

302
7307.040/
На правах рукописи

Министерство высшего и среднего специального
образования

ЧЕЛЯБИНСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
ИМЕНИ ЛЕНИНСКОГО КОМСОМОЛА

Егоров Александр Афанасьевич

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКИХ
СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ С УЧЕТОМ СВОЙСТВ ИСТОЧНИКА
ЭНЕРГИИ

Специальность 05.13.07

"Автоматическое управление, регулирование,
управление технологическими процессами
(промышленность)"

Автореферат диссертации на соискание
ученой степени кандидата технических
наук

Челябинск, 1978

Работа выполнена в Челябинском политехническом институте им. Ленинского комсомола на кафедре систем автоматического управления.

Научный руководитель - заслуженный деятель науки и техники РСФСР доктор технических наук профессор Г.С. ЧЕРНОУЩИЙ

Научный консультант - кандидат технических наук доцент А.П. СИБРИН

Официальные оппоненты - доктор технических наук профессор А.Г. БУРГВИЦ
кандидат технических наук В.Н. ГЛУХОВ

Ведущее предприятие - указано в решении совета

Автореферат разослан " _ " мая 1978г.

Защита диссертации состоится "21" июня 1978г. в 15.00 часов на заседании специализированного совета К053.13.04 по присуждению ученых степеней Челябинского политехнического института им. Ленинского комсомола в ауд.244.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Челябинского политехнического института им. Ленинского комсомола.

Просим Вас и сотрудников Вашего учреждения, интересующихся темой диссертации, принять участие в заседании специализированного совета или прислать отзывы в двух экземплярах, заверенных гербовой печатью по адресу: 454044, г. Челябинск, проспект им. Ленина, 76.

Ученый секретарь специализированного
совета

кандидат технических наук
доцент



В.С. КАБРЕЕВ

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В основных направлениях развития народного хозяйства СССР в Ю-й пятилетке сказано, что задачей советской науки является дальнейшее расширение и углубление исследований закономерности природы и общества, повышения ее вклада в решение актуальных проблем строительства материально-технической базы коммунизма, ускорение научно-технического прогресса и роста эффективности производства.

Одним из важных факторов ускорения научно-технического прогресса является разработка и построение высокоточных, быстродействующих систем управления, применяемых в различных отраслях народного хозяйства: в машиностроении, приборостроении, авиационной промышленности и т.д.

Однако, как показали исследования советских и зарубежных ученых, построение таких систем связано с необходимостью учета свойств источника энергии, оказывающего влияние на качество, а в некоторых случаях и работоспособность или устойчивость системы.

Поэтому одной из актуальных задач является рассмотрение явления взаимодействия динамических систем с источником энергии независимо от их физической природы и приложения результатов такого рассмотрения к исследованию электрогидравлических систем управления, находящих широкое практическое применение (например, при построении динамических стендов, используемых в системах полунатурного моделирования).

Цель работы. Разработка инженерной методики учета свойств гидравлического источника энергии при проектировании систем автоматического управления.

Научная новизна. На основе механической интерпретации комплекса "источник питания - система автоматического управления" построена блок-схема комплекса, позволяющая учитывать динамические свойства источника энергии при проектировании системы независимо от его физической природы.

Построены математические модели комплекса "гидравлический источник питания - система автоматического регулирования" ("ГИП-САР").

Получены условия абсолютной устойчивости комплекса с учетом свойств источника питания, а также - с учетом случайной флуктуации энергии ГИП.

Решена задача качества регулирования САР с учетом динамических свойств ГИП во временном аспекте и показано, что время условного затухания по координатам САР зависит от параметров ГИП и, в частности, от такого параметра как единичная производительность насоса.

Показано, что для комплекса "ГИП-САР" возможно осуществление группового автономного регулирования.

Проведено исследование динамических свойств элементов комплекса: переливного клапана, пневмогидроаккумулятора. На основе диаграммы качества переходных процессов проведен выбор параметров переливного клапана оптимальным образом. Предложен метод расчета динамических свойств пневмогидроаккумулятора как нелинейного элемента. Показано, что динамические свойства пневмогидроаккумулятора можно аппроксимировать линейной передаточной функцией.

Проведен инженерный расчет комплекса со струйным усилителем мощности. Показано, что в этом случае динамическими свойствами источника питания можно пренебречь.

