоторые отличительные особенности имеют системы топливопитания и автоматического регулирования, что связано с перенастройкой топливорегулирующей аппаратуры на повышенную мощность на взлетном режиме.

На двигателе ТВЗ-117ВМА вместо агрегатов НР-ЗВМ и ЭРД-ЗВМ установлены агрегаты НР-ЗВМА и ЭРД-ЗВМА.

Насос-регулятор НР-ЗВМА отличается от НР-ЗВМ повышенной настройкой ограничителя максимального расхода топлива (ОМР),

* На некоторых модификациях вертолетов РРУД называются командными рычагами управления двигателем — КРУД.

в результате чего исключается возможность его влияния на работу ЭРД на взлетном режиме. Проверка и регулировка ОМР в процессе эксплуатации не предусмотрена, в связи с чем график D (см. рис. 8.65) к формуляру двигателя не прилагается.

При установке двигателя на вертолет соосной схемы рычаг перенастройки РЧВст на насосе-регуляторе фиксируется в положении $(66 \pm 2)^\circ$. В процессе эксплуатации рычаг перенастройки можно использовать для регулирования частоты вращения несущих винтов вместо регулировочного винта 4. Перемещение рычага на 1° по лимбу изменяет $n_{нв}$ на 0,135%.

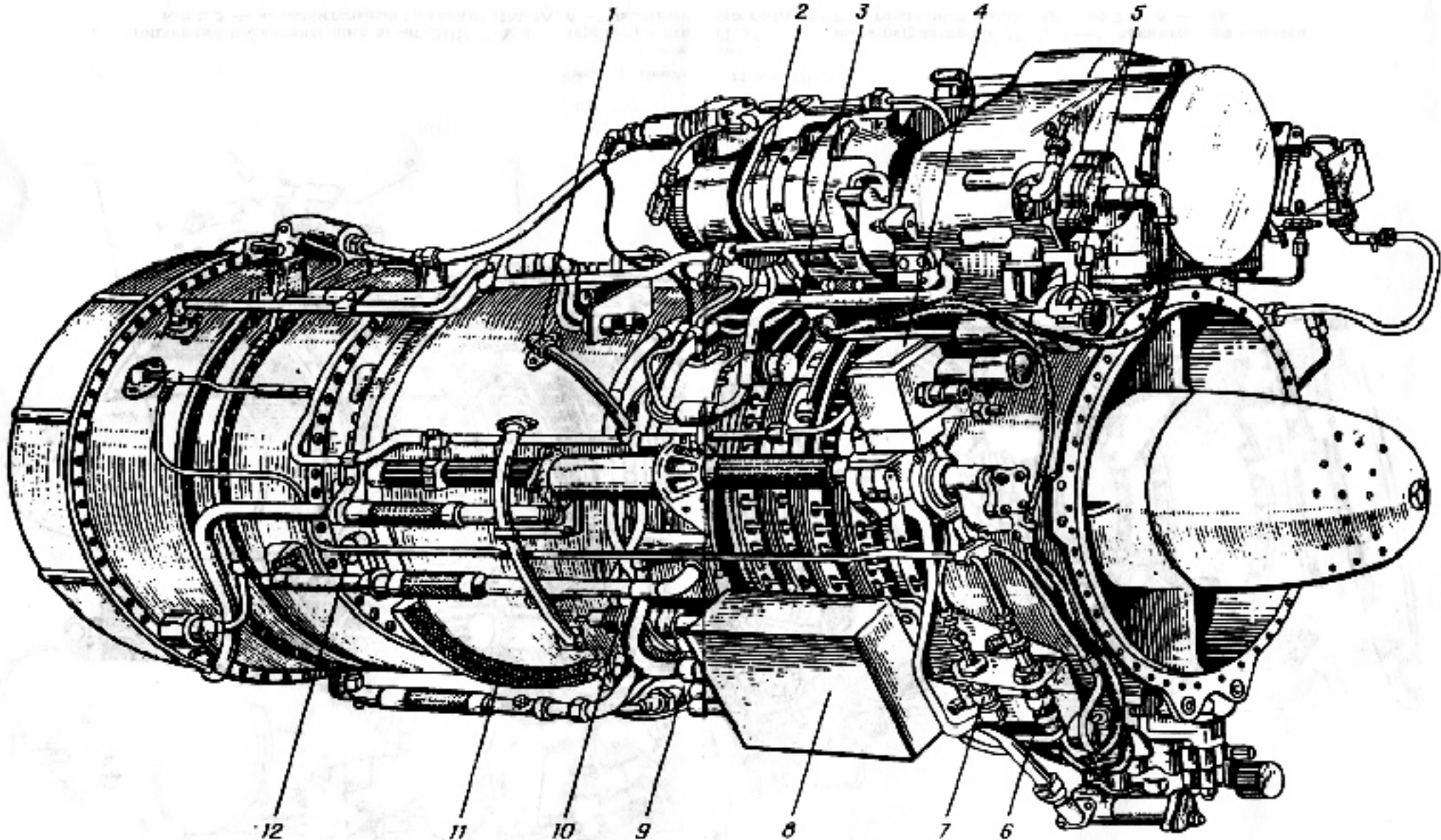
Отличительной особенностью ЭРД-ЗВМА является повышенная настройка контура турбокомпрессора на взлетном режиме на (1—1,2)% по сравнению с ЭРД-ЗВМ. При этом ограничение $n_{тк}$ на взлетном режиме осуществляется по следующему закону:

