

Министерство образования Республики Беларусь
БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра "Гидропневмоавтоматика и гидропневмопривод"

ТЕОРИЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

Методические указания к выполнению курсовой работы
для студентов специальности 1-36 01 07

"Гидропневмосистемы мобильных и технологических машин"

Минск 2006

УДК 621-52(075.8)
ББК 32.965я7
Т 33

Составитель
В.П. Автушко

Рецензенты:
Л.А. Молибошко, Ю.М. Жуковский

Методические указания предназначены для оказания помощи студентам при выполнении ими курсовой работы по дисциплине "Теория автоматического управления". Рассмотрены основные этапы курсовой работы и даны рекомендации по их выполнению; приведены варианты заданий на курсовую работу, включающие различные автоматические системы управления мобильных и технологических машин.

Введение

Курсовая работа является завершающей стадией изучения дисциплины "Теория автоматического управления". Основная цель курсовой работы – закрепление теоретических знаний и приобретение практических навыков по выполнению инженерных расчетов при анализе и синтезе реальных гидравлических и электрогидравлических следящих приводов мобильных и технологических машин.

В вариантах на курсовую работу приведено описание рабочего процесса системы автоматического управления, приведены линеаризованные уравнения движения динамических звеньев автоматических систем управления.

Методические указания, излагаемые в разделе 3, поясняют последовательность выполнения курсовой работы, описание ее отдельных этапов, требований к ним. Обоснование необходимых зависимостей, описывающих динамические процессы в приводах, и подробное изложение отдельных вопросов проектирования, описание автоматической системы и ее элементов можно найти в рекомендуемой литературе.

1. ЗАДАНИЕ НА КУРСОВУЮ РАБОТУ И ЕЕ СОДЕРЖАНИЕ

Каждому студенту выдается задание на курсовую работу из предложенных в пункте 5 вариантов систем автоматического регулирования (САР). Задание включает принципиальную схему САР, систему дифференциальных и алгебраических уравнений, описывающих динамические процессы в звеньях исследуемой САР, формулы для расчета постоянных времени, коэффициентов передач и коэффициентов относительного демпфирования динамических звеньев, зависящих от конструктивных параметров системы, исходные данные для расчета и синтеза САР (требования по точности, быстродействию и устойчивости).

Для синтеза САР задаются временные показатели качества:

1. Время переходного процесса t_n при ступенчатом входном воздействии.
2. Максимальное допустимое перерегулирование σ_{\max} .
3. Коэффициенты ошибки по скорости e_1 и по ускорению e_2 .

Курсовая работа включает выполнение следующих разделов:

1. Описание устройства и работы автоматической системы, разработка ее функциональной схемы.
2. Разработка математической модели и структурной схемы заданной системы.
3. Оценка устойчивости системы.
4. Расчет и построение частотных характеристик системы.
5. Построение желаемой ЛАЧХ системы.
6. Определение ЛАЧХ корректирующего устройства и расчет его параметров.
7. Построение структурной схемы и определение передаточной функции скорректированной системы.
8. Расчет переходной характеристики и оценка качества скорректированной САР.
9. Заключение.
10. Список использованных источников.

2. ПОРЯДОК ОФОРМЛЕНИЯ И ЗАЩИТЫ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

Курсовая работа состоит из расчетно-пояснительной записки, в которую включается графический материал. Расчетно-пояснительная записка оформляется на стандартной белой бумаге формата А 4 с одной стороны листа, графики выполняются с соблюдением масштабов на листах миллиметровой бумаги формата А 4 или А 3.

1. Титульный лист записки оформляется согласно приложения А методических указаний.

2. Пояснительная записка должна содержать схему исследуемой системы, вариант исходных данных и результаты расчетов с пояснениями, таблицами и графиками.

3. Текст записки излагается на одной стороне листа бумаги. Размеры полей: левое – 30 мм, правое 10 мм, верхнее – 25 мм, нижнее – 20 мм. Ограничительная рамка на листе не вычерчивается. Страницы записки нумеруются арабскими цифрами, проставляемыми в правом верхнем углу страницы. Номер страницы на титульном листе не ставится, но включается в общую нумерацию страниц.

4. Текст записки разделяется на разделы и подразделы. Заголовки разделов выполняются прописными буквами и отделяются от текста интервалом 15 мм. Заголовки подразделов выполняются строчными буквами. Расстояние между заголовками раздела и подраздела 8 мм. Разделы нумеруются арабскими цифрами без точки в пределах всей записки. Введение и заключение не нумеруются. Подразделы нумеруются арабскими цифрами с точкой в пределах каждого раздела (например: 2.5 – пятый подраздел второго раздела). В конце номера подраздела точка не ставится. Точка в конце заголовка раздела и подраздела не ставится, название не подчеркивается.

5. Содержание записки должно включать в себя наименование всех разделов и подразделов с указанием номера страницы.

6. Математические выражения должны нумероваться арабскими цифрами в пределах всей записки, которые записывают на уровне формулы справа в круглых скобках. Пояснения применяемых символов должны быть приведены непосредственно под формулой, если они не пояснены ранее в тексте. Пояснения каждого символа следует давать с новой строки в последовательности, в которой они приведены в формуле. Первая строка пояснения должна начинаться со слова "где" без двоеточия после него. Все расчеты следует проводить в системе СИ.

7. Логарифмические частотные характеристики выполняются на полупологарифмической бумаге. При построении логарифмических частотных характеристик график фазовой частотной характеристики (ЛФХЧ) необходимо размещать под графиком логарифмической амплитудной частотной характеристики (ЛАЧХ), используя оси частот одинакового масштаба.

8. Иллюстрации нумеруются арабскими цифрами, нумерация сплошная по всей записке (например: Рис. 4). Слово "Рисунок", номер и наименование помещают после рисунка.

9. Каждая таблица имеет номер и название. Таблицы нумеруются арабскими цифрами, порядок нумерации сплошной по всей записке. Слово "Таблица 3" указывают слева над первой частью таблицы. Название таблицы должно отражать ее содержание, быть точным и кратким. Название следует помещать над таблицей сразу после номера таблицы.

10. Таблицы, графики и схемы, которые размещены на отдельных листах, включаются в общую нумерацию страниц и размещаются после первого упоминания в тексте.

11. Ссылки на использование литературных источников должны нумероваться арабскими цифрами по порядку упоминания в тексте и помещаться в квадратные скобки (например: [12]).

12. Курсовые работы с небрежно написанным текстом и небрежно выполненным графическим материалом не принимаются к рассмотрению. Пояснительная записка должна быть пришта вместе с аккуратно оформленной обложкой.

Работа допускается к защите при условии соблюдения всех правил оформления расчетно-пояснительной записки, а также после устранения недостатков, замеченных преподавателем при предварительной проверке работы.

При защите курсовой работы необходимо знать методы расчета систем, уметь обосновать применение различных методов, показателей и критериев. Результаты защиты оцениваются дифференцированной оценкой.

3. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

В первом разделе записки приводится принципиальная схема исследуемой САР, дается описание устройства и работы ее, а также

разрабатывается функциональная схема системы. По функциональной схеме необходимо дать краткую характеристику и назначение каждого функционального элемента, указать задающее воздействие, регулируемую величину, охарактеризовать возмущающие воздействия и обратные связи. Используя классификационные признаки САР, дать характеристику заданной системы.

Во втором разделе записки заданные дифференциальные и алгебраические уравнения движения, описывающие динамические процессы в исследуемой системе, необходимо записать в стандартной форме, а затем в изображениях, используя прямое преобразование Лапласа. В уравнениях на основании заданных исходных данных определяются постоянные времени, коэффициенты передач, коэффициенты относительного демпфирования. Все буквенные обозначения необходимо пояснить, а уравнения и формулы пронумеровать.

Затем необходимо найти передаточные функции всех элементов по задающему и возмущающему (если оно имеется) воздействиям. Все передаточные функции необходимо представить в виде комбинации соединений типовых звеньев, указать тип звена.

В соответствии со схемой включения динамических звеньев строится структурная схема САР. В случае, если исходная структурная схема является многоконтурной, то производится ее преобразование к одноконтурной. Все этапы структурных преобразований иллюстрируются отдельными схемами. Затем необходимо определить передаточную функцию разомкнутой системы, главную передаточную функцию системы и передаточную функцию замкнутой САР для ошибки. При этом передаточная функция разомкнутой САР должна быть представлена в виде комбинации передаточных функций типовых динамических звеньев, входящих в исследуемую систему, в буквенном и числовом виде, а также все передаточные функции замкнутой и разомкнутой системы должны быть представлены в виде полиномов в буквенном и числовом виде.

При разработке структурной схемы и ее преобразований используется литература [1, 2, 3, 4, 5].

В третьем разделе записки оценивается устойчивость исходной САР. Для анализа устойчивости удобнее использовать алгебраические критерии устойчивости [1, 2, 3, 4, 5, 9]. Если окажется, что исходная САР является неустойчивой, то необходимо указать вид неустойчивости (параметрическая или структурная) и наметить пути устранения не-

устойчивости. В случае параметрической неустойчивости необходимо проконсультироваться с преподавателем и изменить некоторые конструктивные параметры системы. В большинстве случаев такими параметрами могут быть коэффициенты передач по расходу и перемещению распределителей, коэффициенты вязкого трения и т.п.

В четвертом разделе записки необходимо найти выражения для амплитудной частотной характеристики (АЧХ) и амплитудно-фазовой частотной характеристики (АФЧХ) замкнутой САР, а также выражения для логарифмических частотных характеристик (ЛАЧХ и ЛФЧХ) разомкнутой САР. По полученным выражениям частотных характеристик необходимо рассчитать и построить их графики. Частотные характеристики определяются по задающему воздействию. Для расчета ЛАЧХ и ЛФЧХ разомкнутой САР используются выражения

$$L_0(\omega) = \sum_{i=1}^n L_i(\omega); \quad \varphi_0(\omega) = \sum_{i=1}^n \varphi_i(\omega),$$

где $L_i(\omega)$ и $\varphi_i(\omega)$ — соответственно ЛАЧХ и ЛФЧХ типовых динамических звеньев, входящих в заданную САР.

При этом необходимо построить действительную и асимптотическую ЛАЧХ разомкнутой исходной САР.

В случае наличия в САР дополнительного внутреннего контура вследствие местной обратной связи для построения ЛАЧХ и ЛФЧХ его применяются общие методы построения логарифмических частотных характеристик или же используются номограммы замыкания [10, 15]. Полученные ЛАЧХ и ЛФЧХ этого контура затем добавляются к соответствующим характеристикам остальных звеньев разомкнутой системы. В результате получаются ЛАЧХ ($L_0(\omega)$) и ЛФЧХ ($\varphi_0(\omega)$) всей разомкнутой исходной САР.

