

Государственный комитет Российской Федерации
по высшему образованию

Самарский государственный аэрокосмический
университет имени академика С.П.Королева

ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ И КАЧЕСТВА
ПРОЦЕССА РЕГУЛИРОВАНИЯ ПО ТЕОРЕТИЧЕСКИМ
И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМ ПЕРЕХОДНЫМ И
ЧАСТОТНЫМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ СИСТЕМЫ
АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ
НАПРАВЛЯЮЩЕГО АППАРАТА ГТД

Методические указания

С а м а р а 1993

Составитель В.С.А. В и с " м к и н

УДК 62-001.75

Исследования условий работы и качества процесса регулирования теоретическими и экспериментальными методами и частотными методами систем автоматического регулирования. В.С.А. В и с " м к и н. Метод. указания/Семар, издательство Вост. В.С.А. В и с " м к и н. Самар. 1975. 23 с.

Предметом исследования являются процессы в САУ управляющего аппарата (УА) теоретическими методами, экспериментальными методами и частотными методами. Рассмотрены частотные характеристики. Рассмотрены частотные методы работы с частотными характеристиками и регуляторами устойчивости.

Предназначены для студентов факультета "Двигатели и механизмы вертолетов". Технические указания по работе с курсом: "Теория автоматического регулирования", "Техника и технология двигателей внутреннего сгорания" и "Основы автоматизации". Системы автоматического регулирования двигателя и вертолета.

Для цитирования: В.С.А. В и с " м к и н. Метод. указания по работе с курсом "Теория автоматического регулирования". Самар: Вост. В.С.А. В и с " м к и н. 1975. 23 с.

Получено в печать 15.05.75. Составитель В.С.А. В и с " м к и н. Самар. 1975. 23 с.

Составитель В.С.А. В и с " м к и н. Самар. 1975. 23 с.

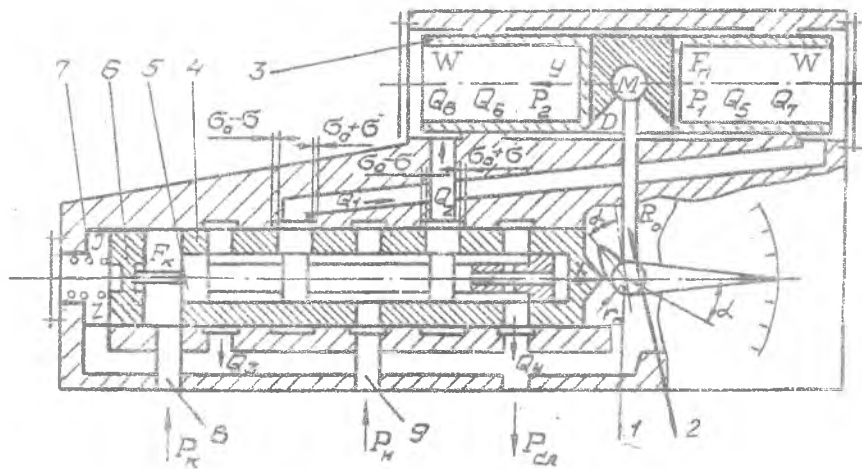
УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

- P_k, P_n, P_c, P, P_{ca} - давление рабочей среды: командное, на входе в систему, в полостях гидроцилиндра и на сливе соответственно;
- F_k, F_n - площади клапана и силового поршня;
- J - жесткость пружины чувствительного элемента;
- Z, Y, X, σ - координаты перемещения чувствительного элемента, силового поршня, втулки золотника обратной связи и рассогласования в золотниковом распределителе соответственно;
- P_{np}, P_n - усилия предварительной затяжки пружины клапана и нагрузки, действующей на исполнительный орган системы;
- Q_1, Q_2, Q_5, Q_7 - расход рабочей среды, поступающий в правую полость силового поршня и выходящий из нее, связанный с движением исполнительного органа и обусловленный сжимаемостью топлива и упругостью стенок цилиндра соответственно;
- Q_2, Q_4, Q_6, Q_8 - расход рабочей среды, поступающий в левую полость силового поршня и выходящий из нее, связанный с движением исполнительного органа и обусловленный сжимаемостью топлива и упругостью стенок цилиндра соответственно;
- σ - отрицательное перекрытие щелей в золотниковом распределителе;
- l - длина управляющих щелей золотникового распределителя;
- W - объем половины полости силового цилиндра;
- β - коэффициент сжимаемости рабочей среды с учетом упругости стенок цилиндра;

- μ - 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;
- $\frac{dY}{dt}$, $\frac{dY_2}{dt}$, $\frac{dX}{dt}$ - скорости перемещения силового поршня, кулачка обратной связи и втулки золотника обратной связи;
- $\frac{d\alpha}{dt}$ - угловая скорость рычага и кулачка обратной связи;
- χ_{\max} - максимальное отклонение образующей кулачка;
- L - длина окружности кулачка в секторе поворота;
- R_0, z_0 - радиусы рычага и кулачка обратной связи.

1. ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ, СТРУКТУРНЫЕ СХЕМЫ,
УРАВНЕНИЕ ДВИЖЕНИЯ И ПЕРЕДАТОЧНЫЕ ФУНКЦИИ
СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ

Система автоматического регулирования направляющего аппарата (н.а.) ГГД, приведенная на рис.1, управляет поворотом лопаток компрессора с целью повышения газодинамической устойчивости двигателя в заданном диапазоне эксплуатационных режимов [1,2] .