$$n_{тк} = 110,2 + 0,159t_n - 14,41p_n .$$

Конструктивных отличий ЭРД-ЗВМА от ЭРД-ЗВМ не имеет.

Глава I. Общие сведения о двигателе	3
1.1. Краткая характеристика основных узлов и систем двигателя	4
1.2. Принцип работы двигателя	7
1.3. Понятие о режимах работы	10
1.4. Основные данные двигателя	12
Глава II. Компрессор	20
2.1. Принцип работы ступени осевого компрессора	20
2.2. Конструкция компрессора	22
Ротор	22
Статор	26
Передняя (первая) опора ротора компрессора	33
Задняя (вторая) опора ротора компрессора	35
2.3. Система управления компрессором	38
Помпаж осевого компрессора	38
Система управления клапанами перепуска воздуха в атмосферу	41
Управление осевым компрессором поворотом лопаток ВНА и НА I...IV ступеней	43
2.4. Противообледенительная система	46
Работа системы	47
Агрегаты противообледенительной системы	48
2.5. Возможные неисправности компрессора	49
Техническое обслуживание компрессора	50
Глава III. Камера сгорания	74
3.1. Организация процесса сгорания	74
3.2. Конструкция камеры сгорания	76
3.3. Возможные неисправности камеры сгорания	80
Глава IV. Газовые турбины и выходное устройство	87
4.1. Принцип работы реактивной ступени турбины	88
4.2. Конструкция турбины компрессора	89
Ротор турбины компрессора	90
Статор турбины компрессора	94
Задняя опора ротора турбины компрессора (третья опора двигателя)	96
Охлаждение турбины компрессора	98
4.3. Конструкция свободной турбины	100
Ротор свободной турбины	100
Статор свободной турбины	102
Опоры ротора свободной турбины	104
Охлаждение свободной турбины	107

4.4. Выходное устройство	108
Охлаждение деталей выходного устройства	110
4.5. Возможные неисправности газовых турбин и выходного устройства	111
Техническое обслуживание	113
Глава V. Система приводов	125
5.1. Кинематическая схема приводов агрегатов	125
5.2. Конструкция приводов агрегатов	126
Привод регулятора частоты вращения ротора свободной турбины	126
Центральный привод	129
Коробка приводов	131
5.3. Возможные неисправности и техническое обслуживание приводов	134
Замена деталей узла уплотнения привода насоса ДЦН-70А	136
Замена горизонтального гибкого вала привода регулятора $n_{ст}$	137
Глава VI. Масляная система	151
6.1. Общая характеристика маслосистемы	152
6.2. Работа системы смазки	155
6.3. Работа системы суфлирования	158
6.4. Агрегаты масляной системы	160
Масляный агрегат МА-78	160
Насос откачки масла из коробки приводов	164
Масляный фильтр	166
Отсечной клапан	168
6.5. Возможные неисправности маслосистемы	168
Техническое обслуживание масляной системы	171
Глава VII. Топливная система	183
7.1. Общая характеристика топливной системы	183
7.2. Работа топливной системы	184
7.3. Агрегаты топливной системы	185
Центробежный топливный насос ДЦН-70А	185
Топливный фильтр 8Д2.966.236	188
Дренажный клапан	189
Топливный коллектор с форсунками	190
Эжектор	192
Клапан наддува воздуха	192
7.4. Характерные неисправности агрегатов топливной системы	193
Глава VIII. Система автоматического регулирования	202
8.1. Общая характеристика системы регулирования	202
8.2. Программа регулирования	203
8.3. Структурная схема системы автоматического регулирования	207
8.4. Принцип работы системы автоматического регулирования	212
Работа системы регулирования при запуске двигателя	212
Работа системы регулирования при переходе двигателя на основные эксплуатационные режимы	213
Работа системы регулирования на основных эксплуатационных режимах	214
Работа системы регулирования на взлетном режиме	215
Работа системы регулирования при останове двигателя системой защиты свободной турбины	216
8.5. Агрегаты и устройства системы основного контура и системы регулирования компрессора. Насос-регулятор НР-3ВМ	216



