

**Система автоматического управления трехвального ТРДД:**  
Учеб. пособие / Ю. С. Анисимкин; Самар. авиац. ин-т.  
Самара, 1992. 44 с. ISBN 5—230—16911—7.

Содержит сведения по автоматике и системе автоматического управления трехвального ТРДД Д-36. Приведены функциональные схемы и основные параметры системы топливопитания двигателя, рассматриваются программы регулирования и особенности работы гидромеханической и электронной САУ в процессе запуска, приемистости, поддержания заданных режимов прямой и обратной тяги, отказа ЭСУ, при сбросе газа и останове двигателя, а также действие автоматических устройств по управлению клапанами перепуска воздуха в компрессорах низкого и высокого давления.

Учебное пособие предназначено для студентов специальностей 1610. 0537 (К, ЦИПС), изучающих курс «Автоматика и системы автоматического управления двигателями и ЛА», и может быть полезно при подготовке к лабораторным работам, зачетам и экзаменам.

Выполнено на кафедре «Автоматические системы энергетических установок».

Ил. 21. Библиогр.: 1 назв.

Печатается по решению редакционно-издательского совета Самарского ордена Трудового Красного Знамени авиационного института им. академика С. П. Королёва

Рецензенты: Ю. И. Кондрашов, Л. И. Брудков

## ПРИНЯТЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

САУ	— система автоматического управления;
ЭСУ	— электронная система управления;
РУД	— рычаг управления двигателем;
РОД	— рычаг останова двигателя;
КНД	— компрессор низкого давления;
КВД	— компрессор высокого давления;
ТНД	— турбина низкого давления;
ТВД	— турбина высокого давления;
КПВ	— клапаны перепуска воздуха (из компрессора);
ПМГ	— полетный малый газ;
ЗМГ	— земной малый газ;
СВ	— стартер воздушный;
$P_1^*, T_1^*$	— давление и температура воздуха на входе в двигатель;
$P_v, T_v^*$	— давление и температура воздуха за вентилятором;
$P_{\text{КНД}}, T_{\text{КНД}}$	— давление и температура воздуха за КНД;
$P_{\text{КВД}}, T_{\text{КВД}}$	— давление и температура воздуха за КВД;
$P_g^*, T_g^*$	— давление и температура газа перед турбиной;
$P_{\text{ТНД}}^*, T_{\text{ТНД}}^*$	— давление и температура газа за ТНД;
$P_c^*, T_c^*$	— давление и температура газа на срезе реактивного сопла;
$P_n, T_n$	— давление и температура окружающего воздуха;
$\pi_{\text{К}}$	— суммарная степень повышения давления воздуха в компрессорах;
$n_v, n_{\text{НД}}, n_{\text{ВД}}$	— частота вращения ротора вентилятора и компрессоров НД и ВД;
$R$	— тяга двигателя;
$G_T$	— расход топлива;
$F_{\text{КНД}}, F_{\text{КВД}}$	— площадь окон КПВ компрессора НД и ВД;
$\alpha_{\text{РУД}}$	— угол положения РУД;
$H$	— высота полета;
$V_{\text{п}}$	— скорость полета;

$M_n$  — число  $M$  полета;  
ротор ВД — ротор высокого давления;  
ротор НД — ротор низкого давления;  
АУК — автомат управления клапанами (перепуска воздуха из компрессора);  
БТН — блок топливных насосов;  
ДРТ — датчик расхода топлива;  
ДПД — датчик перепада давления;  
ОД — останов двигателя;  
ОВС — отключение воздушного стартера;  
ТФ — топливный фильтр;  
ТМА — топливомасляный агрегат;  
КПрД — клапан предельного давления;  
ЭМК — электромагнитный клапан;  
КПТ — клапан пускового топлива;  
ИМ РПД — исполнительный механизм регулятора перепада давления;  
АЗ — автомат запуска;  
АП — автомат приемистости;  
ДИ — дозирующая игла;  
ТР — топливный регулятор;  
ПФ — пусковые форсунки;  
РФ — рабочие форсунки;  
ЗК — запорный клапан;  
БМП — блок микропереключателей;  
БСКТ — блок синусно-косинусного трансформатора;  
УК — устройство контроля;  
УС — устройство сравнения;  
УУ — устройство управления;  
БП — блок питания;  
КПД — клапан постоянного давления.

САУ современных трехвальных ТРДД обеспечивают рабочий процесс в двигателе, характеризующийся совокупностью большого числа параметров, находящихся в сложных взаимосвязях между собой и внешними условиями, наивыгоднейшим сочетанием значений регулируемых параметров и получением заданной величины тяги с минимальным удельным расходом топлива для каждого режима полета самолета. Они осуществляют реализацию выбранных программ управления с требуемой точностью и приемлемым качеством процесса регулирования во всем диапазоне изменения эксплуатационных условий, исключают динамическую и тепловую перегрузку узлов и деталей, гарантируют запуск двигателя на земле и в воздухе.

В процессе изучения САУ трехвального ТРДД следует обратить внимание на особенности объекта регулирования и протекающих в нем газодинамических и тепловых процессов, на выбор регулируемых параметров и регулирующих факторов, программ регулирования по управляющему и возмущающему воздействиям, на зависимость динамических свойств объекта от режима работы и внешних условий полета самолета, на динамику системы и мероприятия, повышающие устойчивость и качество процесса регулирования.

При рассмотрении функционирования САУ трехвального ТРДД необходимо обратить внимание: на выполняемые ею функции; особенность работы пневмогидромеханического топливного регулятора и электронной системы управления; конструктивные мероприятия по увеличению надежности устройств и элементов системы; особенность передачи и преобразования управляющих воздействий на регулирующий орган; принципы технической реализации устройств коррекции в конструкции системы с целью повышения точности регулируемых параметров в установившемся режиме и устройств защиты конструкции от механических и тепловых перегрузок.

## 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О САУ ДВИГАТЕЛЯ

САУ трехвального ТРДД, функциональная схема которой приведена на рис. 1, включает в себя комплекс взаимосвязанных устройств, воздействующих на расход топлива, которое поступает в камеру сгорания двигателя на различных режимах работы объекта регулирования, и обеспечивающих его газодинамическую устойчивость, заданные статические и динамические характеристики, а также защиту от предельных динамических и тепловых нагрузок.

Основными регулируемыми параметрами, по которым поддерживается или изменяется режим работы двигателя, являются:

суммарная степень повышения давления воздуха в компрессоре  $\pi_{кв}$  с коррекцией по величине полного давления воздуха на входе в двигатель  $P_1^*$ ;

температура газов за турбиной НД  $T_{тнд}^*$ ;

частота вращения ротора вентилятора  $n_v$  и ротора ВД  $n_{вд}$ .

Регулирующие факторы, с помощью которых осуществляется управление процессом в двигателе, следующие:

расход топлива, поступающего в камеру сгорания,  $G_T$ ;

площадь окон перепуска воздуха в компрессоре НД  $F_{кнд}$  и в компрессоре ВД  $F_{квд}$ .

Управление двигателем осуществляется двумя рычагами — РУД и РОД, воздействующими на топливный регулятор.

Режим работы двигателя задается РУД, а программа регулирования и безопасная работа его с требуемой величиной тяги при всех допустимых условиях эксплуатации ( $H = 0-10$  км,  $M_n = 0-0,75$ ,  $P_n$ ,  $T_n$ ,  $P_1$ ,  $T_1$ ) обеспечивается САУ.

Запуск двигателя на земле и в полете до высоты  $H = 8$  км с выходом на режим МГ осуществляется воздушным стартером от наземного или бортового источника сжатого воздуха, а также от ранее запущенного двигателя самолета за время не более 60 с. Отключение воздушного стартера (ОВС) осуществляет ЭСУ при достижении частоты вращения ротора ВД  $n_{вд} = 6000 \pm 300$  об/мин.

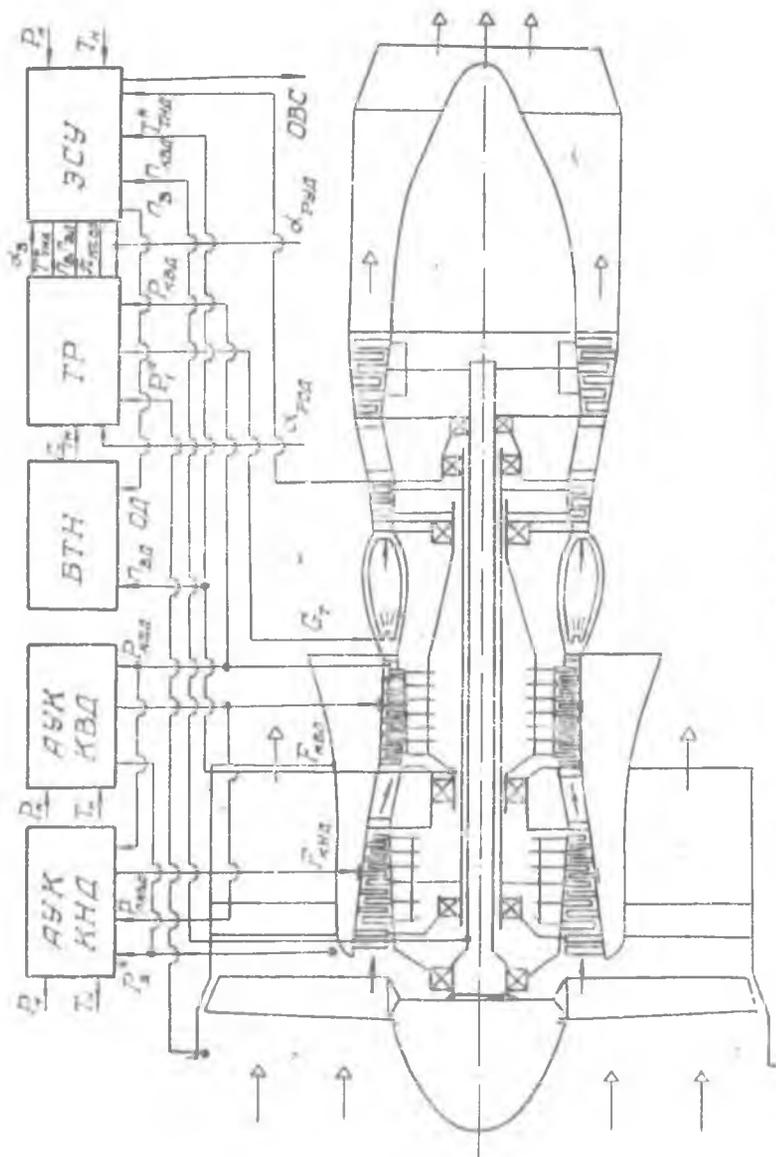


Рис. 1. Функциональная схема САУ трехвального ТРД

В процессе эксплуатации двигателя в рабочем диапазоне ( $a_{PUD} = 70-100^\circ$ ) его состояние контролируется по основным параметрам:

частоте вращения ротора вентилятора  $n_v$  и ротора ВД  $n_{ВД}$  с точностью  $\pm 0,5\%$ ;

температуре газов за турбиной НД  $T_{ТНД}$  с точностью  $\pm 6$  К;

суммарной степени повышения давления воздуха в компрессорах двигателя  $\pi_{к\epsilon}$  с точностью  $\pm 0,4$ .

В нерабочем диапазоне ( $a_{PUD} = 0-70^\circ$ ) состояние двигателя контролируется по тем же основным параметрам, но с более широким допуском:

частота вращения ротора вентилятора  $n_v$  и ротора ВД  $n_{ВД}$  с точностью  $\pm 1\%$ ;

температура газов за турбиной НД  $T_{ТНД}$  с точностью  $\pm 7$  К;

суммарная степень повышения давления воздуха в компрессорах  $\pi_{к\epsilon}$  с точностью  $\pm 0,8$ .

ЭСУ двигателя осуществляет всережимное ограничение температуры газов за турбиной НД:  $T_{ТНД}$  с точностью  $\pm 8$  К, частоты вращения ротора вентилятора  $n_v$  и ротора ВД  $n_{ВД}$  с точностью  $\pm 0,5\%$ , а также выдает команду при превышении предельных значений температуры газов за турбиной НД:  $T_{ТНД} = 1003 \pm 8$  К и частоты вращения ротора вентилятора  $n_v = 5600 \pm 27$  об/мин на останов двигателя на земле и на уменьшение режима его работы до 0,7 номинального в полете.

САУ двигателя обеспечивает также устойчивую работу компрессора двигателя во всех условиях эксплуатации за счет перепуска воздуха в компрессоре ВД и компрессоре НД при достижении заданных значений  $\pi_{к\epsilon}$ . Автоматы управления клапанами перепуска воздуха закрывают их в компрессоре ВД при  $\pi_{к\epsilon} = 6,0 \pm 0,3$  и в компрессоре НД при  $\pi_{к\epsilon} = 12,2 \pm 0,4$ , а открывают в процессе снижения режима работы двигателя при значениях  $\pi_{к\epsilon} = 5,5$  для компрессора ВД и  $\pi_{к\epsilon} = 11,2$  — для компрессора НД.