Электрогидравлический усилитель мощности со струйной трубкой усовершенствован, на что получено авторское свидетельство [I].

Получены результаты моделирования комплекса "ГИП-САР" и его элементов, подтверждающие теоретические положения работы и развивающие инженерные методы исследования комплекса.

Разработана методика экспериментального исследования комплекса. Получены экспериментальные характеристики гидравлического источника питания, подтверждающие правильность принятых теоретических положений.

Практическая ценность работы. Разработанная методика учета свойств гидравлического источника энергии использовалась при проектировании систем гидропитания для ряда динамических стендов полунатурного моделирования неустановившихся движений сложных объектов.

Апробация работы. Отдельные разделы работы докладывались и обсуждались на научно-технических конференциях Челябинского политехнического института на секции "Системы автоматического управления" в 1970-1975 гг.

Публикация. По результатам выполненных исследований автором опубликовано две работы и получено одно авторское свидетельство.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Глава I. Краткий обзор литературы и постановка задачи

Дано краткое описание работ по вопросам взаимодействия источников питания с нерегулируемыми колебательными системами и с системами автоматического регулирования в их исторической последовательности, начиная с работы Зоммерфельда (1904 г.) и, заканчивая современными исследованиями, выполненными как учеными нашей страны Б.И.Иваненко, В.О.Конonenко, Б.С.Яковлевым и др., а также учеными зарубежных стран: Дж.Кохенбургером, И.Рокаром и Р.Мазеттой.

В результате выполненных исследований по изучению явлений взаимодействия динамических систем с источниками энергии экспериментально и теоретически показана возможность возникновения неклассических колебательных процессов в системах.

В работах В.Ф.Казмиренико и В.Н.Прокофьева исследуется динамика энергетического канала гидравлических систем, а также - его вынужденные движения.

Задачей исследования данной работы является обоснование возникновения проблемы взаимодействия гидравлического источника питания с системой автоматического регулирования неустановившихся движений станда; приложении к комплексам "ГИП-САР" и дальнейшее развитие методов исследования комплексов "источник-энергия - система автоматического управления"; разработка некоторых теоретических вопросов исследования комплекса "ГИП-САР" (решение задачи устойчивости комплекса, качества регулирования системы с учетом ГИП, а также автономного регулирования комплекса); разработка и развитие инженерных методов исследования комплекса "ГИП-САР" и его элементов (переливного клапана, электрогидравлического струйного усилителя и т.д.); развитие методов электронного моделирования комплекса "ГИП-САР" и его элементов; разработка методики и экспериментальное исследование комплекса "ГИП-САР" и его элементов.

Глава II. Математические модели и структурные схемы комплекса "ГИП-САР"

Для динамического комплекса, рис.1, состоящего из источника питания (ИП), преобразователя энергии (П) и исполнительного механизма (ИМ) получена блок-схема, рис.2, независимо от его физической природы; для динамического комплекса "источник питания -

система автоматического регулирования" получена блок-схема, рис.3. На рис.2 и рис.3 обозначено: 1 - блок, характеризующий свойства источника энергии; в блок 3 входит исполнительный механизм с преобразователем выходного сигнала;

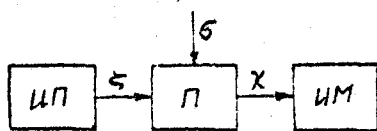


Рис.1

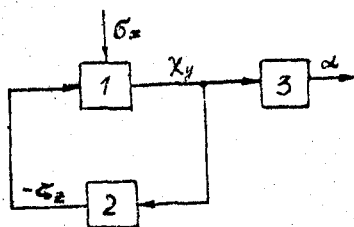


Рис.2

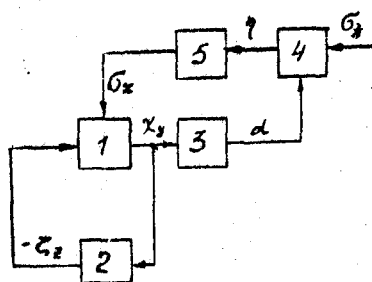


Рис.3

блок 4 содержит устройства, формирующие сигнал управления; блок 5 - объект регулирования с преобразователями сигналов; b_x - задающее воздействие. Блоки 1,3,4,5 образуют систему автоматического регулирования или информационный канал комплекса; блоки 1,2 - образуют энергетический канал комплекса. Блок 1 нелинейный, содержащий произведение координат $b_x z_x$, является общим для энергетического и информационного каналов, т.е. он выполняет двойную функцию - функцию преобразователя энергии и функцию передачи информации.