6 — вид справа:

1 — свеча зажигания СП-26ПЗТ; 2 — воздушный турбостартер СВ-78БА; 3 — коллектор проводов; 4 — заслонка 1919Т; 5 — масляный фильтр; 6 — датчик давления масла ИД-8; 7 — датчик сигнализатора минимального давления масла МСТВ-2,5; 8 — агрегат зажигания СК-22-2К; 9 — гидроцилиндр; 10 — клапан наддува воздуха; 11 — коллектор термопар; 12 — термопара Т-102

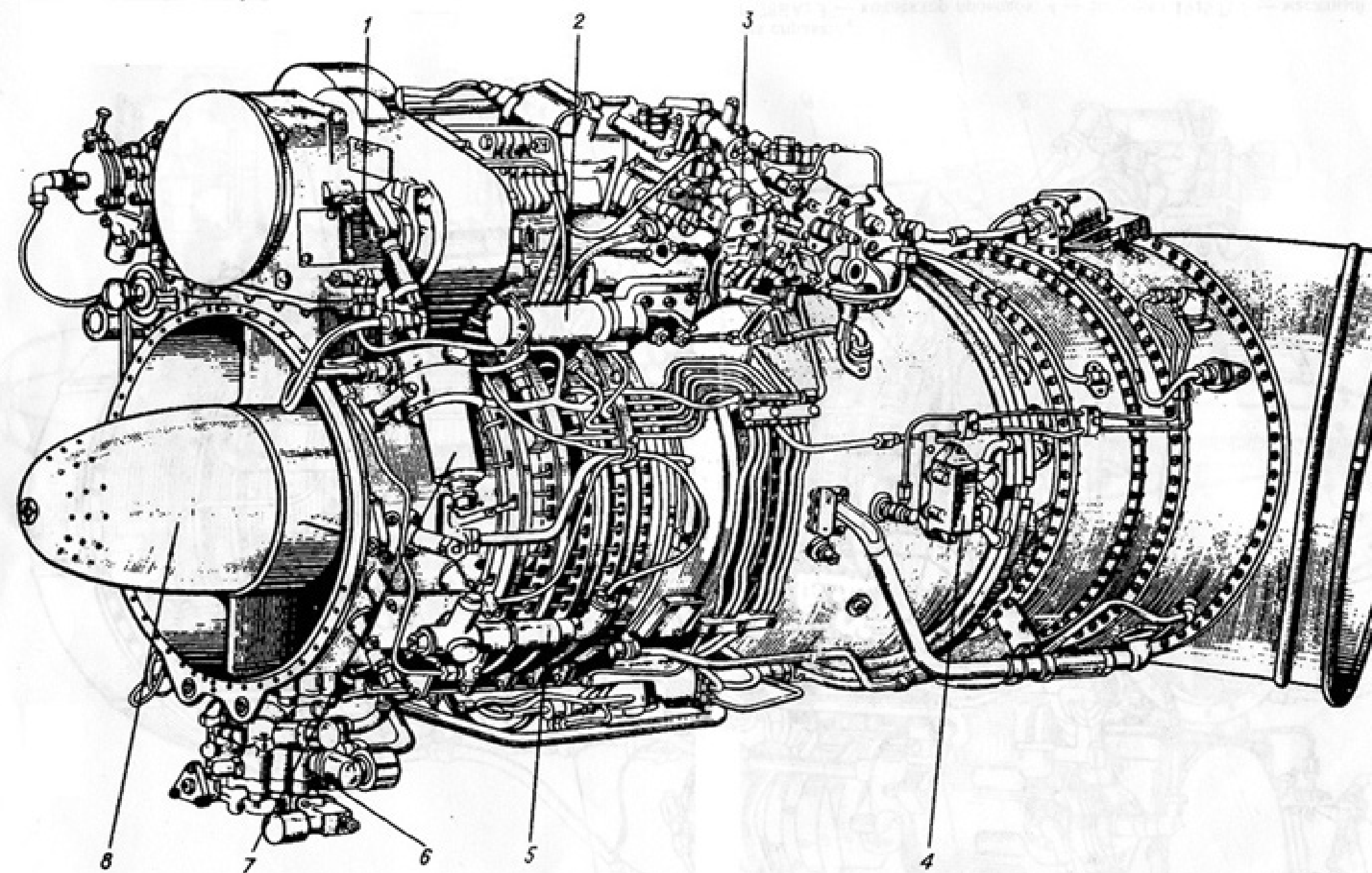


Рис. 1.1. Двигатель ТВ3-117ВМ:

а — вид слева;

1 — топливный подкачивающий насос ДЦН-70А; 2 — термокорректор ПТ-5ТС; 3 — насос-регулятор НР-3ВМ; 4 — соединительная колодка К-82; 5 — исполнительный механизм ИМ-3А; 6 — масляный агрегат МЛ-78; 7 — топливный фильтр 8Д2.966.236; 8 — кок.

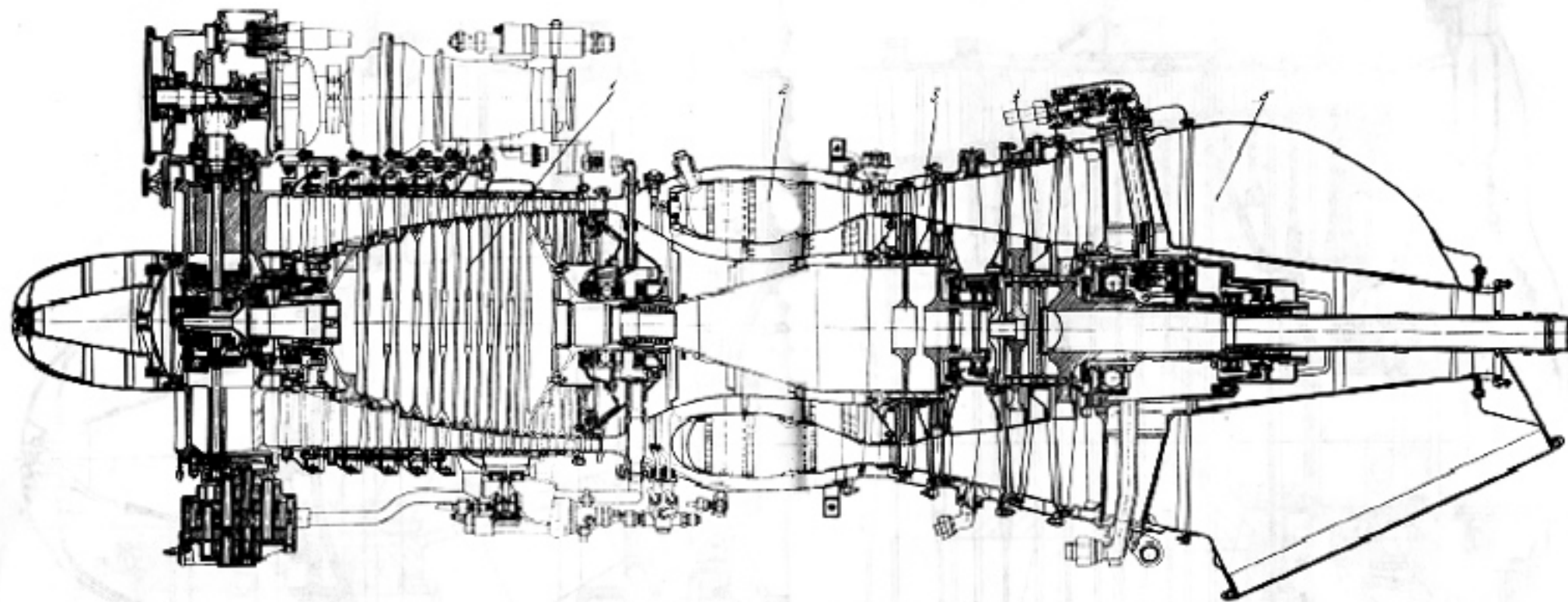


Рис. 1.2. Продольный разрез двигателя.