Время приемистости двигателя при быстром перемещении РУД от режима МГ до получения 95% взлетной тяги составляет на земле 8—10 с, а в полете 4,5—6 с.

Время сброса газа двигателя при быстром перемещении РУД от взлетного режима до режима земного МГ составляет 6—12 с.

Перед остановом двигателя необходимо для его охлаждения проработать на режиме МГ не менее 3 мин. Останов двигателя осуществляется переводом РОД до упора «Стоп».

## 2. СИСТЕМА ТОПЛИВОПИТАНИЯ ДВИГАТЕЛЯ

Система топливопитания двигателя, функциональная схема которой приведена на рис. 2, предназначена для подачи топлива с определенным давлением, чистотой и температурой к пусковым и рабочим форсункам в количествах  $G_T = 300—250$  кг/ч, обеспечивающих работу двигателя на всех режимах и во всех условиях эксплуатации. Она включает в себя:

блок топливных насосов низкого и высокого давления с топливным фильтром, клапаном предельного перепада, клапаном предельного давления, клапаном пускового топлива, исполнительным механизмом регулятора перепада давления и электромагнитным клапаном останова двигателя, выполненных конструктивно в одном агрегате;

топливомасляный агрегат с размещенным в нем топливным фильтром с клапаном предельного перепада и датчиком перепада давления;

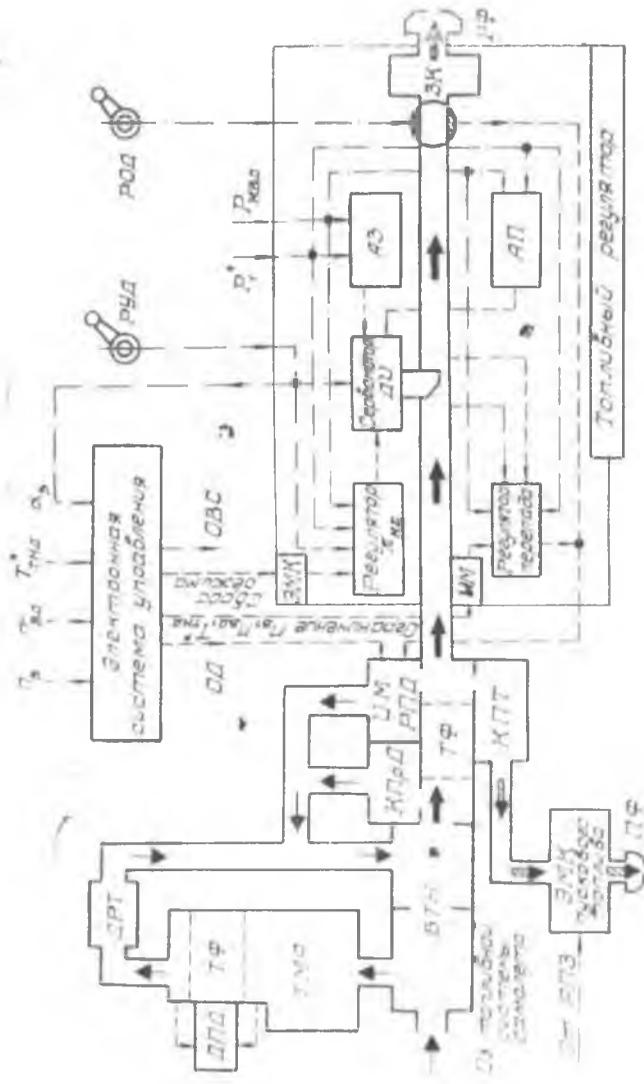
датчик расхода топлива, электромагнитный клапан пускового топлива, пусковые и рабочие форсунки, расположенные на двигателе;

топливный регулятор — агрегат многоцелевого назначения, в котором размещены устройства дозирования топлива: автомат запуска, автомат приемистости и сброса газа, регулятор степени повышения давления в компрессорах  $\pi_{к\lambda}$ , сервомотор дозирующей иглы, регулятор перепада давления на ДИ, исполнительный механизм ЭСУ, электромагнитный клапан ограничения режима, устройства формирования электрических сигналов по положению РУД — блок синусно-косинусного трансформатора и блок микропереключателей;

агрегат ЭСУ — многоканальный регулятор, устанавливаемый на самолете; выполненный на полупроводниковых приборах, интегральных микросхемах, электромагнитных реле. В нем размещены входные преобразователи, цифровое вычислительное устройство с последовательно-параллельным вводом и обработкой информации и выходные усилители мощности.

Из самолетной системы топлива подается к БТН системы топливопитания двигателя подкачивающим насосом через перекрывной кран. При этом подкачивающий насос имеет автономный от двигателя привод и создает избыточное давление  $P = 0,04—0,15$  Мн/м<sup>2</sup> до высоты  $H = 10000$  м, что значительно повышает высотность системы топливопитания.

Подкачивающий центробежный насос БТН осуществляет повышение давления топлива до  $P_{ц} = 0,36$  Мн/м<sup>2</sup> и подачу его через ТМА, ТФ и ДРТ к шестеренному насосу высокого давления,



Р и с. 2. Функциональная схема топливной системы

обеспечивая его бескавитационную работу во всех условиях эксплуатации.

В ТМА охлаждается масло из маслосистемы двигателя и подогревается топливо с целью исключения обмерзания фильтроэлементов ТФ низкого давления. ТФ низкого и высокого давления обеспечивают фильтрацию топлива с тонкостью до 16 мкм. В случае засорения ТФ и достижения предельного перепада давления топлива  $\Delta P_{\text{ТФ}} = 0,04 \text{ Мн/м}^2$  открывается КПрП, который пропускает топливо на вход шестеренного насоса, минуя ТФ.

Шестеренный насос высокого давления БТН обеспечивает подачу топлива с давлением  $P_n = 12,5 \text{ Мн/м}^2$ , ограничиваемым КПрД, к ДИ топливного регулятора, а также через ТФ тонкой очистки к КПТ и ИМ РПД.

ЭМК пускового топлива открывает доступ топлива с давлением  $P_{\text{пф}} = 0,35 \pm 0,05 \text{ Мн/м}^2$  и расходом  $G_{\text{пф}} = 20 \text{ кг/ч}$  к ПФ по электрическому сигналу от автоматической панели запуска (АПЗ) двигателя. Если давление пускового топлива становится выше допустимого, открывается КПрД и перепускает избыток топлива на вход в шестеренный насос высокого давления.

Основная часть топлива от насоса высокого давления БТН подводится через ТФ тонкой очистки к топливному регулятору, в котором оно дозируется в соответствии с командами, управляющими топливурегулирующей аппаратурой, и с необходимым расходом для данных условий работы двигателя подается к РФ двигателя с давлением  $P_{\text{рф}} = 2\text{--}8,5 \text{ Мн/м}^2$ .

САУ двигателя дозирует и подает или прекращает подачу топлива в двигатель в соответствии с сигналами, которые подводятся к агрегатам и устройствам топливной системы.

При подаче электрического сигнала на ЭМК останова двигателя в БТН от ЭСУ ИМ РПД соединяет полость высокого давления со входом в насос, в результате чего давление в топливной системе падает, а ЗК топливного регулятора закрывается и прекращает подачу топлива в двигатель.

Во время работы топливной системы ИМ РПД перепускает топливо с выхода насоса высокого давления на его вход по команде от регулятора перепада давления, благодаря чему обеспечивается подача необходимого количества топлива в двигатель топливным регулятором.

К топливному регулятору подводятся:

**Воздушные сигналы** от полного давления на входе в двигатель  $P_1^*$  и давления за компрессором ВД  $P_{\text{вд}}$ , которые преобразуются в нем в гидравлические команды давления топлива. Разность этих давлений воздействует на расход топлива через АЗ, АП и сброса газа, регулятор перепада давления на ДИ, а отношение этих давлений воздействует на расход топлива через

регулятор степени повышения давления  $\pi_k$ . Кроме того, изменение давления воздуха на входе в двигатель  $P_1^*$  через высотнo-скоростной корректор изменяет настройку регулятора  $\pi_{k\gamma}$ .

**Механические команды** от РУД и РОД. При изменении положения РУД изменяются настройка регулятора  $\pi_{k\gamma}$  прямой и обратной тяги и настройка максимального расхода топлива, а также осуществляется преобразование БСКТ и БМП в электрические сигналы, которые передаются в ЭСУ для настройки ее на соответствующие режимы и указания положения РУД. По команде РУД узел управления реверсом тяги топливного регулятора подает или прекращает подачу гидросмеси к реверсу тяги. Команда на прекращение подачи топлива топливным регулятором передается от РОД, расположенного в кабине экипажа.

**Электрические сигналы** от ЭСУ на исполнительный механизм топливного регулятора и ЭМК сброса режима. Исполнительный механизм топливного регулятора через регулятор перепада давления задает расход топлива, необходимый для поддержания одного из ограничиваемых параметров:  $T_{\text{ТНД}}^*$ ,  $n_{\text{в}}$  и  $n_{\text{в1}}$ . При поступлении команды на ЭМК сброса режима происходит автоматическое ограничение настройки регулятора  $\pi_{k\gamma}$  до заданной величины.

Количество топлива, выдаваемое топливным регулятором на РФ двигателя, определяется положением (площадью проходного сечения) ДИ и перепадом давления топлива на ней. Положением ДИ управляет регулятор  $\pi_{k\gamma}$  АЗ, АП и сброса газа. Перепадом давления на ДИ управляет ИМ РПД, расположенный в БТН, а также ЭСУ при ограничении  $T_{\text{ТНД}}^*$ ,  $n_{\text{в}}$ ,  $n_{\text{в1}}$  и АП и сброса газа.

Для обеспечения тяги двигателя во всех условиях его эксплуатации агрегаты системы управления дозируют топливо по заданным законам.

Режим работы двигателя задается положением РУД. Каждому положению РУД соответствует определенная суммарная степень повышения давления  $\pi_{k\gamma} = \text{const}$  за счет изменения расхода топлива.

Регулятор  $\pi_{k\gamma}$  с высотнo-скоростным корректором дозирует топливо, обеспечивая тяговые характеристики двигателя в зоне низких температур окружающей среды и малых высот. В зоне больших высот и высоких температур топливо дозирует ЭСУ, т. к. значения параметров  $T_{\text{ГНД}}^*$ ,  $n_{\text{в}}$ ,  $n_{\text{в1}}$  при этом возрастают. Когда один из параметров  $T_{\text{ТНД}}^*$ ,  $n_{\text{в}}$ ,  $n_{\text{в1}}$  достигает величины ограничения, ЭСУ выдает электрический сигнал на ИМ топливного регулятора, уменьшая тем самым подачу топлива в двигатель и поддерживая один из этих трех параметров постоянным, но при этом снижая тягу двигателя.

При быстром перемещении РУД на увеличение или снижение режима работы двигателя на прямой и обратной тяге скорость изменения расхода топлива дозируется АП и сброса газа и корректируется в соответствии с давлением воздуха на входе в двигатель  $P_1^*$  и за компрессором ВД  $P_{квд}$  по определенным законам, обеспечивающим выход двигателя на заданный режим за требуемое время, без помпажа, забросов температуры, без срыва пламени в КС и дымления.

В процессе запуска двигателя РУД находится на упоре МГ, ротор ВД двигателя приводится во вращение стартером, а в полете — и встречным потоком воздуха.

На ЭМК БТН подается электрический сигнал от АПЗ и топливо в КС двигателя не поступает. Доступ топлива к ПФ открывает ЭМК пускового топлива при подаче на него электрического сигнала от АПЗ. По истечении определенного времени электрический сигнал с ЭМК БТН снимается, а топливо дозируется АЗ топливного регулятора по определенному закону в зависимости от разности давлений воздуха  $P_{квд} - P_1^*$  и подается к РФ до выхода двигателя на режим МГ и вступления в работу регулятора  $\pi_{к.}$ .

### 3. ЭЛЕКТРОННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ДВИГАТЕЛЯ

Электронная система управления двигателя, функциональная схема которой представлена на рис. 3, предназначена:

для всережимного регулирования температуры газов за турбиной НД по заданному закону: при взлете и реверсе  $T^*_{гнд} = 973 \pm 6$  К, на малом газе  $T^*_{гнд} = 843 \pm 8$  К, на крейсерском режиме  $T^*_{гнд} = 860 \pm 9$  К;

ограничения частоты вращения ротора вентилятора  $n_v = 5275 \pm 27$  об/мин и ротора ВД  $n_{вд} = 14525 \pm 75$  об/мин;

выдачи команды на отключение воздушного стартера по частоте вращения ротора ВД  $n_{вд} = 6000 \pm 300$  об/мин;

выдачи команды в случае превышения предельной частоты вращения ротора вентилятора  $n_v = 5600 \pm 27$  об/мин с задержкой не более 0,12 с и предельной температуры газов за турбиной НД  $T^*_{гнд} = 1003 \pm 8$  К с задержкой не более 0,24 с на останов двигателя на земле и на ЭМК сброса режима до 0,7 номинального в полете.