Получена блок-схема комплекса с иерархической структурой источников энергии, которая приведена в диссертационной работе.

Глава III. Теоретические вопросы расчета электрогидравлической системы управления с учетом свойств источника энергии.

Абсолютная устойчивость комплекса "ГИП-САР"

Задача об абсолютной устойчивости комплекса, как в первом, так и во втором нерегулярных случаях, рассмотренных в диссертации

ционной работе, решена прямым методом А.М.Ляпунова с использованием метода разрешающих уравнений А.И.Мурье и разработанных для подобных случаев методики исследования А.М.Летова.

Первый нерегулярный случай.

Записана система нелинейных дифференциальных уравнений возмущенного движения комплекса в виде

$$\begin{aligned} \dot{\eta}_k &= \sum_{j=1}^n b_{kj} \eta_j + n_k \alpha, \quad k=1, \dots, n \\ l\ddot{\alpha} + m\dot{\alpha} + n\alpha &= f(\sigma) \cdot \varphi(\omega), \\ \dot{\zeta} &= d\dot{\eta} + g\eta, \\ \dot{\eta} &= r\chi + t\zeta, \\ \chi &= \psi(\sigma) \cdot \varphi(\omega), \\ \sigma &= \sum_{j=1}^n \beta_j \eta_j - R\alpha - N\dot{\alpha} - K\dot{\eta} - L\dot{\eta}, \\ \omega &= \zeta - (a\ddot{\alpha} + b\dot{\alpha} + c\alpha) \operatorname{sign} \sigma. \end{aligned} \quad (I)$$

Здесь $\dot{\eta}$ - возмущение скорости приводного электродвигателя;
 ζ - возмущение давления в линии нагнетания гидросистемы;
 χ - возмущение по расходу насоса; α - возмущение по углу поворота исполнительного механизма; η - возмущение по координате объекта регулирования.

Функции $f(\sigma)$, $\psi(\sigma)$, $\varphi(\omega)$ имеют вид:

$$f(\sigma) = K_\omega \sigma, \quad \psi(\sigma) = K_\sigma \sigma \quad \text{причем} \quad \varphi(\omega) = K_\varphi \psi(\sigma), \quad K_\varphi = \frac{K_{\omega\omega}}{K_\sigma}, \quad K_\sigma = \frac{C_0}{\sigma_{\text{н.б.}}}$$

$$\varphi(\omega) = \begin{cases} \sqrt{\zeta} & \text{при } \omega \geq \zeta, \\ \sqrt{\omega} & \text{при } 0 < \omega < \zeta, \\ 0 & \text{при } \omega \leq 0. \end{cases} \quad (2)$$

Функцией $\varphi(\omega)$ учитывается действие внешней нагрузки и изменение давления в линии нагнетания системы на движение гидравлического исполнительного механизма (ГИМ); σ - сигнал управления, образованный с учетом динамических свойств источника энергии, а также - с учетом обратных связей по углу и скорости ГИМ, b_{kj} , n_k , β_j ($k, j=1, \dots, n$), $d, g, r, t, R, N, K, L, a, b, c$ - постоянные параметры.

Определение. Областями T и T_0 называются области переменных $\zeta, \dot{\alpha}, \ddot{\alpha}, \alpha, \sigma$, в которых соответственно $\varphi(\omega) > 0$ и $\varphi(\omega) = 0$.

Путем ряда последовательных преобразований система (I) приводится к канонической форме записи:

$$\begin{aligned} \dot{x}_k &= -\varphi_k x_k + \psi(\sigma) \varphi(\omega), \quad k=1, \dots, n+3 \\ \dot{x}_{n+4} &= \psi(\sigma) \cdot \varphi(\omega), \\ \sigma &= \sum_{j=1}^{n+4} \gamma_j x_j, \end{aligned} \quad (3)$$

где φ_k ($k=1, \dots, n+3$) - корни уравнения

$$\mathcal{D}(\varphi) = |\delta_{kj} + \varphi \delta_{kj}| = 0, \quad (4)$$

δ_{kj} - символ Кронекера

В области \mathbb{T} система (3) имеет вид:

$$\begin{aligned} \dot{x}_k &= -\varphi_k x_k, \quad k=1, \dots, n+3 \\ \dot{x}_{n+4} &= \text{const}, \\ \sigma &= \sum_{j=1}^{n+4} \gamma_j x_j. \end{aligned} \quad (5)$$