По полученным логарифмическим частотным характеристикам разомкнутой исходной САР необходимо определить запасы устойчивости по амплитуде и фазе, частоту среза, коэффициент ошибки по скорости C_1 , сравнить их с заданными для синтеза и сделать заключение о качестве исходной САР.

В пятом разделе записки производится построение желаемой ЛАЧХ разомкнутой САР $L_{ж}(\omega)$. Подробно этапы построения ее рассмотрены в пункте 4 методических указаний.

В шестом разделе записки необходимо определить ЛАЧХ корректирующего устройства (КУ) $L_k(\omega)$ и произвести расчет его параметров. Структура и параметры КУ определяются в результате сравнения характеристик $L_0(\omega)$ и $L_{ж}(\omega)$. С этой же целью на графике желаемой ЛАЧХ $L_{ж}(\omega)$ строится в таком же масштабе и асимптотическая ЛАЧХ исходной системы $L_0(\omega)$ (из раздела 4).

Для определения ЛАЧХ последовательного КУ $L_k(\omega)$ из желаемой ЛАЧХ $L_{ж}(\omega)$ нужно вычесть ЛАЧХ исходной системы $L_0(\omega)$. Вычитание ординат необходимо сделать на всех сопрягающих частотах этих характеристик, а затем полученные точки соединить отрезками прямых.

В случае когда $L_0(\omega) < L_{ж}(\omega)$ (исходная САР имеет недостаточную точность), для определения ЛАЧХ КУ необходимо поднять $L_0(\omega)$ до уровня желаемой ЛАЧХ, а в ряде случаев и выше ее. В результате получается ЛАЧХ исходной САР $L'_0(\omega)$, в которой обеспечивается требуемая точность. Затем графически определяется ЛАЧХ КУ. Для сохранения полученной точности в скорректированную систему необходимо ввести дополнительный согласующий электронный усилитель, коэффициент усиления которого определяется по выражению

$$K_{ус} = 10^{(\Delta L/20)},$$

где $\Delta L = L'_0(\omega) - L_0(\omega)$, определяется при $\omega = 1e^{-1}$.

По виду ЛАЧХ КУ $L_k(\omega)$ выбирается его принципиальная схема и передаточная функция $W_k(S)$. В качестве КУ в САР широко используются пассивные четырехполосники постоянного тока [9, 14]. Если окажется, что КУ удобнее устанавливать в цепи обратной связи или включать их параллельно, то необходимо осуществить переход от последовательного КУ, используя соответствующие соотношения [1, 2].

После выбора схемы КУ определяются параметры его элементов (сопротивлений, емкостей, индуктивностей и др.), используя соответствующие выражения для постоянных времени, коэффициентов усиления в передаточной функции КУ, а также для параметров его ЛАЧХ. При этом может возникнуть необходимость предварительно принять один или два параметра, а другие рассчитать. Кроме того, необходимо убедиться в возможности физического выполнения этой схемы с требуемыми параметрами ее передаточной функции.

При сложных конфигурациях ЛАЧХ КУ приходится использовать несколько (два, три) пассивных четырехполосников постоянного тока, а также согласующий усилитель, соединенных последовательно.

В седьмом разделе записки разрабатывается структурная схема скорректированной САР и определяется главная передаточная функция системы.

В восьмом разделе записки производится расчет переходных характеристик скорректированной САР. Для построения кривой переходного процесса рекомендуется использовать приближенный метод В.В. Солодовникова, основанный на использовании вещественной частотной характеристики замкнутой САР [1, 2, 5, 9]. С этой целью предварительно необходимо рассчитать и построить вещественную частотную характеристику САР, которую затем заменяют четырьмя-пятью трапециями. Для всех трапеций определяют соответствующие переходные составляющие и, суммируя их графически, получают кривую переходного процесса. По графику переходного процесса определяются время регулирования при $\Delta = 0,05$, перерегулирование и другие параметры качества переходного процесса. Полученные параметры сравниваются с данными для синтеза.

Кривую переходного процесса можно также рассчитать, используя операционный метод [9].

В девятом разделе должны быть обобщены полученные в курсовой работе по всем основным разделам результаты и дана оценка соответствия параметров спроектированной САР техническим требованиям.

В десятом разделе необходимо привести список использованных источников при разработке курсовой работы.

4. ПОСТРОЕНИЕ ЖЕЛАЕМОЙ ЛАЧХ СИСТЕМЫ

Желаемой называют асимптотическую ЛАЧХ $L_{жс}(\omega)$ разомкнутой системы, имеющей желаемые (требуемые) статические и динамические свойства. Она строится на основании требований, предъявляемых к системе, т.е. исходных данных для синтеза САР. Желаемая ЛАЧХ (рис. 1) состоит из трех основных асимптот: низкочастотной, среднечастотной и высокочастотной. Кроме того, могут быть и сопрягающие асимптоты, которые соединяют основные.

Низкочастотная асимптота ЛАЧХ определяет статические свойства системы, ее точность в установившихся режимах.

Среднечастотная асимптота ЛАЧХ разомкнутой системы и ее сопряжение с низкочастотной определяют устойчивость и показатели качества переходной характеристики.

Высокочастотная асимптота желаемой ЛАЧХ мало влияет на динамические свойства системы, поэтому ее следует выбирать так, чтобы корректирующее устройство было возможно более простым.

Желаемая ЛАЧХ разомкнутой САР по временным показателям качества строится следующим образом [1, 2, 9].

1. В низкочастотной области наклон желаемой ЛАЧХ $L_{жс}(\omega)$ должен составлять -20ν дБ/дек, где ν – порядок астатизма системы.

Для статической системы ($\nu=0$) асимптота желаемой ЛАЧХ $L_{жс}(\omega)$ имеет наклон 0 дБ/дек и ординату $L_{жс}(\omega) = 20 \lg k$, где k – общий коэффициент усиления разомкнутой скорректированной системы. Эта асимптота продолжается до сопрягающей частоты

$\omega_0 = \frac{1}{T_0}$, где T_0 – постоянная времени звена исходной разомкнутой

САР. Правее частоты ω_0 низкочастотная асимптота желаемой ЛАЧХ имеет наклон -20 дБ/дек и ее продолжение пересекает ось

частот на частоте $\omega_v = \frac{1}{c_1}$ (рис. 1, а), где c_1 – заданный коэффициент

ошибки по скорости.

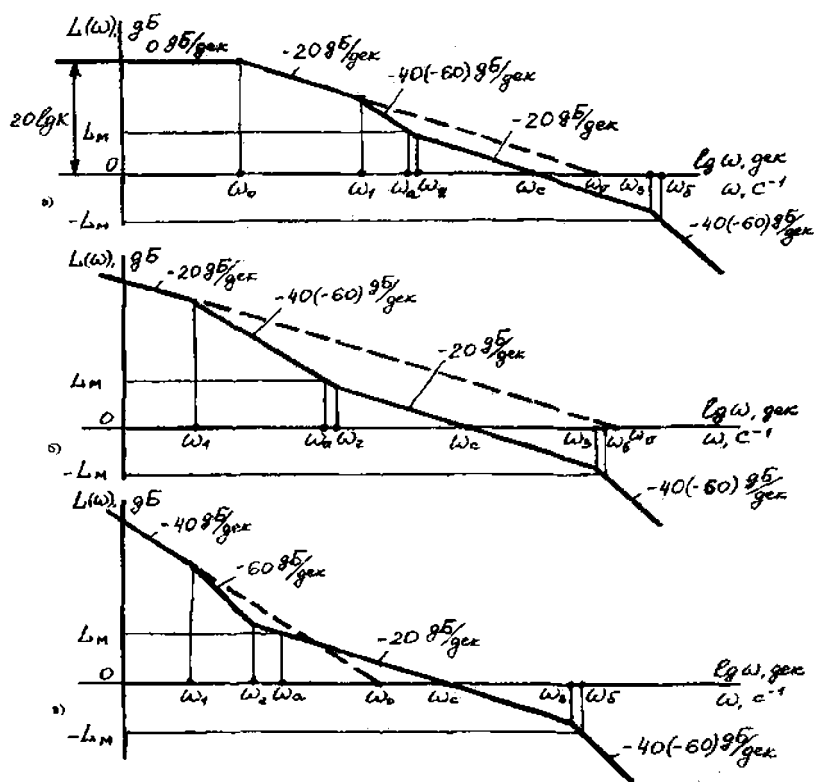


Рис. 1. Желаемые ЛАЧХ разомкнутых систем:

а – статической; б – астатической 1-го порядка; в – астатической 2-го порядка

Для астатических систем 1-го порядка ($\nu = 1$) низкочастотная асимптота проводится наклоном -20 дБ/дек, продолжение этой асимптоты должно пересечь ось частот при частоте ω_0 , равной желаемой добротности системы по скорости k_v (рис. 1, б), т. е.

$$\omega_0 = k_v = \frac{1}{c_1},$$

где c_1 — заданный коэффициент ошибки по скорости.

Для астатических систем 2-го порядка ($\nu = 2$) низкочастотная асимптота проводится наклоном -40 дБ/дек и продолжение ее пересекает ось частот при частоте ω_0 , равной желаемой добротности по ускорению k_a (рис. 1, в), т. е.

$$\omega_0 = k_a = \sqrt{\frac{2}{c_2}},$$

где c_2 — заданный коэффициент ошибки по ускорению.

Для астатических систем желаемая ЛАЧХ на частоте $\omega = 1c^{-1}$ имеет ординату

$$L_{жк}(\omega) = 20 \lg k,$$

где k — общий коэффициент усиления разомкнутой скорректированной системы.

2. Определяется первая сопрягающая частота ω_1 для САР (рисунок 1). При однократном изломе низкочастотной части желаемой ЛАЧХ (наклон изменяется на -20 дБ/дек)

$$\omega_1 = \frac{2c_2}{c_1} = \frac{k_a}{k_v},$$

а при двукратном изломе (наклон изменяется на -40 дБ/дек)

$$\omega_1 = \frac{4c_1}{c_2} = \frac{2k_a}{k_v}.$$

3. Построение среднечастотной асимптоты желаемой ЛАЧХ начинается с выбора частоты среза ω_c , т. е. частоты, при которой желаемая ЛАЧХ пересекает ось абсцисс. Частота среза определяется по формуле

$$\omega_c \geq \frac{b\pi}{t_n},$$

где b – коэффициент, зависящий от заданного перерегулирования σ_{\max} системы, определяется по графику зависимости $b(\sigma_{\max})$ (рис. 2);

t_n – заданное для синтеза время регулирования системы.

Среднечастотная асимптота желаемой ЛАЧХ проводится через точку ω_c с наклоном -20 дБ/дек. При большем наклоне трудно обеспечить необходимый запас устойчивости и допустимое перерегулирование.

4. По графику рис. 2 при заданном значении σ_{\max} определяют требуемые запасы устойчивости по амплитуде L_M и фазе γ_{\min} . На ЛАЧХ желаемой системы $L_{жс}(\omega)$ откладываются ординаты $\pm L_M$ и проводятся линии, параллельные оси частот (рис. 1, а, б, в).