Агрегат ЭСУ является многоканальным регулятором и включает в себя входные преобразователи, цифровое вычислительное устройство (ЦВУ) с последовательно-параллельным вводом и обработкой информации, работающее по жесткой временной программе с частотой выдачи решения 25 Гц по каждому пара-

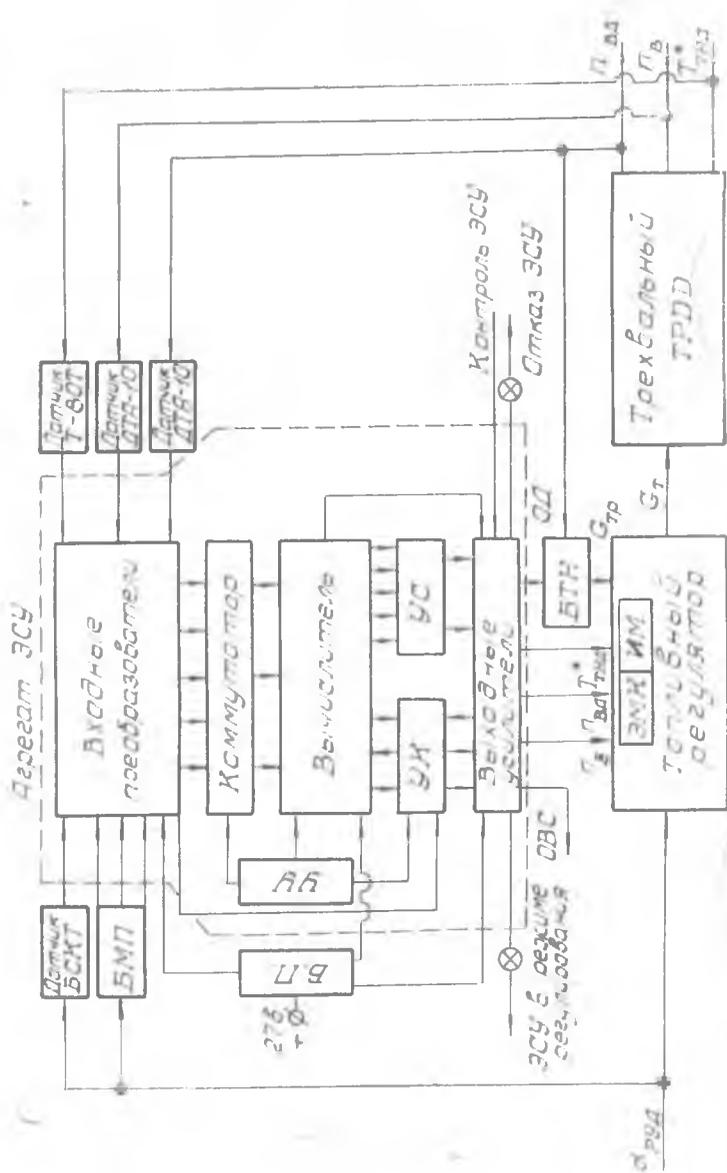


Рис. 3. Функциональная схема ЭСУ двигателя

метру, а также выходные усилители мощности. Он выполнен на полупроводниковых приборах, интегральных микросхемах, электромагнитных реле, запитывается напряжением постоянного тока  $U = 27$  В и устанавливается на самолете.

На вход агрегата ЭСУ поступают сигналы, пропорциональные действительным значениям регулируемых параметров: температуры газов за турбиной НД  $T^*_{ТНД}$  от блока термопар Т-80Т и частоты вращения ротора вентилятора  $n_v$  и ротора ВД  $n_{ВД}$  с датчиков ДТА-10, установленных на двигателе; а также заданные или установленные сигналы регулируемых величин при ступенчатой и следящей перестройке в агрегате ЭСУ температурой ограничения за турбиной НД  $T^*_{ТНД}$  для соответствующих углов установки РУД  $\alpha_{руд}$ , вырабатываемые блоком микропереключателей и бесконтактным синусно-косинусным трансформатором, расположенными на топливном регуляторе.

Входные преобразователи измеряют и преобразовывают сигналы, поступающие от датчиков регулируемых параметров, в форму, удобную для последующей их обработки в ЦВУ. С выхода входных преобразователей сигналы, пропорциональные регулируемым параметрам  $n_v$ ,  $n_{ВД}$ ,  $T^*_{ТНД}$  и положению РУД  $\alpha_{руд}$ , с помощью коммутатора по временной программе, задаваемой устройством управления, вводятся в вычислитель ЦВУ.

ЦВУ включает в себя коммутатор, устройство управления, вычислитель, устройство контроля, селективирующее устройство. Оно осуществляет выработку установочных значений управляемых величин, сравнение их с измеренными действительными значениями параметров, определение рассогласования между ними, вычисление корректирующих и регулирующих воздействий, выбор параметра, по которому необходимо регулирование, контроль исправности входных цепей и самоконтроль основных функциональных узлов. В селективирующем устройстве ЦВУ осуществляется выбор канала, по которому необходимо регулирование.

Устройство контроля ЦВУ осуществляет выдачу сигнала при контроле и отказах узлов ЭСУ, при обрыве и замыкании цепей датчиков: угла БСКТ и БМП, частоты вращения ДТА-10, температуры газов Т-80Т, исполнительного механизма.

Сигналы с выхода ЦВУ подаются на выходные усилители для усиления их мощности и выдаются на исполнительные устройства.

Когда регулируемые параметры  $T^*_{ТНД}$ ,  $n_v$ ,  $n_{ВД}$  ниже ограничиваемых значений, расход топлива  $G_T$ , поступающий в двигатель, определяет регулятор суммарной степени повышения давления воздуха в компрессорах  $\pi_{кв}$ , расположенный в топливном регуляторе. При достижении регулируемых параметров  $T^*_{ТНД}$ ,

$n_b, n_{вд}$  ограничиваемых значений агрегат ЭСУ воздействует через ИМ топливного регулятора на расход топлива  $G_r$ , поступающего в двигатель, обеспечивая ограничение параметров с сигнализацией «ЭСУ в режиме регулирования».

Если регулируемые параметры  $T_{тнд}^* \cdot n_b, n_{вд}$  превышают заданные или установочные значения, а ИМ топливного регулятора не обеспечивает уменьшение расхода топлива, поступающего в двигатель, то при достижении предельных значений  $n_b = 5600 \pm 27$  об/мин, а  $T_{тнд}^* = 1003 \pm 8$  К агрегат ЭСУ выдает команду ЭМК на останов двигателя на земле или сброс режима работы двигателя до 0,7 номинального в полете. В случае обрыва или замыкания цепей датчиков БСКТ, ВМП, ДТА-10, Т-80Т и ИМ при подаче команды «Контроль ЭСУ» агрегат ЭСУ снимает свою команду с ИМ и выдает сигнал на ЭМК сброса режима до 0,7 номинального с сигнализацией «Отказ ЭСУ». С выхода агрегата ЭСУ выдаются сигналы ОВС при  $n_{вд} = 6000 \pm 300$  об/мин и на ОД воздействием на ЭМК в БТН.

#### 4. ПРОГРАММА РЕГУЛИРОВАНИЯ ДВИГАТЕЛЯ

Программа регулирования двигателя устанавливает зависимость его основных управляемых параметров  $\pi_{кз}, T_r^*, T_{тнд}^*, n_b, n_{нд}, n_{нд}, R$  от угла положения РУД  $\alpha_{руд}$  и внешних условий  $H, M_{п}, P_{п}, T_{п}$  и обеспечивает желаемое протекание эксплуатационных характеристик с допускаемыми механическими и тепловыми нагрузками на основные детали. Наиболее полно отражают рабочий процесс в двигателе такие регулируемые параметры, как  $n_{вд}, n_{нд}, n_b, T_r^*, \pi_{кз}$ , в различной степени влияющие на его тягу. При условии обеспечения тяги двигателя в пределах  $\pm 2\%$  требуемая точность измерения управляемых параметров  $n_{вд}, n_{нд}, n_b, T_r^*, \pi_{кз}$  является различной. Анализ показал, что наибольшее влияние на тягу двигателя оказывает частота вращения ротора ВД  $n_{вд}$  и температура газов перед турбиной  $T_r^*$ , что обуславливает высокую статическую точность управления данными параметрами в пределах 0,5%.

Наименьшее влияние на тягу двигателя оказывает суммарная степень повышения давления воздуха в компрессорах  $\pi_{кз}$ , что позволяет осуществлять замер этого управляемого параметра с точностью 1%.

На максимальном режиме программа управления двигателем обеспечивает такой закон изменения регулируемых параметров, который при одновременном ограничении механических и тепловых нагрузок создает максимальную тягу при заданных скоростях и высотах полета с учетом атмосферных условий. При

этом в диапазоне главных эксплуатационных режимов максимальная тяга двигателя достигается путем реализации любой из программ:

$$n_{ВД} = n_{ВД \text{ макс}} = \text{const};$$

$$n_{НД} = n_{НД \text{ макс}} = \text{const};$$

$$n_{\Sigma} = n_{\Sigma \text{ макс}} = \text{const};$$

$$T_{Г*} = T_{Г* \text{ макс}} = \text{const};$$

$$\pi_{к\Sigma} = \pi_{к\Sigma \text{ макс}} = \text{const}.$$

Для трехвального ТРДД с высокой степенью двухконтурности до  $M = 0,3$  более целесообразна программа  $\pi_{к\Sigma} = \pi_{к\Sigma \text{ макс}} = \text{const}$ , т. к. суммарная степень повышения давления воздуха в компрессорах на высотнo-скоростных характеристиках изменяется незначительно. Но с увеличением скорости полета программа требует введения дополнительной коррекции. С другой стороны, при  $\pi_{к\Sigma} = \text{const}$  обеспечивается сохранение постоянной тяги, несмотря на изменение температуры окружающей среды  $T_n$  при определенных  $M_n$  и  $H$ .

В трехвальном ТРДД все сечения газоздушного тракта считаются неизменными, поэтому единственным возможным управляющим фактором в нем является расход топлива, который воздействует на управляемый параметр, а следовательно, и на другие параметры рабочего процесса, находящиеся во взаимосвязи и изменяющиеся по определенным законам.

САУ двигателя обеспечивает подачу топлива на его рабочие форсунки по следующим законам регулирования:

на запуске  $G_T = G_T (P_{кВД} - P_1^*)$ ;

при приемистости на режимах прямой и обратной тяги

$$\frac{d \left( \frac{G_T}{\kappa_1 P_1^* + \kappa_2 P_{кВД}} \right)}{dt} = \kappa_3 P_1^* + \kappa_4 P_{кВД} + \kappa_5$$

при сбросе газа на режимах прямой и обратной тяги

$$\frac{d \left( \frac{G_T}{\kappa_1 P_1^* + \kappa_2 P_{кВД}} \right)}{dt} = \text{const}$$

с переходом

на  $G_T = G_T (\kappa_1 P_1^* + \kappa_2 P_{кВД})$ ;

на установившихся режимах прямой и обратной тяги

$$\pi_{к\Sigma} = \pi_{к\Sigma} (\alpha_{РВД}, P_1^*);$$

при работе ЭСУ  $G_T = G_T (\gamma) \tau$ .

Законы подачи топлива выбраны из условия обеспечения параметров двигателя в соответствии с летно-техническими требованиями, предъявляемыми к самолету, и конструктивными возможностями двигателя. В связи с этим на двигателе установлена следующая топливорегулирующая автоматическая аппаратура:

автомат запуска;

автомат приемистости и сброса газа;

всережимный регулятор суммарной степени повышения давления воздуха в компрессорах двигателя  $\pi_{кз}$  с высотной коррекцией;

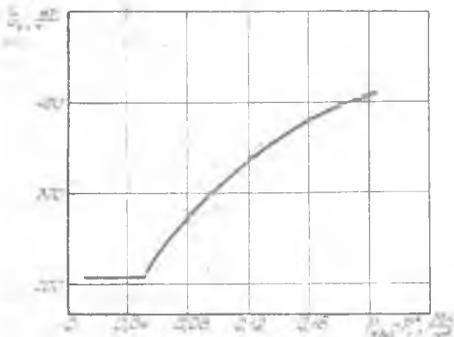


Рис. 4. Программа подачи топлива  $G_T = G_T(P_{ВД} - P_1^*)$  в процессе запуска двигателя при  $\alpha_{РУД} = 39 - 44^\circ$

двигателя  $\pi_{кз}$  выше заданного значения при любых изменениях условий полета на каждом режиме работы двигателя (рис. 5 и 6). При этом каждому положению РУД  $\alpha_{РУД}$  соответствует определенное значение суммарной степени повышения давления  $\pi_{кз} = \pi_{кз}(\alpha_{РУД})$ , которое корректируется в зависимости от полного давления на входе в двигатель. С увеличением давления воздуха на входе в двигатель  $\pi_{кз}$  уменьшается, а с уменьшением — увеличивается.

Ограничение температуры газов за турбиной НД  $T_{ТНД}^* = T_{ТНД}^*(\alpha_{РУД})$  не допускает ее увеличения выше заданного значения при любых изменениях условий полета на каждом режиме работы двигателя (рис. 7). Причем на режимах работы двигателя ниже максимального крейсерского температура ограничения  $T_{ТНД}^* = \text{const}$ .