Р и с 1. Расчетная схема САР н.а. ГГД: 1 - кулачок,
2 - рычаг, 3 - поршень, 4 - гильза, 5 - золотник,
6 - клапан, 7 - пружина, 8 - канал командного давления,
9 - канал рабочего давления

В соответствии с принципиальной схемой динамическая расчетная модель САР н.в. ГТД описывается следующими уравнениями:

уравнением баланса сил на чувствительном элементе

$$P_k F_k - P_{cn} F_k - JZ - R_{тр} = 0; \quad (1)$$

уравнением баланса расходов через дросселирующие кромки золотникового распределителя

$$Q_1 = Q_3 + Q_5 + Q_7, \quad (2)$$

$$Q_2 = Q_4 + Q_6 + Q_8.$$

где $Q_1 = \mu l (\sigma_0 + \sigma) \sqrt{\frac{2}{\rho} (P_H - P_1)}$ и $Q_2 = \mu l (\sigma_0 - \sigma) \sqrt{\frac{2}{\rho} (P_H - P_2)}$ - расход топлива, соответственно, в правую и левую полости силового поршня;

$Q_3 = \mu l (\sigma_0 - \sigma) \sqrt{\frac{2}{\rho} (P_1 - P_{cn})}$ и $Q_4 = \mu l (\sigma_0 + \sigma) \sqrt{\frac{2}{\rho} (P_2 - P_{cn})}$ - расход топлива, соответственно, из правой и левой полости силового поршня;

$Q_5 = F_n \frac{dY}{dt} = Q_5$ - расход рабочей среды, связанный с движением силового поршня;

$Q_7 = \gamma W \frac{dP_1}{dt}$ и $Q_8 = \gamma W \frac{dP_2}{dt}$ - расход рабочей среды, связанный со сжимаемостью топлива и упругостью стенок, соответственно, правой и левой полостей цилиндра;

уравнением движения силового поршня

$$M \frac{d^2 Y}{dt^2} + D \frac{dY}{dt} + R_H = F_n (P_1 - P_2); \quad (3)$$

уравнением рычага обратной связи

$$\left. \begin{aligned} R_0 \frac{d\alpha}{dt} &= \frac{dY}{dt}, \\ \frac{dY_2}{dt} &= l_0 \frac{d\alpha}{dt}; \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

уравнением кулачка обратной связи

$$\frac{dX}{dt} = K_0 \frac{dY_2}{dt}; \quad (5)$$

уравнением элемента сравнения

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

В системе исходных уравнений (1) - (6) не были учтены, вследствие малости, следующие факторы:

силы инерции в управляющем клапане и золотниковом распределителе;
силы вязкого трения в управляющем клапане и золотниковом распределителе;
силы сухого трения в исполнительном силовом поршне, в управляющем клапане и золотниковом распределителе;

утечки рабочей среды в зазорах;
 изменение коэффициента расхода в зависимости от величины управляющих щелей, плотности и вязкости рабочей среды.

Линеаризуя исходные нелинейные уравнения (I)-(6) и принимая за базовые значения переменных их величину в установившемся режиме

$$\left. \begin{aligned} Q_0 &= \mu l \sigma_0 \sqrt{\frac{2}{\rho}} P_0; \\ P_0 &= P_{10} = P_{20} = \frac{P}{2}; \\ X_0 &= Z_0 = \sigma_0; \\ Y_0 &= \frac{R_0}{z_0 K_0} X_0; \\ Y_{20} &= \frac{1}{K_2} X_0; \\ \alpha_0 &= \frac{1}{z_0 K_0} X_0; \\ R_0 &= \frac{F_K P_{K0}}{F_a}; \\ \sigma_0 &= \frac{F_a}{F_n} \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

получим безразмерную систему уравнений в относительных координатах и операторном виде при нулевых начальных условиях:

$$\left. \begin{aligned} Z &= K \varphi_K; \\ (T_1 p + 1)(\varphi_1 - \varphi_2) &= K_1 \sigma - T p Y; \\ (T_2 p + 1) p Y &= K_2 (\varphi_1 - \varphi_2) - K_R f_R; \\ \alpha &= K_3 Y; \\ X &= K_{oc} \alpha; \\ Z - X &= \sigma. \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

Здесь

$$\left. \begin{aligned} Z &= \frac{\Delta Z}{Z_0}; \varphi_K = \frac{\Delta P_K}{P_{K0}}; \sigma_0 = \frac{\Delta \sigma}{\sigma_0}; Y = \frac{\Delta Y}{Y_0}; \\ \varphi_1 &= \frac{\Delta P_1}{P_{10}}; \varphi_2 = \frac{\Delta P_2}{P_{20}}; X = \frac{\Delta X}{X_0}; \alpha = \frac{\Delta \alpha}{\alpha_0}; \\ f_R &= \frac{\Delta R_R}{R_0}; K = \frac{P_{00} F_K}{J Z_0}; K_1 = 4; K_2 = \frac{P_{10} F_n z_0 K_0}{2 D \sigma_0 R_0}; \\ K_3 &= 1; K_{oc} = 1; K_R = \frac{P_{10} F_n z_0 K_0}{2 D \sigma_0 R_0}; \\ T_1 &= \frac{2 W \sqrt{\frac{R_0}{\mu l \sigma_0 \sqrt{\frac{2}{\rho}}}}}{\mu l \sigma_0 \sqrt{\frac{2}{\rho}}}; T_2 = \frac{M}{D}; T = \frac{2 F_n R_0}{z_0 K_0 \mu l \sqrt{\frac{2}{\rho}}}. \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

