

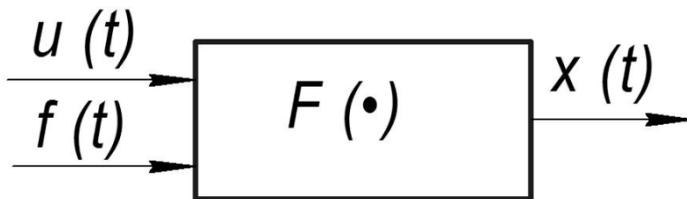
ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет»

кафедра технологии машиностроения

151-2015

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению лабораторных работ по дисциплине «Автоматизированное управление технологическими процессами и системами» для студентов направления 15.04.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств» (программа магистерской подготовки «Высокоэффективные технологии производства современных изделий») и по дисциплине «Управление системами и процессами» для студентов направления 15.03.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств» (профиль «Технология машиностроения»)



Воронеж 2015

Составители: докт. техн. наук Г.А. Сухочев
канд. техн. наук Е.Г. Смольяникова

УДК 621.9.06-529

Методические указания к выполнению лабораторных работ по дисциплине «Автоматизированное управление технологическими процессами и системами» для студентов направления 15.04.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств» (программа магистерской подготовки «Высокоэффективные технологии производства современных изделий») и по дисциплине «Управление системами и процессами» для студентов направления 15.03.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств» (профиль «Технология машиностроения») всех форм обучения / ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет»; сост. Г.А. Сухочев, Е.Г. Смольяникова. Воронеж, 2015. 57 с.

Представлены учебно-методические материалы для выполнения лабораторных работ с применением прикладных программ, моделирующих системы управления процессами механической обработки материалов резанием, механизмы и узлы металлорежущего оборудования. Для моделирования систем и процессов использован математический аппарат с применением дифференциальных уравнений, передаточных функций и переменных состояния.

Табл. 12. Ил. 39. Библиогр.: 10 назв.

Рецензент д-р. техн. наук, проф. А.В. Кузовкин.

Ответственный за выпуск зав. кафедрой, канд. техн. наук, доц., И.Т. Коптев

Печатается по решению редакционно-издательского совета Воронежского государственного технического университета

© ФГБОУ ВПО «Воронежский
государственный технический
университет», 2015

ВВЕДЕНИЕ

В ходе выполнения лабораторной работы студент должен провести анализ и определить основные характеристики и показатели качества заданной системы автоматического управления (САУ) по ее математической модели.

Вариант задания преподаватель определяет индивидуально каждому студенту. Отчет по лабораторной работе оформляют в виде расчетно-пояснительной записки на листах формата А4 с необходимыми схемами, таблицами и графиками. Расчеты по формулам представляют в следующей последовательности: исходная формула - формула с числовыми значениями заданных переменных - результат. Все схемы, графики и таблицы выполняют на стандартных листах и сопровождают соответствующими подписями, в которых расшифровываются принятые обозначения.

Порядок выполнения лабораторной работы:

1. Построение функциональной схемы заданной САУ. Определение входных управляющих воздействий, выходных величин (цели управления) и возмущающих воздействий.

2. Определение передаточных функций всех элементов САУ. Выделение типовых динамических звеньев.

3. Определение вида соединения элементов и построение упрощенной структурной схемы САУ.

4. Определение устойчивости САУ. При необходимости коррекция параметров (коэффициентов передачи) или коррекция структуры с целью достижения устойчивости.

5. Построение структурной схемы скорректированной системы (если коррекция состоялась).

6. Определения переходной характеристики САУ: заданный вход - выход.

7. Расчет критериев качества по переходной характеристике. Дать выводы.

Лабораторная работа № 1

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА РЕГУЛИРОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЦЕНТРОБЕЖНОГО РЕГУЛЯТОРА

Цель работы: приобретение практических навыков экспериментальной оценки процесса регулирования и устойчивости работы системы автоматического управления.

Теоретическая часть. Исследуемая система автоматического управления (рис. 1.1), состоит из центробежного регулятора скорости, ползун 1 которого связан рычагами 2 с заслонкой 3 подачи рабочей жидкости в тепловой двигатель 4. Регулятор приводится во вращение от двигателя через зубчатую передачу 5.

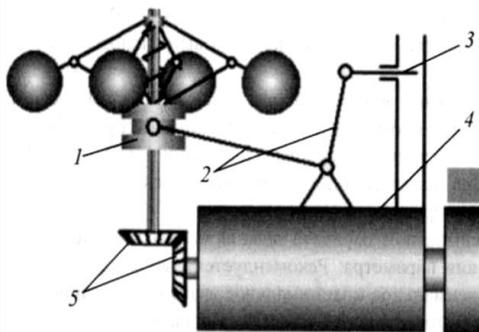


Рис. 1.1. Схема САУ скоростью вращения двигателя

При функционировании системы автоматического управления (САУ) вращение двигателя через зубчатую передачу передается регулятору скорости, шарики которого под действием центробежной силы – с одной стороны, и силы пружины – с другой, занимают некоторое положение, что вызывает определенное открытие дросселя (система находится в равновесии). При увеличении момента нагрузки скорость двигателя уменьшается в соответствии с его характеристикой, что вызывает уменьшение скорости вращения регулятора. Центробежные силы также уменьшаются, шарики опускаются и через рычажную систему увеличивают открытие дросселя. Увеличение подачи рабочей жидкости в двигатель вызовет увеличение его

скорости (равновесие вновь восстановиться, но уже на другом уровне). Следовательно, качество регулирования будет определяться разностью скоростей (чем она меньше, тем выше качество САУ). При уменьшении нагрузки САУ работает в обратном порядке. Для анализа САУ необходимо составить ее математическую модель.

$$\begin{cases} \frac{d\alpha_1}{dt} = \frac{P_{\text{ПР0}} + 2lc_{\text{ПР}}\sin\alpha_0}{2ml\sin 2\alpha\sin\alpha} - \frac{c_{\text{ПР}}}{m\sin 2\alpha} - \alpha_1 \frac{\lambda}{m} - \frac{\omega^2}{2\sin 2\alpha}; \\ \frac{d\alpha}{dt} = \alpha_1 \end{cases} \quad (1.1)$$

Поскольку регулятор скорости является частью системы, то для получения математической модели уравнения (1.1) должны быть дополнены уравнениями, описывающими движение остальной части САУ. Анализ показывает, что в систему входят также двигатель, дроссель подачи рабочей жидкости, рычажная передача и зубчатая передача. Движение двигателя при ограничении с учетом явлений первого порядка, т.е. его инерционностью, может быть представлено дифференциальным уравнением первого порядка:

$$I_D \frac{d\omega}{dt} + \lambda_D \omega + M_H = M_D, \quad (1.2)$$

где I_D и λ_D - момент инерции ротора и коэффициент вязкого трения двигателя соответственно; M_H и M_D - момент сопротивления нагрузки и момент двигателя соответственно. Значение момента движения зависит от открытия дросселя подачи:

$$M_D = bk_D, \quad (1.3)$$

где b - коэффициент передачи открытия дросселя от перемещения ползуна регулятора через рычажную передачу, k_D - коэффициент пропорциональности между величиной открытия дросселя и возникающим моментом двигателя. Если принять передаточное отношение рычагов и зубчатой передачи равным, то получим уравнение связи, которое определяет замкнутость САУ:

$$b = 2l(1 - \sin\alpha). \quad (1.4)$$

Полученная математическая модель (1.1)-(1.4) используется в прикладной программе, с помощью которой выполняются требуемые исследования.

Практическая часть. Лабораторная работа выполняется с помощью прикладной программы «Регулятор скорости». При нажатии кнопки «Help» появляется дополнительный интерфейс с инструкциями и пояснениями к программе. В зависимости от варианта задания необходимо выбрать диапазон и шаг изменения параметра. Рекомендуется выбирать диапазон, ориентируясь на максимальное и минимальное значения указанного параметра в таблице вариантов заданий (табл. 1.1).

Таблица 1.1

Исходные данные

Первая цифра	Масса шариков m , кг	Жесткость пружины $c_{пр}$, Н/мм	Момент инерции двигателя I_d , кг/м ²
1	0,35	5,0	0,25
2	0,30	4,5	0,20
3	0,25	4,0	0,16
4	0,20	3,5	0,10
5	0,15	3,0	0,06
6	0,10	2,0	0,04
7	0,15	1,0	0,12
8	0,20	1,5	0,14
9	0,25	2,5	0,31
0	0,30	3,5	0,38
Вторая цифра	Начальная сила пружины $P_{пр}$, Н	Коэффициент зависимости момента от открытия дросселя k_d , Н/мм	Изменять параметр
1	55	2	m
2	100	4	$c_{пр}$
3	150	6	I_d
4	200	8	k_d
5	130	10	$P_{пр}$
6	85	9	m
7	70	7	$c_{пр}$
8	95	5	$P_{пр}$
9	170	3	I_d
0	135	11	k_d

В начале работы следует подготовить таблицу экспериментальных данных (табл. 1.2). При выполнении исследований в соответствии с заданием необходимо, после активизации программы, в окнах главного интерфейса ввести исходные данные согласно варианту задания и установить первое значение изменяемого параметра - нажать кнопку «Пуск». После

выхода системы на установившийся режим работы (определять визуально по отсутствию колебаний осциллограммы открытия заслонки дросселя) необходимо нажать кнопку «Пауза», определить точное значение скорости вращения двигателя и записать его в таблицу экспериментальных данных. Затем увеличить момент нагрузки до $25 \text{ Н} \times \text{м}$ и нажать кнопку «Продолжение». После выхода САУ на новый уровень установившегося режима работы необходимо опять нажать кнопку «Пауза» и провести измерения скорости вращения двигателя.