5. Среднечастотную асимптоту сопрягают с низкочастотной так, чтобы в том интервале частот, в котором $0 \leq L_{жс}(\omega) \leq L_M$ избыток фазы $\gamma \geq \gamma_{\min}$. Сопряжение осуществляется асимптотой с наклоном -40 дБ/дек или -60 дБ/дек для статических ($\nu = 0$) (рис. 1, а) и астатических систем 1-го порядка ($\nu = 1$) (рис. 1, б), с наклоном -60 дБ/дек для астатических систем 2-го порядка ($\nu = 2$) (рис. 1, в).

Избыток фазы $\gamma = \pi + \phi(\omega)$, где $\phi(\omega) < 0$ проверяют лишь при той частоте ω_a , при которой $L_{жс}(\omega_a) = L_M$ (рис. 1, а, б, в). Этой частоте может соответствовать точка сопряжения асимптот (ω_2) или точка на одной из этих асимптот.

Избыток фазы γ_a при частоте ω_a можно определить по приближенной формуле

$$\gamma_a = \pi - \frac{\nu\pi}{2} - \left(\frac{k\pi}{2} - \sum_{i=1}^k \frac{\omega_i}{\omega_a} \right) + \left(\frac{\ell\pi}{2} - \sum_{j=1}^{\ell} \frac{\omega_j}{\omega_a} \right),$$

где ν – порядок астатизма системы;

ω_i – сопрягающие частоты меньше ω_a , при которых наклон $L_{жс}(\omega)$ изменяется на -20 дБ/дек ($\omega_i < \omega_a$);

k – число сопрягающих частот ω_i ;

ω_j – сопрягающие частоты меньше или равные ω_a , при которых $L_{жс}(\omega)$ изменяется на $+20$ дБ/дек ($\omega_j \leq \omega_a$);

ℓ – число сопрягающих частот ω_j .

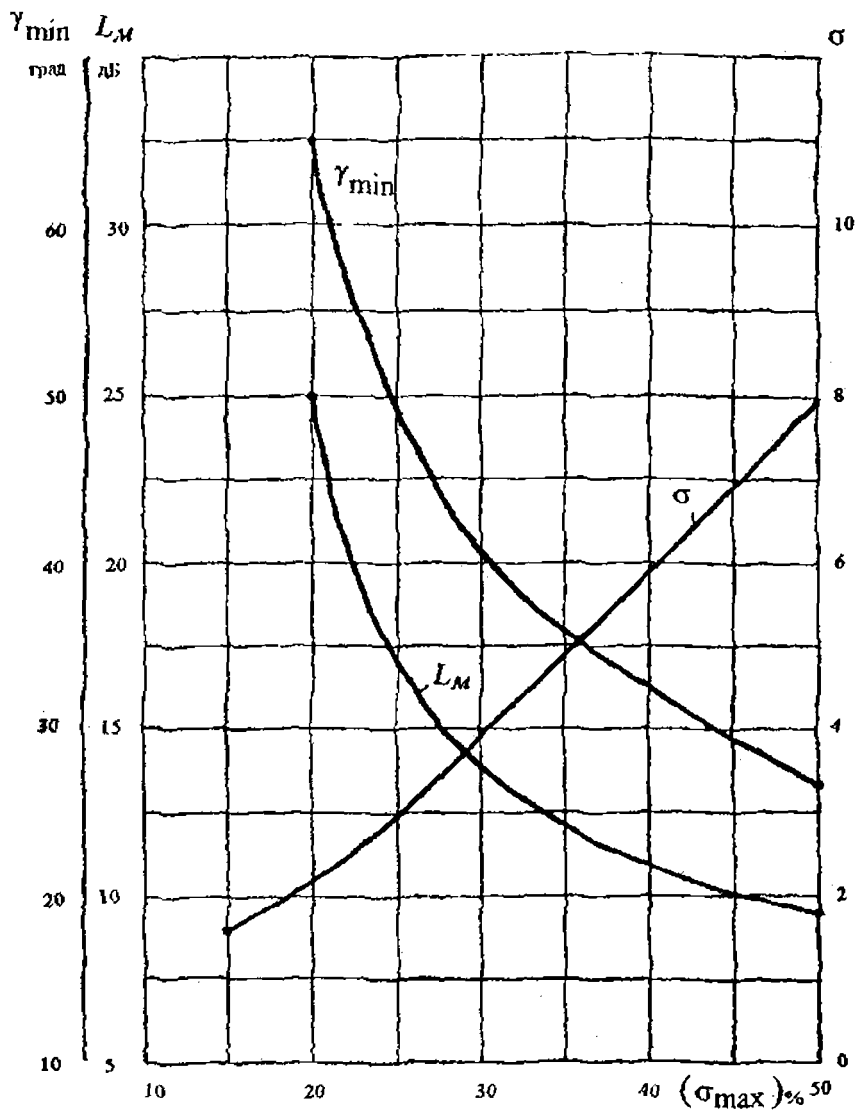


Рис. 2. Зависимости $\sigma(\sigma_{\max})$, $L_M(\sigma_{\max})$, $\gamma_{\min}(\sigma_{\max})$

Если избыток фазы в выбранном сопряжении $\gamma_a \geq \gamma_{\min}$, то сопрягающую асимптоту, необходимо сместить влево или уменьшить ее наклон. Если же $\gamma_a < \gamma_{\min}$, то необходимо осуществить смещение сопрягающей асимптоты вправо или увеличить ее наклон. При этом разность $\gamma_a - \gamma_{\min}$ не должна превышать нескольких градусов.

6. Так как высокочастотная асимптота желаемой ЛАЧХ $L_{\text{жс}}(\omega)$ мало влияет на свойства системы, то для упрощения корректирующих устройств ее необходимо совмещать с высокочастотной асимптотой ЛАЧХ исходной САР $L_0(\omega)$. Если совмещение не удастся, то высокочастотная асимптота $L_{\text{жс}}(\omega)$ должна иметь одинаковый наклон с $L_0(\omega)$.

7. Среднечастотная асимптота желаемой ЛАЧХ $L_{\text{жс}}(\omega)$ сопрягается с высокочастотной частью ЛАЧХ исходной САР $L_0(\omega)$ так, чтобы в интервале частот, при котором $0 \geq L_{\text{жс}}(\omega) \geq -L_M$ избыток фазы $\gamma \geq \gamma_{\min}$. Достаточно проверить избыток фазы лишь при той частоте ω_b , при которой $L_{\text{жс}}(\omega) = -L_M$. При этом можно пользоваться приближенной формулой

$$\gamma_b = \frac{3}{4} \pi - \sum_{i=1}^r \frac{\omega_b}{\omega_r},$$

где ω_r – сопрягающие частоты, больше частоты среза ω_c ($\omega_r > \omega_c$);

r – число сопрягающих частот ω_r .

Если при выбранном сопряжении асимптот $\gamma_b < \gamma_{\min}$, то сопрягающую асимптоту нужно сместить вправо или уменьшить ее наклон. Если $\gamma_b > \gamma_{\min}$ сопрягающая асимптота смещается влево или увеличивается ее наклон.

Для вычисления избытков фаз γ_a и γ_b можно использовать и другие методы определения фазы по желаемой ЛАЧХ $L_{\text{жс}}(\omega)$.

5. ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ НА КУРСОВУЮ РАБОТУ

5.1. Электрогидравлический следящий привод с машинным управлением

Электрогидравлический следящий привод с машинным управлением (рис. 3) имеет силовую часть, состоящую из регулируемого насоса 11 и гидродвигателя (гидромотора) 12, и управляющую часть. Последняя является электрогидравлическим следящим приводом с дроссельным управлением и состоит из гидрораспределителя сопл-заслонка, включающего заслонку 4, сопла 5 и постоянные дроссели 6, золотникового гидрораспределителя 7, гидроцилиндра 9, шток 8 которого связан рычажной передачей 10 с регулирующим органом насоса 11. Вал гидромотора 12 через редуктор 13 соединен с управляемым объектом 14. С валом гидромотора соединен также электрический датчик 16 обратной связи, напряжение на выходе которого изменяется пропорционально углу поворота вала гидромотора α . Сигнал от датчика обратной связи поступает на вход усилителя-сумматора 3, к выходу которого подключено корректирующее устройство (КУ) 2 и электромеханический преобразователь 1, управляющий заслонкой 4.

Уравнения движения динамических звеньев привода:

1. Гидропередача (силовая часть)

$$T_m \frac{d^2 \alpha}{dt^2} + \frac{d\alpha}{dt} = \kappa_m \gamma.$$

2. Гидроцилиндр, управляемый золотниковым распределителем (ГИМ):

$$T_y \frac{d^2 y}{dt^2} + \frac{dy}{dt} = \kappa_y x.$$

3. Кинематическая связь штока гидроцилиндра с регулирующим органом насоса:

$$\gamma = \kappa_\gamma y.$$

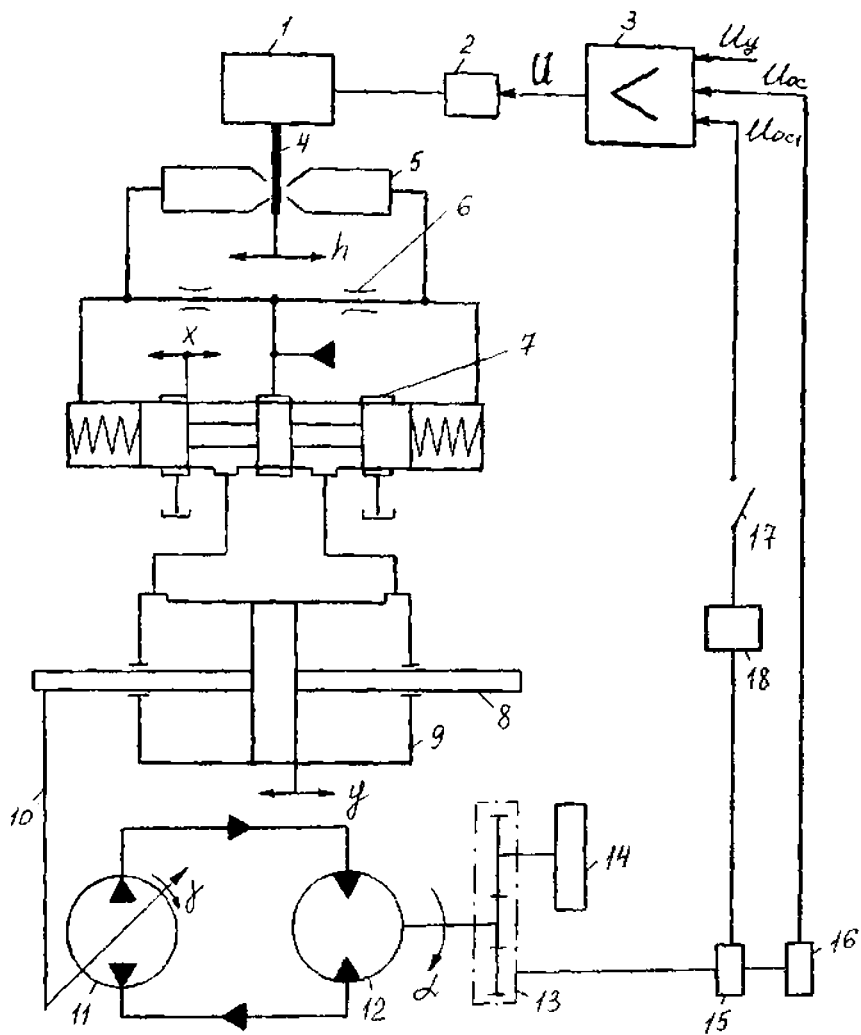


Рис. 3. Принципиальная схема электрогидравлического следящего привода с машинным управлением