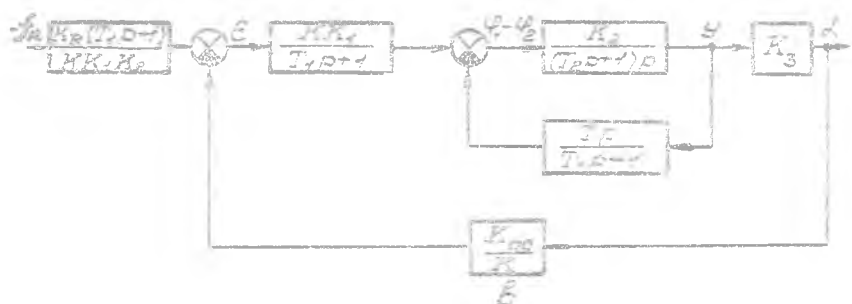
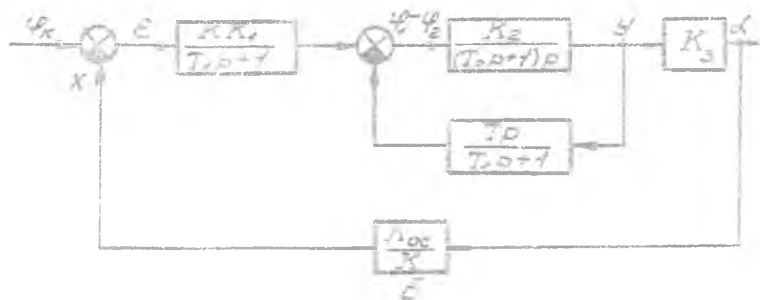
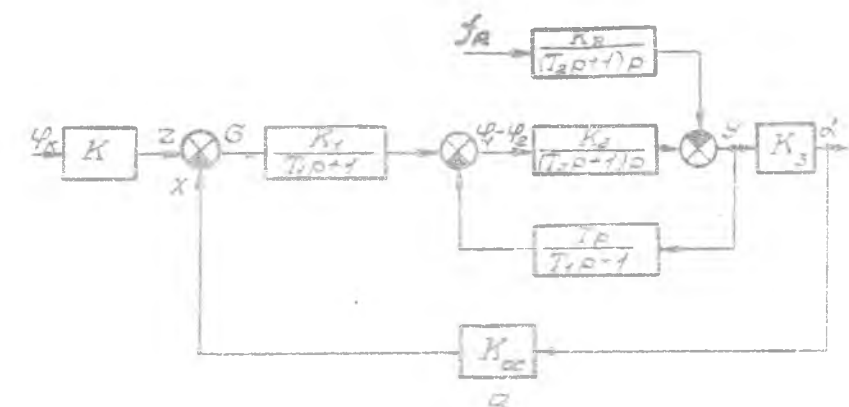
В соответствии с системой уравнений (8) структурные схемы САР н.а. ГТД могут быть изображены в виде, представленном на рис.2.

Вводя систему уравнений (8) относительно выходной координаты α и входных величин φ_K и f_R или преобразовывая структурную схему САР н.а. ГТД, изображенную на рис.2,а, получим уравнение движения системы регулирования в следующем виде:

$$(A_3 p^3 + A_2 p^2 + A_1 p + A_0) \alpha = B_0 \varphi_K - (D_1 p + D_0) f_R. \quad (10)$$

где

$$\left. \begin{aligned} A_3 &= T_1 T_2; A_2 = T_1 + T_2; A_1 = 1 + K_R T; A_0 = K_1 K_2 K K_{oc}; \\ B_0 &= K K_1 K_2 K_3; D_1 = K_3 K_R T_1; D_0 = K_3 K_R. \end{aligned} \right\} \quad (11)$$



Р и с.2. Структурные схемы САУ н.в. ГТД

Передаточные функции замкнутой системы по управляющему и возмущающему воздействиям, а также по ошибке могут быть определены в соответствии с уравнением (10) и структурными схемами, изображенными на рис.2,б и в в следующем виде:

$$W_{(p)}^{y_0} = \frac{B_0}{A_3 p^3 + A_2 p^2 + A_1 p + A_0}; \quad (12)$$

$$W_{(p)}^{f_0} = \frac{D_1 p + D_0}{A_3 p^3 + A_2 p^2 + A_1 p + A_0}; \quad (13)$$

$$W_{E(p)}^{y_0} = \frac{A_3 p^3 + A_2 p^2 + A_1 p}{A_3 p^3 + A_2 p^2 + A_1 p + A_0}; \quad (14)$$

$$W_{E(p)}^{f_0} = \frac{D_1 p + D_0}{A_3 p^3 + A_2 p^2 + A_1 p + A_0}. \quad (15)$$

Характеристическое уравнение системы регулирования запишется:

$$A_3 p^3 + A_2 p^2 + A_1 p + A_0 = 0. \quad (16)$$

Условие устойчивости системы регулирования, описываемой характеристическим уравнением (16) по критерию Гурвица, имеет вид [3,4]

$$\left. \begin{aligned} A_1 A_2 - A_0 A_3 > 0, \\ A_3 > 0; A_2 > 0; A_1 > 0; A_0 > 0. \end{aligned} \right\} \quad (17)$$

Используя характеристическое уравнение системы регулирования (16) при $p = i\omega$, получим выражение годографа устойчивости Михайлова в виде

$$D_{(i\omega)} = (A_0 - A_2 \omega^2) + i(A_1 \omega - A_3 \omega^3) = X(\omega) + i Y(\omega). \quad (18)$$

Здесь

$$\left. \begin{aligned} X(\omega) &= A_0 - A_2 \omega^2; \\ Y(\omega) &= A_1 \omega - A_3 \omega^3. \end{aligned} \right\} \quad (19)$$

Используя передаточную функцию замкнутой системы по управляющему воздействию (12) и осуществляя в ней замену $p = i\omega$, получим выражения для частотных характеристик системы регулирования:

$$\begin{aligned} W_{(i\omega)} &= \frac{B_0 (A_0 - A_2 \omega^2)}{[A_0^2 + (A_1^2 - 2A_0 A_2) \omega^2 + (A_2^2 - 2A_1 A_3) \omega^4 + A_3^2 \omega^6]} - i \frac{B_0 (A_1 \omega - A_3 \omega^3)}{[A_0^2 + (A_1^2 - 2A_0 A_2) \omega^2 + (A_2^2 - 2A_1 A_3) \omega^4 + A_3^2 \omega^6]} \\ &= R_e(\omega) - i J_m(\omega); \end{aligned} \quad (20)$$

$$M_{(i\omega)} = \sqrt{R_e^2(\omega) + J_m^2(\omega)} = \frac{B_0}{\sqrt{[A_0^2 + (A_1^2 - 2A_0 A_2) \omega^2 + (A_2^2 - 2A_1 A_3) \omega^4 + A_3^2 \omega^6]}}; \quad (21)$$

$$y(\omega) = a \operatorname{arctg} \frac{J_m(\omega)}{R_e(\omega)} = a \operatorname{arctg} \left(- \frac{A_1 \omega - A_2 \omega^3}{A_0 - A_2 \omega^2} \right). \quad (22)$$

Здесь

$$R_e(\omega) = \frac{B_0(A_0 - A_2 \omega^2)}{[A_0^2 + (A_1^2 - 2A_0 A_2) \omega^2 + (A_2^2 - 2A_1 A_3) \omega^4 + A_3^2 \omega^6]}; \quad (23)$$

$$J_m(\omega) = \frac{B_0(A_1 \omega - A_3 \omega^3)}{[A_0^2 + (A_1^2 - 2A_0 A_2) \omega^2 + (A_2^2 - 2A_1 A_3) \omega^4 + A_3^2 \omega^6]} \quad (24)$$