Таблица 1.2

Экспериментальные данные

№ пп	Жесткость пружины $c_{пр}$, Н/мм	Быстродействию САУ, с	Скорость двигателя, рад/с		Точность регулирования, рад/с
			до «скачка» момента нагрузки	после «скачка» момента нагрузки	
1	0,5	Не устойчива	-	-	-
2	1,0	Не устойчива	-	-	-
3	1,5	1,36	81,0	77,2	3,8
4	2,0	0,33	80,2	76,2	4,0
5	2,5	0,15	79,8	73,9	5,9
6	3,0	0,09	79,6	72,8	6,8
7	3,5	0,10	78,1	71	7,1
8	4,0	0,12	77,5	69,4	8,1
9	4,5	0,14	76,8	67,7	9,1
0	5,0	0,16	76,0	66,0	10

Пользуясь осциллограммой, фиксируется также время между подачей «скачка» нагрузки и стабилизацией процесса регулирования. Стабилизация оценивается по осциллограмме при открытии заслонки дросселя подачи рабочей жидкости. Необходимо проводить измерения по осциллограмме процесса регулирования, руководствуясь построениями рис. 1.2. Данные записываются в табл. 1.1. Для выполнения следующего эксперимента можно воспользоваться кнопкой «Reset» и начать эксперимент с той же последовательностью действий, но уже при следующем значении изменяемого параметра. Если при каком-либо эксперименте САУ становится неустойчивой, соответствующее сообщение записать в таблицу. В табл. 1.2 представлены экспериментальные данные исследования каче-

ства регулирования САУ с некоторыми исходными параметрами в функции жесткости пружины регулятора.

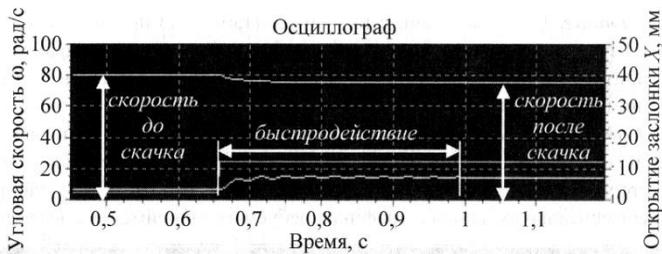


Рис. 1.2. Схема измерения характеристик качества процесса регулирования

Для построения графиков (рис. 1.3) можно использовать пакет Excell, а для выполнения копии интерфейса программы, которая должна быть представлена в отчете, используют клавиши Alt - Print Screen и вставляют копию в документ Word.

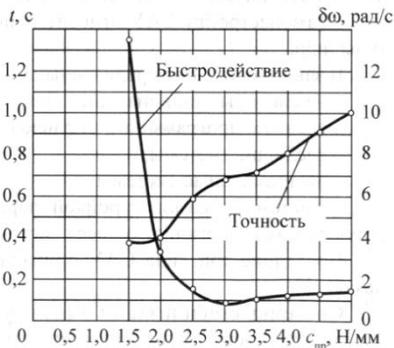


Рис. 1.3. График, построенный по данным табл. 1.2

Задание. По вариантам (табл. 1.1) провести исследование качества регулирования в зависимости от изменяемого параметра и построить график зависимости быстродействия и точности САУ в функции от изменяемого параметра.

Содержание отчета. В отчете представить: цель работы; исходные данные; задание исследования; копию интерфейса для любого эксперимента из выполненной серии; описание работы САУ; таблицу экспериментальных данных; графики требуемых зависимостей; выводы.

Лабораторная работа № 2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕРЕДАТОЧНЫХ ФУНКЦИЙ ПЕРЕХОДНОЙ И ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

Цель работы: приобретение практических навыков определения переходной и частотных характеристик систем по их передаточным функциям.

Теоретическая часть. При проектировании и расчете разнообразных систем и объектов автоматического управления приходится использовать разные по своей физической природе и конструктивному исполнению составляющие компоненты и звенья: механические, гидравлические, электрические, пневматические и т.п. Однако независимо от их физической сущности и огромного разнообразия все эти звенья, при определенной степени идеализации, могут быть описаны сравнительно небольшим количеством типовых дифференциальных уравнений. Звенья, движение которых описывается такими уравнениями, называют *типовыми динамическими звеньями*.

Математическая модель реального звена или системы зависит, в основном, от двух условий: степени идеализации и от физических величин, принятых в качестве входных и выходных. В зависимости от вариации условий одно и то же звено или процесс может быть представлен разными типовыми дифференциальными уравнениями и соответствовать разным типовым динамическим звеньям.

Из всего состава типовых динамических звеньев можно выделить основные, наиболее часто встречающиеся в объектах и системах управления в металлообработке: безынерционные; апериодические 1-го и 2-го порядка; колебательные; интегрирующие; дифференцирующие и запаздывающие.

Выполняя анализ подобных систем, рассматриваются их особенности, характеристики и идентификация - определение постоянных времени и коэффициентов передачи типовых ди-

намических звеньев по экспериментально полученным характеристикам.

Безынерционное звено описывается уравнением

$$y = kx. \quad (2.1)$$

Передаточная функция и частотная передаточная функция этого звена имеют одинаковый вид:

$$W(s) = W(j\omega) = k. \quad (2.2)$$

Примерами (рис. 2.1) безынерционных звеньев могут быть: при известной степени идеализации, рычаг (пренебрегаем массой, жесткостью, трением), механический редуктор (пренебрегаем зазорами, жесткостью, трением), делитель напряжения, усилители, измерительный прибор (пренебрегаем инерционностью). Наиболее часто в САУ именно измерительные приборы, датчики считаются безынерционными звеньями.

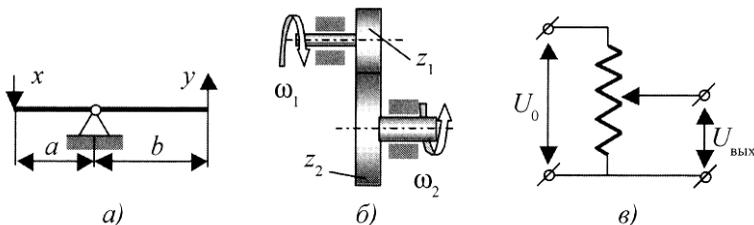


Рис. 2.1. Рычаг (а), редуктор (б) и делитель напряжения (в)

Динамические свойства такого идеализированного звена настолько высоки, что оно пропускает любой сигнал без искажений. Переходная характеристика (рис. 2.2, а) является ступенчатой функцией $y(t) = k \cdot I(t)$, а частотные характеристики (рис. 2.2, б) - прямыми линиями: $L(\omega) = 20 \lg k$, $\varphi(\omega) = 0^\circ$.

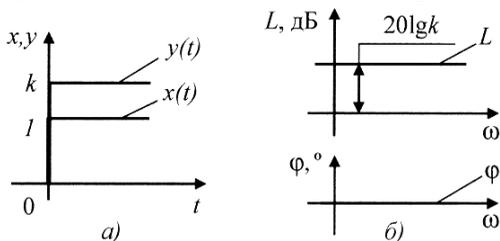


Рис. 2.2. Переходная (а) и логарифмическая (б) частотные характеристики

Апериодическое звено 1-го порядка. Описывается уравнением

$$Tsy + y = kx. \quad (2.3)$$

Передаточная функция имеет вид

$$W(s) = \frac{k}{Ts+1}, \quad (2.4)$$

где k - коэффициент передачи звена; T - постоянная времени.

Примерами апериодических звеньев 1 -го порядка могут быть: двигатель (рис. 2.3, а) любого типа (если в качестве входа принято управляющее воздействие (напряжение – для электрического, расход масла – для гидравлического) и без учета явлений второго и высших порядков (в электрическом постоянном тока – без учета электромагнитной индукции, в гидравлическом – без учета жесткости масла), а также механические системы, эквивалентная динамическая модель которых совпадает с изображенной на рис. 2.3, б, электрические RC -цепи (рис. 2.3, в) и тепловые устройства (рис. 2.3, г), и т.п.

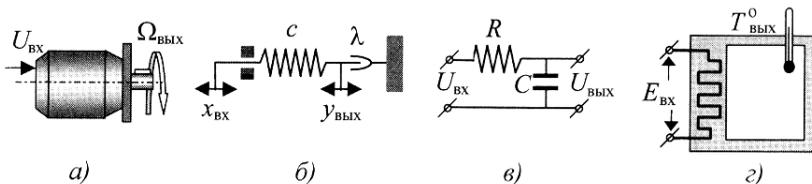


Рис. 2.3. Примеры апериодических элементов 1-го порядка

Переходная характеристика апериодического звена 1-го порядка может быть получена классическим методом $y(t) = 1(t)k[1 - e^{-\frac{t}{T}}]$, а АЧХ и ФЧХ находят непосредственно по зависимостям

$$A(\omega) = \frac{1}{\sqrt{T^2\omega^2 + 1}};$$

$$\varphi(\omega) = \arctg(-T\omega)$$

По ним находят логарифмическую характеристику

$$L(\omega) = 20lg\left(\frac{k}{\sqrt{T^2\omega^2 + 1}}\right).$$

График переходной характеристики системы приведен на рис.2.4, б.

Определение постоянной времени и коэффициента передачи передаточной функции звена производится по его характеристикам при идентификации.