При выполнении условий:

$$\begin{vmatrix} b_{11} & \dots & b_{1n} & n_1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ b_{n1} & \dots & b_{nn} & n_n \\ p_1 & \dots & p_n & -R \end{vmatrix} \neq 0, \quad (6)$$

$$R > 0, N > 0, K > 0, L > 0. \quad (7)$$

$$\operatorname{Re} \varphi_k > 0, \quad k=1, \dots, n+3 \quad (8)$$

$$\text{и } \gamma_{n+4} < 0. \quad (9)$$

показано, что

П.1. Множество параметров системы (3), на котором выполняются неравенства (6)-(9), и система квадратных уравнений

$$\gamma_k + 2\alpha_k \sum_{l=1}^{n+3} \frac{\alpha_l}{\varphi_k + \varphi_l} = 0, \quad k=1, \dots, n+3 \quad (10)$$

имеет решение, содержащее ($n+3$) вещественных чисел $\alpha_1, \dots, \alpha_{n+3}$, гарантирует системе (3) абсолютную устойчивость.

п.2. Для абсолютной устойчивости нулевого решения $(x_1 = x_2 = \dots = x_{n+4} = \sigma = 0)$ системы (3) достаточно выполнения неравенств (6) - (8) и

$$j_k < 0, \quad k = 1, \dots, n+4. \quad (11)$$

Доказательства п.1.2 и пример приведены в приложении к диссертационной работе.

Второй нерегулярный случай.

В реальных условиях эксплуатации комплекса характеристика сервомотора может флуктуировать за счет случайного изменения уровня энергии источника питания.

В этом случае система дифференциальных уравнений комплекса (3) имеет вид:

$$\begin{aligned} \dot{x}_k &= -\vartheta_k x_k + j^*(t) \psi(\sigma) \varphi(\omega), \quad k = 1, \dots, n+3 \\ \dot{x}_{n+4} &= j^*(t) \psi(\sigma) \varphi(\omega), \\ \sigma &= \sum_{j=1}^{n+4} \gamma_j x_j, \end{aligned} \quad (12)$$

где $j^*(t) = 1 + \varepsilon(t)$, $\varepsilon(t)$ - случайная функция такая, что $|\varepsilon(t)| < 1$ и ее математическое ожидание $M\{\varepsilon(t)\} = 0$.

Для системы (12) решена задача абсолютной устойчивости и сформулировано следующее утверждение:

Множество параметров системы (12), на котором выполняются условия устойчивости (6)-(9) п.1 и неравенство

$$|\sigma| \sum_{k=1}^{n+3} j_k x_k \psi(\sigma) \varphi(\omega) < \sum_{k=1}^{n+3} \vartheta_k A_k x_k^2, \quad (13)$$

а также система квадратных уравнений

$$A_k + j_k + 2\alpha_k \sum_{l=1}^{n+3} \frac{\alpha_l}{\vartheta_k + \vartheta_l} = 0, \quad (k=1, \dots, n+3) \quad (14)$$

имеет решение, содержащее $(n+3)$ вещественных чисел $\alpha_1, \dots, \alpha_{n+3}$ гарантирует системе (12) абсолютную устойчивость. Здесь A_k произвольные положительные постоянные.

Пример для задачи устойчивости во втором нерегулярном случае приведен в приложении к диссертационной работе.

Качество регулирования САР с учетом ГИП

Известно, что как электрические, так и гидравлические, источники энергии оказывают влияние на качество регулирования. В работе рассмотрен подобный вопрос с целью выявления роли отдельных параметров на время условного затухания переходных процессов САР.

За математическую модель комплекса принята система дифференциальных уравнений (1), приведенная к канонической форме (3)

$$\dot{x}_k = -\varphi_k x_k + \psi(\sigma) \cdot \varphi(\omega), \quad k=1, \dots, n+4 \quad (15)$$

$$\dot{\sigma} = \sum_{j=1}^{n+4} \beta_j x_j + \gamma^* \psi(\sigma) \cdot \varphi(\omega),$$

где $\sigma = \sum_{j=1}^{n+4} \gamma_j x_j$, $\beta_j = -\varphi_j \gamma_j$, $\gamma^* = \sum_{j=1}^{n+4} \gamma_j^*$,

$\varphi_k (k=1, \dots, n+4)$ - корни уравнения (4).