Для серийного агрегата САР н.в. ГТД приняты следующие значения конструктивных и эксплуатационных параметров:

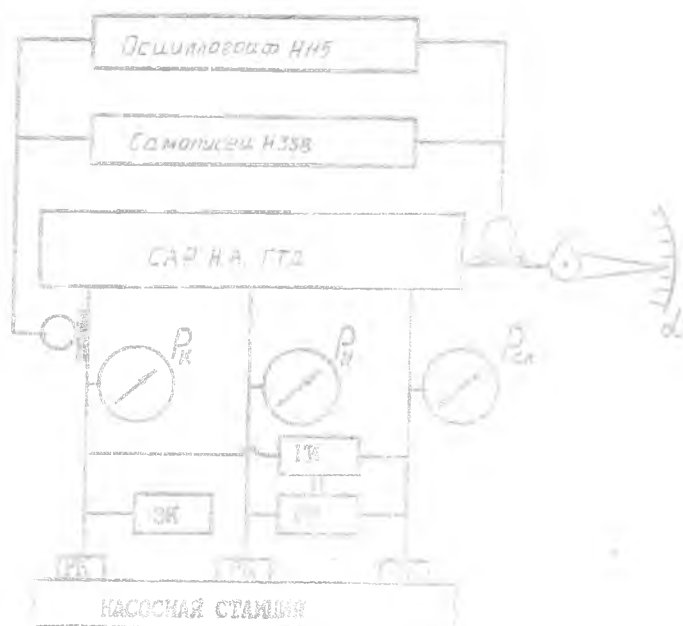
$$\left. \begin{aligned} P_H &= 1,0 \div 3,0 \text{ МПа}; \quad P_K = 0,5 \div 1,0 \text{ МПа}; \quad P_{сш} = 0,1 \div 0,25 \text{ МПа}; \\ F_H &= 7,1 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2; \quad F_K = 2,84 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2; \quad J = 16 \cdot 10^9 \text{ Н/м}; \\ \sigma_c &= 0,25 \cdot 10^{-3} \text{ м}; \quad \rho = 0,05 \cdot 10^{-2} \text{ м}; \quad W = 45 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3; \\ z_0 &= 1,04 \cdot 10^{-2} \text{ м}; \quad R_0 = 6,4 \cdot 10^{-2} \text{ м}; \quad R_{np} = 1,28 \cdot 10^2 \text{ Н}; \quad M = 0,36 \text{ кг}; \\ D &= 0,2 \cdot 10^{-2} \text{ м/м}; \quad R_H = 0 \div 600 \text{ Н}; \quad \eta = 0,7 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2/\text{н}; \\ \rho &= 0,8 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3; \quad \mu = 0,6; \quad K_0 = 0,64 \end{aligned} \right\} (25)$$

2. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Экспериментальные исследования переходных и частотных характеристик САР направляющего аппарата ГТД осуществляются 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 I с рабочей средой, редукционные клапаны 6,7,11, фильтры 9,10,22,24, электродвигатель переменного тока 2, двухпозиционный кран 12, образцовые манометры 19, 20, 21, радиатор охлаждения 23, механизм нагружения 25, ресивер 13, генератор колебаний 14, гидродвигатель 15, регулируемый дроссель 16, вентили 17, 18, лимб с указателем угла поворота 26, электроклапан 27 с дросселем, датчик давления 28 и датчик перемещения 29.



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

Лопастные насосы 4 и 5, приводимые в действие от электродвигателя переменного тока 2 через муфту 3, обеспечивают подачу рабочей среды: постоянного давления в диапазоне $P_k = 1,0 - 2,0$ МПа, регулируемого редукционным клапаном 7, на вход электромагнитного распределителя системы; командного давления в диапазоне $P_n = 0,5 - 1,0$ МПа, регулируемого редукционным клапаном 11, в обход управляющего клапана; давление среды в сливной магистрали, устанавливаемое редукционным клапаном 5 в диапазоне $P_{сл} = 0,05 - 0,25$ МПа.

Образованная в результате 20, 21 контролирует давление рабочей среды в установившемся режиме работы системы регулирования соответственно в канале управляющего золотника $P_{уп}$, в полости возвратного золотника $P_{в}$ и в магистрали слива $P_{сл}$.

Фильтрация рабочей среды на входе в систему осуществляется с помощью сетчатых 24, магнитных 9 и пластинчатых 10 фильтров, а на выходе из системы - фильтром тонкой очистки 22.