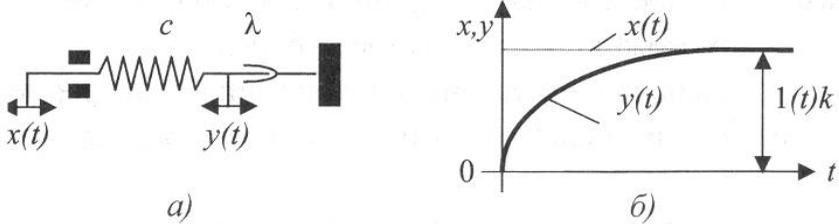


Рис. 2.4. Динамическая модель (а) и переходная характеристика (б)

Апериодическое звено 2-го порядка. Математическая модель звена:

$$T_1^2 s^2 y + T_2 s y + y = kx, \quad (2.5)$$

причем $T_1^2 \geq T_2$, что определяет действительные корни $s_{1,2}$ характеристического уравнения:

$$s_{1,2} = \frac{-T_2 \pm \sqrt{T_2^2 - 4T_1^2}}{2T_1^2}. \quad (2.6)$$

В таком случае характеристическое уравнение может быть разложено на множители:

$$T_1^2 s^2 + T_2 s + 1 = T_1^2 (s - s_1)(s - s_2).$$

Выполним следующие преобразования:

$$T_1^2 \left(-s_1 \left(-\frac{s}{s_1} + 1 \right) (-s_2) \left(-\frac{s}{s_2} + 1 \right) \right) = T_1^2 s_1 s_2 \left(-\frac{s}{s_1} + 1 \right) (-s_2) \left(-\frac{s}{s_2} + 1 \right).$$

После введения новых постоянных времени $T_{3,4} = -1/s_{1,2}$ и учитывая, что $s_1 s_2 = 1/T_1^2$, передаточная функция звена будет иметь такой вид:

$$W(s) = \frac{k}{T_1^2 s^2 + T_2 s + 1} = \frac{k}{(T_3 s + 1)(T_4 s + 1)}, \quad (2.7)$$

где $T_{3,4} = \frac{T_2}{2} \pm \sqrt{\frac{T_2^2}{4} - T_1^2}$.

Апериодическим звеном 2-го порядка обычно являются электродвигатель постоянного тока (рис. 2.5, а), электрическая цепь, которая состоит из двух RC-цепей (рис. 2.5, б), и т.п.

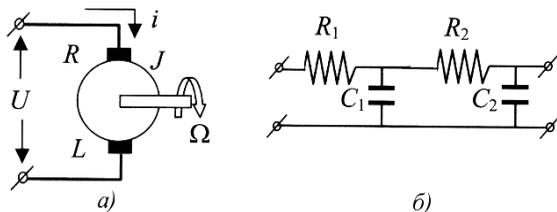


Рис. 2.5. Примеры аperiodических звеньев 2-го порядка

При определении частотных характеристик удобно представить звено в виде последовательного соединения двух аperiodических звеньев 1-го порядка с общим коэффициентом передачи k и постоянными времени T_3 и T_4 (2.7). Поэтому логарифмическая АЧХ имеет вид:

$$L(\omega) = 20lg \frac{k}{\sqrt{T_3^2 \omega^2 + 1}} + 20lg \frac{1}{\sqrt{T_4^2 \omega^2 + 1}}. \quad (2.8)$$

Обычно строят асимптотическую ЛАЧХ звена. ФЧХ определяется как сумма ФЧХ двух аperiodических звеньев 1-го порядка: $\varphi(\omega) = -arctgT_3\omega - arctgT_4\omega$. (2.9)

Колебательное звено. Описывается дифференциальным уравнением, аналогичным (2.5), однако $T_1 < 2T_2$, что дает комплексные корни $s_1(s_2) = a \pm jb$ характеристического уравнения.

В таком случае левая часть дифференциального уравнения движения записывается в виде:

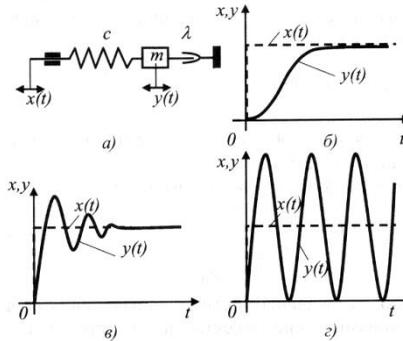
$$T^2 s^2 y + 2\xi T s y + y = kx \quad \text{или} \quad \frac{s^2 y}{\omega_0^2} + 2\xi \frac{s y}{\omega_0} + y = kx,$$

где $\omega_0 = 1/T$ - частота собственных колебаний, ξ - параметр затухания колебаний ($0 < \xi < 1$). Передаточная функция звена:

$$W(s) = \frac{k}{\frac{s^2}{\omega_0^2} + 2\xi \frac{s}{\omega_0} + 1}. \quad (2.10)$$

В зависимости от соотношения параметров одни и те же динамические объекты могут быть представлены или аperiodическим звеном 2-го порядка, или колебательным звеном. Примерами таких звеньев могут быть динамические системы, представленные на рис. 2.6, но наиболее распространенным в механике является одномассовая динамическая система, схема которой показанная на рисунке 2.6, а). Из таких звеньев скла-

дываются динамические модели реальных механических устройств, металлорежущих станков и т.п.



а – динамическая модель; б – периодическая характеристика при $\lambda > 2\sqrt{ct}$; в – периодическая характеристика при $\lambda < 2\sqrt{ct}$; г – периодическая характеристика при $\xi=0$

Рис. 2.6. Динамическая модель и переходные характеристики

Переходная характеристика системы:

$$y_0(t) = (C_1 \cos bt + C_2 \sin bt) e^{at}; \quad y_B(t) = 1(t)k, \quad (2.11)$$

где $a = -\xi\omega_0$; $b = \omega_0\sqrt{1 - \xi^2}$.

Из начальных условий при $[t=0, y(t)=0, y'(t)=0]$ находим $C_1 = -k, C_2 = \frac{ka}{b}$. Окончательно получаем:

$$y(t) = \left(-k \cos bt + k \frac{a}{b} \sin bt\right) e^{ax} + k. \quad (2.12)$$

График переходной функции в этом случае имеет вид, показанный на рис. 2.6, в. Частотные характеристики определяются передаточной функцией колебательного звена и с учетом, что частотная передаточная функция $W(j\omega)$ является комплексным числом, модуль которого соответствует АЧХ, а аргумент - ФЧХ

$$L(\omega) = 20 \lg \frac{k}{\sqrt{\left(1 - \frac{\omega^2}{\omega_0^2}\right)^2 + 4\xi^2 \frac{\omega^2}{\omega_0^2}}}; \quad \varphi(\omega) = \arctg \left(-\frac{2\xi \frac{\omega}{\omega_0}}{1 - \frac{\omega^2}{\omega_0^2}} \right). \quad (2.13)$$

Логарифмические характеристики проще всего строить в функции относительно частоты $q = \omega/\omega_0$ для разных коэф-

коэффициентов затухания колебаний $0 < \xi < 1$. Строить асимптотические ЛАЧХ можно по двум асимптотам:

при $q < 1$ $L(\omega) \approx 20 \lg k$;

при $q > 1$ $L(\omega) = 20 \lg \frac{k}{\sqrt{q^4 + 2\xi^2 \omega^2}} \approx 20 \lg \frac{k}{q^2}$.

Для идентификации звена можно использовать как переходную, так и частотную характеристику. **Идеальное интегрирующее звено** описывается уравнением

$$y = k \int x dt \quad (2.14)$$

и имеет передаточную функцию вида:

$$W(s) = k/s. \quad (2.15)$$

Звено является идеализацией реальных звеньев, математическая модель которых может быть представлена в виде (2.15). Например, если считать двигатель безынерционным - в качестве выходной величины можно принять угол поворота; если не учитывать массу гидравлического демпфера и жесткость масла - в качестве входной величины принять силу, а выходной - перемещение штока (рис. 2.7); эти устройства могут быть представлены интегрирующими звеньями.

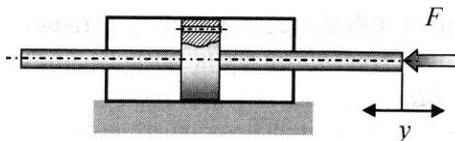


Рис. 2.7. Гидравлический демпфер

Переходная характеристика определяется операционным методом:

$$y(t) = kt. \quad (2.16)$$

Частотные характеристики находят из частотной передаточной функции $W(j\omega) = jk/\omega$

$$L(\omega) = 20 \lg k/\omega; \quad \varphi(\omega) = -90^\circ. \quad (2.17)$$

Реальное интегрирующее звено. Такому звену соответствует дифференциальное уравнение второго порядка:

$$Ts^2 y + sy = kx, \quad (2.18)$$

откуда передаточная функция

$$W(s) = \frac{1}{s(Ts+1)}, \quad (2.19)$$

где k - коэффициент передачи, T - постоянная времени.