1 – компрессор; 2 – камера сгорания; 3 – турбина компрессора; 4 – свободная турбина; 5 – выходное устройство

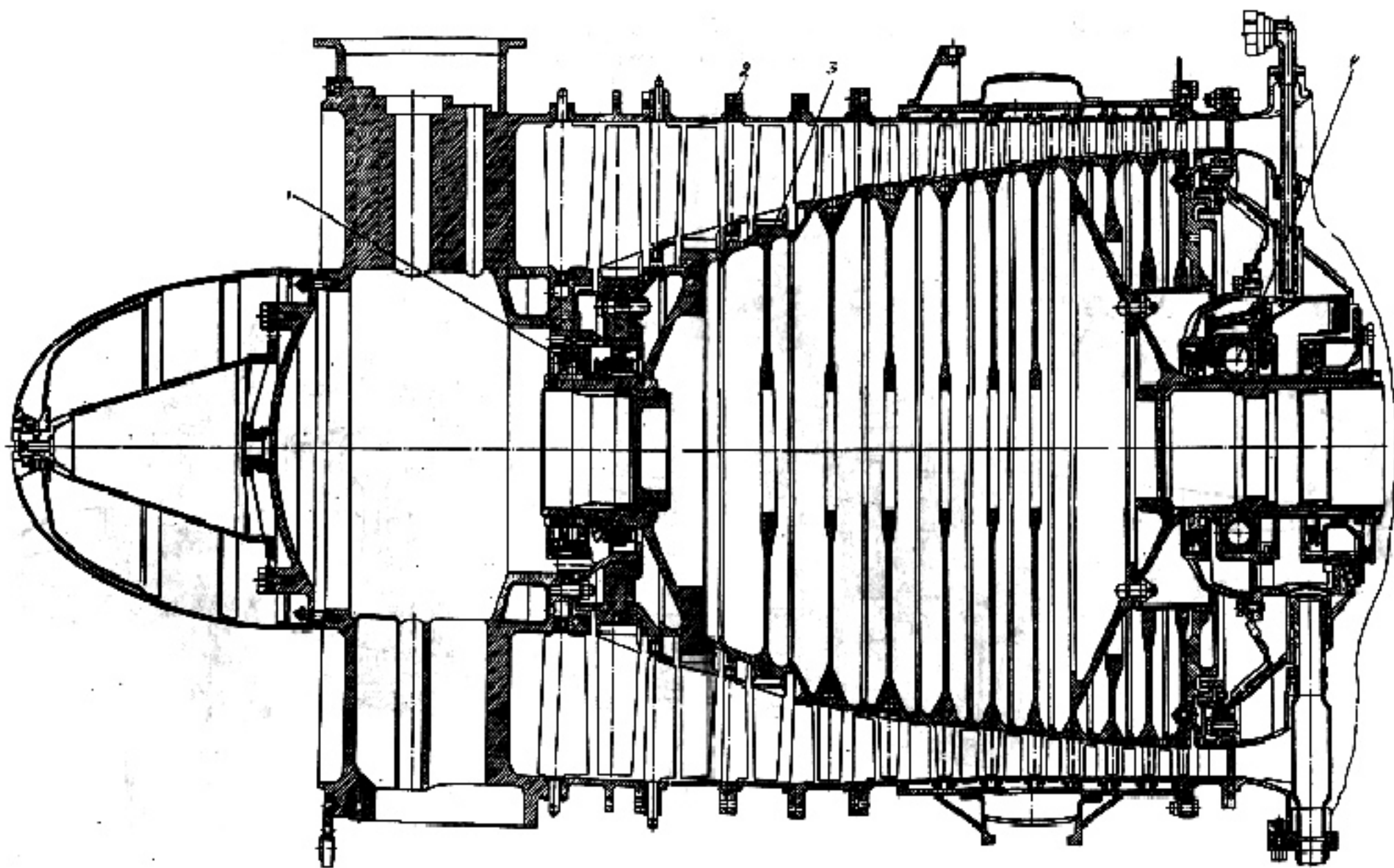


Рис. 2.3 Компрессор

1-передняя (первая) опора ротора, 2-статор, 3-ротор, 4-задняя (вторая) опора ротора