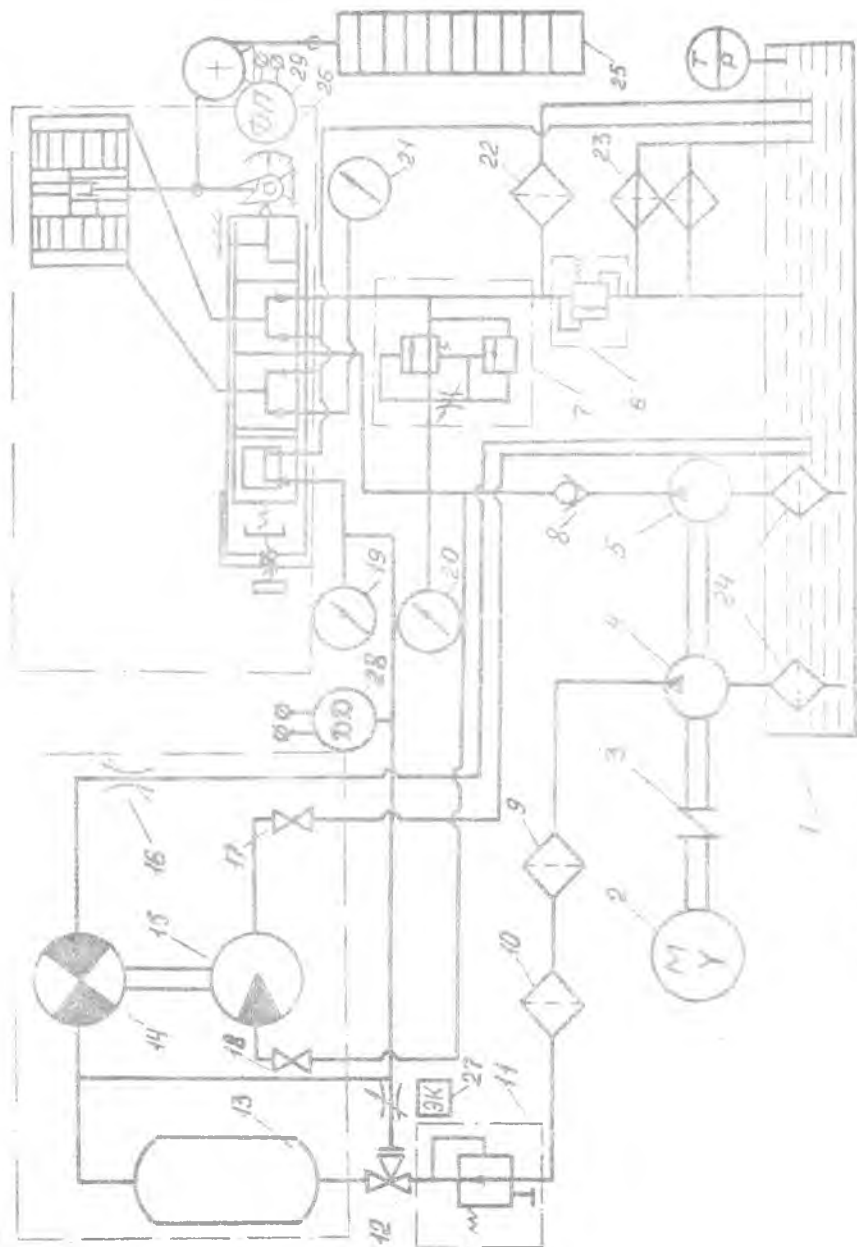


Рис. 1.4. Лабораторная установка для измерения теплопроводности жидкостей (ЛФТ И.А.И.И.)

Стабилизация температуры рабочей среды в баке I насосной станции осуществляется с помощью радиатора 23, обдуваемого потоком воздуха от вентилятора, установленного на валу электродвигателя 2.

Для быстрого перехода от экспериментального исследования статических характеристик системы к исследованию ее динамических характеристик в магистрали подвода командного давления установлен двухпозиционный кран I2.

При исследовании переходных характеристик системы регулирования скачкообразный сигнал в магистрали командного давления $\Delta P_{к(t)} = const$ формируется с помощью электроклапана 27 с дросселем.

В процессе исследования частотных характеристик системы регулирования гармонический сигнал в магистрали командного давления $\Delta P_{к(t)} = A_{Bx} \sin \omega t$ формируется относительно заданного установившегося режима, поддерживаемого ресивером I3, с помощью генератора колебаний I4, приводимого в действие гидродвигателем I5.

Амплитуда колебаний рабочей среды в магистрали командного давления A_{Bx} регулируется с помощью дросселя I6, установленного в дренажном канале генератора колебаний.

Частота колебаний рабочей среды в магистрали командного давления ω регулируется оборотами гидродвигателя I5 за счет изменения расхода топлива, проходящего через него, с помощью вентиля I7 и I8.

Измерение сигналов на входе $\Delta P_{к(t)} = const$, $\Delta P_{к(t)} = A_{Bx} \sin \omega t$ и на выходе $\Delta d = \Delta d(t)$, $\Delta d(t) = A_{Bmax} \sin(\omega t + \varphi)$ системы регулирования осуществляется, соответственно, с помощью датчика давления 28 и датчика перемещения 29.

Сигналы от датчика давления 28 и датчика перемещения 29 фиксируются на бумаге с помощью осциллографа и самописца.

3. Лабораторная работа ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ И КАЧЕСТВА ПРОЦЕССА РЕГУЛИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ ПО ПЕРЕХОДНЫМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ

Цель работы: ознакомление с расчетными и экспериментальными методами исследования устойчивости и качества процесса регулирования по переходным характеристикам САР н.а. ГГД, а также привитие практических навыков работы на гидравлическом стенде и с комплексом измерительных и регистрирующих устройств.

Содержание работы:

изучение принципа функционирования и динамической расчетной модели САР ч.а. ГИД, ее структурную схему управления, уравнения движения системы регулирования и условия устойчивости;

расчет теоретических переходных характеристик САР ч.а. ГИД для заданных эксплуатационных режимов на ЭВМ;

ознакомление с конструктивной установкой и приемами работы на ней; экспериментальные условия и переходные характеристики САР ч.а. ГИД для заданных эксплуатационных режимов;

оформление отчета.

Работа предполагает выполнение следующих основных этапов:

I. Расчет коэффициентов усиления и постоянных времени системы регулирования по выражениям (9) с учетом принятых значений конструктивных параметров серийного агрегата (25) для заданных эксплуатационных режимов и заполнение табл. I.

Таблица I
Значения коэффициентов усиления и постоянных
времени системы регулирования

Коэффициенты усиления и постоянные времени системы регулирования	P_{11} дБ, ОмПа	P_{12} дБ, ОмПа	P_{13} дБ, ОмПа
$K = \frac{F_0 F_x}{F_2 F_3}$			
$K_1 = 4$			
$K_2 = \frac{D F_0 F_3 K_0}{2 D F_2 F_3 K_0}$			
$K_3 = 1$			
$K_4 = \frac{D F_0 F_3 K_0}{2 D F_2 F_3 K_0}$			
$K_0 = 1$			
$T_1 = \frac{m \sqrt{2}}{M L G_0 \sqrt{D}}$			
$T_2 = \frac{M}{D}$			
$T_3 = \frac{2 F_0 K_0}{z_0 K_0 M L \sqrt{\frac{P_0}{P}}}$			

2. Определения величин коэффициентов уравнения движения системы регулирования (10) по выражениям (II) с учетом значений коэффициентов усиления и постоянных времени системы, приведенных в табл. № 1 для заданных эксплуатационных режимов, и заполнение табл. № 2.