Для системы (15) сформулировано следующее утверждение: если выполнены условия п.1,2, то система (15) будет иметь наилучшее качество для той точки P области B (области свободных параметров системы (15)), в которой наименьший корень уравнения (16)

$$\begin{vmatrix} \varphi_1 - \mu & 0 & \dots & 0 & -\frac{1}{2}(K_1 + \beta_1) \\ 0 & \varphi_2 - \mu & \dots & \dots & -\frac{1}{2}(K_1 + \beta_2) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & \varphi_{n+4} - \mu & -\frac{1}{2}(K_1 + \beta_{n+4}) \\ \frac{1}{2}(K_1 + \beta_1) & -\frac{1}{2}(K_1 + \beta_2) & \dots & -\frac{K_1}{2}(1 + \gamma^*) & -\gamma^* K_1 - \mu \end{vmatrix} = 0 \quad (16)$$

является наибольшим по модулю.

Пример для задачи качества приведен в приложении к диссертационной работе.

Оптимизация линейризованного комплекса

Для линейризованной системы дифференциальных уравнений комплекса, приведенной в работе, решена задача минимизации интегральной квадратичной оценки:

$$J_0 = \min_{\{Q_n, C_{an}\}} \int_0^{\infty} [\varepsilon(t)]^2 dt, \quad (17)$$

где $\varepsilon(t) = y(\infty) - y_0(t)$ - ошибка системы.

Дано обоснование выбора параметров Q_n, C_{an} (единичной производительности насоса и начальной жесткости пневмогидроаккумулятора), по которым находится минимум (17).

Интегральная квадратичная оценка (17) для комплекса "ГИП-САР" с конкретными его числовыми параметрами рассчитана на ЭЦВМ и приведена в приложении к диссертационной работе. Линии равных значений J_0 в плоскости Q - разбегания, построенные по результатам расчета в параметрах комплекса $Q_n, \frac{1}{C_{an}}$, приведены в гл. I.V диссертационной работы.

Стабилизация комплекса по режимной координате ГИП.

Групповая автономность

В динамических режимах работы системы координаты (P_n, Q_n - давление в линии нагнетания гидросистемы и расход насоса) не остаются постоянными, а получают приращения, что, в свою очередь, влияет на работоспособность системы. В связи с этим возникает задача стабилизации комплекса по режимной координате ГИП.

Итак, рассмотрена система дифференциальных уравнений комплекса (1), записанная в виде:

$$\dot{X} = CX + mU, \quad (18)$$

где X - вектор объекта управления размерности $(n+1) \times (n+4)$;
 U - вектор управления размерности $(n+1) \times 2$; C и m - матрицы вида:

$$C = \begin{pmatrix} b_{11} & \dots & b_{1n} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ b_{n1} & \dots & b_{nn} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \dots & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \dots & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, \quad (19)$$

$$m = \begin{pmatrix} n_1 & 0 \\ \vdots & \vdots \\ n_r & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & K_1 \end{pmatrix} \quad (20)$$

Показано, что для системы уравнений (18) может быть осуществлено групповое автономное регулирование.

Критерий сближения в задаче стабилизации

в практических расчетах удобнее пользоваться инженерными методами стабилизации. В работе задача стабилизации решена для ГИП с пневмогидроаккумулятором использованием интегрального квадратичного критерия сближения весовых функций:

$$J = \int_0^{\infty} [W(t) - g(t)]^2 dt, \quad (21)$$

где $g(t)$ - желаемая весовая функция; $W(t)$ - фактическая реакция системы на единичный импульс.

Интегральный квадратичный критерий сближения был рассчитан на ЭЦМ при конкретных числовых параметрах ГИП и пневмогидроаккумулятора. Расчет приведен в приложении к диссертационной работе.

Глава IV. Расчет динамических свойств электрогидравлической системы управления стенда и элементов ГИП инженерными методами

Синтез динамических свойств переливного клапана на основе диаграммы качества переходных процессов.

При известных параметрах переливного клапана и ГИП построена диаграмма качества переходных процессов, по которой можно выбирать параметры переходного процесса, а по ним - конкретные физические параметры переливного клапана.