В процессе ограничения частоты вращения ротора ВД  $n_{ВД} = n_{ВД}(\alpha_{РУД})$  не допускается ее увеличение выше заданного значения  $n_{ВД} = 14525 \pm 75$  об/мин, а для ротора вентилятора

всережимный ограничитель температуры газов за турбиной НД  $T_{ТНД}^*$ :

ограничители частоты вращения роторов вентилятора  $n_{в}$  и ВД  $n_{ВД}$ .

Дозирование топлива в процессе запуска двигателя производится по зависимости  $G_T = G_T(P_{кВД} - P_1^*)$ , представленной на рис. 4.

Регулятор суммарной степени повышения давления не допускает увеличения суммарной степени повышения давления воздуха в компрессорах

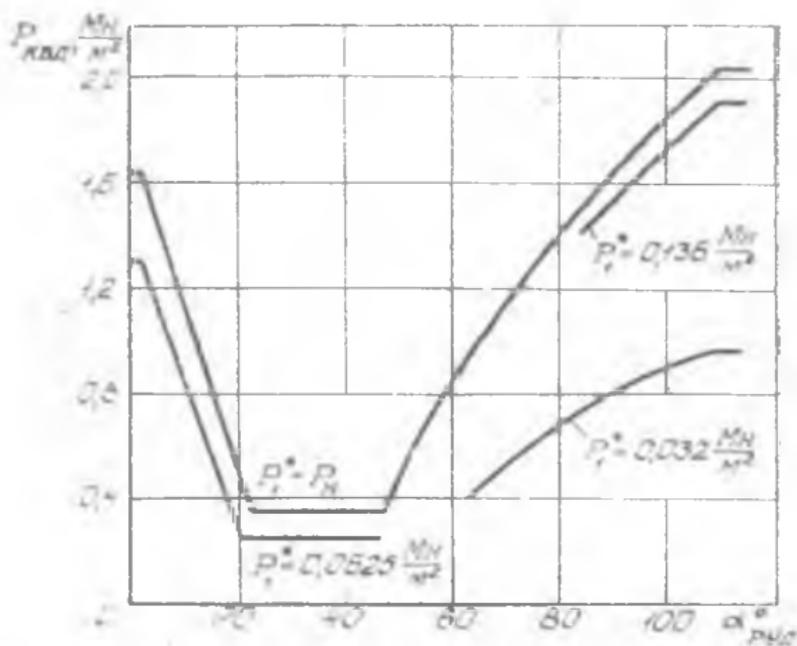


Рис. 5. Программа регулирования степени повышения давления в двигателе по управляющему воздействию

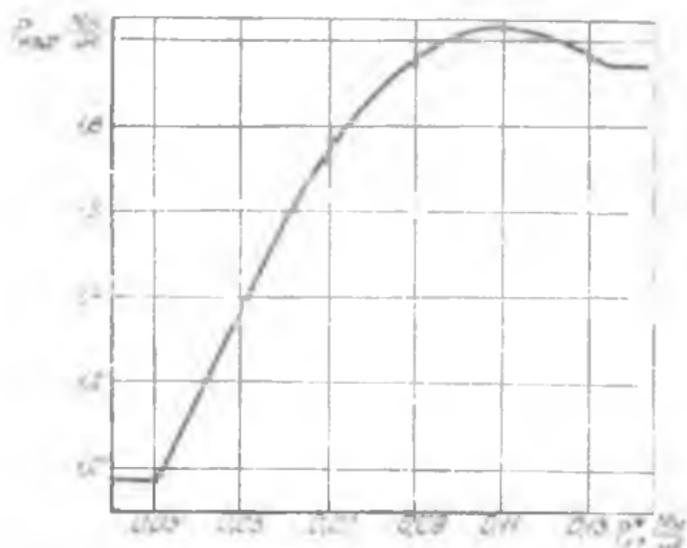


Рис 6. Программа коррекции степени повышения давления в двигателе по внешним условиям при  $\alpha_{p_{у.д}} = 115^\circ$

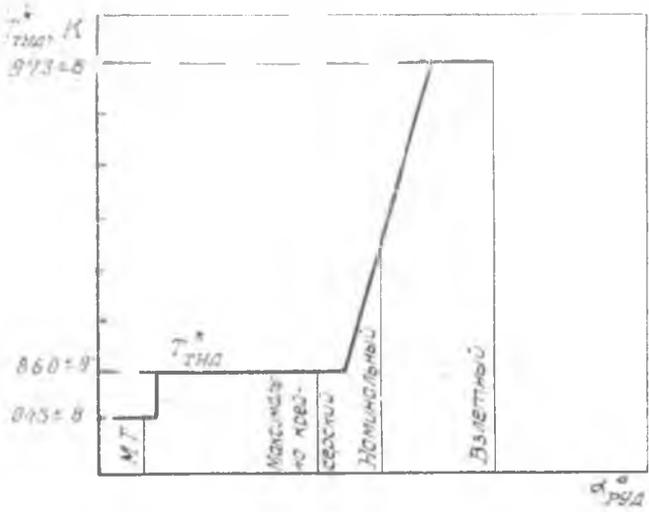


Рис. 7. Программа ограничения температуры газов  $T_{газ}^*$  за турбиной НД по режимам работы двигателя

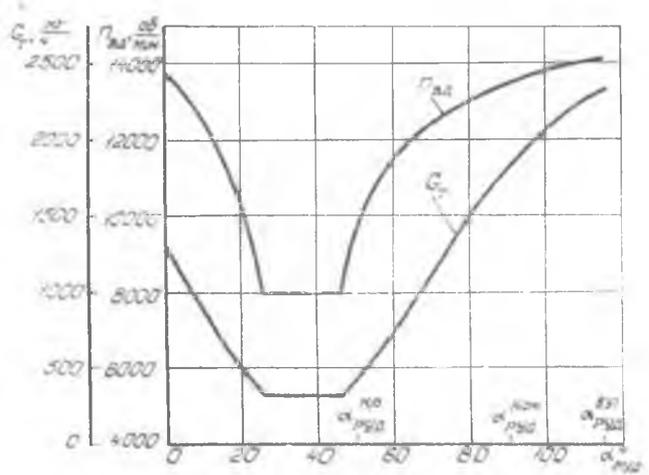


Рис. 8. Программа регулирования двигателя по управляющему воздействию

$n_{в} = 5275 \pm 75$  об/мин при любых изменениях условий полета на каждом режиме работы двигателя (рис. 8).

На рис. 9 и 10 представлены дроссельные характеристики двигателя для установившихся режимов работы  $G_T = G_T(n_{зд})$  и в процессе приемистости двигателя  $G_{T \text{ прием}} = G_{T \text{ прием}}(n_{в})$ , а также основных параметров рабочего процесса  $\pi_{\perp} = \pi_{к}(\bar{n}_{вд})$ ,  $\bar{n}_{нд} = \bar{n}_{нд}(\bar{n}_{вд})$ ,  $\bar{n}_{в} = \bar{n}_{в}(\bar{n}_{вд})$ ,  $\bar{T}_T^* = \bar{T}_T^*(\bar{n}_{зд})$ ,  $\bar{T}^*_{гнд} = \bar{T}^*_{гнд}(n_{вд})$ ,  $\bar{R} = \bar{R}(\bar{n}_{вд})$  и  $G_T = G_T(\bar{n}_{вд})$

для земных статических атмосферных условий в диапазоне режимов от 0,4 номинального до взлетного.

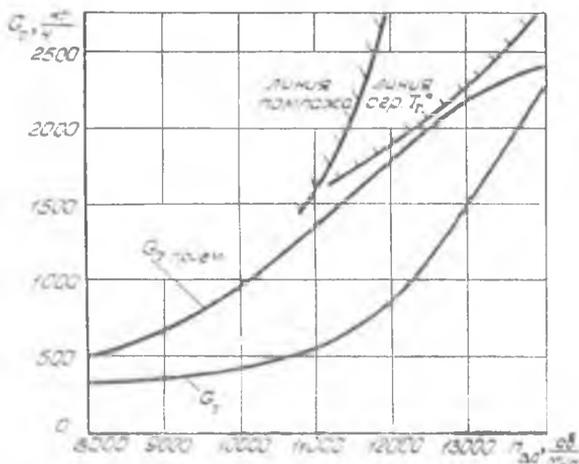


Рис. 9 Дроссельная характеристика двигателя

С увеличением частоты вращения ротора ВД значения всех управляемых параметров двигателя возрастают, т. к. с увеличением расхода топлива увеличивается количество энергии, подведенной к рабочему телу, что приводит к увеличению температуры и давления газа перед турбиной и по всему газоздушному тракту. При этом увеличивается удельная тяга с одновременным увеличением расхода воздуха, а следовательно, увеличивается тяга двигателя.

Изменение основных управляемых параметров рабочего процесса двигателя в зависимости от температуры окружающего воздуха представлено на рис. 11 в виде  $\pi_{к\perp} = \pi_{к\perp}(T_H)$ ,  $\bar{T}_T^* = \bar{T}_T^*(T_H)$ ,  $\bar{T}^*_{гнд} = \bar{T}^*_{гнд}(T_H)$ ,  $\bar{n}_{вд} = \bar{n}_{зд}(T_H)$ ,  $\bar{n}_{нд} = \bar{n}_{нд}(T_H)$ ,

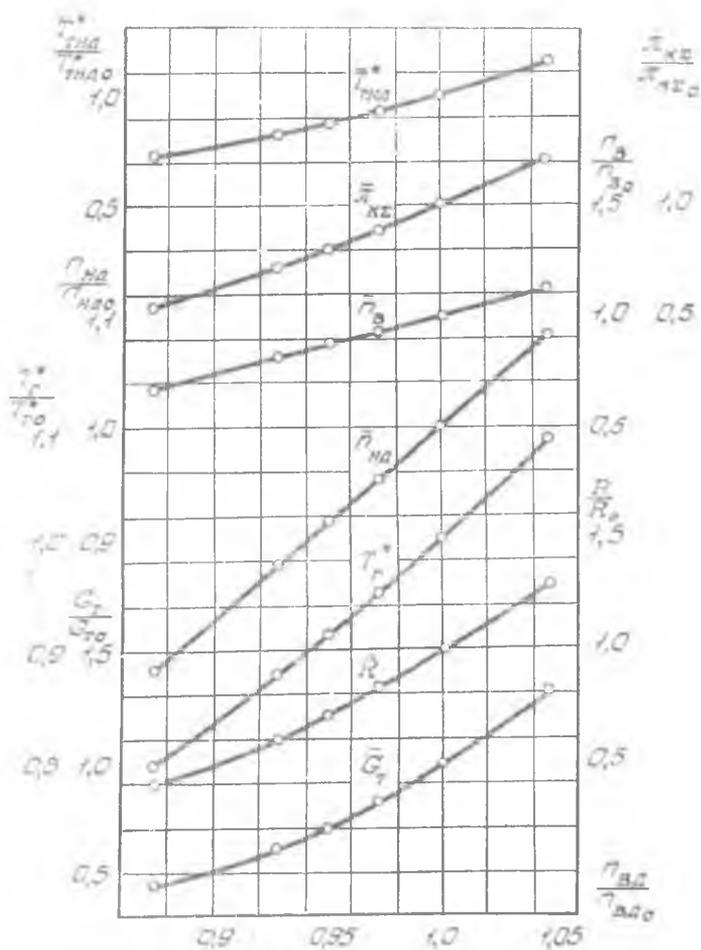


Рис. 10. Дроссельная характеристика двигателя в условиях  $H = 0$ ,  $M_{п} = 0$ ,  $T_{н} = 288 \text{ K}$  при работе на номинальном режиме

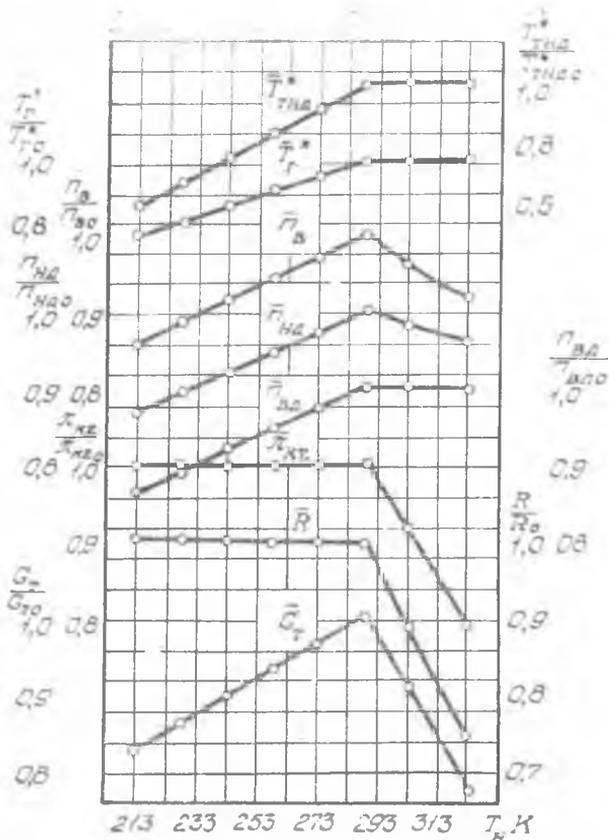


Рис. 11. Зависимость основных параметров рабочего процесса двигателя от температуры окружающего воздуха для максимального режима при  $H = 0$ ,  $M_n = 0$

$\bar{n}_v = \bar{n}_v(T_n)$ ,  $\bar{R} = \bar{R}(T_n)$  и  $\bar{G}_T = \bar{G}_T(T_n)$  для максимального режима в земных статических условиях.