Т а б л и ц а № 2
Значения постоянных коэффициентов уравнения движения системы регулирования

Коэффициенты уравнения движения системы регулирования	$P_A = 3,0 \text{ МПа}$; $P = 2,5 \text{ МПа}$	$P_B = 1,0 \text{ МПа}$
$A_1 = T_1 T_2$		
$A_2 = T_1 + T_2$		
$A_3 = 1 + K_2 T$		
$A_4 = K_1 K_2 / \alpha K_{\text{ср}}$		
$B_0 = K_1 K_2 K_3$		
$D_1 = K_2 K_3 T$		
$D_0 = K_3 K_4$		

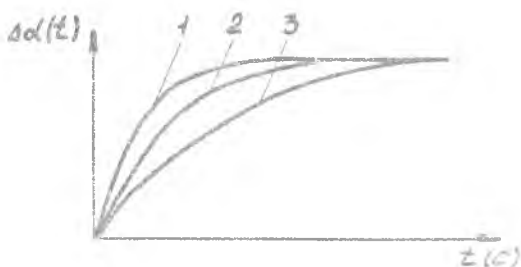
3. Проверка устойчивости системы регулирования по условию устойчивости (IV) с учетом значений постоянных коэффициентов характеристик уравнения (16), приведенных в табл. № 2 для заданных эксплуатационных режимов.

4. Используя уравнение движения системы регулирования (10) при $f_c = 0$ и значения постоянных коэффициентов, приведенных в табл. № 2, получить на ЭВМ с применением программы "ДИНАС" переходные характеристики системы $\Delta \alpha = \Delta \alpha(t)$ для заданных эксплуатационных режимов в виде, представленном на рис. 5.

5. Экспериментальное исследование устойчивости и качества процесса регулирования САР н.а. ГИД по переходным характеристикам осуществить для заданных эксплуатационных режимов на лабораторном стенде, гидравлическая схема которого приведена на рис. 4, в следующем порядке:

установить двухпозиционный кран ИР (рис. 4) в положение "Динамические характеристики САР";

установить нагрузку на исполнительный орган системы $R_H = 0$;



Р и с 5. Теоретические переходные характеристики САР н.а. ГРД: 1) $P_H = 3,0$ МПа; 2) $P_H = 2,0$ МПа; 3) $P_H = 1,0$ МПа.

включить насосную станцию и измерительно-регистрающую аппаратуру;

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

отрегулировать с помощью винта настройки редукционного клапана II командное давление в диапазоне $P_K = 0,6 \div 0,9$ МПа = const ;
установить заданную скорость, м/с, протяжки бумаги на самописце $V = const$;

отрегулировать с помощью винта настройки редукционного клапана 7 давление на входе в золотниковый распределитель системы регулирования $P_H = 3,0$ МПа;

проверить подачу сигналов от датчика давления 23 и датчика перемещения 29 на самописец путем незначительного отклонения командного давления от заданного режима $P_K = const$ с помощью винта настройки редукционного клапана II;

включить самописец и через Ic- электроклапан формирования скачкообразного сигнала командного давления 27, зафиксировать на бумаге сигналы от датчика давления 28 $\Delta P_K(t) = const$ и датчика перемещения 29 $\Delta \alpha = \Delta \alpha(t)$ и выключить сначала электроклапан 27, а затем самописец;

выполнить последовательно последние три пункта для других заданных значений давления на входе в золотниковый распределитель

системы регулирования $P_H = 2,0$ МПа и $P_H = 1,0$ МПа, зафиксировать сам-
писцем на бумаге сигналы от датчика давления $\Delta P_K(t) = const$
и датчика перемещения $\Delta \alpha = \Delta \alpha(t)$;

уменьшить давление во всех магистралях САР до величины $P_K = 0$;
 $P_H = 0$; $P_{HD} = 0$;

выдвинуть часовую станцию и измерительно-регистрирующую аппара-
туру ;

с. Сравнение устойчивости и основных показателей качества про-
цесса регулирования САР н.а. ГИД (быстродействие, колебательность,
перерегулирование, время регулирования) осуществить по полученным те-
оретическим и экспериментальным переходным характеристикам, а также
проанализировать во сколько раз для одних и тех же эксплуатационных
режимов и влияния давления на входе в систему регулирования на качест-
во процесса регулирования ;

7. Оформление отчета о проделанной работе, в котором должны быть
следующие данные :

блок-схема лабораторной установки (рис.3), принципиальная схема
САР (рис.1) и значения принятых в ней конструктивных и эксплуата-
ционных параметров ;

уравнение движения системы регулирования, табл.1 и 2 с расче-
ной значениями коэффициентов усиления, постоянных времени, коэффи-
циентов уравнения движения системы для заданных эксплуатационных
режимов и проверка системы регулирования на устойчивость по критерию
Гурвица ;

теоретические и экспериментальные переходные характеристики
системы регулирования (рис.2) ;

анализ устойчивости и качества процесса регулирования по теоре-
тическим и экспериментальным переходным характеристикам системы и
влияние на них эксплуатационных параметров ;

анализ осциллограмм теоретических и экспериментальных переходных
характеристик САР ;

выводы по работе .

8. Контрольные вопросы :

- а) Какими уравнениями описывается функционирование САР н.а.ГИД?
- б) Дать оценку устойчивости и качества процесса регулирования
САР н.а.ГИД по расчетным и экспериментальным переходным характе-
ристам .
- в) Как влияют параметры системы P_H , ℓ , σ_0 на ее качествен-
ные показатели?

г) Дать оценку сходимости расчетных и экспериментальных переходных характеристик системы регулирования.

д) Дать оценку влияния силы инерции, сухого и вязкого трения в золотниковом распределителе и исполнительном сервопоршне, а также утечек рабочей среды в зазорах и изменение ее вязкости на сходимость расчетных и экспериментальных переходных характеристик системы регулирования.

4. Л а б о р а т о р н а я р а б о т а ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ И КАЧЕСТВА ПРОЦЕССА РЕГУЛИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ ПО ЧАСТОТНЫМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ

Ц е л ь р а б о т ы: ознакомление с расчетными и экспериментальными методами исследования устойчивости и качества процесса регулирования по частотным характеристикам САР н.а. ГГД, а также приобретение практических навыков работы на гидравлическом стенде и с комплексом измерительных и регистрирующих устройств.