Реальным интегрирующим звеном могут быть представлены электрический или гидравлический двигатель, если учитываются динамические явления первого порядка, входная величина - напряжение или расход масла, а выходная величина - угол поворота ротора. Такое звено должно быть представлено в виде последовательно соединенных идеального интегрирующего звена и апериодического звена 1-го порядка. Для определения переходной характеристики удобно представить передаточную функцию (2.19) в виде

$$W(s) = \frac{k}{s} - \frac{Tk}{Ts+1}. \quad (2.20)$$

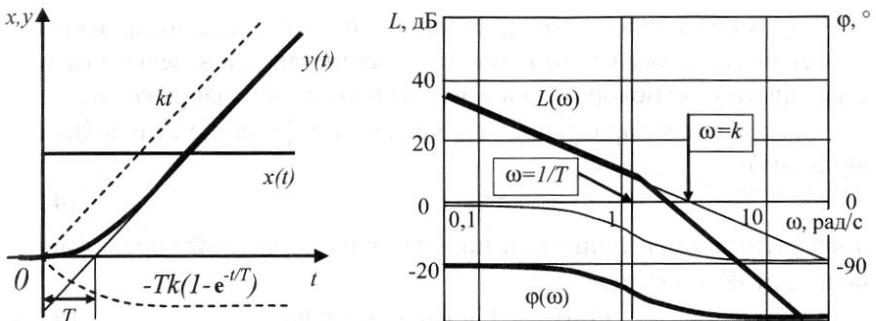


Рис. 2.8. Переходная и частотные характеристики реального интегрирующего звена

Пользуясь принципом суперпозиций для линейных систем, переходная характеристика звена может быть представлена в виде суммы решений для идеального интегрирующего звена и для апериодического 1-го порядка, которые входят в исходную передаточную функцию (2.20) (рис. 2.8):

$$y = k \left[t - T \left(1 - e^{-\frac{t}{T}} \right) \right] \quad (2.21)$$

Частотные характеристики (см. рис. 2.8) строятся как результирующие при последовательном соединении звеньев - идеального интегрирующего с коэффициентом передачи k и апериодического звена 1-го порядка с постоянной времени T и коэффициентом передачи, равным 1:

$$L(\omega) = 20 \lg \frac{k}{\omega} + 20 \lg \frac{1}{\sqrt{T^2 \omega^2 + 1}}, \quad (2.22)$$

$$\varphi(\omega) = 90^\circ - \arctg(T\omega)$$

Идеальное дифференцирующее звено описывается уравнением $y = \tau s x$, (2.23)
а передаточная функция имеет вид

$$W(s) = \tau s. \quad (2.24)$$

Переходная характеристика

$$y(t) = \delta(t), \quad (2.25)$$

а частотные характеристики получают из частотной передаточной функции $W(j\omega) = \tau j\omega$:

$$L(\omega) = 20 \lg k\omega; \varphi(\omega) = 90^\circ. \quad (2.26)$$

Уравнение движения **реальное дифференцирующего звена** имеет вид

$$Tsy + y = \tau s x, \quad (2.27)$$

а передаточная функция

$$W(s) = \frac{\tau s}{Ts + 1} \quad (2.28)$$

показывает, что реальное дифференцирующее звено может быть представлено как последовательное соединение идеального дифференцирующего звена и апериодического звена 1-го порядка. Переходная характеристика в этом случае (рис. 2.9):

$$y(t) = \frac{\tau}{T} e^{-\frac{t}{T}}. \quad (2.29)$$

Частотные характеристики строятся как результирующие при последовательном соединении двух звеньев - идеального дифференцирующего звена с постоянной времени τ и апериодического звена 1-го порядка с постоянной времени T и коэффициентом передачи, равным 1 (рис. 2.9):

$$L(\omega) = 20 \lg \tau \omega + 20 \lg \frac{1}{\sqrt{T^2 \omega^2 + 1}}, \quad (2.30)$$

$$\varphi(\omega) = 90^\circ - \arctg(T\omega)$$

Запаздывающее звено описывается уравнением

$$y(t) = kx(t - \tau), \quad (2.31)$$

где τ - время запаздывания. Передаточная функция имеет вид

$$W(s) = ke^{-Ts}. \quad (2.32)$$

Запаздывающее звено представляет процессы, в которых выходная величина появляется через определенное время по-

сле подачи на вход сигнала, причем передача сигнала происходит без его искажения. Время запаздывания τ определяется временем прохождения сигнала по некоторой цепи известной длины с заданной скоростью. Без такого звена нельзя описать разные процессы многопроходной обработки, например, процесс плоского шлифования, когда погрешность, вызванная упругими деформациями эквивалентной упругой системы (ЭУС) под действием силы резания P или другими причинами на i -м проходе, появляется в виде изменения, например, заданной глубины резания t_{31} на $(i + 1)$ -м проходе, т.е. через время, затраченное на один проход (рис. 2.10, а). Структурная схема любого процесса многопроходной обработки, например, врезного шлифования, должна содержать в себе запаздывающее звено (рис. 2.10, б).

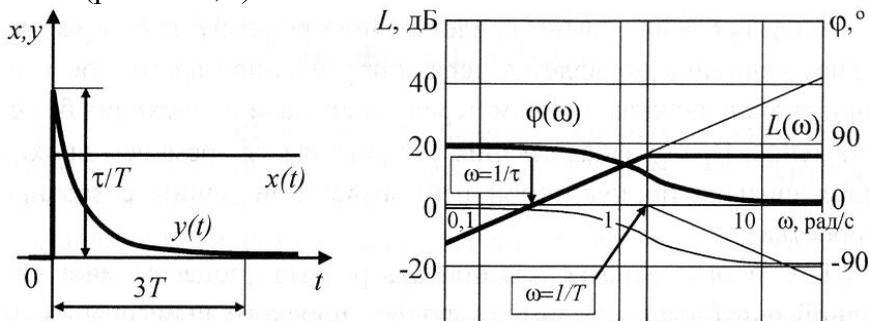


Рис. 2.9. Переходная и частотные характеристики реального дифференцирующего звена

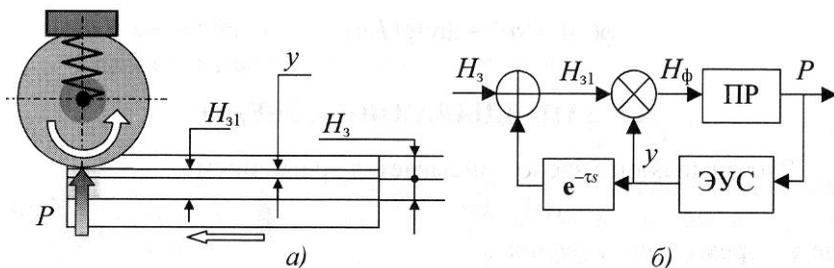


Рис. 2.10. Использование запаздывающего звена для математического описания многопроходного процесса обработки

$$\text{Переходная характеристика: } y(t) = k1(t - \tau). \quad (2.33)$$

Частотные характеристики находятся непосредственно по частотной передаточной функции $W(j\omega) = ke^{-j\omega\tau}$, как ее модуль и аргумент:

$$L(\omega) = 20 \lg k; \varphi(\omega) = -\omega\tau. \quad (2.34)$$

Практическая часть. Для выполнения работы используется прикладная программа «Построение характеристик», интерфейс которой представлен на рис. 2.11, а.

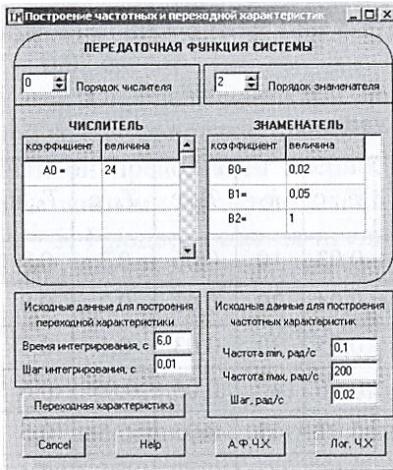
Инструкции и пояснения для работы с программой содержатся в самой программе и появляются на экране монитора при нажатии кнопки Help. На главном интерфейсе заданы данные, соответствующие передаточной функции колебательного звена. Далее вводятся дополнительные данные, определяющие время и шаг интегрирования (для построения переходной характеристики), диапазон частот и шаг расчетов по частоте (для построения частотных характеристик). Диапазон частот определяется исходя из того, как на экране монитора была изображена важнейшая часть частотных характеристик. Это означает, что график фазово-частотной характеристики должен размещаться полностью, от одной асимптоты до другой. При первом моделировании по изображению полученных графиков на экране устанавливают коррекцию заданных величин, а при повторном моделировании вводят эти скорректированные значения. Таким образом, получают желаемые характеристики, которые изображены на рис. 2.11, б, в, г.

Задание. В соответствии с исходными данными, приведенными в таблице, построить переходную и частотные характеристики следующих типовых динамических звеньев:

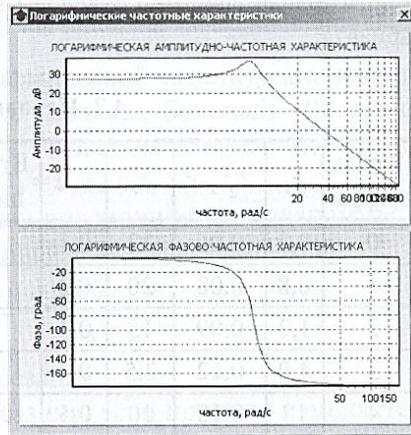
Четные варианты: $W_1(s) = \frac{k_3}{(T_4s+1)s}$, $W_2(s) = \frac{\tau s}{(T_5s+1)}$.

Нечетные варианты: $W_1(s) = \frac{k_1}{T_1s+1}$, $W_2(s) = \frac{k_2}{T_2^2s^2+T_3s+1}$.

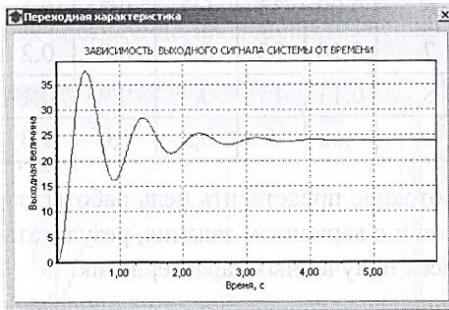
Содержание отчета. В протоколе представить цель работы, задание, исходные данные в соответствии с вариантом задания, результаты моделирования на ЭВМ - графики всех полученных характеристик.