4. Электрогидроусилитель (ЭГУ)

$$x = k_{\text{ЭГУ}} U.$$

5. Усилитель постоянного тока:

$$U = k_y U_{\text{в}}.$$

6. Датчик обратной связи:

$$U_{\text{ос}} = k_u \alpha.$$

7. Сравнивающий элемент:

$$U_{\text{в}} = U_y - U_{\text{ос}}.$$

Постоянные времени и коэффициенты передач в уравнениях движения

$$T_M = \frac{Ik_{ym}}{q_M^2 + k_{\text{в}}k_{ym}}; \quad k_M = \frac{q_M k_u}{q_M^2 + k_{\text{в}}k_{ym}};$$

$$T_u = \frac{mk_{QP}}{A_n}; \quad k_u = \frac{k_{Qx}}{A_n},$$

где γ – угол поворота регулирующего органа гидронасоса;

y – перемещение поршня гидроцилиндра;

x – перемещение золотника;

k_y – коэффициент усиления рычажной передачи, связывающей шток гидроцилиндра с регулирующим органом насоса;

$k_{\text{ЭГУ}}$ – коэффициент усиления ЭГУ;

U – напряжение на выходе усилителя постоянного тока;

k_y – коэффициент усиления усилителя;

$U_{\text{в}}$ – ошибка регулирования;

$U_{\text{ос}}$ – напряжение на выходе датчика обратной связи;

k_u – коэффициент передачи датчика обратной связи;

T_m и k_m – соответственно постоянная времени и коэффициент усиления гидропередачи;

T_u и k_u – соответственно постоянная времени и коэффициент передачи ГИМ;

I – приведенный к валу гидромотора момент инерции вращающихся частей;

k_{ym} – коэффициент объемных утечек;

q_m – удельный рабочий объем гидромотора;

k_v – коэффициент вязкого трения;

k_n – коэффициент передачи насоса;

m – приведенная к штоку гидроцилиндра масса подвижных частей;

k_{QP} и k_{Qx} – коэффициенты линеаризации расходно-перепадной характеристики золотникового распределителя;

A_n – площадь поршня гидроцилиндра.

Таблица 1

Исходные данные для расчета

I	q_m	k_{ym}	k_n	k_v	k_{Qx}	k_{QP}	A_n	m	k_y	k_u	$k_{эзy}$	k_γ
Hmc^2	m^3	$\frac{m^5}{Hc}$	$\frac{m^3}{c}$	Hmc	$\frac{m^2}{c}$	$\frac{m^5}{Hc}$	m^2	кг	-	B	$\frac{m}{B}$	m^{-1}

Литература [4, 10].

5.2. Электрогидравлический следящий привод с машинным управлением и обратными связями по положению и скорости

В этом варианте привода (рис. 3) кроме датчика 16 по положению подключается с помощью выключателя 17 электрический датчик 15 угловой скорости вала гидромотора. Сигналы от датчиков 15 и 16 поступают на вход усилителя-сумматора 3.

Уравнения движения динамических звеньев привода те же, как и для варианта 5.1 к ним также необходимо добавить уравнение датчика угловой скорости

$$U_{oc1} = k_m \frac{d\varphi}{dt},$$

где U_{oc1} – напряжение на выходе датчика угловой скорости (тахогенератора), В;

k_m – коэффициент передачи тахогенератора, В·с;

$\frac{d\varphi}{dt}$ – угловая скорость вращения вала тахогенератора, с⁻¹.

Уравнение сравнивающего элемента имеет вид:

$$U_\varepsilon = U_y - U_{oc} - U_{oc1}.$$

Литература [4, 10].

5.3. Электрогидравлический следящий привод с дроссельным управлением

Электрогидравлические следящие приводы с дроссельным управлением служат для обеспечения пропорциональной связи между положением объекта управления и электрическим сигналом управления. Они широко применяются в различных автоматических системах машин, летательных аппаратов и технологического оборудования. Связано это с удобством дистанционного управления посредством электрических сигналов, большим коэффициентом усиления по мощности, высоким быстродействием.

Привод (рис. 4) состоит из электрического усилителя-сумматора 1, электромеханического преобразователя (ЭМП) 3, двухкаскадного дросселирующего распределителя, гидроцилиндра 11, электрического датчика положения (потенциометра) 13. Дросселирующий гидрораспределитель сопло-заслонка является первым каскадом гидравлического усиления и состоит из заслонки 4, двух сопел 5 и двух постоянных дросселей 6. Золотниковый дросселирующий гидрораспределитель

7 с центрирующими пружинами 8 является вторым каскадом гидравлического усиления. ЭМП в совокупности с двухкаскадным дросселирующим распределителем образуют электроусилитель (ЭГУ).

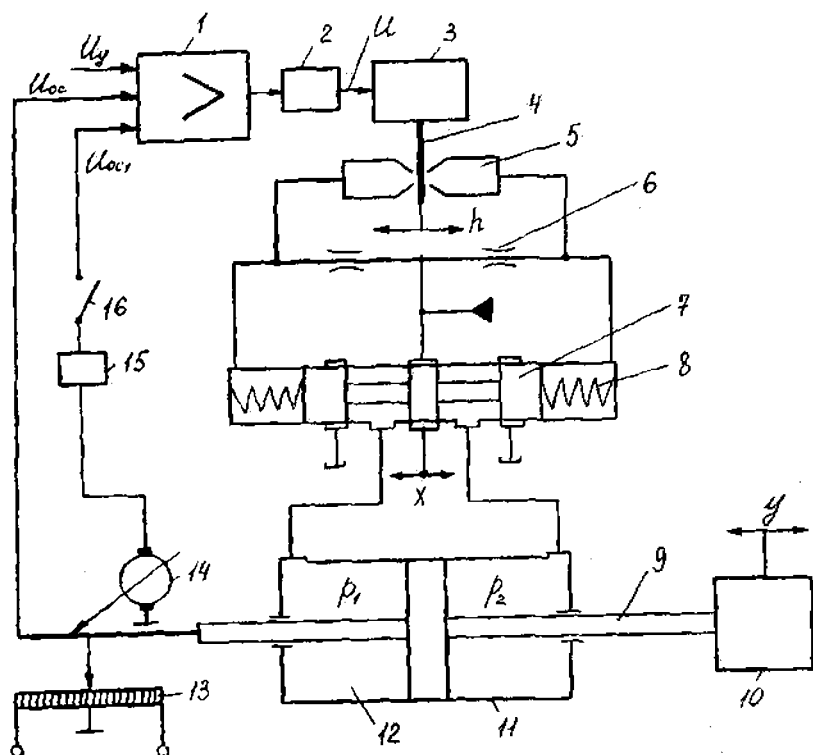


Рис.4. Принципиальная схема электрогидравлического привода с дроссельным управлением

Шток 9 гидроцилиндра жестко связан с объектом управления 10. Поршень 12 под действием разности давлений в полостях гидроцилиндра перемещается до тех пор, пока управляющее напряжение U_y не будет скомпенсировано напряжением U_{oc} , подводимым к усилитель-сумматору 1 с выхода потенциометра 13 обратной связи. Для улучшения динамических свойств привода применяется последовательное корректирующее устройство (КУ) 2. Уравнения движения динамических звеньев привода:

1. Гидроцилиндр, управляемый золотниковым распределителем (ГИМ):

$$T_{\text{ч}}^2 \frac{d^3 y}{dt^3} + 2\zeta_{\text{ч}} T_{\text{ч}} \frac{d^2 y}{dt^2} + \frac{dy}{dt} = \kappa_{\text{ч}} x;$$

2. Электрогидроусилитель:

$$T_{\text{эгу}} \frac{dx}{dt} + x = \kappa_{\text{эгу}} U;$$

3. Усилитель постоянного тока:

$$U = k_y U_e;$$

4. Датчик положения:

$$U_{oc} = k_u y;$$

5. Сравнивающий элемент:

$$U_e = U_y - U_{oc}.$$

Постоянные времени и коэффициенты передач в уравнениях движения:

$$T_{\text{ч}} = \sqrt{\frac{mV}{2EA_n^2}}; \quad \zeta_{\text{ч}} = \frac{m\kappa_{Qp}}{2T_{\text{ч}}A_n^2} + \frac{V\kappa_{\theta}}{4EA_n^2 T_{\text{ч}}}; \quad \kappa_{\text{ч}} = \frac{\kappa_{Qx}}{A_n};$$

$$T_{\text{эгу}} = T_2 + 2\zeta_3 T_3; \quad \kappa_{\text{эгу}} = k_2 k_3;$$

$$T_2 = \frac{A_3^2}{k'_{Qp} c}; \quad k_2 = \frac{k'_{Qh} A_3}{k'_{Qp} c},$$

где T_u и k_u – соответственно постоянная времени и коэффициент передачи ГИМ;

y – перемещение объекта управления;

ζ_u – коэффициент относительного демпфирования ГИМ;

x – перемещение золотника;

$T_{эгу}$ и $k_{эгу}$ – соответственно постоянная времени и коэффициент передачи электрогидроусилителя (ЭГУ);

U – напряжение на входе в ЭМП;

k_y – коэффициент усиления усилителя;

U_ε – ошибка регулирования;

U_{oc} – напряжение на выходе датчика положения (потенциометра);

k_u – коэффициент передачи потенциометра;

m – приведенная к штоку гидроцилиндра масса объекта управления;

V – сжимаемый объем рабочей жидкости;

E – модуль объемной упругости жидкости, $E = 1,2 \cdot 10^9 \frac{H}{м^2}$;

A_n – площадь поршня 12;

k_{Qx} и k_{Qp} – коэффициенты линеаризации расходно-перепадной характеристики золотникового распределителя;

k_g – коэффициент вязкого трения;

T_2 и k_2 – соответственно постоянная времени и коэффициент передачи гидрораспределителя сопло-заслонка;

T_3, ζ_3 и k_3 – соответственно постоянная времени и коэффициент относительного демпфирования и коэффициент передачи ЭМП;

A_3 – площадь торца золотника;

c – жесткость центрирующих золотник пружин;

k'_{Qh} и k'_{Qp} – коэффициенты линеаризации расходно-перепадной характеристики распределителя сопло-заслонка.

