

Министерство высшего и среднего специального образования
Р С Ф С Р

Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени авиационный
институт имени академика С.П.Королева

ИССЛЕДОВАНИЕ СТАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК
СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ
НАПРАВЛЯЮЩЕГО АППАРАТА ГТД

У т в е р ж д е н о
редакционно-издательским
советом института
в качестве
методических указаний
к лабораторной работе
для студентов и
слушателей ФПК и ИТР

Куйбышев 1987

В методических указаниях изложена методика теоретического и экспериментального исследования статических характеристик системы автоматического регулирования (САР) направляющего аппарата (НА) ГТД. Представлена функциональная и расчетная схема САР направляющего аппарата ГТД, ее основные уравнения и статические характеристики; приведена гидравлическая схема лабораторной установки с комплексом измерительных устройств. Сравнение и анализ теоретических и экспериментальных статических характеристик САР направляющего аппарата ГТД осуществляется при одних и тех же значениях конструктивных, настроечных и эксплуатационных параметрах.

Методические указания предназначены для студентов КуАИ факультетов "Двигатели летательных аппаратов" и "Техническая эксплуатация самолетов и двигателей", изучающих курсы: "Теория автоматического регулирования", "Питание, автоматика и регулирование двигателей летательных аппаратов" и "Основы автоматики и системы автоматического управления двигателями и летательными аппаратами", а также для слушателей ФПК ИТР по специальности "Пневмогидравлические системы летательных аппаратов".

Составитель **Д.С.А н и с и м к и н**

Рецензенты: канд. техн. наук **А.Г.П е ц е в**,
канд. техн. наук **Ю.И.К он д р а ш о в**

ОБЩИЕ УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

$P_k, P_H, P_1, P_2, P_{cl}$ - давление рабочей среды, соответственно: командное, на входе в систему, в полостях гидроцилиндра и на сливе;

F_k, F_n - площади клапана и силового поршня;

J - жесткость пружины чувствительного элемента,

Z, Y, X, σ - координаты перемещения, соответственно: чувствительного элемента, силового поршня, втулки золотника обратной связи и рассогласования в золотниковом распределителе;

$R_{пр}, R_H$ - усилия предварительной затяжки пружины клапана и нагрузки, действующей на исполнительный орган системы;

Q_1, Q_3, Q_5, Q_7 - расход рабочей среды соответственно: поступающий в правую полость силового поршня и выходящий из нее, связанный с движением исполнительного органа и обусловленный сжимаемостью топлива и упругостью стенок цилиндра;

Q_2, Q_4, Q_6, Q_8 - расход рабочей среды соответственно: поступающий в левую полость силового поршня и выходящий из нее, связанный с движением исполнительного органа и обусловленный сжимаемостью топлива и упругостью стенок цилиндра;

σ_0 - отрицательное перекрытие щелей в золотниковом распределителе;

l - длина управляющих щелей золотникового распределителя;

W - объем половины полости силового цилиндра;

λ - коэффициент сжимаемости рабочей среды с учетом упругости стенок цилиндра;

M - коэффициент расхода через рабочие кромки золотникового распределителя;

ρ - плотность рабочей среды;

$\frac{dP_1}{dt}, \frac{dP_2}{dt}$ - скорости изменения давления рабочей среды в полостях силового поршня;

M - приведенная масса подвижных частей силового поршня и рычага обратной связи;

D - коэффициент вязкого трения в направляющих силового поршня;

$\frac{dy}{dt}, \frac{dx}{dt}$ - скорости перемещения силового поршня и втулки золотника обратной связи;

$\frac{d\alpha}{dt}$ - угловая скорость рычага и кулачка обратной связи;

$R_0 \cdot \zeta_0$ - радиусы рычага и кулачка обратной связи;
 $\chi_{\text{МАКС}}$ - максимальное отклонение образующей кулачка;
 L - длина окружности кулачка в секторе поворота.

1. ЦЕЛЬ И СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Цель работы: ознакомление с расчетными и экспериментальными методами исследования статических характеристик САР направляющего аппарата ГТД, а также привитие практических навыков работы на гидравлическом стенде и с комплексом измерительных устройств.