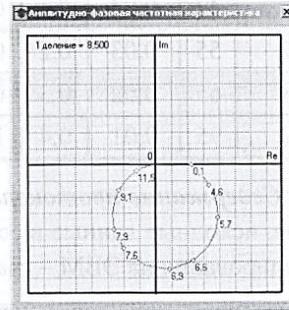
а)



б)



в)



г)

Рис. 2.11. Определение характеристик систем с помощью прикладной программы

Исходные данные

Первая	k_1	T_2^2	k_3	τ	Вторая	T_1	k_2	T_3	T_4	T_5
1	0,2	0,06	12	0,1	1	0,03	10	0,06	0,3	0,9
2	0,8	0,08	20	0,2	2	0,04	20	0,02	0,2	0,8
3	1,2	0,09	15	0,3	3	0,05	30	0,03	0,1	0,7
4	4,0	0,12	2,5	0,4	4	0,06	40	0,04	0,05	0,6
5	12	0,10	10	0,5	5	0,07	45	0,05	0,5	0,5
6	25	0,05	1	0,6	6	0,08	6	0,1	0,6	0,4
7	47	0,04	0,1	0,7	7	0,09	35	0,2	0,7	0,3
8	55	0,03	0,2	0,8	8	0,10	25	0,3	0,8	0,2
9	65	0,02	0,3	0,9	9	0,11	15	0,4	0,9	0,1
0	95	0,01	0,4	1,0	0	0,12	5	0,5	1,0	1,0

Лабораторная работа № 3

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОГО ПРИВОДА

Цель работы: приобретение практических навыков комплексного исследования систем и объектов автоматического управления.

Теоретическая часть. На рис. 3.1 представлена электро-механическая система - привод вращающего движения, который состоит из электродвигателя 1 постоянного тока, редуктора 2 и нагрузки в виде шпинделя 3.

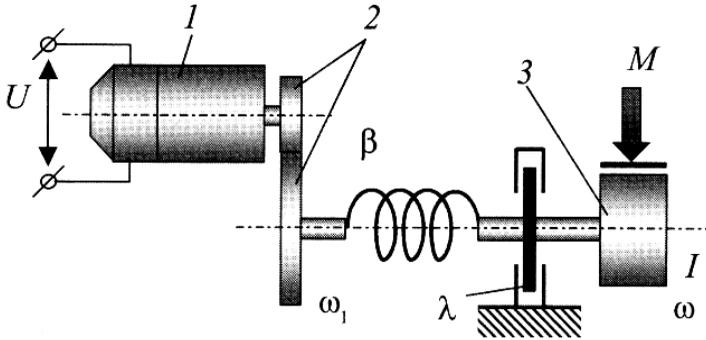


Рис. 3.1. Схема электро-механической системы

Уравнения движения двигателя постоянного тока при пренебрежении явлениями второго порядка имеет вид:

$$M_{\text{двиг}} = I_{\text{двиг}} \frac{d\omega_{\text{двиг}}}{dt} + M_1, \quad (3.1)$$

где $M_{\text{двиг}}$, $I_{\text{двиг}}$, $\omega_{\text{двиг}}$ - момент движения, момент инерции ротора и угловая скорость двигателя, M_1 - момент нагрузки на валу двигателя. С другой стороны, в соответствии с электро-механической характеристикой двигателя

$$M_{\text{двиг}} = k_D U - k_M \omega_{\text{двиг}}, \quad (3.2)$$

где k_D - коэффициент пропорциональности между напряжением U и моментом движения, k_M - коэффициент наклона электро-механической характеристики.

Редуктор может быть представлен безынерционным звеном:

$$\omega_1 = \omega_{\text{двиг}} k_{\text{ред}}, \quad (3.3)$$

где ω - угловая скорость выходного вала редуктора, $k_{\text{ред}}$ - коэффициент передачи.

В конечном итоге получаем уравнение движения вала нагрузки:

$$I \frac{d\omega}{dt} + \lambda\omega + \beta(\int \omega dt - \int \omega_1 dt) + M = 0, \quad (3.4)$$

где M , I , ω - соответственно полезный момент, момент инерции и угловая скорость нагрузки, β - крутильная жесткость, λ - коэффициент вязкого трения. Уравнение связи, показывающее, на что расходуется полезная часть момента двигателя, имеет вид:

$$M_1 = k_{\text{ред}}\beta(\int \omega_1 dt - \int \omega dt). \quad (3.5)$$

По полученной математической модели, которая состоит из уравнений (3.1)-(3.5), построена структурная схема электромеханической системы (рис. 3.1).

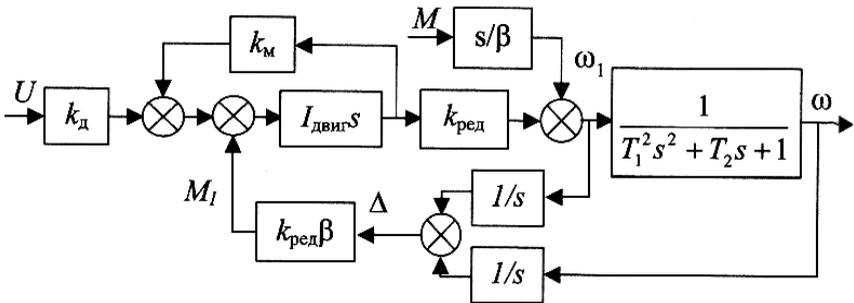


Рис. 3.2. Структурная схема электромеханической системы

На схеме есть два входа: один по управляющему воздействию U , второй - по возмущению M . Система замкнута с обратными потоками сигналов. Можно проводить предварительные исследования с целью определения характеристик, оценки качества и выбора некоторых его параметров, для того, чтобы определить общие направления удовлетворения требованиям ТЗ и улучшения характеристик системы.

Практическая часть. Для выполнения работы используется прикладная программа «Электромеханическая система», интерфейс которой представлен на рис. 3.3. Основным элементом этой программы служит составленная выше математическая модель. Инструкции и пояснения для работы с программой содержатся в самой программе и появляются на экране монитора при нажатии кнопки Help.

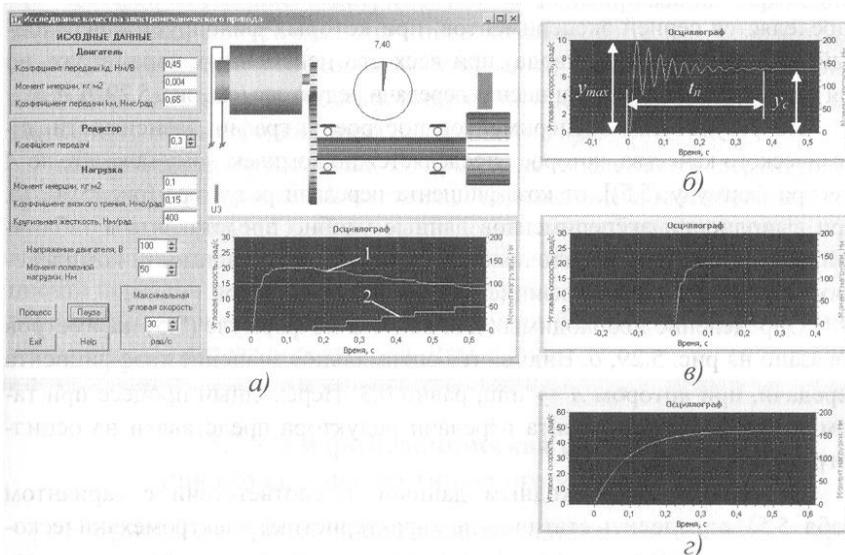


Рис. 3.3. Интерфейс прикладной программы при определении статических характеристик и результаты моделирования при определении динамического качества:

а - интерфейс программы; *б* - переходный процесс при $k_{ред} = 0,1$; *в* - переходный процесс при $k_{ред} = 0,3$; *г* - переходный процесс при $k_{ред} = 0,8$

На изображении осциллографа (рис. 3.3, *а*) зафиксирован процесс изменения угловой скорости нагрузки (*линия 1*) при разгоне и изменении момента полезной нагрузки (*линия 2*) по ступенчатому закону. Выполняя такие эксперименты при разных значениях напряжения питания двигателя, строятся стати-

ческие характеристики электромеханического привода: зависимость угловой скорости нагрузки от полезного момента (рис. 3.4, *а*). Оптимальный по быстродействию коэффициент передачи редуктора определяется серией экспериментов, при которых фиксируется переходный процесс (разгон привода) при всех его неизменных параметрах, но для разных значений коэффициента передачи редуктора (см. рис. 3.3, *б*, *в*, *г*).

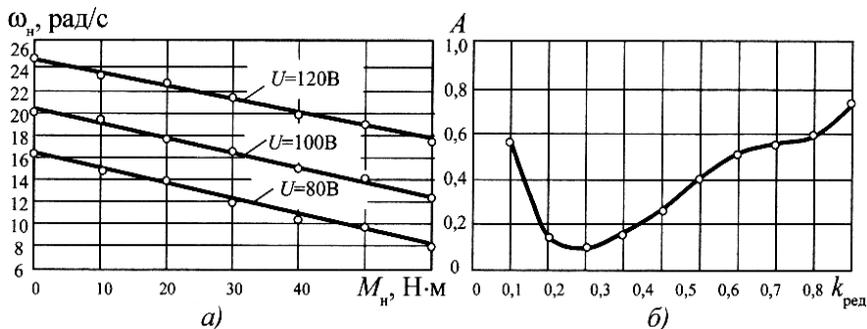


Рис. 3.4. Графики экспериментальных зависимостей:
а - статические характеристики; *б* - динамическая характеристика

По результатам экспериментов строится график зависимости динамического качества, которое определяется по комплексному показателю A , от коэффициента передачи редуктора (рис. 3.4, *б*). При выполнении экспериментов данные удобно представлять в табличной форме, а потом строить необходимый график зависимости комплексного показателя A от коэффициента передачи редуктора. Определение необходимых для расчета по формуле (3.6) параметров показано на рис. 3.3, *б*. Видно, что оптимальное значение коэффициента передачи, при котором $A \rightarrow \min$, равно 0,3. Переходный процесс при таком значении коэффициента передачи редуктора представлен на осциллограмме рис. 3.3, *в*.