Исходные данные для расчета САР

k_y	k_u	T_0	ζ_0	k_3	A_3	k'_{QH}	k'_{QP}	c	k_{Qx}	k_{QP}	A_n	V	m	k_0
-	$\frac{B}{m}$	c	-	$\frac{m}{B}$	m^2	$\frac{m^2}{c}$	$\frac{m^5}{Hc}$	$\frac{H}{m}$	$\frac{m^2}{c}$	$\frac{m^5}{Hc}$	m^2	m^3	$кг$	$\frac{Hc}{m}$

Литература [4, 6, 7].

5.4. Электрогидравлический следящий привод с дроссельным управлением и обратными связями по положению и скорости

В этом варианте привода (рис 4) кроме датчика положения 13 в цепи обратной связи устанавливается датчик скорости 14, который подключается выключателем 16. Сигналы от датчиков 13 и 14 поступают на вход усилителя-сумматора 3. Для повышения динамических свойств может применяться корректирующее устройство 15 в обратной цепи по скорости.

Уравнения движения динамических звеньев привода те же, как и для варианта 5.3. К ним также необходимо добавить уравнение датчика скорости

$$U_{oc1} = k_c \frac{dy}{dt},$$

где U_{oc1} – напряжение на выходе датчика скорости, В;

k_c – коэффициент передачи датчика скорости, $\frac{Bc}{m}$;

$\frac{dy}{dt}$ – скорость перемещения объекта управления.

Уравнение сравнивающего элемента имеет вид

$$U_\epsilon = U_y - U_{oc} - U_{oc1}.$$

Литература [4, 6, 7].

5.5. Электрогидравлический следящий привод подачи фрезерного станка

Электрогидравлический следящий привод (рис. 5) с гидромотором 8 подачи фрезерного станка с передачей шариковый винт-гайка применяется при больших длинах хода стола 10, когда изготовление длинной детали представляет значительные трудности. Шариковый винт 13 приводится в движение гидромотором 8, а управление последним осуществляется электрогидравлическим усилителем (ЭГУ), состоящим из электромеханического преобразователя (ЭМП) 1 и двухкаскадного дросселирующего гидрораспределителя. Дросселирующий гидрораспределитель сопло-заслонка является первым каскадом гидравлического усиления и состоит из заслонки 4, двух сопел 5 и двух постоянных дросселей 6. Золотниковый дросселирующий гидрораспределитель 7 с центрирующими пружинами является вторым каскадом гидравлического усиления.

Отсчет перемещения стола 10 относительно станины 9 осуществляется линейным индуктосином 11, который является индуктивным датчиком перемещения. Изменение осуществляется за счет сдвига вектора магнитной индукции при перемещении движка индуктосина относительно основной шкалы, на которой нанесена методом печатного монтажа прецизионная зигзагообразная обмотка.

Для повышения динамических свойств привода в него включается последовательное корректирующее устройство 2. Усилитель-сумматор 3 сравнивает управляющее напряжение U_y и сигнал обратной связи U_{oc} .

Уравнения движения динамических звеньев привода:

1. Электрогидроусилитель:

$$T_{\text{эгу}} \frac{dx}{dt} + x = k_{\text{эгу}} U;$$

2. Гидромотор, управляемый золотниковым распределителем:

$$T_m^2 \frac{d^3 \varphi}{dt^3} + 2\zeta_m T_m \frac{d^2 \varphi}{dt^2} + \frac{d\varphi}{dt} = k_m x;$$

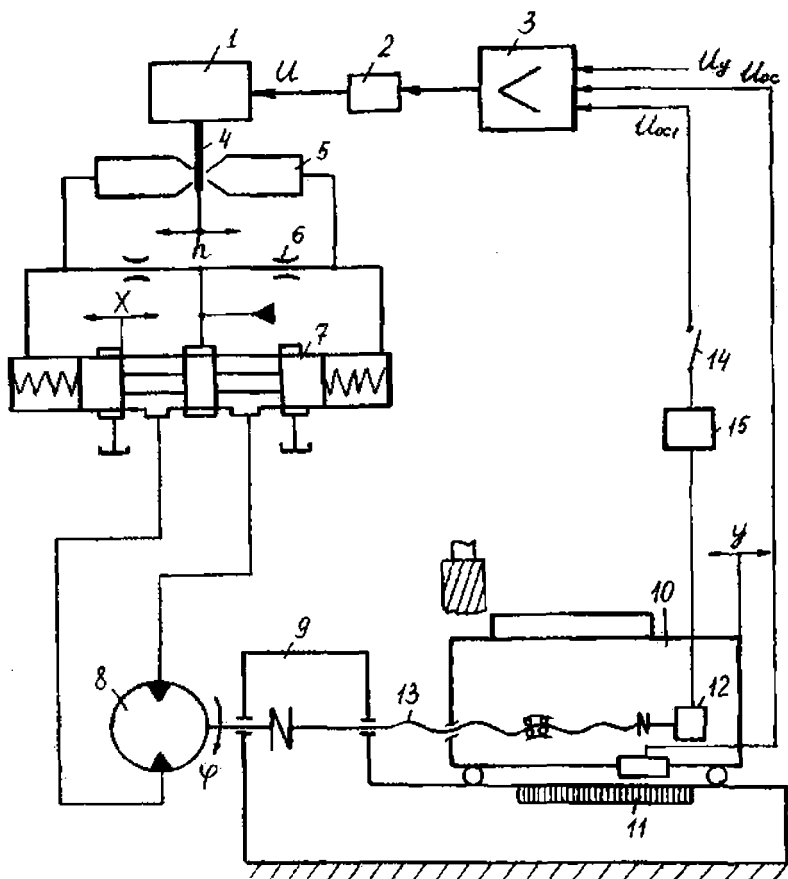


Рис. 5. Принципиальная схема электрогидравлического привода подачи фрезерного станка

3. Усилитель постоянного тока:

$$U = k_y U_e;$$

4. Передача шариковый винт-гайка

$$y = k_e \varphi;$$

5. Датчик перемещения:

$$U_{oc} = k_n y;$$

6. Сравнивающий элемент:

$$U_\varepsilon = U_y - U_{oc}.$$

Постоянные времени и коэффициенты передач в уравнения движения:

$$T_{\text{эгу}} = T_2 + 2\zeta_3 T_3; \quad k_{\text{эгу}} = k_2 k_3;$$

$$T_2 = \frac{A_2^2}{k'_{QP} c}; \quad k_2 = \frac{k'_{QH} A_2}{k'_{QP} c}; \quad T_m = \sqrt{\frac{IV}{2Eq_m^2}};$$

$$\zeta_m = \frac{Vk_{mp}}{4Eq_m^2 T_m} + \frac{Ik_{QP}}{2T_m q_m^2}; \quad k_m = \frac{k_{Qx}}{q_m}; \quad I = I_0 + m_1 k_\varepsilon^2,$$

где $T_{\text{эгу}}$ и $k_{\text{эгу}}$ – соответственно постоянная времени и коэффициент передачи электрогидроусилителя;

x – перемещение золотника;

U – напряжение на входе в ЭМП;

T_m , ζ_m и k_m – соответственно постоянная времени и коэффициент относительного демпфирования и коэффициент передачи ЭМП;

φ – угол поворота вала гидромотора;

k_y – коэффициент усиления усилителя;

U_ε – ошибка регулирования;

y – перемещение стола;

k_ε – коэффициент усиления передачи шариковый винт-гайка (шаг винта);

U_{oc} – напряжение на выходе датчика перемещения;

k_n – коэффициент передачи индуктосина;
 A_3 – площадь торца золотника;
 c – жесткость центрирующих золотник пружин;
 k'_{Qh} и k'_{Qp} – коэффициенты линеаризации расходно-перепадной характеристики распределителя сопло-заслонка;
 I – приведенный к валу гидромотора момент инерции вращающихся и поступательно движущихся частей привода;
 V – сжимаемый объем жидкости;
 E – модуль объемной упругости жидкости, $E = 1,5 \cdot 10^9 \frac{H}{m^2}$;
 q_m – удельный рабочий объем гидромотора;
 k_{mp} – коэффициент вязкого трения;
 k_{Qx} и k_{Qp} – коэффициенты линеаризации расходно-перепадной характеристики золотникового распределителя;
 J_0 – момент инерции гидромотора и винта;
 m_1 – масса поступательно движущихся частей привода;

Таблица 3

Исходные данные для расчета САР

k_y	k_n	k_e	k_3	T_3	ζ_3	A_3	k'_{Qh}	k'_{Qp}	c	k_{Qx}	k_{Qp}	q_m	m_1	k_{mp}	V	I_0
-	$\frac{B}{m}$	m	$\frac{m}{B}$	c	-	m^2	$\frac{m^2}{c}$	$\frac{m^5}{Hc}$	$\frac{H}{m}$	$\frac{m^2}{c}$	$\frac{m^5}{Hc}$	m^3	кг	Hmc^2	m^3	Hmc

Литература [4, 7].

5.6. Электрогидравлический следящий привод подачи фрезерного станка с обратными связями по положению и скорости

В этом варианте привода (рис. 5) кроме датчика 11 по положению с помощью переключателя 14 подключается электрический датчик

12 угловой скорости (тахогенератор) вала гидромотора. Сигнал от этого датчика поступает на вход усилителя-сумматора 3. При необходимости может включаться корректирующее устройство 15.

Уравнения движения динамических звеньев привода те же, что и в варианте 5.5. К ним также нужно добавить уравнение датчика угловой скорости

$$U_{oc1} = k_m \frac{d\varphi}{dt},$$

где U_{oc1} – напряжение на выходе датчика угловой скорости, В;

k_m – коэффициент передачи датчика скорости, $\frac{Вс}{м}$;

$\frac{d\varphi}{dt}$ – угловая скорость вращения вала гидромотора, c^{-1} .

Уравнение сравнивающего элемента имеет вид

$$U_\varepsilon = U_y - U_{oc} - U_{oc1}.$$

Литература [4, 10].

5.7. Электрогидравлическая следящая система гидропривода с машинным управлением (вариант П)

В системе (рис. 6) управление подачей насоса 5 осуществляется асинхронным двухфазным электродвигателем 3 переменного тока малой мощности, представляющим управляющее устройство.