Содержание работы:

- изучение принципа функционирования САР направляющего аппарата ГТД, ее основные уравнения и статические характеристики;
- построение расчетных статических характеристик САР направляющего аппарата ГТД по заданным значениям конструктивных, настроечных и эксплуатационных параметров;
- описание лабораторной установки и приемов работы на ней;
- экспериментальное исследование статических характеристик САР направляющего аппарата ГТД;
- оформление отчета.

2. ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ САР НАПРАВЛЯЮЩЕГО АППАРАТА ГТД. ЕЕ ОСНОВНЫЕ УРАВНЕНИЯ И СТАТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Система автоматического управления вертолетного ГТД должна обеспечивать:

- оптимальное использование двигателя на всех режимах работы;
- безопасность работы двигателя путем предупреждения раскрутки ротора, опасного заброса температуры газов перед турбиной, помпажа и т.д.;
- минимальное время приемности;
- высокую точность поддержания заданного режима;
- простоту и надежность запуска двигателя на земле и в полете;
- синхронное управление двигателями и возможность при необходимости раздельного управления.

Система автоматического регулирования направляющего аппарата компрессора ГТД, представленная на рис.1, управляет с требуемой точ-

ностью и качеством поворотом лопаток входного и трех ступеней НА компрессора для улучшения запуска двигателя, повышения устойчивости и КПД компрессора в широком диапазоне режимов двигателя.

При работе двигателя топливо от плунжерного насоса подводится с давлением $P_H = 2,75 \pm 0,25$ МПа по каналу 9 в кольцевую полость, образованную золотниковым распределителем 5 и гильзой обратной связи 4. В равновесном положении распределительного золотника 5 его рабочие пояски перекрывают отверстия в гильзе обратной связи 4, и топливо "дежурит" в этой полости. Одновременно с этим по каналу 8 подводится командное давление в диапазоне $P_A = 0,5 \pm 1,0$ МПа от командного агрегата, пропорциональное приведенной частоте вращения ротора турбокомпрессора, в полость сервопоршня 6. В этой полости топливо под давлением P_A действует на гильзу обратной связи 4, прижимая ее к профильному кулачку I, а также на сервопоршень 6, стремясь переместить его влево.

Таким образом, справа на сервопоршень 6 действует сила от командного давления P_A , а слева сила от натяжения пружины 7 и от давления топлива в сливной магистрали. При равенстве этих сил сервопоршень 6 будет неподвижен, а золотник 5, соединенный с ним, будет находиться в равновесном положении. В случае увеличения (уменьшения) частоты вращения турбокомпрессора или уменьшения (увеличения) температуры воздуха на входе в двигатель происходит увеличение (уменьшение) давления P_A . В результате этого сервопоршень 6 вместе с золотником 5 начинает перемещаться влево (вправо). При этом левый (правый) рабочий поясок золотника 5 открывает отверстие в гильзе 4 и топливо из кольцевой полости под давлением P_H устремляется через отверстия в гильзе обратной связи 4 и во втулке по левому (правому) каналу в корпусе в правую (левую) полость силового поршня 3.

От действия рабочего давления топлива в правой (левой) полости силовой поршень 3 будет перемещаться влево (вправо), а вместе с ним поворачивается против часовой стрелки (по часовой стрелке) рычаг 2 и профильный кулачок I системы, набегая (обегая) на гильзу обратной связи 4. Он будет перемещать ее влево (вправо) вслед за золотником управления 5. Как только прекратится рост (падение) частоты вращения ротора турбокомпрессора или снижение (увеличение) температуры воздуха на входе в двигатель и командное давление установится постоянным, гильза обратной связи прикрывает отверстия в золотнике 5. Подача топлива под рабочим давлением в полости силового поршня 3 прекратится, в результате чего установится новое равновесное положение системы, при котором углы поворотных лопаток НА будут соответствовать вновь

установленным частотам вращения турбокомпрессора и температуре воздуха на входе в двигатель.