Конкретный синтез параметров переливного клапана проведен в гл.У диссертационной работы с использованием моделирующей установки МН-7.

Синтез параметров пневмогидроаккумулятора

Решена задача, заключающаяся в таком выборе параметров пневмо-

гидроаккумулятора, чтобы для всех частот ($0 < \omega < \omega_0$) и амплитуд ($0 < a < a_0$) возмущающего сигнала выполнялось неравенство:

$$|W^*(a, j\omega)| < |p e^{-j\omega}| < p > 0, \quad (22)$$

где $W^*(a, j\omega)$ - передаточная функция системы ГИП с пневмогидроаккумулятором p - положительное число.

На рис.4 приведена экспериментальная амплитудно-фазочастотная характеристика (АФЧД) ГИП с пневмогидроаккумулятором, параметры которого синтезированы вышеуказанным способом. Как видно из рис.4, модуль этой характеристики полностью удовлетворяет требованиям задачи, т.е. не выходит из круга радиуса $p = 0,2 \frac{\text{кг/см}^2}{\text{л/мин}}$ на комплексной плоскости.

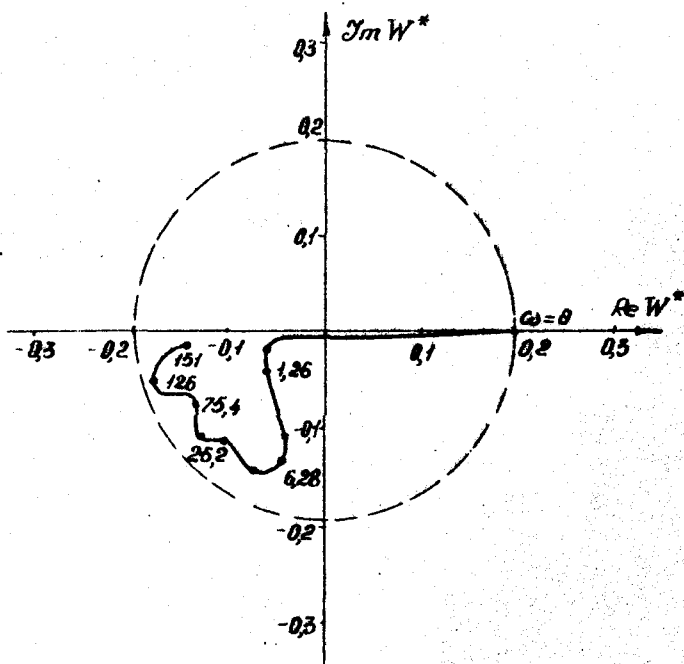


Рис.4

Итак, в диссертационной работе показано, что: если переливной клапан удобнее использовать как стабилизирующий элемент ГИП в статических режимах его работы, то пневмогидроаккумулятор можно рассматривать как стабилизирующий элемент в динамических режимах работы ГИЦ.

Расчет динамических свойств комплекса "ГИП-САР" со струйным управлением

До сих пор мы рассматривали систему автоматического регулирования с золотниковым управлением. Во многих практических случаях находит применение схема со струйным управлением, где в качестве усилительного элемента используется электрогидравлический усилитель со струйной трубкой.

Показано, что без учета дроссельного эффекта струйного гидродросселирующего элемента при расчете САР динамическими свойствами ГИП можно пренебречь.

Определены теоретически и подтверждены экспериментально динамические свойства электрогидравлического усилителя со струйной трубкой. Показано, что последние существенно образом зависят от свойств рабочей среды.

Для улучшения динамических свойств электрогидравлического усилителя со струйной трубкой последний усовершенствован.

Проведен анализ динамических свойств следящего гидропривода со струйным управлением.

Показано, что передача полезного сигнала осуществляется без амплитудных и фазовых искажений до частоты $f = 1$ Гц.

Проведен синтез динамических свойств следящего гидропривода со струйным управлением.

Введением корректирующих устройств в прямую и обратную связи электрогидропривода, а также синтеза инвариантной связи по входному сигналу, частотный диапазон системы увеличен на порядок.

Глава 9. Исследование электрогидравлической системы управления стенда и её элементов с учетом свойств источника энергии на электронной модели

Получена схема электронной модели комплекса "ГИП-САР", которая приведена в диссертационной работе.