Чувствительный элемент (ЧЭ) в системе служит для измерения угла рассогласования (ошибка регулирования) $\varepsilon = \alpha - \beta$ между угловыми положениями входного 1 и выходного 7 валов. В качестве чувствительного элемента используются индукционные бесконтактные сельсинные датчики, выполненные в виде миниатюрных электрических машин переменного тока. Сельсин имеет две обмотки: однофазную обмотку возбуждения и трехфазную обмотку синхронизации, которая состоит из соединенных в звезду трех однофазных обмоток, смещенных на 120° друг относительно друга. Чувствительный

элемент состоит из двух сельсинов: сельсина-датчика (СД) 11 и сельсина-приемника (СП) 10, включенных по трансформаторной схеме. Однофазная обмотка возбуждения СД подключена к источнику питания U_0 переменного тока, выходная (однофазная) обмотка СП соединяется с входом электронного усилителя 2; концы трехфазных обмоток СД и СП соединены друг с другом. Ротор СД связан с входным валом 1, а ротор СП – с выходным валом 7 посредством механической отрицательной обратной связи 9.

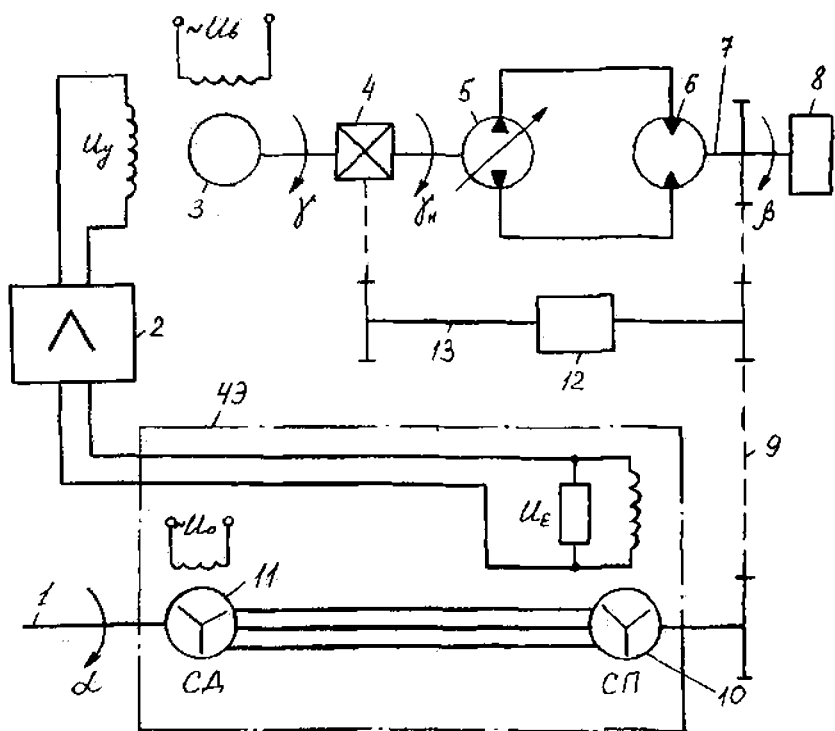


Рис. 6. Принципиальная схема электрогидравлической следящей системы гидропривода с машинным управлением (вариант I)

Сигнал U_e с выхода чувствительного элемента поступает на вход электронного усилителя 2. Обмотка управления асинхронного двухфазного электродвигателя 3 питается напряжением U_y от элек-

тронного усилителя 2. Выходной вал электродвигателя 3 через механический дифференциал 4 управляет органом, регулирующим подачу насоса 5, а, следовательно, и скоростью гидромотора 6 и нагрузки 8.

Благодаря внутренней механической отрицательной обратной связи 13 с редуктором 12 выходной вал 7 гидромотора 6 следит за изменением угла γ поворота выходного вала электродвигателя 3.

Для повышения динамических качеств системы вводятся либо последовательное корректирующее устройство, либо дополнительная корректирующая обратная связь. Уравнения движения динамических звеньев системы:

1. Асинхронный двухфазный электродвигатель

$$T_{\delta} \frac{d^2 \gamma}{dt^2} + \frac{d\gamma}{dt} + \gamma = k_{\delta} U_y;$$

2. Гидропривод машинного управления:

$$T_{zn} \frac{d\beta}{dt} = \gamma_n;$$

3. Чувствительный элемент:

$$U_{\varepsilon} = k_{\varepsilon} \varepsilon;$$

4. Электронный усилитель:

$$U_y = k_{yc} U_{\varepsilon};$$

5. Внутренняя механическая отрицательная обратная связь:

$$\gamma_n = \gamma - k_p \beta;$$

6. Главная обратная связь:

$$\varepsilon = \alpha - \beta.$$

Постоянные времени и коэффициенты передач:

$$T_{\partial} = \frac{I c_{\omega}}{c_M}; \quad k_{\partial} = c_{\omega}; \quad T_{2H} = \frac{q_M}{k_H},$$

где T_{∂} – электромеханическая постоянная времени асинхронного двухфазного электродвигателя;

γ – угол поворота выходного вала электродвигателя;

k_{∂} – коэффициент передачи электродвигателя;

T_{2H} – постоянная времени гидропривода машинного управления;

γ_H – угол наклона регулирующего органа насоса;

ε – угол рассогласования (ошибка регулирования);

$k_{чз}$ – коэффициент передачи (преобразования) ЧЭ;

$k_{ус}$ – коэффициент усиления электронного усилителя;

k_p – коэффициент передачи редуктора 12;

I – приведенный к валу электродвигателя момент инерции

c_{ω} и c_M – коэффициенты усиления электродвигателя соответственно по скорости и моменту;

q_M – удельный рабочий объем гидромотора;

k_H – коэффициент усиления насоса по расходу.

Таблица 4

Исходные данные для расчета САР

$k_{чз}$	$k_{ус}$	k_p	I	c_{ω}	c_M	q_M	k_H
B	-	-	$Hm c^2$	$\frac{1}{B \cdot c}$	$\frac{Hm}{B}$	m^3	$\frac{m^3}{c}$

Литература [10, 11].

5.8. Электрогидравлическая следящая система гидропривода с машинным управлением (вариант II)

В системе (рис. 7) подача насоса 5 регулируется электродвигателем 4 постоянного тока, который питается электромашинным усилителем (ЭМУ) 3. Чувствительный элемент (ЧЭ) в системе служит для измерения угла рассогласования (ошибка слежения) $\epsilon = \alpha - \beta$ между угловыми положениями входного 1 и выходного 7 валов. В качестве чувствительного элемента используются индукционные бесконтактные сельсинные датчики, выполненные в виде миниатюрных электромашин переменного тока. Сельсин имеет две обмотки: однофазную обмотку возбуждения и трехфазную обмотку синхронизации, которая состоит из соединенных в звезду трех однофазных обмоток, смещенных на 120° друг относительно друга.

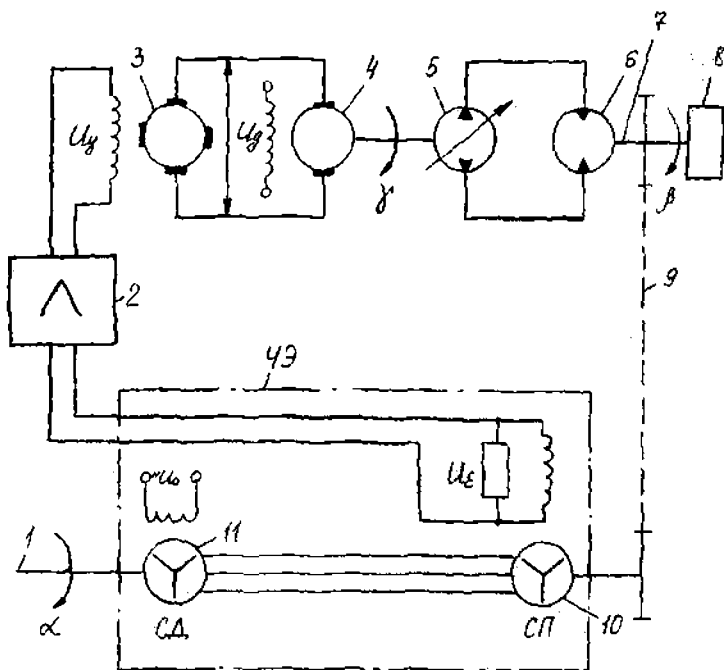


Рис. 7. Принципиальная схема электрогидравлической следящей системы гидропривода с машинным управлением (вариант II)

Чувствительный элемент состоит из двух сельсинов: сельсин-датчика (СД) 11 и сельсина-приемника (СП) 10, включенных по трансформаторной схеме. Однофазная обмотка возбуждения СД подключена к источнику питания U_0 переменного тока, выходная (однофазная) обмотка СП соединяется с входом электронного усилителя 2; концы трехфазных обмоток СД и СП соединены друг с другом. Ротор СД связан с входным валом 1, а ротор СП – с выходным валом 7 посредством механической отрицательной обратной связи 9.

Сигнал U_e с выхода чувствительного элемента поступает на вход электронного усилителя 2, к выходу которого U_y подключена обмотка ЭМУ 3 с поперечным возбуждением. Выходное напряжение U_d ЭМУ подается к электродвигателю 4 постоянного тока. Электродвигатель изменяет угол наклона γ регулирующего органа насоса 5 и тем самым изменяет подачу насоса 5 и, следовательно, скорость гидромотора 6, вращающего выходной вал 7 и нагрузку 8.

Для повышения динамических качеств системы вводятся корректирующие устройства (последовательное или дополнительная обратная связь).

Уравнения движения динамических звеньев системы:

1. Электромашинный усилитель:

$$T_3 \frac{d^2 U_d}{dt^2} + U_d = k_3 U_y;$$

2. Электродвигатель постоянного тока:

$$T_d \frac{d^2 \gamma}{dt^2} + \frac{d\gamma}{dt} = k_d U_y;$$

3. Гидропривод машинного управления:

$$T_{zn} \frac{d\beta}{dt} = \gamma;$$

4. Чувствительный элемент:

$$U_{\varepsilon} = k_{\text{чз}} \varepsilon ;$$

5. Электронный усилитель

$$U_y = k_{\text{ус}} U_{\varepsilon} ;$$

6. Главная обратная связь:

$$\varepsilon = \alpha - \beta ,$$

где T_{ε} – электромеханическая постоянная времени ЭМУ;

k_{ε} – коэффициент усиления ЭМУ;

T_{∂} – электромеханическая постоянная времени электродвигателя;

k_{∂} – коэффициент передачи электродвигателя;

$T_{\text{гп}}$ – постоянная времени гидропривода машинного управления;

$k_{\text{чз}}$ – коэффициент передачи (преобразования) ЧЗ;

$k_{\text{ус}}$ – коэффициент усиления электронного усилителя.

Таблица 5

Исходные данные для расчета САР

T_{ε}	k_{ε}	T_{∂}	k_{∂}	$T_{\text{гп}}$	$k_{\text{чз}}$	$k_{\text{ус}}$
c	$\frac{1}{B}$	c	$\frac{1}{B}$	c	B	-

Литература [10, 11].