В соответствии с принципиальной схемой расчетная модель САР направляющего аппарата ГТД описывается следующими уравнениями:

уравнение баланса сил на чувствительном элементе

$$P_n F_n - P_{cn} F_n - J \ddot{y} - R_{np} \dot{y} = 0, \quad (1)$$

уравнения баланса расходов через дросселирующие кромки золотникового распределителя:

$$\begin{aligned} Q_1 &= Q_3 + Q_5 + Q_7, \\ Q_2 &= Q_4 + Q_6 + Q_8, \end{aligned} \quad (2)$$

где $Q_1 = \mu L (\sigma_0 + \sigma) \sqrt{\frac{2}{\rho} (P_n - P_1)}$; $Q_2 = \mu L (\sigma_0 - \sigma) \sqrt{\frac{2}{\rho} (P_n - P_2)}$;

$$Q_3 = \mu L (\sigma_0 - \sigma) \sqrt{\frac{2}{\rho} (P_1 - P_{cn})}$$
; $Q_4 = \mu L (\sigma_0 + \sigma) \sqrt{\frac{2}{\rho} (P_2 - P_{cn})}$;

$$Q_5 = F_n \frac{dy}{dt} = Q_6;$$

$$Q_7 = \frac{1}{2} W \frac{dP_1}{dt}; \quad Q_8 = \frac{1}{2} W \frac{dP_2}{dt};$$

уравнение движения силового поршня

$$M \frac{d^2 y}{dt^2} + D \frac{dy}{dt} + R_n = F_n (P_1 - P_2); \quad (3)$$

уравнение рычага обратной связи

$$R_0 \frac{dd}{dt} = \frac{dy}{dt}; \quad (4)$$

уравнение кулачка обратной связи

$$\frac{dX}{dt} = K_0 z_0 \frac{d\alpha}{dt}, \quad (5)$$

где $K_0 = \frac{\tan \beta}{L_x} = \frac{X_{\text{макс}}}{L_x}$ - коэффициент, характеризующий угол наклона образующей кулачка обратной связи;

уравнение элемента сравнения

$$Z - X = \sigma. \quad (6)$$

В системе уравнений (1-6) не были учтены вследствие малых величин следующие факторы: силы инерции вязкого и сухого трения в управляемом сервопоршне и золотниковом распределителе; утечки рабочей среды в зазорах; изменения коэффициента расхода в зависимости от величины управляющих щелей, плотности и вязкости рабочей среды.

Для установившегося режима работы система уравнений (1-6) при $R_H \neq 0$ имеет вид:

$$Z = (P_K F_K - P_{сн} F_K - R_{np}) / J; \quad (7)$$

$$Q_{10} = Q_{30}; \quad Q_{20} = Q_{40}; \quad (8)$$

$$R_H = F_n (P_{10} - P_{20}); \quad P_{10} + P_{20} = P_H; \quad (9)$$

$$R_0 \alpha = Y, \quad \text{или} \quad \tan \alpha = Y / R_0, \quad (10)$$

$$X = K_0 z_0 \alpha, \quad (11)$$

$$Z - X = \sigma. \quad (12)$$

Решая совместно уравнения (7-12), получим уравнение статической характеристики САР направляющего аппарата ГТД в следующем виде

$$\Delta \alpha \text{ или } \frac{\Delta \alpha}{K_v} \text{ или } \left[\frac{P_K P'_K - P_{0n} P_K R_{nv}}{J Z_0 K_v} - \frac{\sigma_0 (\sqrt{P_H} \frac{R_H}{F_n} - \sqrt{P_H} \frac{R'_H}{F_n})}{2 K_0 Z_0 F_n \rho_H} \right] \quad (13)$$

Из уравнения статической характеристики (13) следует, что угол поворота лопаток НА компрессора зависит от конструктивных, настроечных и эксплуатационных параметров системы регулирования.

Точность системы от действия нагрузки определяется из уравнения (13) или из передаточной функции замкнутой САР по возмущающему воздействию для установившегося режима работы по следующему выражению