Когда  $T_n < 290$  К, двигатель работает при  $\pi_{kv} = \text{const}$ . При этом частота вращения роторов вентилятора  $n_v$ , компрессоров ВД  $n_{вд}$  и НД  $n_{нд}$ , а также температура газа  $T_{г^*}$  и  $T_{тнд}^*$  по тракту двигателя уменьшаются с уменьшением  $T_n$ . Расход воздуха через двигатель увеличивается с уменьшением  $T_n$ , а удельная тяга уменьшается в такой же пропорции, в результате тяга двигателя  $\bar{R} \cong \text{const}$ .

Когда  $T_n \geq 290$  К, двигатель работает при  $\bar{T}_{тнд}^* = \text{const}$ .

При этом частота вращения ротора ВД  $\bar{n}_{\text{ВД}} \cong \text{const}$  и температура газов перед турбиной  $T_{\text{Г}}^* \cong \text{const}$ . Тяга двигателя  $R$  с увеличением  $T_{\text{н}}$  уменьшается вследствие ограничения температуры газов  $T_{\text{Г}}^*$ , возрастающей пропорционально росту  $T_{\text{н}}$ , а также вследствие уменьшения расхода воздуха и удельной тяги из-за уменьшения суммарной степени повышения давления воздуха в компрессорах двигателя  $\pi_{\text{к}}$ .

Изменение управляемых параметров рабочего процесса двигателя в зависимости от  $T_{\text{н}}$  на взлетном, номинальном и максимально-крейсерском режимах на земле и других высотах  $H$  идентично изменению на взлетном режиме в земных статических условиях. Температура  $T_{\text{н}}$ , при которой происходит переход от закона  $\pi_{\text{к}} = \text{const}$  к закону  $\bar{T}_{\text{ВД}}^* = \text{const}$ , смещается с увеличением скорости полета  $M_{\text{п}}$  на более высокие значения температуры  $T_{\text{н}}$ , а с увеличением высоты полета  $H$  при  $M_{\text{п}} = \text{const}$  смещается на более низкие температуры  $T_{\text{н}}$ .

На режимах, которые меньше максимально-крейсерского, на двигателе поддерживается  $\pi_{\text{к}} = \text{const}$  во всем диапазоне температур  $T_{\text{н}}$ . При этом тяга двигателя  $R \cong \text{const}$  на заданной  $H$  и скорости полета  $M_{\text{п}}$ . Ограничение температуры газов за турбиной ВД  $T_{\text{ВД}}^* = \text{const}$  осуществляется на этих режимах только в зоне высоких температур  $T_{\text{н}}$ .

## 5. ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ САУ ДВИГАТЕЛЯ

САУ двигателя обеспечивает подачу топлива на его рабочие форсунки на режимах запуска приемистости и сброса газа, в установившихся и переходных режимах комплексом взаимосвязанных автоматических топливорегулирующих устройств, представленных в принципиальной гидроневматической схеме, приведенной на рис. 12 (вкладка).

В процессе функционирования САУ двигателя каждое устройство принципиальной гидроневматической схемы выполняет строго определенные функции.

Клапаны постоянного давления над давлением слива 48 и над гидравлической командой  $P_{\text{КВД Г}}$  47 предназначены для выдачи командного давления, необходимого для работы сервомоторов системы и питания пневмогидропреобразователей  $P_1^*$  и  $P_{\text{КВД}}$  соответственно.

Пневмогидропреобразователи  $P_{\text{КВД}}$  34 и  $P_1^*$  36 (рис. 13), установленные в топливном регуляторе, аналогичны по конструкции и предназначены для выдачи в него гидравлического командного давления топлива  $P_{\text{КВД Г}}$  и  $P_{\text{Г}}$  пропорционально давлению воздуха за компрессором ВД  $P_{\text{КВД}}$  и на вхо-

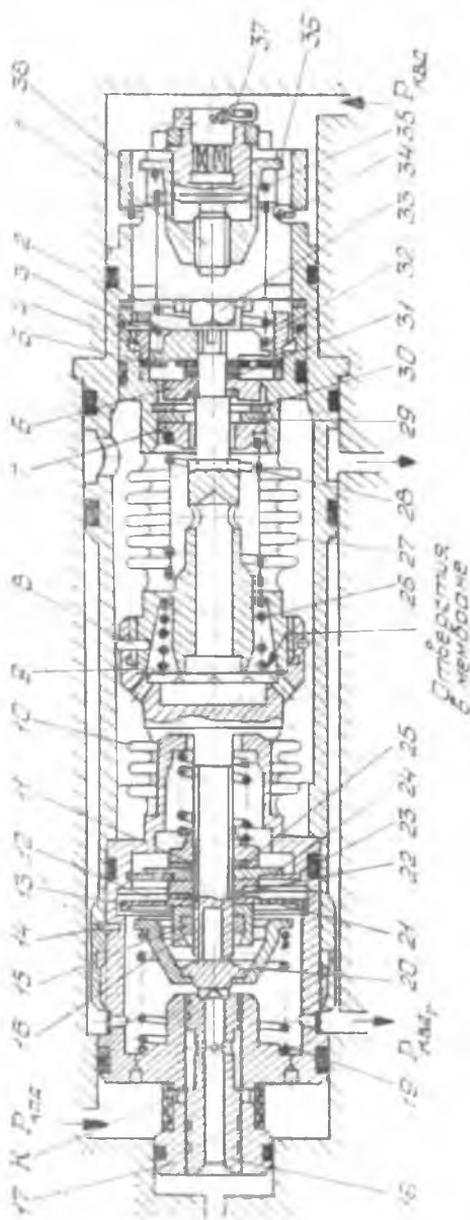


Рис. 13. Pneumo-гидрообразователь  $P_{квд}$

де в двигатель  $P_1^*$ . Для этого используются безрасходные воздушные камеры с минимальным количеством перегородок между топливом и имеющим высокую температуру воздухом.

В наружную полость двухсильфонного узла пневмогидропреобразователей подводится давление воздуха  $P_{\text{КВД}}$  и  $P_1^*$ .

Внутри левого сильфона подводится топливо, которое через кромки золотниковой пары соединено с КПД 47 или 48 (см. рис. 12). Величина давления этого топлива  $P_{\text{КВДг}}$  или  $P_{1г}$  больше, чем давление подводимого воздуха  $P_{\text{КВД}}$  или  $P_1^*$ , на величину затяжки пружины. Если эта разница  $P_{\text{КВДг}} - P_{\text{КВД}}$  или  $P_{1г} - P_1^*$  больше (меньше) величины затяжки пружины, подвижная часть с золотником перемещается вправо (влево), уменьшая (увеличивая) проходное сечение на входе топлива через кромки золотника.

Для повышения надежности в конструкции пневмогидропреобразователей предусмотрен правый резервный сильфон, который находится под нулевым перепадом и вероятность разрушения которого значительно ниже, чем у основного. В случае разрушения основного сильфона топливо, имеющее давление большее, чем воздух, заполнит воздушную полость снаружи сильфона, и полость мембранного клапана закроется от разности давления. При этом на резервном сильфоне установится перепад, соответствующий затяжке пружины, а в левом сильфоне перепад станет нулевым. В связи с тем, что эффективная площадь сильфонов одинакова, гидравлическая команда при разрушении основного сильфона не изменится.

Клапан постоянного давления 33 (рис. 12) предназначен для выдачи в топливный регулятор эталонного постоянного давления  $P_0$  (рис. 14) с целью обеспечения стабильной работы элементов, функционирующих по командам  $P_1^*$  и  $P_{\text{КВД}}$ . Для повышения надежности в системе установлены два клапана. В полости постоянного давления клапана установлен вакуумированный сильфон, а равновесие подвижной части узла происходит при командном давлении  $P_{01}$ , соответствующем затяжке пружины. Эталонный сигнал  $P_{01}$  подводится в нерасходную полость мембраны клапана сравнения 25.

Клапан сравнения давления 25 (рис. 12) выдает в топливный регулятор гидравлический рабочий сигнал с постоянным давлением, соответствующим эталонному, с целью повышения стабильности командного давления  $P_0$  (рис. 15).

Расходные клапаны 27 и 28 (рис. 12) предназначены для повышения точности поддержания командного давления  $P_{1г}$  пневмогидропреобразователем  $P_1^*$  с учетом коррекции расхода через клапан при различных значениях  $P_1^*$  и эталонного давления  $P_0$  (рис. 16 и 17) от КПД 33.

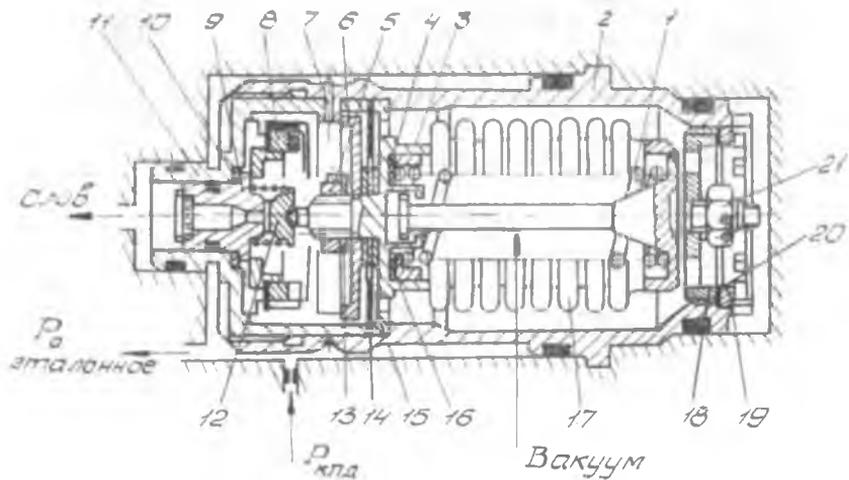


Рис. 14. Клапан постоянного давления  $P_0$

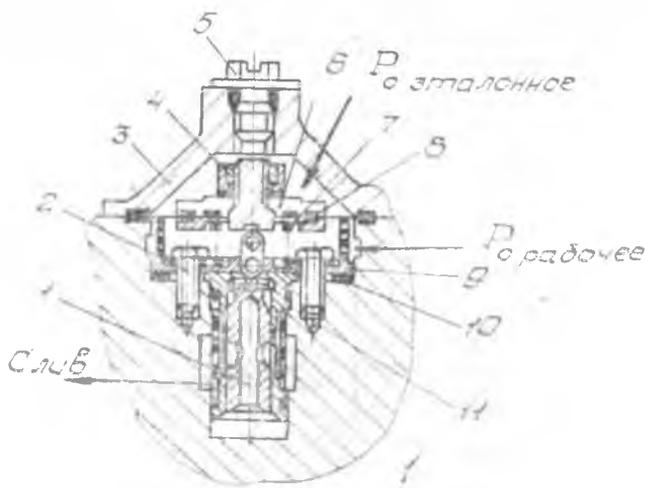


Рис. 15. Клапан сравнения  $P_0$

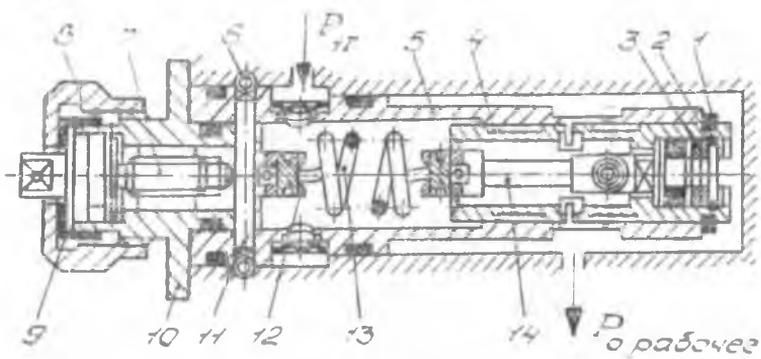


Рис. 16. Расходный клапан  $P_{1r}$

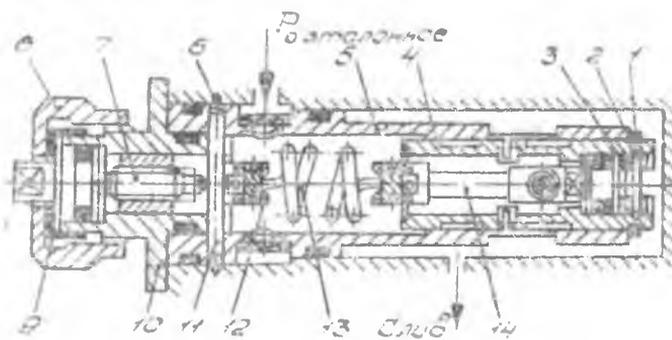


Рис. 17. Расходный клапан  $P_0$

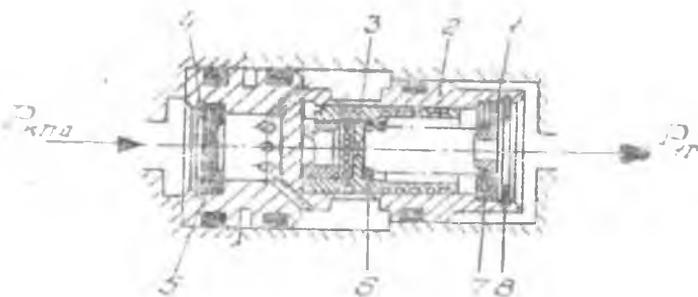


Рис. 18. Клапан постоянного расхода

Клапан постоянного расхода 44 (рис. 12) предназначен для повышения стабильности командного давления  $P_{1г}$  путем поддержания постоянного расхода на входе в полость  $P_{1г}$  пневмогидропреобразователя  $P_1^*$  (рис. 18).