При наблюдении переходных процессов было отмечено увеличение (уменьшение) частоты колебаний при увеличении (уменьшении) коэффициента жесткости ($K_{жс}$), что полностью согласуется с формулой В.А.Хохлова:

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{K_{жс}}{m}} \quad (23)$$

где m - масса нагрузки.

При $K_{жс} = 0$ система неустойчива и кривые переходных процессов расходятся без колебаний. Последнее предопределило построение области устойчивости комплекса в координатах $K_{жс}$ и $f_{в}$ (коэффициент вязкого трения). Области устойчивости приведены в диссертационной работе.

Получены результаты моделирования одного ГИП без учета динамических свойств переливного клапана и - с учетом последних.

Показано, что динамические свойства переливного клапана ухудшают качество переходного процесса (увеличивают время затухания и колебательность, что при определенных условиях может привести к неустойчивости ГИП; динамические свойства ГИП с учетом динамики переливного клапана, параметры которого синтезированы с использованием диаграммы качества переходных процессов, значительно улучшены: уменьшены пик наибольшей амплитуды, колебательность и время затухания переходного процесса.

Показано, что динамические свойства переливного клапана оказывают влияние на динамику всего комплекса.

Получены результаты моделирования ГИП с пневмогидроаккумулятором.

Показано, что гидроаккумулятор оказывает положительное влияние на качество переходных процессов как ГИП, так и всего комплекса.

Сделан вывод о целесообразности применения гидроаккумулятора в комплексе "ГИП-САР" как стабилизирующего элемента в динамических режимах его работы.

Глава VI. Методы экспериментального исследования элементов комплекса "ГИП-САР"

Экспериментальное исследование энергетического канала комплекса в диссертационной работе проведено в соответствии с общей структурной схемой, рис.5, где Y_n - комплексная гидравлическая про-

0196119

димость нагрузки; $Z_{гип}$ - комплексное гидравлическое сопротивление источника питания; $Y_{доп}$ - дополнительная проводимость, изменяемая по заданному закону.

Получены экспериментальные АФЧ энергетического канала комплекса, рис.6. Получены экспериментальные АФЧ пнев-

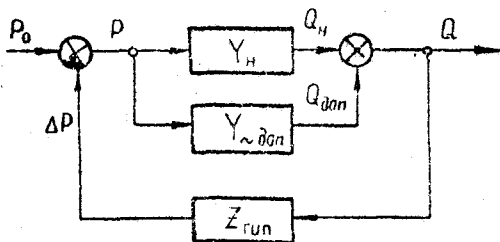


Рис.5

могидроаккумулятора, ЛАЧХ и ФЧХ соединительной магистрали (трубопровода). АФЧХ пневмогидроаккумулятора, ЛАЧХ и ФЧХ трубопровода приведены в диссертационной работе.

Приложение.

В приложении приведены: пример к § I гл.IV диссертационной работы, доказательства п.1,2. Пример устойчивости системы при $K=1$ во втором нерегулярном случае и числовой пример задачи качества при $K=1$ с использованием ЭЦВМ; программа расчета на ЭЦВМ интегральной квадратичной оценки комплекса при различных значениях его параметров ($C_{ан}$, $Q_{н}$); программа расчета на ЭЦВМ интегрального квадратичного критерия сближения.

Заключение

Основные результаты работы можно сформулировать следующим образом.

1. Предложен метод учета динамических свойств источника энергии в комплексе "ИП-САР" независимо от его физической природы.
2. Показана необходимость учета динамических свойств источника энергии при проектировании САУ динамическими стендами.
3. Сформулированы условия абсолютной устойчивости комплекса "ГИП-САР" в случае учета сжимаемости жидкости в гидродвигателе, учета случайной флуктуации энергии ГИИ.
4. Решена задача качества регулирования комплекса во временном аспекте.