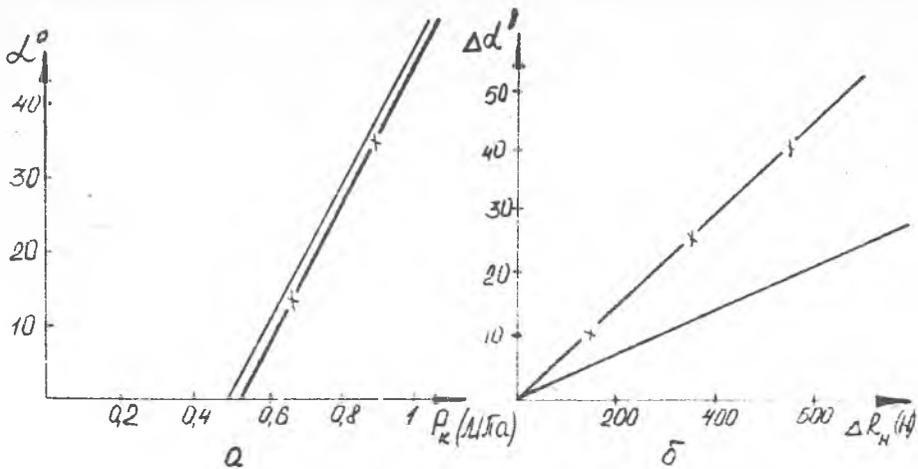
$$\Delta \alpha = \frac{\sigma_0}{2 K_0 Z_0 F_n \rho_H} \Delta R_H \quad (14)$$

Используя выражения (13), (14) и конкретные значения конструктивных, настроечных и эксплуатационных параметров, можно рассчитать теоретические, статические и точностные характеристики системы автоматического регулирования НА ГТД, графические зависимости которых представлены на рис.2.

3. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

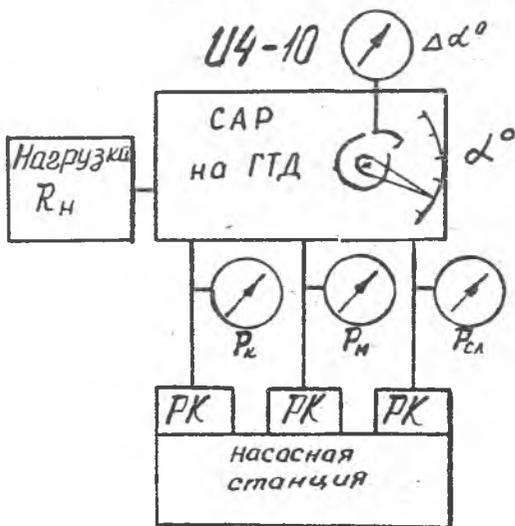
Экспериментальное исследование статических характеристик САР направляющего аппарата ГТД осуществляется на лабораторной установке, блок-схема которой изображена на рис.3. Принципиальная гидравлическая схема лабораторной установки представлена на рис.4.

Установка включает в себя натуральный агрегат САР направляющего аппарата ГТД, лопастные насосы 4 и 5, бак с рабочей средой, редукционные клапаны 6, 7, 11, фильтры 9, 10, 16, 18, электродвигатель переменного тока 2, двухпозиционный кран 12, образцовые манометры 13, 14, 15, радиатор охлаждения 17, механизм нагружения 19 и индикатор перемещения часового типа 20.



Р и с. 2. Статические характеристики САР направляющего аппарата ГТД: а) $\alpha = \alpha(P_k)$ ————— $R_H = 0$