Топливный регулятор осуществляет управление расходом топлива, поступающего в двигатель, путем изменения положения дозирующей иглы 77 (изменения площади дросселирующего сечения) и регулирования величины перепада давления в ее дросселирующем сечении регулятором перепада давления в соответствии с заданной зависимостью от параметров  $P_1^*$  и  $P_{квд}$  и работы ЭСУ.

Дозирующая игла 77 дозирует топливо в соответствии с режимом работы двигателя, заданным положением РУД. Регулирование установленных режимов осуществляется по суммарной степени повышения давления воздуха в компрессоре  $л_k$  с коррекцией по величине полного давления воздуха на входе в двигатель  $P_1^*$ .

Датчик расхода 70 предназначен для выдачи гидравлической команды в виде перепада давления, соответствующего фактическому расходу отдозированного топлива, к автомату запуска, клапанам минимального расхода КМРІ 69 и КМРІІ 62.

Клапаны минимального расхода топлива МКРІ 69 и МКРІІ 62 (рис. 12) предназначены для обеспечения подачи минимального расхода топлива в двигатель в процессе запуска и режимной работы соответственно (рис. 19 и 20).

**В процессе запуска двигателя** подача топлива осуществляется при выключенном питании ЭМК 8 БТН. При этом ЭМК открыт, давление топлива в регуляторе ниже давления открытия ЗК 76, который под действием пружины закрывает проход топлива к РФ. ДИ 77 регулятора перемещена в положение, соответствующее установке РУД на малом газе (МГ), а канал, соединяющий управляющую полость сервомотора ДИ с автоматом запуска 66, перекрыт КМРІІ на запуске 69.

При включении питания ЭМК 8 закрывается, давление топлива в регуляторе резко увеличивается, ЗК 76 открывается. По команде от датчика расхода 70 КМРІ 69 соединяет управляющую полость сервомотора ДИ с автоматом запуска. Так как первоначальный расход топлива в двигатель больше минимального на запуске, ДИ 77 перемещается в положение, ограниченное КМРІ 69. По мере нарастания  $P_{квдг}$  при расходе топлива больше минимального дозирование топлива осуществляет автомат запуска 66, который представляет собой механизм типа «весы», где, с одной стороны, действует разность давлений  $P_{квдг}$  —  $P_{1г}$ , а с другой — перепад на датчике расхода 70, характеризующий фактический расход топлива в двигатель. Рычаг автомата

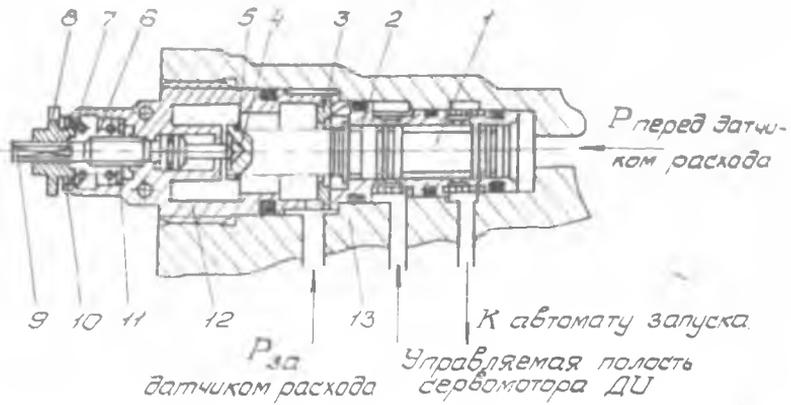


Рис. 19. Клапан минимального расхода топлива на запуске

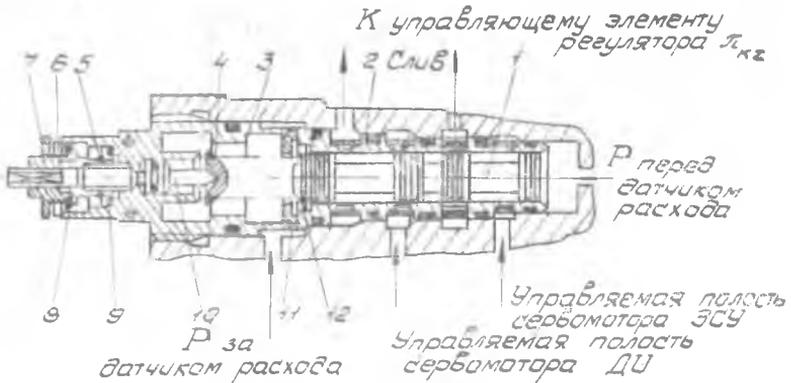


Рис. 20. Клапан минимального расхода топлива на режиме

запуска 66 через клапан управляет давлением топлива в полости сервопоршня ДИ. Увеличение давления  $P_{\text{квдг}}$  воздействует на рычаг автомата запуска, что приводит к уменьшению слива топлива через клапан из управляющей полости сервомотора и перемещению ДИ в сторону увеличения расхода топлива. Увеличение расхода отдозированного топлива приводит к увеличенному перепаду давлений на датчике расхода 70, а следовательно, к увеличению силы, действующей на рычаг автомата запуска с противоположной стороны. Увеличение расхода топлива будет происходить до тех пор, пока перепад давления от датчика расхода 70, действуя на рычаг автомата запуска, не увеличит слив топлива через клапан из управляющей полости сервомотора ДИ и не остановит ее движение. При этом зависимость между расходом топлива через РФ и разностью давлений  $P_{\text{квдг}} - P_{\text{г}}$  будет соответствовать заданной характеристике запуска. Дальнейшее увеличение давления  $P_{\text{квдг}}$  вызывает дальнейшее увеличение расхода топлива, т. е. в процессе всего запуска сохраняется заданная зависимость между расходом топлива и разностью давлений  $P_{\text{квдг}} - P_{\text{г}}$  до тех пор, пока ДИ не переместится в положение, ограничиваемое следящей втулкой РУД. После этого дозирование топлива на запуске определяется увеличением перепада давления на ДИ. Положение точки перелома характеристики запуска зависит от  $P_1^*$  и определяет характер высотного запуска.

Запуск заканчивается при выходе двигателя на МГ, поддержание которого осуществляется регулятором  $\pi_{\text{кг}}$ .

На режимной работе двигателя клапан автомата запуска закрыт управляющим рычагом под воздействием большого давления  $P_{\text{квдг}}$  и малого перепада давления на датчике расхода.

Регулировка характеристики при запуске осуществляется винтами 29, 61, 65, 67.

В процессе приемистости на режимах прямой и обратной тяги дозирование топлива в двигатель обеспечивается автоматом приемистости, который управляет скоростью перемещения ДИ и регулирует подачу топлива по заданному закону.

Автомат приемистости включает в себя ДИ 77, управляющий элемент регулятора  $\pi_{\text{кз}}$  68, корректор приемистости 41, клапан прямого хода 74, регулятор перепада давления.

При переводе РУД на более высокий режим кулачок перемещает следящую втулку регулятора и закрывает слив из управляющей полости сервомотора ДИ 77. Регулятор  $\pi_{\text{кз}}$  перенастраивается из-за перезатяжки пружины 96, а клапан управляющего элемента 68 закрывается. Площадь поршня сервомотора ДИ 77 со стороны управляемой полости в два раза больше, чем со стороны не управляемой полости. В результате ДИ под дей-

ствием равного в обеих полостях давления перемещается в сторону увеличения расхода топлива со скоростью, определяемой временем вытеснения топлива из полости обратной связи через дросселирующее сечение корректора приемистости 41. С полостью обратной связи сервомотора ДИ соединены мембранные полости клапанов обратного хода 71 и 16 управляющего элемента 68 регулятора  $\pi_{к\lambda}$ . Под действием избыточного над сливом давления топлива в начале движения ДИ 77 мембраны прогибаются, принимая в свои полости часть топлива, вытесняемого из полости обратной связи. При этом скорость перемещения ДИ максимальная, заданная проливкой жиклера У, поэтому расход резко увеличивается, что обеспечивает первоначальный бросок топлива при приемистости. После стабилизации объемов полостей мембран элементов 71, 16 и управляющего маятника 68 регулятора  $\pi_{к\lambda}$  скорость перемещения ДИ определяется дросселирующим сечением корректора приемистости 41, перепад давления на котором поддерживается постоянным. Постоянство перепада при неизменном дросселирующем сечении корректора приемистости 41 возможно лишь при постоянной скорости перемещения ДИ 77, которую поддерживает управляющий маятник 68. Суммарная затяжка пружин управляющего маятника 68 определяет величину перепада в дросселирующем сечении корректора приемистости 41.

Если скорость перемещения ДИ 77 увеличивается (уменьшается), то под действием возрастающего (уменьшающегося) давления в полости обратной связи мембрана элемента 16 через управляющий маятник 68 увеличит (уменьшит) слив топлива через клапан из управляемой полости сервомотора ДИ 77. Движение ДИ 77 замедлится (ускорится).

Таким образом поддерживается постоянный перепад давления в дросселирующем сечении корректора приемистости 41. Однако площадь дросселирующего сечения корректора приемистости 41 переменная и зависит от давления  $P_{1г}$  и  $P_{квдг}$ . Площадь золотника, на которую действует давление  $P_{1г}$ , соответствует коэффициенту  $k_3$ , а площадь золотника, на которую действует давление  $P_{квдг}$ , — коэффициенту  $k_4$  (с учетом коэффициента редукции, регулируемого жиклером 39).

Поддержание постоянного перепада давлений на переменном дросселирующем сечении корректора приемистости осуществляется управляющим маятником 68 регулятора  $\pi_{к\lambda}$  за счет изменения скорости перемещения ДИ 77. Увеличение давлений  $P_{1г}$  и  $P_{квдг}$  увеличивает площадь дросселирующего сечения корректора приемистости 41 и соответственно увеличивает скорость перемещения ДИ 77. Наряду с изменением скорости перемещения ДИ 77 изменяется и перепад давлений в ее дозирую-

щём сечении. Так реализовывается заданный закон дозирования топлива при приемистости двигателя.

Клапан прямого хода 74 предназначен для исключения влияния жиклера на скорость перемещения ДИ 77 при приемистости. При равновесном положении ДИ 77 давление в неуправляемой полости равно давлению, которое выдается КПД 48. При приемистости двигателя топливо из неуправляемой полости ДИ 77 вытесняется через клапан 74. Регулировка времени приемистости выполняется винтами 31, 39, 40.

На режимах обратной тяги все элементы регулятора работают так же, как и на режимах прямой тяги.

При сбросе газа на режимах прямой и обратной тяги дозирование топлива в двигатель обеспечивается перемещением ДИ 77 до минимального упора 83 и дальнейшим снижением расхода топлива с помощью регулятора перепада давлений в соответствии с уменьшением давления  $P_{\text{вдг}}$ .

При переводе РУД с высокого режима на более низкий или до режима МГ следящая втулка ДИ 77 перемещается и открывает слив из управляемой полости сервомотора ДИ. Одновременно ослабляется затяжка пружины 96, и регулятор  $\pi_{\text{к}}$  под действием высокого давления  $P_{\text{вдг}}$  открывает управляющим маятником 68 слив топлива через клапан. ДИ 77 под действием давления топлива в неуправляемой полости перемещается в сторону уменьшения расхода топлива. При этом заниженное относительно слива давление в полости обратной связи откроет клапан обратного хода 71 для заполнения полости обратной связи без влияния на скорость перемещения ДИ 77. Клапан прямого хода 74 закрыт. Скорость перемещения ДИ 77 определяется временем заполнения неуправляемой полости через жиклер Н. ДИ 77 с постоянной скоростью перемещается до минимального упора 83.

Вместе с движением ДИ снижается расход топлива в двигатель и давление  $P_{\text{вдг}}$ . С момента, когда ДИ 77 встанет на минимальный упор 83, дальнейшее снижение расхода топлива в двигатель происходит в темпе уменьшения давления  $P_{\text{вдг}}$  за счет работы регулятора перепада давления. Минимальный упор 83 регулируется по расходу топлива, который меньше, чем по кромке «1» следящей гильзы. ДИ 77 ставится на минимальный упор при открытом клапане управляющим маятником 68 регулятора  $\pi_{\text{к}}$ .