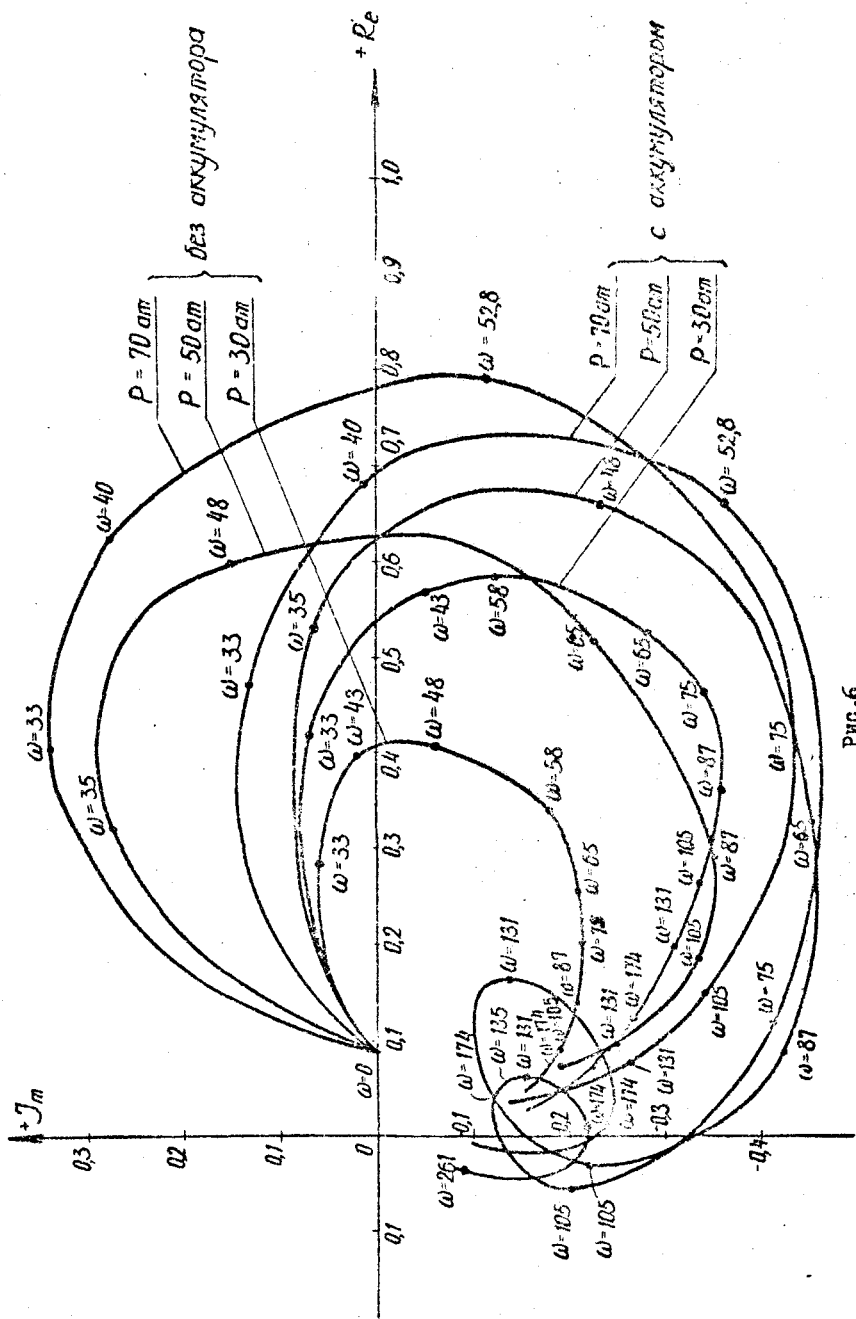


Рис. 6

5. Показано, что для САР может быть осуществлено групповое автономное регулирование: возмущенные движения по координатам САР не будут зависеть от возмущений по координатам ГИП.

6. Проведен инженерный расчет комплекса "ГИП-САР" со струйным усилителем мощности; показано, что в этом случае динамическими свойствами ГИП можно пренебречь.

7. Аналоговое моделирование комплекса "ГИП-САР" и его элементов подтвердило теоретические положения диссертационной работы.

8. Разработанные экспериментальные методы исследования комплекса "ГИП-САР" позволяют достаточно просто определять динамические характеристики как энергетического канала комплекса, так и его элементов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Егоров А.А., Седнев В.И. Электрогидравлический усилитель для следящих систем. "Открытия. Изобретения. Промышленные образцы. Товарные знаки." № 10, 1972, стр.137.

2. Егоров А.А., Сибрин А.П. О механизме взаимодействия динамических систем с источником энергии. Вопросы динамики систем автоматического управления. Сб.научн.трудов № 153, Челябинск, 1974.

3. Егоров А.А. Задача автономного регулирования комплекса ГИП-САР. Вопросы динамики систем автоматического управления. - Сб.научн.трудов № 153, Челябинск, 1974.