С о д е р ж а н и е р а б о т ы:

изучение принципа функционирования и динамической расчетной модели САР н.а. ГГД, ее структурных схем управления, уравнения движения и передаточных функций системы регулирования;

расчет теоретических частотных характеристик САР н.а. ГГД и годографа устойчивости Михайлова для заданных эксплуатационных режимов на ЭВМ;

ознакомление с лабораторной установкой и приемами работы на ней; экспериментальные исследования частотных характеристик САР н.а. ГГД для заданных эксплуатационных режимов;

оформление отчета.

Работа предполагает выполнение следующих основных этапов:

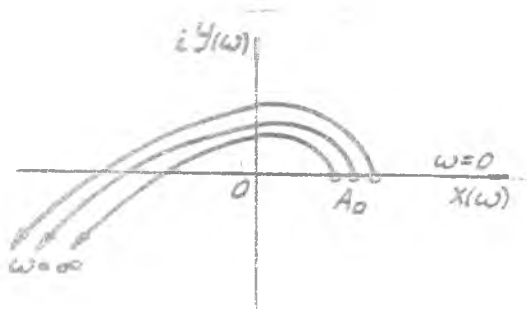
I. Расчет в соответствии с выражениями (18) и (19) на ЭВМ с применением программы "ДИСПАС" и с учетом значений постоянных коэффициентов характеристического уравнения, приведенных в табл.2 для заданных эксплуатационных режимов и заполнение табл.3 значениями вещественной $X(\omega)$ и мнимой $Y(\omega)$ составляющих годографа устойчивости Михайлова.

Т а б л и ц а 3

Значения вещественной и мнимой составляющих годографа устойчивости Михайлова для системы регулирования

ω_c'	$P_H = 30 \text{ МПа}$		$P_H = 20 \text{ МПа}$		$P_H = 10 \text{ МПа}$	
	$X(\omega)$	$Y(\omega)$	$X(\omega)$	$Y(\omega)$	$X(\omega)$	$Y(\omega)$

2. Графическое изображение на комплексной плоскости в соответствии со значениями, приведенными в табл.3, годографов устойчивости Михайлова, оценка устойчивости системы регулирования и анализ влияния на нее заданных эксплуатационных режимов (рис.6).



Р и с.6. Годографы устойчивости Михайлова для САР н.а.ГГД:

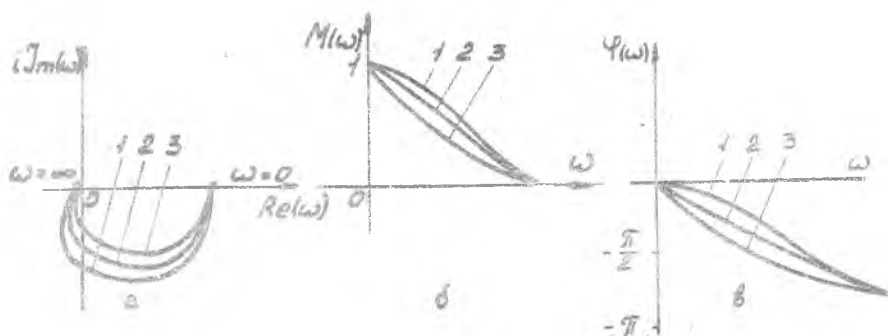
1) $P_H = 3,0 \text{ МПа}$; 2) $P_H = 2,0 \text{ МПа}$; 3) $P_H = 1,0 \text{ МПа}$

3. Расчет по выражениям (20) - (24) на ЭВМ с применением программы "ДИСПАС" и с учетом значений постоянных коэффициентов уравнения движения системы регулирования, приведенных в табл.2 для заданных эксплуатационных режимов, и заполнение табл.4 значениями вещественной $Re(\omega)$ и мнимой $Im(\omega)$ составляющих, модуля $M(\omega)$ и аргумента $\varphi(\omega)$ частотных характеристик.

Т а б л и ц а 4
 Значения вещественной $Re(\omega)$ и мнимой $Im(\omega)$ составляющих,
 модуля $M(\omega)$ и аргумента $\varphi(\omega)$ частотных характеристик
 системы регулирования

Параметры	$\omega \text{ с}^{-1}$	$Re(\omega)$	$Im(\omega)$	$M(\omega)$	$\varphi(\omega)$
$P_H = 3,0 \text{ МПа}$					
$P_H = 2,0 \text{ МПа}$					
$P_H = 1,0 \text{ МПа}$					

4. Графическое изображение в соответствии со значениями, приведенными в табл.4, амплитудно-фазовых, амплитудных и фазовых частотных характеристик системы регулирования для заданных эксплуатационных режимов в виде, представленном на рис.7,а,б,в.



Р и с.7. Теоретические амплитудно-фазовые, амплитудные и фазовые частотные характеристики САР н.а. ГГД:
 1) $P_H = 3,0 \text{ МПа}$; 2) $P_H = 2,0 \text{ МПа}$; 3) $P_H = 1,0 \text{ МПа}$

5. Экспериментальное исследование устойчивости и качества процесса регулирования САР н.а. ГГД по частотным характеристикам осуществить для заданных эксплуатационных режимов на лабораторном стенде, гидравлическая схема которого приведена на рис.4, в следующем порядке:

установить двухпозиционный кран $\mathbb{I}\mathbb{2}$ (см.рис.4) в положение "Динамические характеристики САР";

установить нагрузку на исполнительном органе системы $R_H = 0$;

выключить насосную станцию и измерительно-регистрирующую аппаратуру;

установить с помощью винта настройки редукционного клапана б давление в сливной магистрали системы регулирования в диапазоне

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

отрегулировать с помощью винта настройки редукционного клапана II командное давление в диапазоне $P_K = 0,6 \pm 0,9 \text{ МПа} = const$;

установить заданную скорость, м/с, протяжки бумаги на самописце $V = const$;

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

проверить подачу сигналов от датчика давления 28 и датчика перемещения 29 на самописец и осциллограф путем незначительного отклонения командного давления от заданного режима $P_K = \text{const}$ с помощью винта настройки редукционного клапана II;