Задание. По исходным данным, в соответствии с вариантом (таблица), определить статические характеристики электромеханического привода для разных значений напряжения

питания двигателя и построить соответствующие графики (диапазон изменения напряжения назначает преподаватель).

Провести серию экспериментов по моделированию переходной характеристики при разных значениях коэффициента $k_{ред}$ передачи редуктора, выполнить необходимые измерения, рассчитать комплексный показатель A и построить соответствующий график для определения оптимального по быстродействию коэффициента $k_{ред}$.

Исходные данные

Первая цифра	I_d , кг·м ²	k_d , Н·м/В	k_M , Н·м·с/рад	$k_{ред}$	Вторая цифра	I , кг·м ²	β , Н·м/рад	λ , кг·с/мм
1	0,004	0,50	0,63	0,1	1	0,20	1000	0,15
2	0,006	0,48	0,70	0,2	2	0,30	500	0,17
3	0,008	0,35	0,52	0,3	3	0,05	740	0,09
4	0,010	0,25	0,45	0,4	4	0,08	600	0,11
5	0,012	0,55	0,85	0,5	5	0,10	520	0,19
6	0,014	0,52	0,91	0,3	6	0,12	860	0,12
7	0,016	0,32	0,65	0,1	7	0,18	960	0,14
8	0,018	0,28	0,54	0,2	8	0,22	640	0,13
9	0,020	0,42	0,58	0,3	9	0,14	1200	0,07
0	0,022	0,30	0,43	0,5	0	0,16	1100	0,09

Содержание отчета. В отчете представить структурную схему электромеханической системы, таблицы экспериментальных данных, соответствующие графики статических характеристик и график зависимости комплексного показателя динамического качества от коэффициента передачи редуктора, копию интерфейса прикладной программы с переходным процессом при оптимальном по быстродействию значении коэффициента передачи редуктора. Дать выводы.

Лабораторная работа № 4

ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПЛЕКСНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ГИДРОМЕХАНИЧЕСКОГО ПРИВОДА

Цель работы: приобретение практических навыков комплексного исследования систем и объектов автоматического управления.

Теоретическая часть. На рис. 4.1 представлена гидромеханическая система - привод поступательного движения. Привод состоит из гидравлического цилиндра 7, шток которого связан с суппортом 2 (нагрузкой) механической связью с жесткостью c . Суппорт передвигается по направляющим 3, которые характеризуются коэффициентом вязкого трения λ , а скорость регулируется гидравлическим дросселем 4. Система имеет управляющий вход (открытие x дросселя) и возмущение - силу полезной нагрузки F . Целью управления является перемещение суппорта с заданной скоростью dy/dt по координате y .

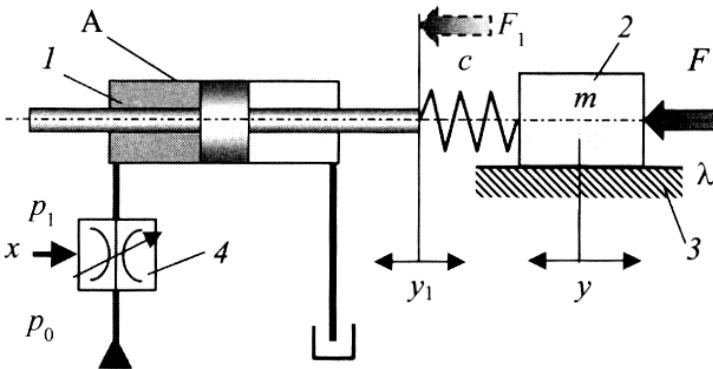


Рис. 4.1. Гидромеханическая система

Движение суппорта описано дифференциальным уравнением второго порядка:

$$m \frac{d^2 y}{dt^2} + \lambda \frac{dy}{dt} + c(y - y_1) = F, \quad (4.1)$$

где m - масса суппорта; λ - коэффициент вязкого трения; y - перемещение массы; F - полезная нагрузка.

Гидравлический цилиндр с полезной площадью P поршня представлен двумя уравнениями, которые отвечают кинематическому и силовому возбуждению. Первое уравнение описывает движение по расходу Q масла через цилиндр:

$$y_1 = \int \frac{Q}{P} dt, \quad (4.2)$$

второе уравнение описывает изменение давления в полости:

$$p_1 = \frac{F_1}{P}. \quad (4.3)$$

Расход масла через дроссель зависит от открытия дросселирующей щели и перепада давления на ней:

$$Q = \mu k x \sqrt{\frac{p_0 - p_1}{\rho}}, \quad (4.4)$$

где μ - коэффициент расхода масла через дросселирующую щель, k - коэффициент пропорциональности между площадью щели и открытием x дросселя, p_0 - давление линии питания, ρ - плотность масла.

К математической модели необходимо прибавить уравнение связи:

$$F_1 = (y_1 - y)c. \quad (4.5)$$

По полученной математической модели, которая состоит из уравнений (4.1)-(4.5), построена структурная схема гидромеханической системы (рис. 4.2). На структурной схеме есть два входа: первый - по управляющему воздействию x , второй - по возмущению F .

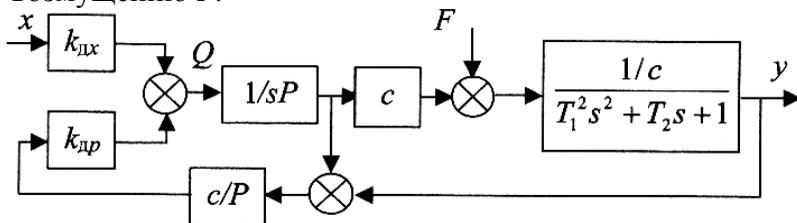


Рис. 4.2. Структурная схема гидромеханической системы

Дроссель на входе схемы представлен двумя передаточными функциями с линеаризованными коэффициентами передачи: $k_{ДХ}$ - по управляющему воздействию x и $k_{ДР}$ - по перепаду давления. При моделировании системы с применением чис-

ленных алгоритмов можно использовать первичную нелинейную зависимость (4.4). Постоянные времени передаточной функции нагрузки в соответствии с (4.1): $T_1^2 = m/c$, $T_2 = \lambda/c$. Разработанная математическая модель позволяет на этапе предварительного проектирования проводить исследования с целью определения: влияния параметров привода на плавность движения; качества управления; возможности сопротивления внешней нагрузке и т.п. В зависимости от желаемого диапазона скоростей движения рабочего органа можно правильно выбрать соотношение «давление питания - геометрические параметры дросселя», что является задачей, от решения которой будут зависеть энергетические показатели привода в целом.

Практическая часть. На рис. 4.3 представлен интерфейс прикладной программы «Гидромеханическая система», которая моделирует гидромеханическую систему. Основным элементом программы является представленная выше нелинейная математическая модель, которая учитывает нелинейную зависимость (4.4), кроме нелинейностей, описанных в теоретической части. Коэффициенты модели рассчитаны для следующих исходных данных: $\mu = 0,9$, $\rho = 900 \text{ кг/м}^3$. Инструкции и пояснения для работы с программой содержатся в самой программе и появляются на экране монитора при нажатии кнопки Help.

На экране осциллографа (рис. 4.3) скорость движения рабочего органа обозначена *линией 1*, скорость движения штока гидравлического цилиндра - *линией 2*, а *линия 3* соответствует внешней нагрузке - силе, которая прикладывается к рабочему органу. Зафиксирован цикл управления, состоящий из следующих этапов: движение влево (отрицательная скорость) к левому упору, движение вправо до окончания переходного процесса и далее внезапное приложение силы нагрузки, движение к правому упору.

При изменении направления движения в системе происходит переходный процесс, сопровождающийся затухающими колебаниями, как скорости рабочего органа, так и скорости штока гидравлического цилиндра. Изменение силы нагрузки,

кроме переходного процесса, вызывает уменьшение фактической скорости движения рабочего органа (δV на осциллограмме). При увеличении силы сверх определенной величины может произойти движение в противоположном от желаемого направлении, т.е. масло будет вытесняться из полости гидравлического цилиндра.