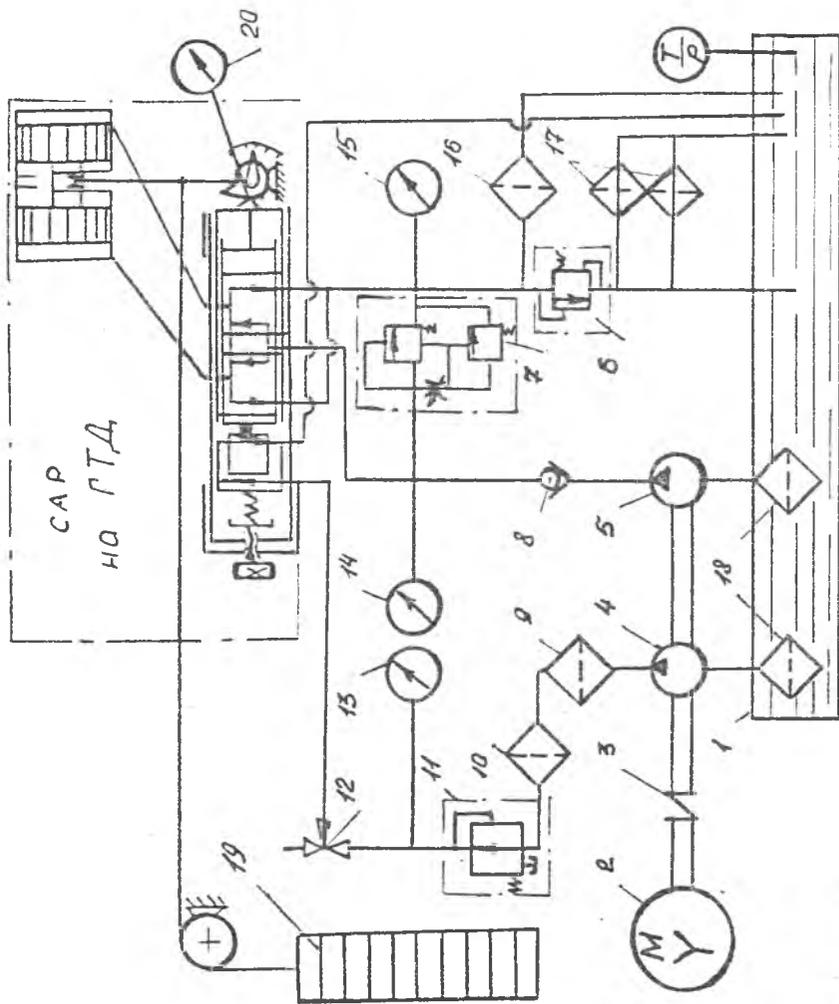
б) $\Delta\alpha = \Delta\alpha(\Delta R_H)$ — x — $R_H = 600 \text{ Н}$
 — x — $R_H = 1,5 \text{ МПа}$
 ————— $R_H = 3,0 \text{ МПа}$



Р и с. 3. Блок-схема лабораторной установки САР направляющего аппарата ГТД

Лопастные насосы 4 и 5, приводимые в действие от электродвигателя переменного тока 2 через муфту 3, обеспечивают подачу рабочей среды постоянно-го давления в диапазоне

$P_H = 1,0 \div 3,0 \text{ МПа}$, регулируемого редукционным клапаном 7, на вход золотникового распределителя системы; командного давления в диапазоне $P_K = 0,5 \div 1,0 \text{ МПа}$, регулируемого редукционным клапаном II, в полость управляющего клапана; давления рабочей



Р и с. 4. Гидравлическая схема лабораторной установки САР направляющего аппарата ГТД

среды в сливной магистрали, устанавливаемого редукционным клапаном 6 в диапазоне $P_{сл} = 0,05 \pm 0,25$ МПа.

Образцовые манометры 13, 14, 15 контролируют давление рабочей среды в установленном режиме работы системы регулирования соответственно в канале управляющего золотника P_K , в полости распределительного золотника P_H и в магистрали слива $P_{сл}$.

Фильтрация рабочей среды на входе в систему осуществляется с помощью сетчатых 18, магнитных 9 и пластинчатых 10 фильтров, а на выходе из системы - фильтром тонкой очистки 16.

Для быстрого перехода от экспериментального исследования статических характеристик системы к исследованию ее динамических характеристик в магистрали подвода командного давления установлен двухпозиционный кран 12. Стабилизация температуры рабочей среды в баке 1 насосной станции осуществляется с помощью радиатора 17, обдуваемого потоком воздуха от вентилятора, установленного на валу электродвигателя 2.

При исследовании статических характеристик системы регулирования $\alpha = \alpha(P_K)$ угол поворота лопаток направляющего аппарата компрессора контролируется с помощью указателя по шкале агрегата. В процессе исследования точности системы регулирования $\Delta\alpha = \Delta\alpha(\Delta R_H)$ нагрузка на исполнительный орган может регулироваться в пределах $R_H = 0 \pm 600$ Н с помощью механизма нагружения 19, а величина ошибки измеряется с помощью индикатора перемещения часового типа 20.

4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Работа предполагает выполнение следующих основных этапов:

1. Расчет теоретической статической характеристики системы регулирования $\alpha = \alpha(P_K)$ по формуле (13) и характеристики точности $\Delta\alpha = \Delta\alpha(\Delta R_H)$ по нагрузке, действующей на исполнительный орган по формуле (14), с заполнением табл. 1 и 2, а также построением их графических зависимостей.