установить с помощью регулируемого дросселя I6 и вентилей I7 и I8 минимальную устойчивую частоту вращения гидродвигателя I5 генератора колебаний I4 и амплитуду входного командного давления;

включить самописец и, плавно изменяя вентилями I7 и I8 частоту вращения гидродвигателя генератора колебаний I4 в диапазоне $\omega = 0 \div \infty$, зафиксировать на бумаге гармонические сигналы от датчика командного давления 28 $\Delta P_K(t) = A_{gk} \sin \omega t$ и датчика перемещения 29 $\Delta d(t) = A_{gdx} \sin(\omega t + \varphi)$, а затем выключить самописец и гидродвигатель генератора колебаний;

выполнить последовательно последние четыре пункта для других заданных значений давления на входе в золотниковый распределитель системы регулирования $P_H = 2,0 \text{ МПа}$ и $P_H = 1,0 \text{ МПа}$, зафиксировать самописцем на бумаге при плавном изменении частоты колебаний в диапазоне $\omega = 0 \div \infty$ гармонические сигналы от датчика командного давления 28 $\Delta P_K(t) = A_{gk} \sin \omega t$ и датчика перемещения 29 $\Delta d(t) = A_{gdx} \sin(\omega t + \varphi)$, а затем выключить самописец и гидродвигатель генератора колебаний;

уменьшить давление во всех магистралях САР до величины

$$P_K \approx 0, \quad P_H \approx 0; \quad P_{ca} \approx 0.$$

выключить насосную станцию и измерительно-регистрирующую аппаратуру;

обработать осциллограммы экспериментальных исследований для всех заданных эксплуатационных режимов и заполнить табл.5;

экспериментальные значения модуля $M(\omega)$ и аргумента $\varphi(\omega)$ частоты соответственно на теоретические амплитудно-фазовые, амплитудные и фазовые частотные характеристики системы регулирования для заданных эксплуатационных режимов (см.рис.7).

6. Определение устойчивости и основных показателей качества процесса регулирования САР н.а. ПД (быстродействие, колебательность, перерегулирование, время регулирования) и влияния на них давления на входе в золотниковый распределитель системы осуществить по полученным теоретическим и экспериментальным частотным характеристикам, а также проанализировать их сходимость для одних и тех же эксплуатационных режимов.

Т а б л и ц а 5
 Экспериментальные значения модуля $M(\omega)$ и аргумента $\varphi(\omega)$
 частотных характеристик системы регулирования

Параметры	$\omega = 2\pi f$	$M(\omega) = \frac{A_{вых}}{A_{вх}}$	$\varphi(\omega) = 360^\circ \frac{\Delta t}{T}$
$P_H = 3,0 \text{ МПа}$			
$P_H = 2,0 \text{ МПа}$			
$P_H = 1,0 \text{ МПа}$			

7. Оформление отчета о проделанной работе, в котором должны быть следующие данные:

блок-схема лабораторной установки (рис.3), принципиальная схема Р (рис.1) и значения принятых в ней конструктивных и эксплуатационных параметров;

характеристическое уравнение системы регулирования и выражения годографа устойчивости Михайлова, табл.3 с рассчитанными значениями, графическое изображение годографа устойчивости Михайлова (рис.6) и оценки устойчивости системы регулирования для заданных эксплуатационных режимов;

передаточная функция системы регулирования по управляемому воздействию и выражения для частотных характеристик, табл.4 с рассчитанными и табл.5 с экспериментальными значениями, графическое изображение теоретических и экспериментальных частотных характеристик системы регулирования для заданных эксплуатационных режимов;

анализ устойчивости и качества процесса регулирования по теоретическим и экспериментальным частотным характеристикам системы и влияния на них эксплуатационных параметров;

анализ сходимости теоретических и экспериментальных частотных характеристик;

выводы по работе.

8. Контрольные вопросы:

- а) Какими уравнениями описывается функционирование САР н.а.ГТД?
- б) Как определяются передаточные функции системы регулирования и выражения для частотных характеристик?
- в) Дать оценку устойчивости и качества процесса регулирования системы по ее расчетным и экспериментальным частотным характеристикам.
- г) Как влияют параметры системы регулирования P_n , ℓ , σ_0 на частотные характеристики и качественные показатели?
- д) Дать оценку сходимости расчетных и экспериментальных частотных характеристик системы регулирования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. А н и м к и н Ю.С. Исследование статических характеристик системы автоматического регулирования направляющего аппарата ГТД: Метод. указания / Куйбышев. авиац. ин-т. Самара, 1987. 16с.

2. Богданов А.Д., Хаустов И.Г. Двигатель ТВ2-117. М.: Транспорт, 1970.

3. Воронов А.А. Теория автоматического управления. М.: Высш.шк. 1977. Ч. I. 304 с: Ч. II. 288 с.

4. Черкасов Б.А. Автоматика и регулирование воздушно-реактивных двигателей. М.: Машиностроение, 1988. 360 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Условные обозначения	3
1. Динамическая модель, структурные схемы, уравнение движения и передаточные функции системы регулирования	5
2. Описание лабораторной установки	10
3. Лабораторная работа. Исследование устойчи- вости и качества процесса регулирования системы по переходным характеристикам ...	13
4. Лабораторная работа. Исследование устойчи- вости и качества процесса регулирования системы по частотным характеристикам	18
Библиографический список	24

Исследование устойчивости и качества процесса
регулирования по теоретическим и экспериментальным
переходным и частотным характеристикам системы
автоматического регулирования направляющего
аппарата ГГД

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

Редактор Т.К. К р е т и н и н а
Техн. редактор Н.М. К а л е н ю к
Корректор Н.С. К у п р я н о в а

Лицензия ИР 020301 от 26.11.91.

Подписано в печать 25.10.93. Формат 60x84 1/16 .

Бумага офсетная. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 1,4. Усл. кр.-отт. 1,4. Уч.-изд. л. 1,3.

Тираж 300 экз. Заказ 156/105 Арт. С-64/93.

Самарский государственный аэрокосмический
университет имени академика С.П.Королева
443086 Самара, Московское шоссе, 34

Участок оперативной полиграфии ИПО
Самарского государственного аэрокосмического
университета. 443001 Самара, ул.Ульяновская, 18