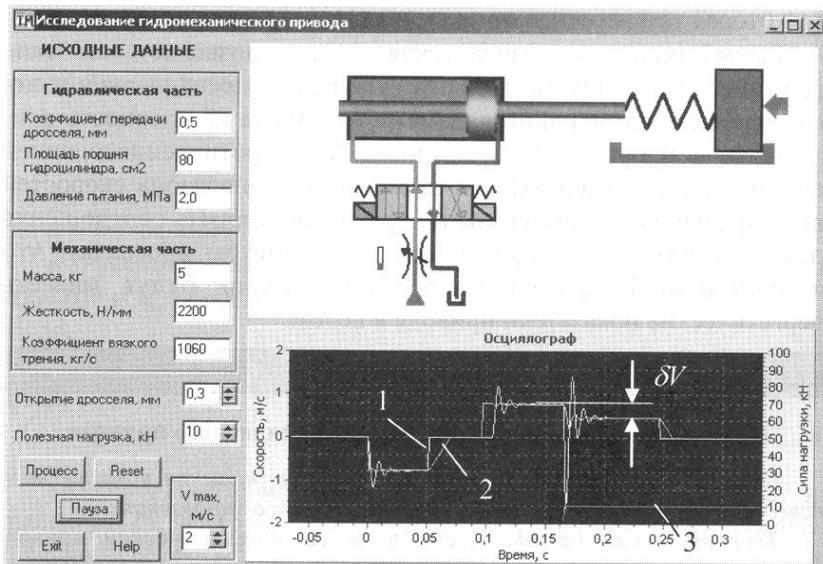


Рис. 4.3. Интерфейс прикладной программы моделирования гидромеханической системы

Выполняя такие эксперименты при разных значениях силы сопротивления, можно построить как динамические характеристики зависимости перерегулирования, затухания за период от параметров системы (которые изменяются), так и статические характеристики зависимости скорости движения от силы полезной нагрузки (рис. 4.4).

Задание. По исходным данным, в соответствии с вариантом (таблица), определить статические характеристики гидромеханического привода (зависимость скорости рабочего органа от силы полезной нагрузки) для разных значений давления питания гидравлической системы и построить соответствующую

щий график (диапазон изменения давления назначает преподаватель).

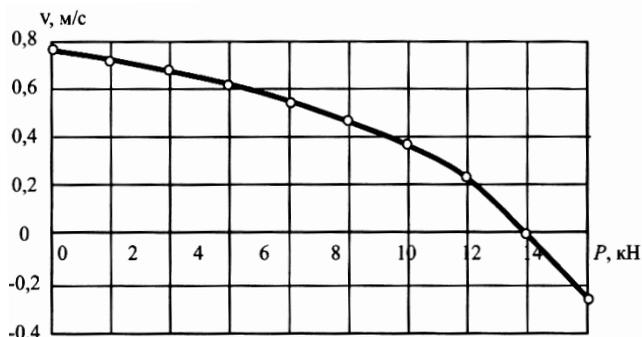


Рис. 4.4. Статическая зависимость скорости движения от полезной нагрузки

Определить динамические показатели гидромеханического привода: относительное перерегулирование и затухание за период.

Исходные данные

Первая цифра	k , мм	ρ_0 , МПа	P , кН	Вторая цифра	c , Н/мм	λ , кг·с/мм	m , кг
1	0,50	1,0	80	1	1800	1750	5
2	0,25	1,5	100	2	5000	2000	10
3	0,08	2,0	120	3	2500	1250	15
4	0,12	2,5	140	4	2000	1360	20
5	0,35	1,0	160	5	3250	2500	25
6	0,45	1,5	180	6	1250	1500	30
7	0,30	3,0	200	7	4500	1800	35
8	0,20	3,5	80	8	5250	1450	40
9	0,40	4,0	150	9	3500	1300	45
0	0,14	4,5	170	0	4000	1600	20

Содержание отчета. В отчете представить структурную схему исследуемой системы с исходными данными, таблицы экспериментальных данных, графики статических характеристик, динамические показатели качества переходной характеристики гидромеханического привода.

Лабораторная работа № 5

ХАРАКТЕРИСТИКИ САУ ПРОДОЛЬНОЙ ПОДАЧЕЙ ПРИ ТОЧЕНИИ И ИХ ОПРЕДЕЛЕНИЕ

Цель работы: приобретение практических навыков комплексного исследования систем и объектов автоматического управления.

Теоретическая часть. Наиболее распространены в металлообработке замкнутые САУ, предназначенные для автоматического регулирования процесса резания заранее установленным образом. Такие системы могут применяться как для стабилизации заданных выходных параметров процесса резания, так и для их изменения в цикле обработки по определенному алгоритму. Наиболее целесообразно использование таких систем на заключительных (финишных) операциях технологического процесса.

При механической обработке резанием точность обработки в основном определяется упругими деформациями технологической системы, которые, в свою очередь, зависят от силы резания. Поэтому система автоматической стабилизации силы резания на заранее заданном уровне или ее программного регулирования по заданному закону позволяет повысить точность обработки и значительно улучшить качество поверхности деталей.

САУ стабилизации силы резания при точении (рис. 5.1) смонтирована на токарном станке и состоит из привода подачи и измерительного устройства. Измерительная цепь реализована с помощью динамометрического преобразователя ДП, который через усилитель $У$ обеспечивает сигнал обратной связи U_{OC} , пропорциональный составляющей P_z силы резания. Привод подачи состоит из усилителя-преобразователя УП, двигателя постоянного тока Д и редуктора Р.

На вход системы к сравнивающему устройству поступает сигнал, который соответствует заданному значению силы резания в определенном масштабе. На второй вход сравниваю-

щего устройства поступает сигнал U_{OC} , вырабатываемый динамометрическим преобразователем ДП и усилителем У. Таким образом, напряжение U_{OC} пропорционально реальному значению силы резания. Погрешность $\delta U = U_3 - U_{OC}$ поступает на вход усилителя-преобразователя УП, который вырабатывает напряжение U_D питания двигателя Д. Через редуктор Р определяется величина продольной подачи такой, чтобы свети ее к минимуму.

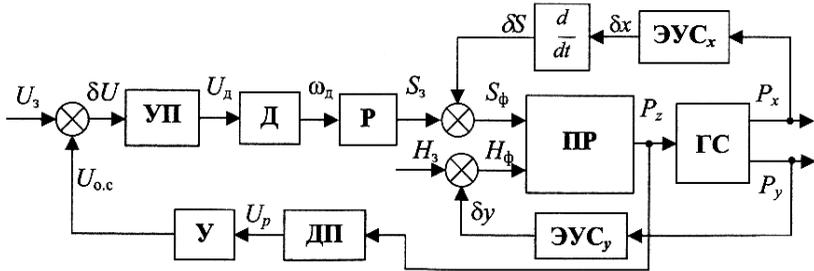


Рис. 5.1. Функциональная схема САУ стабилизации силы резания при точении

Как управляемый объект в САУ входит процесс резания ПР, который происходит в замкнутой технологической обрабатывающей системе.

Математическая модель САУ состоит из математических моделей элементов, составляющих систему. Усилитель-преобразователь описывается дифференциальным уравнением 1-го порядка

$$T_{У.П} \frac{dU_D}{dt} + U_D = k_{У.П} \delta U, \quad (5.1)$$

но его характеристика - нелинейная типа «насыщения» (рис. 5.2):

$$\begin{cases} U_D = k_{У.П} \delta U, & \text{если } \delta U < \delta U_0; \\ U_D = U_{max}, & \text{если } \delta U \geq \delta U_0; \end{cases}$$

где $k_{У.П}$, $T_{У.П}$ - соответственно коэффициент усиления и постоянная времени усилителя-преобразователя; U_{max} - напряжение насыщения.

Двигатель постоянного тока описывается дифференциальным уравнением 2-го порядка:

$$T_e T_M \frac{d^2 \omega_D}{dt^2} + T_M \frac{d\omega_D}{dt} + \omega_D = k_D U_D, \quad (5.2)$$

где k_D , T_e , T_M - коэффициент передачи, постоянные времени (электромагнитная и механическая) двигателя.

Редуктор, тензометрический динамометр и электронный усилитель описываются линейными уравнениями, которые соответствуют безынерционным звеньям с коэффициентами передачи k_P , k_{DM} , k_U соответственно.

Эквивалентные упругие системы (ЭУС) по соответствующим осям координат могут быть представлены дифференциальными уравнениями 2-го порядка как для одномассовых систем:

$$\begin{cases} P_x = m \frac{d^2 \delta x}{dt^2} + \lambda \frac{d\delta x}{dt} + c_x \delta x; \\ P_y = m \frac{d^2 \delta y}{dt^2} + \lambda \frac{d\delta y}{dt} + c_y \delta y; \end{cases} \quad (5.3)$$

где m - масса суппорта; λ - коэффициент вязкого трения (сила трения пропорциональна скорости); c_x , c_y - жесткости по соответствующей координате.

Процесс резания ПР может быть представлен уравнением, связывающим фактические величины подачи S_ϕ и глубины t_ϕ резания с составляющей P_Z силы резания:

$$P_Z = C_P t_\phi^{x_P} S_\phi^{y_P} v^{n_P}, \quad (5.4)$$

где C_P , x_P , y_P , n_P - соответственно эмпирические коэффициент и показатели степени, v - скорость резания.

Блок ГС выполняет операции в соответствии с геометрическими соотношениями между составляющими силы резания:

$$P_y = \sqrt{\frac{(0,6P_Z)^2}{1+tg^2(\varphi+\eta)}}; \quad P_x = P_y tg(\varphi + \eta) \quad (5.5)$$

где φ - главный угол в плане резца, η - угол схода стружки.

С учетом приведенных выше уравнений (5.1)-(5.5) и связей функциональной схемы по рис. 5.1, математическую модель всей САУ надо дополнить следующими зависимостями:

$$\begin{cases} \delta U = U_3 - U_{0.c}; \\ S_3 = \omega_d k_P; \\ S_\Phi = S_3 - \frac{d\delta x}{dt} \\ H_\Phi = H_3 - \delta y \\ U_{0.c} = \delta y k_{d.M} k_y \end{cases} \quad (5.6)$$

Таким образом, стабилизация силы резания на требуемом уровне, который в определенном масштабе отвечает заданному напряжению U_3 на входе САУ, происходит за счет управления продольной подачей. При точении детали, припуск которой изменяется, регулирование подачи должно происходить так, чтобы сила резания оставалась постоянной на всей длине обработки. Качество работы САУ целиком зависит от ее параметров, а также от параметров **технологической обрабатывающей системы** (ТОС), где именно и реализуется процесс точения. При проектировании системы важнейшей задачей является правильный выбор ее параметров, а при эксплуатации - оценка качества в зависимости от параметров ТОС, которые в данном случае являются возмущениями.