Когда уменьшение расхода топлива в двигатель за счет регулятора перепада давления достигнет минимального допустимого значения, КМРП 62 перекроет слив из управляемой полости сервомотора, а ДИ 77 отойдет от минимального упора 83 и будет поддерживать минимальный расход топлива.

При переходе двигателя на режим МГ дозирование расхода топлива осуществляется регулятором  $\pi_k$ .

Регулировка времени сброса газа выполняется винтом 83.

В процессе поддержания заданных режимов управления подачей топлива в двигатель осуществляется регулятором  $\pi_k$ , который воздействует на положение ДИ 77.

Регулятор  $\pi_{kz}$  включает в себя: сервомотор задатчика режимов 18, высотный корректор регулятора  $\pi_{kz}$  38, суммирующий сервомотор 60, задатчик регулятора  $\pi_{kz}$  17, управляющий маятник регулятора  $\pi_{kz}$  68 и ДИ 77.

Сервомотор задатчика режимов 18 предназначен для перетяжки пружины 96, передающей на рычаг Д усилие, соответствующее положению РУД, т. е. заданному режиму работы двигателя. При перемещении РУД следящая втулка задатчика режимов 18 переместится от действия кулачка на валике и рычага в положение, соответствующее вновь заданному режиму. Учитывая, что площадь поршня управляемой полости в два раза больше, чем неуправляемой, а давление топлива в управляемой полости равно половине давления в неуправляемой полости, сервомотор задатчика режимов 18 будет находиться в равновесии.

При перемещении следящей втулки задатчика режимов 18 изменяется слив топлива из управляемой полости и сервомотор перемещается за следящей втулкой до равновесного положения, соответствующего вновь заданному режиму. В этом случае перетягивается пружина 96, усилие от которой через рычаги Д, В, Г изменяет слив топлива из управляемой полости суммирующего сервомотора 60 через клапан «Л». Если слив топлива через клапан «Л» уменьшится, то под действием возросшего в управляемой полости давления топлива суммирующей сервомотор 60 переместится в сторону увеличения затыжки пружины 96, сжимая пружину 95. Равновесие суммирующего сервомотора 60 наступит после того, как усилием пружины 95, направленным против усилия пружины 96, через рычаг будет увеличен слив через клапан «Л» и давление в управляемой полости установится равным половине выдаваемого КПД 48. Таким образом каждому положению РУД соответствует определенная затыжка пружин 95 и 96. Передача усилия от рычага Д к рычагу Г осуществляется через подвижный рычаг В, положение которого задается кулачком высотного корректора 38, т. е. усилие затыжки пружины 96 зависит от положения РУД и величины  $P_1^*$ . Усилие затыжки пружины 96 действует на один торец золотника 17 регулятора  $\pi_k$ , а на другой торец золотника действует давление  $P_{КВЛг} = f(P_{КВЛ}) = f(P_{пр})$ ;  $P_{КВЛ} = f(P_{пр})$ , где  $P_{пр}$  — усилие затыжки пружины 96,  $P_{пр} = i P_{прз}$ , где  $i$  — передаточное от-

ношение, с которым усилие пружины 95 передается на пружину 96.  $P_{прз}$  — усилие затяжки пружины 95 задатчика режимов.

Форма кулачка сервомотора высотного корректора выполнена таким образом, чтобы

$$i = f(P_{1г})^2, \text{ где } P_{1г} = f(P_1^*).$$

Так как  $P_{прз} = f(\alpha_v)$ , то условие равновесия золотника 17 будет

$$P_{квд} = f(i P_{прз}) = f[(P_1^*)^2 \alpha_v].$$

Разделив обе части уравнения на  $P_1^*$ , получим

$$P_{квд} / P_1^* = f[\alpha_v P_1^*], \text{ т. е. } \pi_{кз} = f[\alpha_v P_1^*],$$

что соответствует закону поддержания заданных режимов.

Из изложенного следует, что поддержание  $P_{квд} = f[\alpha_v (P_{1г})^2]$ , соответствующего положению РУД и фактическому давлению  $P_{1г}$ , способствует поддержанию суммарной степени повышения давления в компрессорах двигателя, определяемого положением РУД и полного давления воздуха на входе в двигатель  $P_1^*$ , т. е.  $\pi_{кз} = f[\alpha_v P_1^*]$ .

Поддержание постоянного давления  $P_{квдг}$  для заданного режима осуществляется за счет изменения подачи топлива в двигатель.

При переводе РУД изменяется усилие затяжки пружины 96. С увеличением (уменьшением) усилия затяжки пружины 96 золотник 17 перемещается и поворачивает управляющий маятник 68 регулятора  $\pi_{кз}$ , который закрывает (открывает) клапан слива топлива из управляемой полости ДИ 77. ДИ 77 смещается и увеличивает (уменьшает) расход топлива, поступающий в двигатель, что обеспечивает переход его на повышенный (пониженный) режим работы.

Перемещение ДИ 77 происходит до тех пор, пока изменение расхода топлива в двигатель не выведет его на режим, при котором давление  $P_{вдг}$  уравнивает усилие пружины 96. В управляемой полости сервомотора ДИ 77 установится давление, равное половине выдаваемого КПД 48, и движение ДИ прекратится.

Отклонение давления  $P_{квдг}$  от величины, заданной пружиной 96, вызовет перемещение золотника 17 и управляющего маятника 68 регулятора  $\pi_{кз}$ , что приведет к изменению слива топлива через клапан из управляемой полости сервомотора ДИ 77. ДИ 77, перемещаясь, изменит расход топлива в двигатель до восстановления величины  $P_{квдг}$ , заданного пружиной 96 (положением РУД).

Регулировка поддержания заданных режимов работы двигателя регулятором  $\pi_{кз}$  осуществляется винтами 22, 23, 53, 56.

Функционирование ЭСУ при ее работе и отказе осуществляется следующим образом. Заданные значения регулируемых параметров двигателя по режимам его работы формируются в виде электрических сигналов, которые поступают в агрегат ЭСУ при ступенчатой и следящей перестройке с блока микропереключателей 10, 12, 13, 133, 115 и датчиков положения РУД 9 и 79 в соответствии с углом установки РУД.

При этом замыкание и размыкание цепей блока микропереключателей происходит для заданных углов положения РУД путем механического воздействия кулачков валика РУД на штоки микропереключателей. Датчики положения РУД — бесконтактные синусно-косинусные трансформаторы 9 и 79 соединены с валиком РУД и выдают электрические команды при его повороте ЭСУ и в кабину самолета.

Действительные значения регулируемых параметров двигателя поступают в ЭСУ с блока терморпар Т-80Т и датчиков частоты вращения ДТА-10, установленных на двигателе.

В агрегате ЭСУ осуществляется преобразование и сравнение сигналов заданных и действительных значений регулируемых параметров двигателя, определение рассогласования между ними и выбор регулирующего воздействия по тому параметру, по которому необходимо осуществлять регулирование.

Регулирующее воздействие от ЭСУ поступает на исполнительное устройство топливного регулятора, которое включает в себя: исполнительный механизм 52, сервомотор ЭСУ 55 и регулятор перепада давления (РПД).

Исполнительный механизм 52 предназначен для преобразования электрической команды ЭСУ в гидравлическую команду, управляющую положением сервомотора ЭСУ-55. Электрическая команда ЭСУ выдается в виде импульсов, повторяющихся с постоянной частотой, но с переменным коэффициентом заполнения (скватностью)  $\gamma$ . При коэффициенте заполнения импульсов, равном 50%, в управляемой полости сервомотора 55 поддерживается давление топлива, удерживающее его в равновесном положении.

При  $\gamma > 50\%$  ( $\gamma < 50\%$ ) сервомотор 55 под действием увеличенного (пониженного) давления топлива в управляемой полости перемещается влево (вправо). Скорость перемещения сервомотора 55 зависит от отклонения коэффициента заполнения импульсов равновесной величины. При  $\gamma = 0\%$  и  $\gamma = 100\%$  скорость перемещения сервомотора 55 максимальная. Дозирующее сечение на штоке сервомотора 55 включено в РПД параллельно с входным жиклером 58. Если  $\gamma > 50\%$ , сервомотор 55 перемещается в сторону увеличения расхода топлива, поступающего в РПД. При этом увеличится давление топлива перед корректо-

ром перепада 45, а управляющий элемент 50 выдаст команду ИМ РПД на перепуск топлива на вход шестеренного насоса БТН до восстановления давления перед корректором перепада 45. Таким образом, по команде от ЭСУ снизится расход топлива в двигатель. При  $\gamma < 50\%$  расход топлива в двигатель увеличится.

Изменение расхода топлива будет происходить до тех пор, пока команда от ЭСУ не будет соответствовать  $\gamma = 50\%$ .

При отказе ЭСУ снижение максимального режима работы двигателя осуществляется по электрической команде путем ограничения хода сервомотора 18 задатчика режимов регулятора  $\pi_k$ .

Механизм сброса режимов включает в себя: электромагнитный клапан 24, рычажной упор с клапаном Б.

ЭМК 24 при подаче электрического сигнала открывается и соединяет клапан Б с управляемой полостью сервомотора задатчика режимов 18. Если в этом случае РУД переводится на режим выше ограничиваемого рычажным упором, то сервомотор задатчика режимов перемещается и через рычаг открывает клапан Б, соединяя со сливом управляющую полость и останавливаясь на гидроупоре.

Рычаг гидроупора отжат и клапан Б открыт, если до включения ЭМК 24 режим работы двигателя был выше ограничиваемого гидроупором. При включении ЭМК 24 сервомотор задатчика режимов 18 переместится в положение, ограничиваемое гидроупором, а следовательно, произойдет снижение режима работы двигателя без перемещения РУД.

При выключении ЭМК 24 сервомотор задатчика режимов 18 переместится в положение, ограничиваемое следящей втулкой, т. е. восстановится режим, соответствующий положению РУД.

Регулировка режима ограничения хода сервомотора 18 осуществляется винтом 26.

**Регулятор перепада давления (РПД)** предназначен для регулирования расхода топлива, поступающего на РФ двигателя путем изменения и поддержания перепада давления на ДИ 77, соответствующего заданной зависимости от параметров  $P_1^*$  и  $P_{\text{квп}}$  и работе ЭСУ.

РПД включает в себя: входной жиклер 58; клапан сравнения 51; управляющий элемент 50; корректор перепада 45; регулируемый жиклер 42, сервомотор регулятора ЭСУ 55, исполнительный механизм 52.

На всех режимах работы двигателя расход и давление в основном насосе БТН выше расхода топлива, необходимого для его работы. Избыточное количество топлива перепускается на

вход в основной насос ИМ РПД 7 в БТН. Наличие избыточной производительности дает возможность поддерживать заданный режим работы двигателя путем увеличения или уменьшения подачи топлива, а также иметь первоначальный бросок топлива при переводе РУД на более высокий режим.

Количество топлива, подаваемого в двигатель, определяется площадью дозирующего сечения ДИ 77 и перепадом давления на нем. В топливном регуляторе применен РПД непрямого действия, позволяющий путем измерения малого расхода топлива управлять подачей топлива на РФ и обеспечивать заданные законы регулирования работы двигателя. При этом параллельно ДИ 77 топливо поступает на входной жиклер 58, далее, минуя клапан сравнения 51 и управляющий элемент 50, оно через корректор перепада 45 поступает в сливную полость регулятора. Давление с обеих сторон мембраны клапана сравнения 51 за счет перепуска топлива через этот клапан поддерживается одинаковое, равное давлению топлива за ДИ 77. Отсюда следует, что на входном жиклере 58 перепад давления равен перепаду давления на ДИ, а отношение расходов через ДИ 77 и жиклер 58 равно отношению площадей дозирующих сечений этих элементов.

Управляющий маятник 50 с чувствительным элементом, поддерживая постоянный перепад давления на корректоре перепада 45, тем самым поддерживает постоянный расход через корректор перепада 45 при неизменном его дозирующем сечении, а, соответственно, и через входной жиклер 58 и ДИ 77.

В случае, если расход через ДИ 77 станет больше (меньше) из-за увеличения (уменьшения) перепада давлений, то увеличится (уменьшится) расход через жиклер 58 и корректор 45, т. е. увеличится (уменьшится) перепад давлений на корректоре 45 и на сильфонном чувствительном элементе управляющего маятника 50, который откроет (закроет) слив через каналы 122 и 105 из сервомотора ИМ РПД 7. ИМ РПД 7 переместится в сторону увеличения (уменьшения) перепуска топлива на вход в основной насос БТН, давление топлива на выходе из основного насоса уменьшится (увеличится), т. е. уменьшится (увеличится) давление перед ДИ 77, жиклером 58 и корректором 45 до получения равновесия на сильфонном чувствительном элементе управляющего маятника 50.

Таким образом поддерживается постоянный перепад на ДИ 77 при постоянном дозирующем сечении корректора 45.