Принципиальная схема одного из вариантов гидравлического следящего привода рулевого управления приведена на рис. 8. Распределитель встроен в продольную тягу 4 рулевого привода, при этом золотник 8 распределителя через тягу 4 связан с сошкой 3 рулевого механизма 2, ведущий вал которого связан с рулевым колесом 1. Корпус распределителя 9 через систему рычагов и тяг рулевой трапеции связан с управляемыми колесами 12 мобильной машины. Шток поршня 11 силового цилиндра 10 связан с рулевым приводом и управляемыми колесами 12. Для создания гидравлической обратной связи по внешней нагрузке на управляемых колесах в распределителе имеются реактивные камеры 5, соединение каналами в золотнике с полостями силового цилиндра 10. С помощью реактивных пружин 6 золотник стремится занять нейтральное положение.

Уравнения движения элементов гидропривода:

1. Уравнение движения управляемых колес и гидроцилиндра, управляемого распределителем:

$$T_y^2 \frac{d^3\theta}{dt^3} + 2\zeta_y T_y \frac{d^2\theta}{dt^2} + \frac{d\theta}{dt} = k_y x;$$

2. Сравнивающий элемент:

$$x = k_\theta \alpha - k_{oc} \theta;$$

Постоянные времени и коэффициенты передач:

$$T_y = \frac{1}{\ell_\kappa} \sqrt{\frac{I_\kappa}{C_2}}; \quad C_2 = \frac{2EA_n^2}{V}; \quad k_y = \frac{k_{Qx}}{A_n \ell_\kappa};$$

$$\zeta_y = \frac{1}{2\ell_\kappa} \left(\frac{I_\kappa k_{Qp}}{A_n^2} + \frac{k_{mp}}{C_2} \right) \sqrt{\frac{C_2}{I_\kappa}}; \quad k_\theta = \frac{\ell_c}{i_{pm}},$$

где θ – угол поворота управляемых колес, рад;

x – перемещение золотника;

α – угол поворота рулевого колеса, рад;

- k_{oc} – коэффициент передачи обратной связи;
 ℓ_k – радиус поворотного рычага;
 I_k – момент инерции управляемых колес и связанных с ними деталями, приведенный к оси шкворня;
 C_z – жесткость гидравлической пружины;
 E – модуль объемной упругости рабочей жидкости,
 $E = 1,4 \cdot 10^9 \frac{H}{м^2}$;
 A_n – площадь поршня гидроцилиндра;
 V – сжимаемый объем рабочей жидкости;
 k_{Qx} и k_{Qp} – коэффициенты линеаризации расходно-перепадной характеристики золотникового распределителя;
 $k_{тр}$ – коэффициент демпфирования в рулевом приводе и шпцах;
 ℓ_c – длина сошки;
 $i_{рм}$ – передаточное отношение рулевого механизма.

Таблица 6

Исходные данные для расчета

I_k	$k_{тр}$	A_n	k_{Qx}	k_{Qp}	ℓ_k	ℓ_c	$i_{рм}$	k_{oc}
$Hмс^2$	$Hмс$	$м^2$	$\frac{м^2}{с}$	$\frac{м^5}{Hс}$	$м$	$м$	-	$м$

Литература [3, 12, 13].

5.10. Электрогидравлический следящий привод с машинным управлением фрезерного станка

Электрогидравлический следящий привод с машинным управлением применяется для тяжелых фрезерных станков, предназначенных для преодоления значительных нагрузок.

Стол станка 11 (рис. 9) перемещается гидромотором 18 с помощью шарикового винта 12 относительно станины 14. Управление скоростью вращения вала гидромотора 18 осуществляется гидронасосом переменной подачи 19. Регулирование подачи гидронасоса производится поворотом на угол γ_n его регулирующего органа. Поворот регулирующего органа осуществляется асинхронным двухфазным электродвигателем (АДД) 3 через дифференциал 2, соединенный с выходной шестерней 1, и далее с реечной передачей, включающей шестерню 21 и рейку 20.

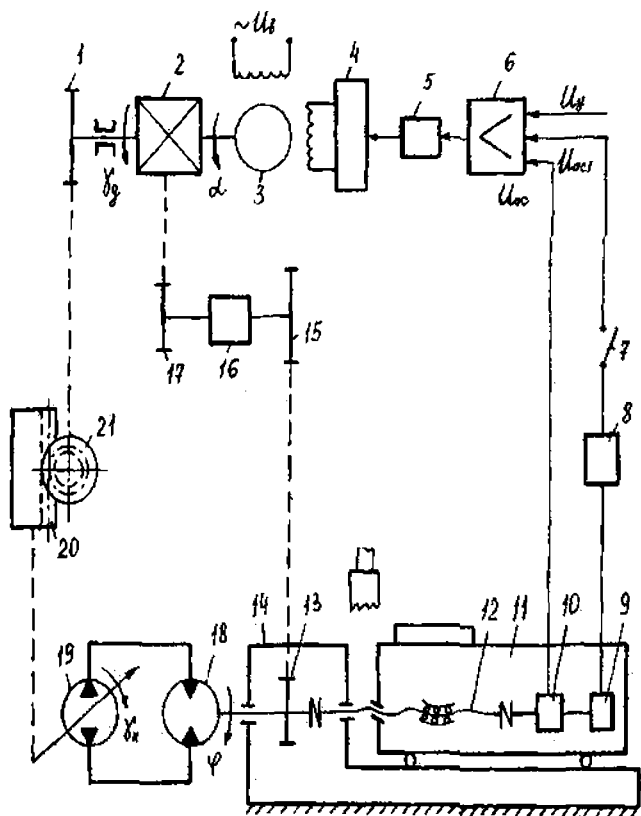


Рис. 9. Принципиальная схема электрогидравлического привода с машинным управлением фрезерного станка

Передаточное отношение между углами поворота выходной шестерни 1 дифференциала γ_δ и регулирующего органа насоса γ_n $k_n = \frac{\gamma_n}{\gamma_\delta}$. На выходную шестерню 1 дифференциала 2 вращения также передается и от вала гидромотора 18 через шестерни 13, 15, 17 и редуктор 16.

Напряжение управления U_y подается на вход электронного усилителя-сумматора 6 с коэффициентом усиления k_y . На усилитель также подается сигнал обратной связи U_{oc} от вращающегося трансформатора 10. Усилитель-сумматор сравнивает эти сигналы и вырабатывает сигнал ошибки U_ε , который поступает на усилитель постоянного тока 4 и далее на АДЦ 3. Для повышения динамических свойств привода в него включается последовательное корректирующее устройство 5.

Уравнения движения динамических звеньев привода

1. Асинхронный двухфазный электродвигатель

$$T_\delta \frac{d^2\alpha}{dt^2} + \frac{d\alpha}{dt} = k_\delta U;$$

2. Гидропривод машинного управления

$$T_m \frac{d^2\varphi}{dt^2} + \frac{d\varphi}{dt} = k_m \gamma_n;$$

3. Усилитель постоянного тока

$$U = k_y U_\varepsilon;$$

4. Вращающийся трансформатор

$$U_{oc} = k_\varepsilon \varphi;$$

5. Сравнивающий элемент

$$U_\varepsilon = U_y - U_{oc};$$

6. Внутренняя механическая отрицательная обратная связь

$$\gamma_{\delta} = \alpha - k_p \varphi;$$

7. Кинематическая связь выходной шестерни дифференциала с регулирующим органом насоса

$$\gamma_n = k_n \gamma_{\delta};$$

Постоянные времени и коэффициенты передач в уравнениях движения привода

$$T_{\delta} = \frac{I_{\delta} c_{\omega}}{c_m}; \quad k_{\delta} = c_{\omega}; \quad T_m = \frac{I k_{ym}}{q_m^2};$$

$$k_m = \frac{k_n}{q_m}; \quad I = I_0 + m_1 t^2,$$

где T_{δ} и k_{δ} – соответственно постоянная времени и коэффициент передачи АДД;

T_m и k_m – соответственно постоянная времени и коэффициент передачи гидропривода машинного управления;

k_e – коэффициент передачи вращающегося трансформатора;

k_p – коэффициент передачи внутренней механической обратной связи;

k_n – коэффициент передачи связи дифференциала с регулирующим органом насоса;

I_{δ} – приведенный к валу АДД момент инерции всех вращающихся частей;

c_{ω} и c_m – коэффициенты усиления АДД по скорости и моменту;

I – приведенный к валу гидромотора момент инерции вращающихся и поступательно движущихся частей привода;

k_{ym} – коэффициент утечек;

- q_m – удельный рабочий объем гидромотора;
 I_0 – момент инерции ротора гидромотора и винта;
 m_1 – масса поступательно движущихся частей привода;
 t – шаг винта.

Таблица 7

Исходные данные для расчета привода

k_y	k_v	k_p	k_n	c_o	c_m	I_0	k_{yt}	q_m	k_n	m_1	t
-	B	-	-	$\frac{1}{B \cdot c}$	$\frac{Hm}{B}$	Hmc^2	$\frac{M^5}{Hc}$	M^3	$\frac{M^3}{c}$	кг	м

Литература [4, 7].

5.11. Электрогидравлический следящий привод с машинным управлением фрезерного станка и обратными связями по положению и скорости

В этом варианте привода (рис. 9) кроме вращающегося трансформатора 10 с помощью переключателя 7 подключается электрический датчик 9 угловой скорости (тахогенератор) вала гидромотора. Сигнал от этого датчика поступает на вход усилителя-сумматора 6. При необходимости может подключаться корректирующее устройство 8.

Уравнения движения динамических звеньев привода те же, что и в варианте 5.10. К ним также нужно добавить уравнение датчика угловой скорости

$$U_{oc1} = k_m \frac{d\varphi}{dt},$$

где U_{oc1} – напряжение на выходе датчика угловой скорости, В;

k_m – коэффициент передачи тахогенератора, Bc;

$\frac{d\varphi}{dt}$ – угловая скорость вращения вала гидромотора, c^{-1} .

Уравнение сравнивающего элемента имеет вид

$$U_{\varepsilon} = U_y - U_{oc} - U_{oc1}.$$

Литература [4, 10].

5.12. Система автоматического регулирования температуры жидкости в системе охлаждения двигателя

На мобильных машинах в системах охлаждения и смазки двигателей внутреннего сгорания применяются различные по конструкции системы автоматического регулирования (САР) температуры воды и масла. САР температуры также широко применяются в различных технологических процессах и технологическом оборудовании.

Уравнения движения, функциональные и структурные схемы таких систем практически идентичны.