При расчете статических характеристик следует принять следующие исходные значения конструктивных, настроечных и эксплуатационных параметров системы регулирования:

$$\begin{aligned} P_H &= 1,0 \pm 3,0 \text{ МПа}; & P_K &= 0,5 \pm 1,0 \text{ МПа}; \\ P_{сл} &= 0,1 \pm 0,25 \text{ МПа}; & F_K &= 2,84 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2; \end{aligned}$$

Таблица 1

Значения параметров статической характеристики САР при
 $\rho_M = const = 1,0 \pm 3,0$ МПа

| ρ_K , МПа | Теоретические | | Экспериментальные | |
|-------------------|----------------|----------------|-------------------|----------------|
| | $R_M = 0$ | $R_M = 600$ Н | $R_M = 0$ | $R_M = 600$ Н |
| | α° | α° | α° | α° |
| 0,50 | | | | |
| 0,55 | | | | |
| 0,60 | | | | |
| ... | | | | |
| ... | | | | |
| 1,0 | | | | |

Таблица 2

Точность САР при $\rho_K = const = 0,5 \pm 1,0$ МПа

| $\delta \rho_M$, Н | Теоретическая | | | Экспериментальная | | |
|------------------------|--------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| | $\rho_M = 1,0$ МПа | $\rho_M = 2,0$ МПа | $\rho_M = 3,0$ МПа | $\rho_M = 1,0$ МПа | $\rho_M = 2,0$ МПа | $\rho_M = 3,0$ МПа |
| | $\Delta \alpha'$ | $\Delta \alpha^\circ$ |
| 100 | | | | | | |
| 200 | | | | | | |
| 300 | | | | | | |
| 400 | | | | | | |
| 500 | | | | | | |
| 600 | | | | | | |

$$J = 16 \cdot 10^3 \text{ Н/м};$$

$$R_{np} = 1,28 \cdot 10^2 \text{ Н};$$

$$F_M = 7,1 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2;$$

$$b_0 = 0,25 \cdot 10^{-3} \text{ м};$$

$$l_0 = 1,04 \cdot 10^{-2} \text{ м};$$

$$R_M = 0 \pm 600 \text{ Н};$$

$$K_0 = 0,64.$$

2. Проведение экспериментальных исследований статических характеристик САР направляющего аппарата ГТД. Для этого необходимо выполнить следующее:

установить двухпозиционный кран I2 (см.рис.4) в положение "статические характеристики САР";

установить нагрузку на исполнительный орган системы $R_H = 0$;
включить насосную станцию;

отрегулировать с помощью винта настройки редукционного клапана 7 давление на входе в золотниковый распределитель системы регулирования в диапазоне $P_H = 1,0 \pm 3,0 \text{ МПа} = \text{const}$;

установить с помощью винта настройки редукционного клапана 6 давление в сливной магистрали системы регулирования в диапазоне $P_{сл} = 0,1 \pm 0,25 \text{ МПа} = \text{const}$;

установить с помощью винта настройки редукционного клапана II командное давление начала процесса регулирования направляющего аппарата компрессора $P_K = 0,5 \text{ МПа}$;

изменяя плавно с помощью винта настройки редукционного клапана II командное давление с шагом $\Delta P_K = 0,05 \text{ МПа}$ в диапазоне $P_K = 0,5 \pm 1,0 \text{ МПа}$, измерять с помощью указателя по шкале агрегата соответственно величину угла α поворота лопаток направляющего аппарата компрессора и записывать результаты в табл. I;

снизить командное давление в полости клапана до $P_K = 0,5 \text{ МПа}$, установить нагрузку на исполнительный орган $R_H = 600 \text{ Н}$ и, изменяя плавно с помощью винта настройки редукционного клапана II командное давление с шагом $\Delta P_K = 0,05 \text{ МПа}$ в диапазоне $P_K = 0,5 \pm 1,0 \text{ МПа}$, вновь измерить по шкале агрегата соответственно величину угла α поворота НА и записать результаты в табл. I;

снять нагрузку и уменьшить давление во всех магистралях САР до величины $P_K \approx 0$; $P_H \approx 0$; $P_{сл} \approx 0$;
выключить насосную станцию.