Для обеспечения заданных режимов и законов регулирования необходимо изменять подачу топлива в двигатель в зависимости от  $P_1^*$  и  $P_{квд}$ . Эту задачу выполняет корректор 45, дозирующее сечение которого изменяется в зависимости от осевого положения двухступенчатого золотника, на торцевые площади

которого воздействуют подводимые к нему соответственно давления  $P_{1г}$  (коэффициент  $k_1$ ) и  $P_{квдг}$  (коэффициент  $k_2$ ). Увеличение площади дозирующего сечения корректора 45 приводит к снижению перепада давления на сильфонном чувствительном элементе управляющего маятника 50, в результате чего ИМ РПД 7 БТН уменьшит перепуск топлива и увеличит его давление за основным насосом, а следовательно, и перед ДИ 77, жиклером 58 и корректором 45 до равновесия на сильфонном чувствительном элементе управляющего маятника 50. При этом расход топлива через корректор 45 увеличится соответственно увеличению его площади, на эту же величину увеличится расход через жиклер 58, а следовательно, произойдет увеличение расхода через ДИ 77. Произойдет коррекция перепада давлений на ДИ 77 в зависимости от  $P_{1г}^*$  и  $P_{квдг}$ .

**В процессе останова** прекращение подачи топлива в двигатель осуществляется механическим стоп-краном 75, который включает в себя золотники, жестко соединенные с РОД.

На рабочих режимах РОД находится на упоре «Запуск» и стоп-кран не влияет на работу двигателя. При переводе РОД на упор «Стоп» золотник стоп-крана перекрывает канал выхода топлива в двигатель, а также соединяет со сливом управляющую полость перепускного клапана 7 БТН. Давление топлива на входе в топливный регулятор резко падает, запорный клапан 76 закрывается, подача топлива в двигатель прекращается.

Прекращение подачи топлива в двигатель может осуществляться также от электрического сигнала, действующего на БТН. При подаче электрического сигнала на ЭМК 8 ИМ РПД 7 перепускает топливо на вход в подкачивающий насос БТН, давление топлива на входе в топливный регулятор резко падает, запорный клапан 76 закрывается, подача топлива в двигатель прекращается, независимо от положения РУД и РОД.

## **6. СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ КОМПРЕССОРАМИ НД И ВД ДВИГАТЕЛЯ**

Система управления компрессорами НД и ВД двигателя предназначена для обеспечения газодинамической устойчивой работы их на режимах запуска и малых режимах работы двигателя и состоит из АУК перепуска воздуха КНД и АУК перепуска воздуха КВД, двух сигнализаторов давления и сигнальных ламп.

На неработающем двигателе и в процессе запуска все КПВ открыты и горят на табло сигнальные лампы. Закрытие (открытие) КПВ осуществляется по команде АУК, при достижении оп-

ределенной степени повышения давления воздуха

$$\pi_k^I = P_{\text{КВД}} / P_{\text{в}}^* \quad |\pi_k^{II} = P_{\text{КВД}} / P_{\text{в}}^*|,$$

пропорциональной суммарной степени повышения давления во внутреннем контуре двигателя  $\pi_{\text{к}} = P_{\text{КВД}} / P_1^*$ .

Выдача кованды на закрытие КПВ осуществляется при  $\pi_k^I = 5,8 \pm 0,17$  для АУК КВД и при  $\pi_k^I = 11,8 \pm 0,35$  для АУК КНД.

Величина гистерезиса  $\Delta = \pi_k^I - \pi_k^{II}$  на открытие КПВ составляет для АУК КВД от 0,2 до 0,6, а для АУК КНД от 0,5 до 0,9.

К АУК подводится воздух от КВД с давлением от 0,02 до 2,1 МПа и температурой от 213 до 808 К. При этом температура окружающей среды составляет от 213 до 623 К.

АУК перепуска воздуха, функциональная схема которого изображена на рис. 21, включает в себя следующие основные элементы: датчик отношения абсолютных давлений 1, регулировочный элемент 3 с входным фильтром 2, воздушный редуктор 4, два блока струйных усилителей 5, распределительный клапан с поршнем 7.

Датчик отношения абсолютных давлений 1 состоит из входного и приемного сопел, соосно расположенных в корпусе. К входному соплу подводится воздух с давлением  $P_{\text{вх}}$  от регулируемого элемента 3.

Приемное сопло соединено через штуцер с жиклером 8 и управляющим каналом блока струйных усилителей 5. Во внутреннюю полость корпуса датчика подводится воздух с давлением  $P_{\text{в}}^*$  из-за вентилятора двигателя. На выходе датчика отношения абсолютных давлений устанавливается давление воздуха  $P_{\text{вых}}$ .

В АУК КНД через штуцер 10 во внутреннюю полость корпуса датчика отношения давлений и управляющий канал блока струйных усилителей 5 может подаваться воздух с командным давлением  $P_{\text{ком}}$  для принудительного открытия КПВ.

Регулировочный элемент 3 состоит из входного жиклера, регулировочного винта, корпуса и фильтра 2, помещенного в штуцере.

К входному жиклеру регулировочного элемента 3 подводится воздух с давлением  $P_{\text{КВД}}$ , а на выходе из него устанавливается давление  $P_{\text{вх}}$ , подаваемое к датчику отношения давлений 1 и воздушному редуктору 4.

Воздушный редуктор 4 состоит из корпуса, входного и выходного жиклеров. К входному жиклеру подводится воздух с давлением  $P_{\text{вх}}$  от регулировочного элемента 3. Выходным сигналом воздушного редуктора является давление воздуха в межжиклерной полости  $P_{\text{р}}$ .



Выходные каналы второго струйного усилителя с давлением воздуха в них соответственно  $P_A$  и  $P_B$  соединены с управляющими полостями распределительного клапана АУК.

Распределительный клапан представляет собой двухпозиционный переключатель и состоит из корпуса 6 и поршня 7, пружины и крышек. В полость «В» распределительного клапана подводится воздух с давлением  $P_{IV\text{ КВД}}$  для АУК КНД и  $P_{\text{КВД}}$  для АУК КВД. Полость «Г» соединяется с управляющими полостями КПВ. Давление в полости «Д» соединяется через каналы КНД или КВД с давлением окружающей среды  $P_n$  через отверстия в крышке АУК. В управляющие полости распределительного клапана «А» и «Б» подводится соответственно давление воздуха  $P_A$  и  $P_B$  от выходных каналов второго струйного усилителя.

В исходном состоянии поршень 7 распределительного клапана под воздействием пружины находится в крайнем правом положении. При этом управляющие полости КПВ двигателя через штуцер АУК и полости «Г» и «Д» распределительного клапана соединяются с давлением окружающей среды  $P_n$ . КПВ КНД и КВД открыты.

При запуске и разгоне двигателя воздух с давлением  $P_{\text{КВД}}$  от КВД поступает в АУК на вход регулировочного элемента 3 и к каналам питания блока струйных усилителей 5. Пройдя через регулировочный элемент 3 и понижаясь в нем до давления  $P_{\text{вых}}$ , воздух подается на датчик отношения давлений 1, воздушный редуктор 4, с жиклером 9. Одновременно в датчик отношения давлений 1 АУК поступает воздух из-за вентилятора двигателя с давлением  $P_v^*$ , а в полость «В» распределительного клапана подается воздух от КВД с давлением:  $P_{IV\text{ КВД}}$  для АУК КНД и  $P_{\text{КВД}}$  для АУК КВД.

При отношении давлений  $\pi_k = P_{\text{КВД}} / P_v^*$  меньших, чем настроенные значения  $\pi_k^1$ , на выходе из датчика отношения давления 1 создается давление воздуха  $P_{\text{вых}} > P_p$ , где  $P_p$  — давление воздуха за воздушным редуктором 4.

Воздух с давлением  $P_{\text{вых}}$  и  $P_p$  поступает в блок струйных усилителей 5 и создает в его управляющих каналах перепад давления  $\delta = P_{\text{вых}} - P_p$ . Под воздействием перепада давления  $\delta = P_{\text{вых}} - P_p > 0$  поток воздуха с давлением  $P_{\text{КВД}}$ , вытекающий из канала питания первого струйного усилителя, направляется к правому выходному каналу, давление воздуха в котором становится больше, чем давление в левом выходном канале. В результате этого создается перепад давлений в управляющих каналах второго струйного усилителя, под воздействием которого поток воздуха из канала питания направляется в выходной канал с давлением  $P_A$ , которое больше, чем давление  $P_B$  в другом выходном канале.

При  $\Delta P = P_A - P_B > 0$  поршень 7 распределительного клапана остается в исходном крайнем правом положении, КПВ открыты, а полость «Г» соединяется с полостью «Д».

На режимах двигателя, при которых достигается настроенные значения отношений давлений  $\pi_k^I$ , срабатывает датчик отношения давлений 1. При этом вследствие взаимодействия потоков воздуха, вытекающего из входного сопла датчика отношения давлений с приемным соплом и образования на нем скачков уплотнений, происходит резкое падение давления воздуха  $P_{\text{вых}}$ , которое становится меньше давления воздуха  $P_p$  на выходе воздушного редуктора 4. Под воздействием перепада давления в управляющих каналах первого струйного усилителя  $\delta = P_{\text{вых}} - P_p < 0$  осуществляется его переключение. Поток воздуха с давлением  $P_{\text{КВД}}$ , вытекающий из канала питания первого струйного усилителя, поступает теперь в его левый выходной канал, давление воздуха в котором становится больше, чем давление в правом выходном канале. Перепад давлений, образующийся в управляющих каналах второго струйного усилителя, осуществляет воздействие на поток воздуха из канала питания, направляя его в выходной канал с давлением  $P_B$ , которое больше, чем давление  $P_A$  в другом выходном канале.

При  $\Delta P = P_A - P_B < 0$  поршень 7 распределительного клапана перемещается в левое крайнее положение, полость «Г» отсекается от полости «Д» и соединяется с полостью «В», в которую поступает воздух с давлением  $P_{\text{КВД}}$  и КПВ закрываются.

При дросселировании двигателя, когда степень повышения давления воздуха достигает значения  $\pi_k^{II} < \pi_k^I$  на величину гистерезиса  $\Delta$ , происходит обратное срабатывание датчика отношения давлений 1 в связи с тем, что скачки уплотнения воздуха на приемном сопле исчезают, а перепад давления воздуха  $\delta = P_{\text{вых}} - P_p > 0$  вызывает переключение потоков воздуха в блоке струйных усилителей в первоначальное состояние и КПВ открываются.

Величина степени повышения давления воздуха  $\pi_k^I$ , при которой АУК выдает команду на закрытие КПВ, устанавливается при помощи регулировочного элемента 3, изменяющего сечение входного жиклера.

Величина гистерезиса  $\Delta = \pi_k^I - \pi_k^{II}$  АУК КВД и КНД настраивается при отладке на заводе и регулировке в процессе эксплуатации не подлежит.

Для принудительного открытия КПВ при значениях  $\pi_k > \pi_k^I$  необходимо к АУК КНД подать на штуцер 10 воздух с давлением  $P_{\text{ком}} > 0,4 P_{\text{КВД}}$ , тогда перепад давления воздуха в управляющих каналах  $\delta = P_{\text{вых}} - P_p > 0$  осуществит переключение блока струйных усилителей.

При снятии командного давления  $P_{\text{ком}}$  АУК принимает состояние, соответствующее значению степени повышения давления воздуха, т. е. если  $\pi_k > \pi_k^1$ , КПВ КНД закрываются, а при  $\pi_k < \pi_k^1$  КПВ КНД остаются открытыми.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Трехвальный ТРДД Д-36: Руководство по технической эксплуатации /Под ред. В. А. Лотарева. Запорожье, 1978. Кн. 1, 2.

---

---

## СОДЕРЖАНИЕ

Принятые обозначения . . . . .	3
Предисловие . . . . .	5
1. Общие сведения о САУ двигателя . . . . .	6
2. Система топливопитания двигателя . . . . .	9
3. Электронная система управления двигателя . . . . .	13
4. Программа регулирования двигателя . . . . .	16
5. Функционирование САУ двигателя . . . . .	24
6. Система управления компрессорами НД и ВД двигателя . . . . .	39
Библиографический список . . . . .	44

А н и с и м к и н Ю р и й С е м е н о в и ч

**СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ  
ТРЕХВАЛЬНОГО ТРДД**

Редактор Т. К. Кретинина  
Техн. редактор Г. А. Усачева  
Корректор Н. С. Куприанова

Сдано в набор 1.10.91. Подписано в печать 14.11.91.  
Формат 60×84 1/16. Бумага оберточная.  
Гарнитура литературная. Печать высокая.  
Усл. печ. л. 2,56 + 0,25 п. л. вкл. Усл. кр.-огт. 2,93. Уч.-изд. л. 3 0  
Тираж 500 экз. Заказ 673. Цена 60 к.

Самарский ордена Трудового Красного Знамени  
авиационный институт имени академика С. П. Королева.  
443086 Самара, Московское шоссе, 34.

Тип. ЭОЗ Самарского авиационного института.  
443001 Самара, ул. Ульяновская, 18.