На рис. 10 приведена принципиальная схема САР температуры жидкости в системе охлаждения двигателя. Она включает: объект регулирования – систему охлаждения 1 в виде параллельных гидрولينий; насос 12 с предохранительным клапаном 13; терморегулятор (охладитель) 11 с обратным клапаном 10; электрогидравлический усилитель (ЭГУ), представляющий собой устройство, в котором объединены электромеханический преобразователь (ЭМП) 3 и гидроусилитель 2; датчик температуры 8, корректирующее устройство 9; дифференцирующий датчик температуры 7 и корректирующее устройство по скорости изменения температуры 6, которые подсоединяются к усилителю постоянного тока (УПТ) 4 включателем 5. Система также включает устройство нагрева 14 рабочей жидкости, которое в условиях низких температур подогревает рабочую жидкость в баке 15 до заданной температуры.

При запуске привода рабочая жидкость от насоса 12 поступает в систему охлаждения 1 и далее через гидроусилитель 2 на слив в бак 15. В процессе работы двигателя температура рабочей жидкости повышается и может превысить допустимое значение.

Электрический датчик температуры 7 измеряет регулируемый параметр (температуру) θ жидкости и в виде изменения напряжения U передает сигнал на вход усилителя постоянного тока 4. Ток I на выходе усилителя поступает на ЭМП 3, осуществляя пропорциональное

перемещение x золотника гидроусилителя 2. При этом жидкость направляется через гидроусилитель и терморегулятор 11 в бак, где происходит снижение ее температуры. Соответственно уменьшается напряжение на выходе датчика температуры 8 и ток на выходе УПТ 4. Регулируемая пружина гидроусилителя 2 перемещает золотник в обратном направлении, и рабочая жидкость поступает через обратный клапан 10 на слив, минуя терморегулятор 11. Температура рабочей жидкости опять повышается и цикл повторяется. Задающее устройство ЭГУ (регулируемая пружина) позволяет установить начальное значение и пределы регулирования температуры в системе. Для улучшения качества процесса регулирования вводится корректирующее устройство 9, а в ряде систем и корректирующее устройство скорости изменения температуры 6.

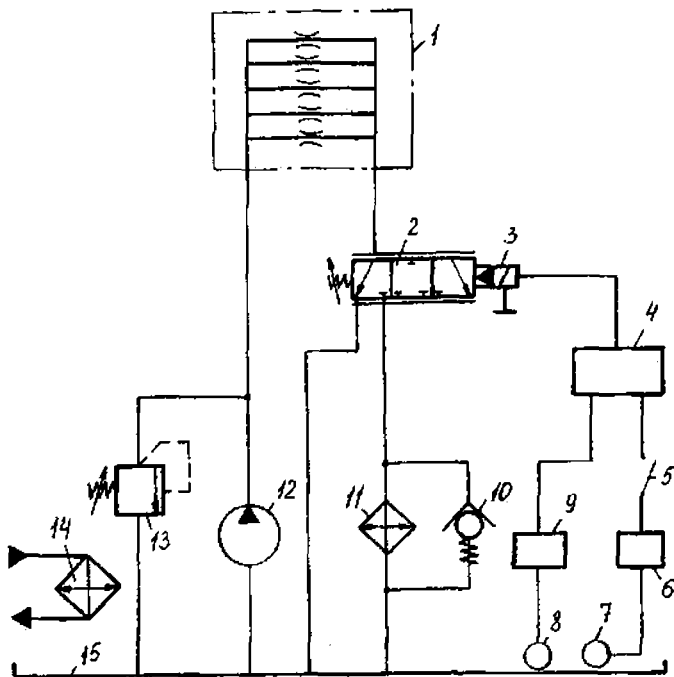


Рис. 10. Система автоматического регулирования жидкости в системе охлаждения двигателя

Уравнения движения звеньев САР температуры жидкости:

1. Объект регулирования

$$T_0 \frac{d\theta}{dt} + \theta = k_0 x;$$

2. Электрогидроусилитель:

$$T_{эгу} \frac{dx}{dt} + x = k_{эгу} I;$$

3. Усилитель постоянного тока

$$I = k_y U;$$

4. Датчик температуры

$$T_0 \frac{dU}{dt} + U = k_0 \theta.$$

Постоянные времени и коэффициенты передач в уравнениях движения системы:

$$T_{эгу} = T_2 + 2\zeta_3 T_3; \quad k_{эгу} = k_2 k_3;$$

$$T_2 = \frac{A_1^2}{c_n k_{QP}}; \quad k_2 = \frac{A_1 k_{Qx}}{c_n k_{QP}},$$

где T_0 и k_0 – соответственно постоянная времени и коэффициент передачи объекта регулирования;

$T_{эгу}$ и $k_{эгу}$ – соответственно постоянная времени и коэффициент передачи электрогидроусилителя;

k_y – коэффициент передачи УПТ;

T_0 и k_0 – соответственно постоянная времени и коэффициент передачи датчика температуры;

T_2 и k_2 – соответственно постоянная времени и коэффициент передачи гидроусилителя;

T_3 и k_3 – соответственно постоянная времени и коэффициент передачи ЭМП;

ζ_3 – коэффициент относительного демпфирования ЭМП;

A_1 – площадь торца золотника гидроусилителя;

c_n – жесткость пружины гидроусилителя;

k_{Qp} и k_{Qx} – коэффициенты линеаризации расходно-перепадной характеристики распределителя.

Таблица 8

Исходные данные для расчета САР

T_0	k_0	k_y	T_0	k_0	T_3	k_3	ζ_3	A_1	c_n	k_{Qx}	k_{Qp}
c	$\frac{\text{град}}{m}$	$\frac{mA}{B}$	c	$\frac{B}{\text{град}}$	c	$\frac{mA}{B}$	-	m^2	$\frac{H}{m}$	$\frac{m^2}{c}$	$\frac{m^5}{Hc}$

Литература [3].

Л и т е р а т у р а

1. Бесекерский, В.А., Попов, Е.В. Теория систем автоматического регулирования. – М.: Машиностроение, 1972. – 768 с.
2. Теория автоматического управления. В 2 ч. Ч. 1. Теория линейных систем автоматического управления/ Н.А. Бабаков [и др.]; под ред. А.А. Воронова. – 2-е издание перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1986. – 367 с.
3. Гидропневмоавтоматика и гидропривод мобильных машин: Теория систем автоматического управления: учебное пособие / В.П. Автушко [и др.]; под ред. Н.В. Богдана, Н.Ф. Метлюка. – М.: ИП ООО "ПНИОН", 2001. – 396 с.
4. Попов, Д.Н. Динамика и регулирование гидро- и пневмосистем: учебник для вузов по специальностям "Гидропневмоавтоматика и гидропривод" и "Гидравлические машины и средства автоматизики". – 2-е издание, перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1987. – 464 с.
5. Солодовников, В.В., Плотников, В.А., Яковлев, А.В. Основы теории и элементы систем автоматического регулирования. – М.: Машиностроение, 1985. – 536 с.
6. Чупраков, Ю.И. Гидропривод и средства гидропневмоавтоматики. – М.: Машиностроение, 1979. – 232 с.
7. Лещенко, В.А. Гидравлические следящие приводы станков с программным управлением. – М.: Машиностроение, 1975. – 288 с.
8. Основы теории автоматического регулирования: учебник для машиностроительных специальностей вузов/ В.И. Крутов [и др.]; под ред. В.И. Крутова. – 2-е издание, перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1984. – 368 с.
9. Макаров, И.М., Менский, Б.М. Линейные автоматические системы. – М.: Машиностроение, 1977. – 464 с.
10. Электрогидравлические следящие системы / Под ред. В.А. Хохлова. – М.: Машиностроение, 1971. – 428 с.
11. Следящие приводы. В 2 кн. Кн. 2. / Под ред. Б.К. Чемоданова. – М.: Энергия, 1976. – 384 с.
12. Чайковский, И.П., Саломатин, П.А. Рулевые управления автомобилей. – М.: Машиностроение, 1987. – 176 с.

13. Метлюк, Н.Ф., Автушко, В.П. Динамика пневматических и гидравлических приводов автомобилей. – М.: Машиностроение, 1980. – 231 с.

14. Топчиев, Ю.И. Атлас для проектирования систем автоматического регулирования: учебное пособие для вузов. – М.: Машиностроение, 1989. – 752 с.

15. Навроцкий, К.Л. Теория и проектирование гидро- и пневмоприводов: учебник для студентов вузов. – М.: Машиностроение, 1991. – 384 с.

Приложение А

Министерство образования Республики Беларусь
БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Автотракторный факультет

Кафедра "Гидропневмоавтоматика и гидропневмопривод"

КУРСОВАЯ РАБОТА

по дисциплине "Теория автоматического управления"

Тема: (наименование темы)

Исполнитель: студент группы

Инициалы и фамилия

подпись, дата

Руководитель курсовой работы

инициалы и фамилия, уч. звание

подпись, дата

Минск 200 __

Содержание

Введение	3
1. Задание на курсовую работу	4
2. Порядок оформления и защиты курсовой работы	5
3. Методические указания к выполнению курсовой работы	6
4. Построение желаемой ЛАЧХ системы	11
5. Варианты заданий на курсовую работу	17
5.1. Электрогидравлический следящий привод с машинным управлением	17
5.2. Электрогидравлический следящий привод с машинным управлением и обратными связями по положению и скорости	20
5.3. Электрогидравлический следящий привод с дроссельным управлением	21
5.4. Электрогидравлический следящий привод с дроссельным управлением и обратными связями по положению и скорости	25
5.5. Электрогидравлический следящий привод подачи фрезерного станка	26
5.6. Электрогидравлический следящий привод подачи фрезерного станка с обратными связями по положению и скорости	29
5.7. Электрогидравлическая следящая система гидропривода с машинным управлением (вариант I)	30
5.8. Электрогидравлическая следящая система гидропривода с машинным управлением (вариант II)	34
5.9. Гидравлический следящий привод рулевого управления мобильной машины	37
5.10. Электрогидравлический следящий привод с машинным управлением фрезерного станка	39
5.11. Электрогидравлический следящий привод с машинным управлением фрезерного станка и обратными связями по положению и скорости	43
5.12. Система автоматического регулирования температуры жидкости в системе охлаждения двигателя	44
Литература	48
Приложение	50

Учебное издание

ТЕОРИЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

**Методические указания к выполнению курсовой работы
для студентов специальности 1-36 01 07
"Гидропневмосистемы мобильных и технологических машин"**

**С о с т а в и т е л ь
АВТУШКО Валентин Петрович**

**Технический редактор М.И. Гриневич
Компьютерная верстка О.В. Дубовик**

Подписано в печать 21.02.2006.

Формат 60×84 1/16. Бумага офсетная.

Отпечатано на ризографе. Гарнитура Таймс.

Усл. печ. л. 3,0. Уч.-изд. л. 2,36. Тираж 100. Заказ 172.

Издатель и полиграфическое исполнение:

Белорусский национальный технический университет.

ЛИ № 02330/0131627 от 01.04.2004.

220013, Минск, проспект Независимости, 65.