3. Проведение экспериментальных исследований точностных характеристик САР направляющего аппарата ГТД. Для этого необходимо выполнить следующее:

установить двухпозиционный кран I2 (см.рис.4) в положение "статические характеристики САР";

установить нагрузку на исполнительный орган системы $R_H = 0$;
включить насосную станцию;

установить с помощью винта настройки редукционного клапана II командное давление в полости управляющего клапана в диапазоне $P_K = 0,5 \pm 1,0 \text{ МПа} = \text{const}$;

отрегулировать с помощью винта настройки редукционного клапана 6 давление в сливной магистрали системы регулирования в диапазоне

$$P_{сл} = 0,1 \pm 0,25 \text{ МПа} = \text{const};$$

установить с помощью винта настройки редукционного клапана 7 давление на входе в золотниковый распределитель системы регулирования $P_H = 1,0 \text{ МПа}$;

изменяя нагрузку на исполнительный орган системы регулирования с шагом $\Delta R_H = 100 \text{ Н}$ в диапазоне $R_H = 0 \div 600 \text{ Н}$, измерять с помощью индикатора перемещения часового типа ИЧ-10 соответственно величину ошибки угла $\Delta \alpha$ поворота лопаток НА компрессора и записывать результаты в табл.2;

снять нагрузку, действующую на исполнительный орган системы до $R_H = 0$, установить с помощью винта настройки редукционного клапана 7 новые значения давления на входе в золотниковый распределитель системы регулирования $P_H = 2,0 \text{ МПа}$ и $P_H = 3,0 \text{ МПа}$ и снова, изменяя нагрузку на исполнительном органе системы с шагом $\Delta R_H = 100 \text{ Н}$ в диапазоне $R_H = 0 \div 600 \text{ Н}$, измерять соответственно величину ошибки угла $\Delta \alpha$ поворота лопаток НА компрессора и записывать результаты в табл.2;

снять нагрузку и уменьшить давление во всех магистралях САР до величины $P_K \approx 0$; $P_H \approx 0$; $P_{сл} \approx 0$;

выключить насосную станцию.

5. ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА

В отчете о проделанной работе необходимо привести следующие данные:

1. Блок-схему лабораторной установки (см.рис.3), принципиальную схему САР, методику проведения экспериментальных исследований и основные расчетные формулы.

2. Теоретические и экспериментальные статические и точностные характеристики системы соответственно $\alpha = \alpha(P_K)$ и $\Delta \alpha = \Delta \alpha(\Delta R_H)$.

3. Анализ сходимости расчетных и экспериментальных статических и точностных характеристик САР.

4. Анализ влияния конструктивных, настроечных и эксплуатационных параметров системы регулирования на ее статические и точностные характеристики.

5. Выводы по работе.

6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какими уравнениями описывается функционирование САР направляющего аппарата ГТД?
2. Как влияют параметры системы J , F_k , F_n , $K_{пр}$, $F_{сн}$ и R_n на ее статические характеристики?
3. Как влияют параметры системы F_n , R_n , U_0 и R_n на ее точностные характеристики?
4. Дать оценку сходимости расчетных и экспериментальных статических характеристик САР.
5. Дать оценку сходимости расчетных и экспериментальных точностных характеристик.

Библиографический список

1. Воронов А.А. Теория автоматического управления.-М.:Высшая школа, 1977.-Ч.1,П.
2. Черкасов Б.А. Автоматика и регулирование воздушнo-реактивных двигателей.-М.:Машиностроение, 1974.
3. Богданов А.Д., Хаустов И.Г. Двигатель ТВ2-117.-М.:Транспорт, 1970.

Составитель Юрий Семенович А н и с и м к и н

ИССЛЕДОВАНИЕ СТАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМЫ
АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ НАПРАВЛЯЮЩЕГО АППАРАТА ГТД

Редактор Т.И.П а й к и н а

Техн.редактор Н.М.К а л е н ю к

Корректор Е.Г.Ф и л и п п о в а

Подписано в печать 23.12.87 г. Формат 60x84 1/16.

Бумага оберточная белая. Печать оперативная.

Усл.л. 0,93. Уч.-изд.л. 0,9. Т. 300 экз.

Заказ 568. Бесплатно.

Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени аэиационный институт
имени академика С.П.Королева, г.Куйбышев, ул.Мологвардейская, 151.

Уч-к оперативной полиграфии, г.Куйбышев, ул. Венцека, 60.