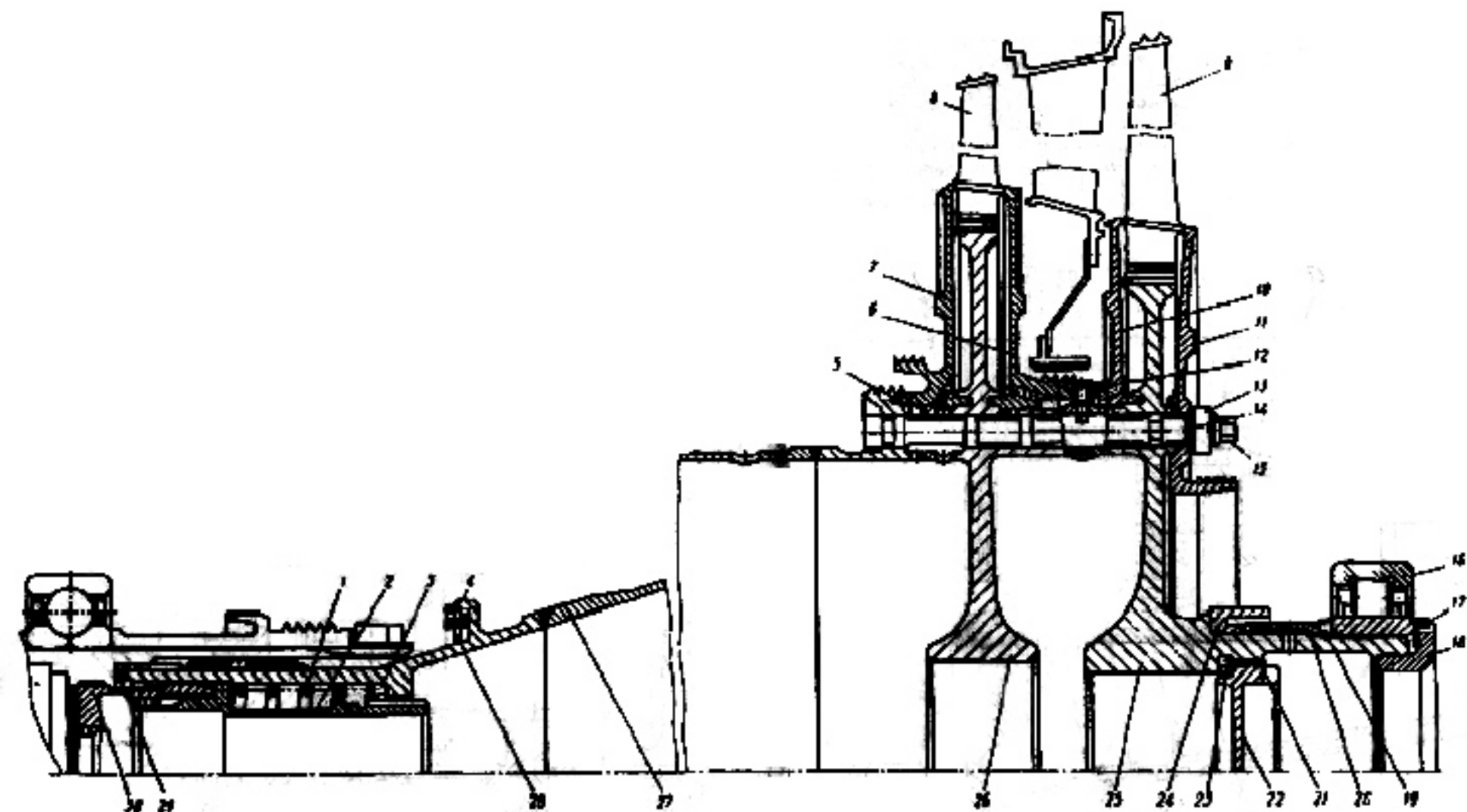


Рис. 4.2. Ротор турбины компрессора:

1 — пружина фиксатора; 2 — фиксатор; 3, 19, 29 — регулировочные кольца; 4, 5 — штифты; 6, 11 — задние вращающиеся дефлекторы; 7, 10 — передние вращающиеся дефлекторы; 8, 9 — рабочие лопатки; 12 — статор; 13 — гайки; 14 — пластинчатый замок; 15 — стяжной болт; 16 — роликоподшипник; 17, 21 — замок гайки; 18 — гайка; 20 — втулка распорная; 22 — гайка-заглушка; 23 — кольцо уплотнительное; 24 — втулка уплотнительная; 25 — диск РК II ступени; 26 — диск РК I ступени; 27 — вал ротора; 28 — балансировочный грузик; 29 — стяжная втулка

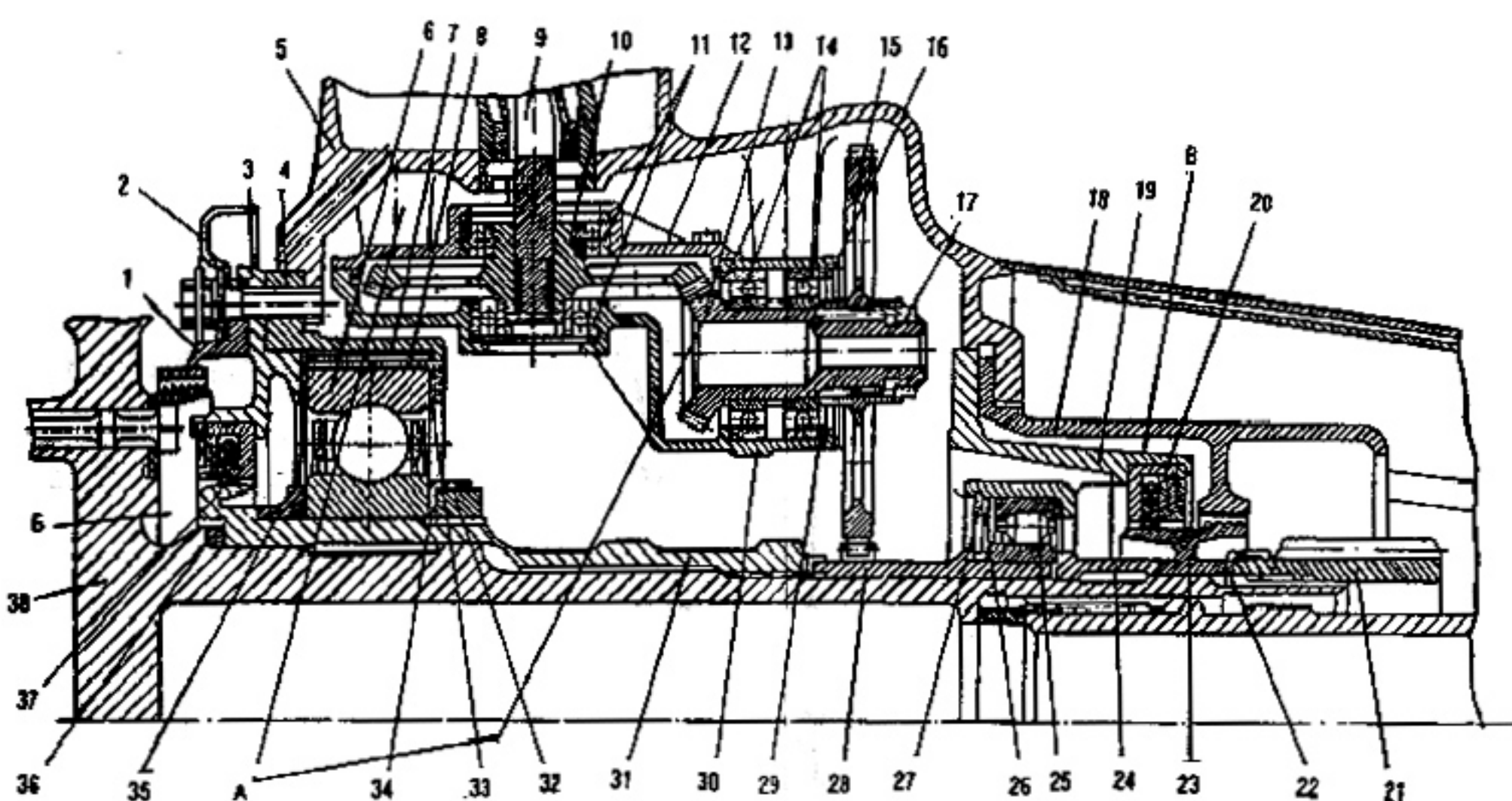


Рис. 4.8. Опоры ротора газовой турбины:

1 — втулка подшипника; 2 — эжекторное кольцо; 3 — корпус уплотнительного устройства; 4 — корпус четвертой опоры; 5 — внутренняя силовая втулка; 6, 11, 14 — шарикоподшипники; 7 — упругое кольцо; 8 — гладкое кольцо; 9 — вертикальный гибкий вал; 10 — ведомое коническое зубчатое колесо; 12 — крышка редуктора; 13 — промежуточное коническое зубчатое колесо; 15 — промежуточное цилиндрическое зубчатое колесо; 16, 27 — стопорные кольца; 17, 32 — гайки; 18 — корпус датчиков; 19 — корпус пятой опоры; 20, 37 — уплотнительные устройства; 21 — гайка-индуктор; 22, 34 — шайбы; 23 — комбинированная втулка; 24 — раскоренная втулка; 25 — роликоподшипник; 26, 29, 33, 35, 36 — регулировочные кольца; 28 — ведущее цилиндрическое зубчатое колесо; 30 — корпус редуктора; 31 — переходная втулка; 38 — диск РК II ступени СТ; А, Б, В — полости

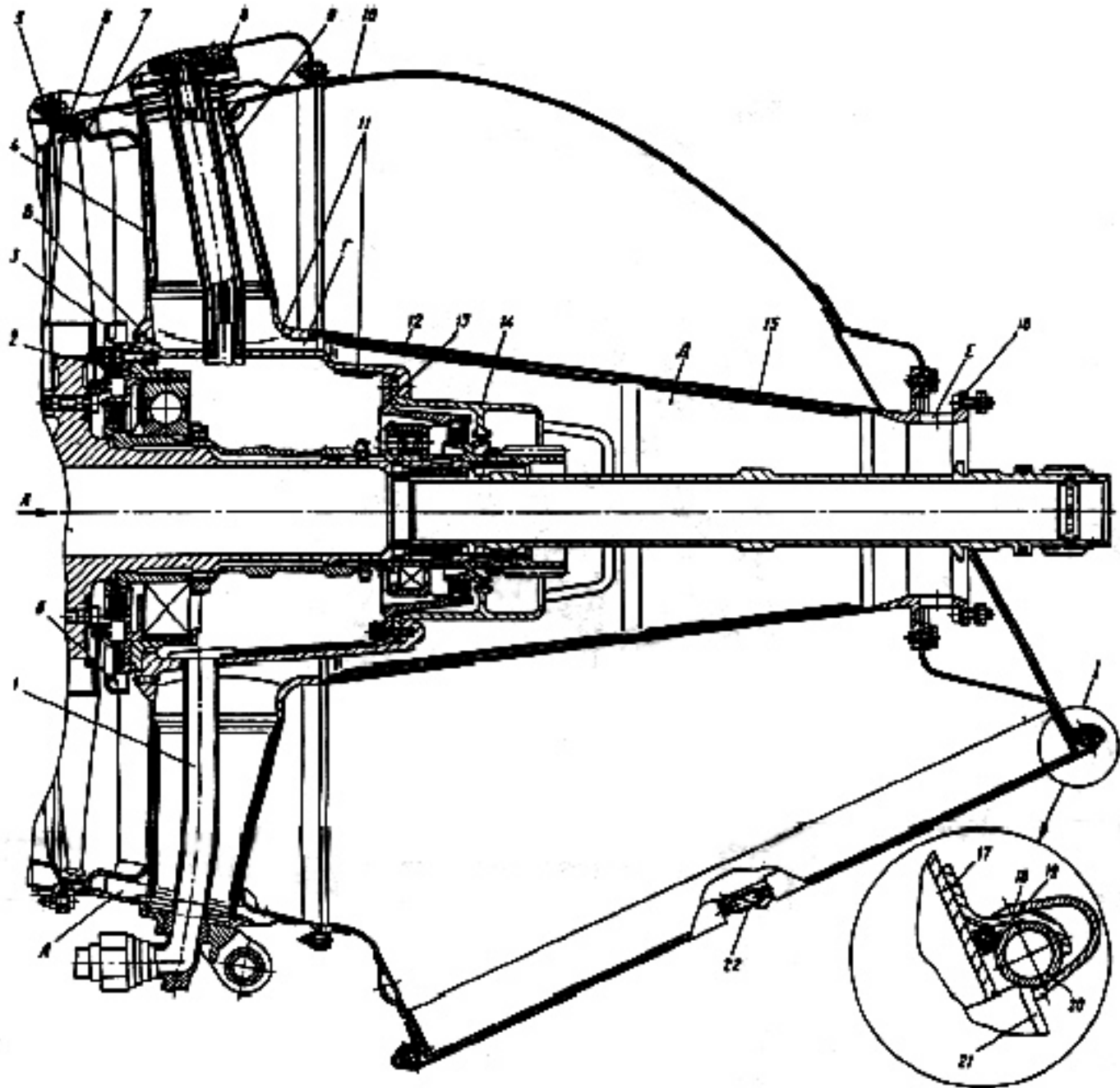


Рис. 4.10. Выходное устройство:

1 — трубка откачки масла из опор СТ; 2 — корпус четвертой опоры; 3 — эжекторное кольцо; 4 — стойка; 5 — корпус СА II ступени СТ; 6 — обойма РК II ступени СТ; 7 — обечайка корпуса диффузора ВУ; 8 — корпус привода регулятора $n_{\text{св}}$; 9 — гибкий вал; 10 — выхлопной патрубок; 11 — внутренняя силовая втулка; 12 — обечайка конуса трансмиссии; 13 — корпус пятой опоры и уплотнительного устройства; 14 — корпус датчиков; 15 — экран конуса; 16 — переходник; 17 — штампованный фланец; 18 — соединительный комут; 19 — уплотнительный шнур; 20 — прижимное кольцо; 21 — насадок ВУ; 22 — винт; А — кольцевая полость; Б — полость эжекторного кольца; В — отверстия внутренней силовой втулки; Г — полость корпуса опор СТ; Д — полость конуса трансмиссии; Е — отверстия переходника