Практическая часть. На рис. 5.2, а представлен интерфейс прикладной программы «САУ стабилизации силы резания» в конце моделирования процесса стабилизации силы резания при точении специально подготовленной детали с неравномерным припуском, которую можно увидеть на экране в начале моделирования (рис. 5.2, б).

Основным элементом программы служит представленная выше нелинейная математическая модель, а инструкции и пояснения для работы с программой содержатся в самой программе и появляются на экране монитора при нажатии кнопки Help в поле главного интерфейса. Процесс резания отвечает следующим параметрам: коэффициент и показатели степени силовой зависимости $C_P = 3000$, $x_P = 0,9$, $y_P = 0,75$, $n = -0,1$.

Полученные характеристики изменения продольной подачи и составляющей P_Z силы резания позволяют найти и оце-

нить все необходимые параметры качества: точность регулирования, быстродействие, склонность к колебаниям и т.п.

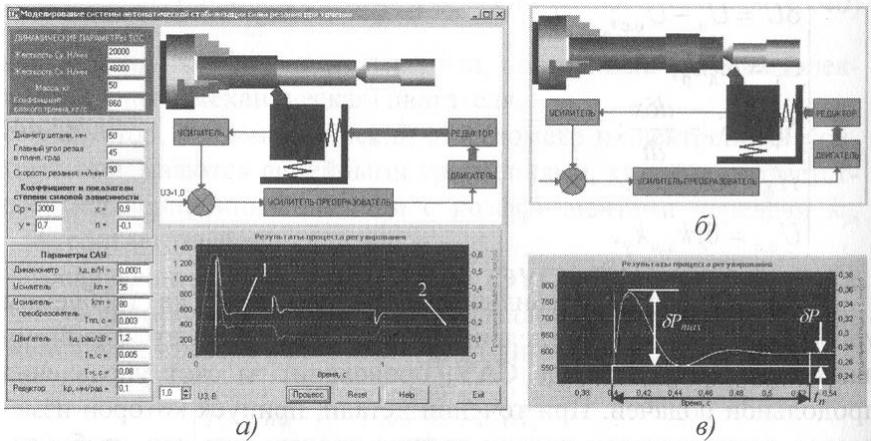


Рис. 5.2. Моделирование САУ стабилизации силы резания при точении: а – главный интерфейс; б – начальное положение; в – оценка качества

На осциллограмме интерфейса (см. рис. 5.2, а) зафиксирован процесс регулирования (*линия 1* - составляющая P_z силы резания, *линия 2* — продольная подача S). Поскольку процесс начинается с момента подведения резца к заготовке, то здесь подача достигает своей максимально допустимой по характеристикам привода величины. Далее происходит автоматическое регулирование с целью стабилизации силы резания: при увеличении силы подача уменьшается, при уменьшении - увеличивается. Анализ процесса регулирования можно провести по увеличенным фрагментам осциллограммы (рис. 5.2, в). Стабилизация выполняется по переходной характеристике с параметрами: время t_n переходного процесса, максимальная величина P_{max} составляющей силы резания с некоторой погрешностью δP . По этим параметрам оценивают качество САУ.

Задание.

1. По исходным данным, в соответствии с вариантом (таблица), провести моделирование с целью определения качества переходной характеристики САУ по комплексному пока-

зателю и точности по погрешности δP от следующих параметров САУ: коэффициента передачи редуктора; жесткости c_X упругой ТОС; коэффициента передачи усилителя обратной связи.

Примечания: диапазон изменения жесткости (в Н/мм) $18000 < c_X < 50000$; диапазон варьирования коэффициента усилителя обратной связи $5 < k_U < 55$; диапазон изменения коэффициента передачи редуктора (в мм/рад) $0,2 < k_{RED} < 0,05$.

Исходные данные

Первая цифра	Диаметр детали D мм	Жесткость ТОС c_U , Н/мм	Масса M, кг	Коэффициент вязкого трения λ , кг·с/мм	Скорость резания v , м/мин	Главный угол φ резца в плане,	Коэффициент передачи динамометра, В/Н
1	200	30000	100	1200	200	30	0,001
2	180	28000	90	1400	180	45	0,002
3	160	26000	70	1000	160	60	0,003
4	140	24000	60	800	140	75	0,004
5	120	22000	50	900	80	80	0,005
6	100	20000	40	600	100	45	0,006
7	80	23000	30	700	110	60	0,007
8	60	25000	55	1100	120	75	0,008
9	40	27000	65	550	90	30	0,002
0	20	2900	85	750	130	45	0,004
Вторая цифра	Тиристорный преобразователь		Двигатель				
	$k_{уп}$		$k_{дв}$	$Tя$, с	T_M , с		
1	20		0,8	0,003	0,01		
2	30		0,9	0,005	0,02		
3	40		1,0	0,007	0,03		
4	50		1,1	0,010	0,04		
5	60		1,2	0,008	0,05		
6	70		1,3	0,009	0,01		
7	80		0,7	0,006	0,02		
8	90		0,6	0,004	0,03		
9	100		1,5	0,003	0,04		
0	110		1,8	0,005	0,05		

2. Выбирая шаг изменения заданного параметра, провести эксперименты на всем диапазоне его изменения, опреде-

лить необходимые (см. выше) динамические характеристики и записать результаты в соответствующие таблицы.

3. Построить графики экспериментальных зависимостей комплексного показателя качества погрешности от указанных выше параметров САУ. Определить динамические показатели САУ: относительное перерегулирование и затухание за период.

Внимание! Поскольку исходные данные задаются случайно, не исключается ситуация, когда САУ оказывается неустойчивой, т.е. совсем непригодной к функционированию! Сообщение об этом появляется на экране монитора во время моделирования.

Рекомендации для решения такой проблемы: изменять параметр, в функции которого анализируется динамическое качество САУ в диапазоне, указанном в задании; если в результате выполнения п.1 не удастся обеспечить постоянство САУ, уменьшать коэффициент передачи прямого канала САУ за счет уменьшения коэффициента усиления транзисторного (тиристорного) преобразователя. Полученный таким образом новый коэффициент занести в исходные данные с соответствующим комментарием.

Содержание отчета. В отчете представить структурную схему исследуемой САУ с исходными данными, копию интерфейса при моделировании, таблицы экспериментальных данных, графики соответствующих зависимостей. Дать выводы.

Лабораторная работа № 6

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРОПОРЦИОНАЛЬНО-ИНТЕГРАЛЬНОГО РЕГУЛЯТОРА НА КАЧЕСТВО САУ

Цель работы: приобретение практических навыков определения параметров пропорционально-интегрального (ПИ) регулятора.

Теоретическая часть. Исследуются две САУ: 1) исходная система с астатизмом первого порядка (рис. 6.1); 2) преобразованная (с ПИ-регулятором) - система с астатизмом второго порядка (рис. 6.2).

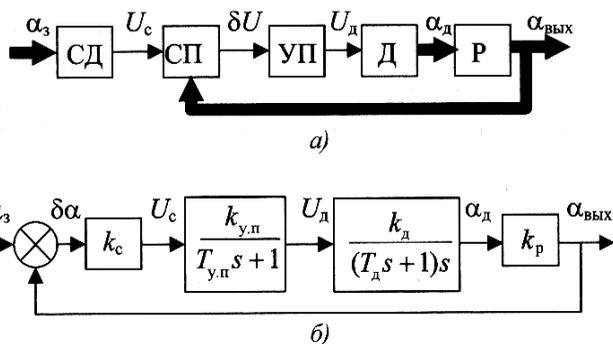


Рис. 6.1. Функциональная (а) и структурная (б) схемы САУ манипулятора

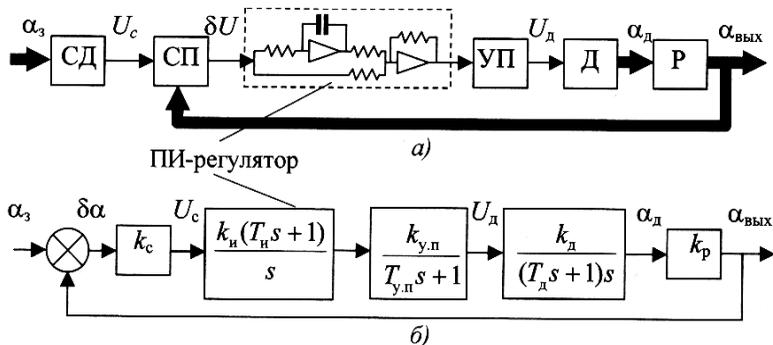


Рис. 6.2. Функциональная (а) и структурная (б) схемы преобразованной САУ манипулятора с ПИ-регулятором

Для оценки точности астатических систем 2-го порядка используется управляющее воздействие в виде сигнала с постоянным ускорением. При таком режиме работы астатическая система 2-го порядка имеет погрешность, по величине которой можно проводить оценку качества САУ и процесса регулирования. Установившаяся погрешность астатической САУ 1-го порядка в этом случае будет стремиться к бесконечности.

Практическая часть. На рис. 6.3 представлен интерфейс прикладной программы «ПИ регулятор», с помощью которой выполняются экспериментальные исследования. Инструкции и пояснения для работы с программой содержатся в самой программе и появляются на экране монитора при нажатии кнопки Help.

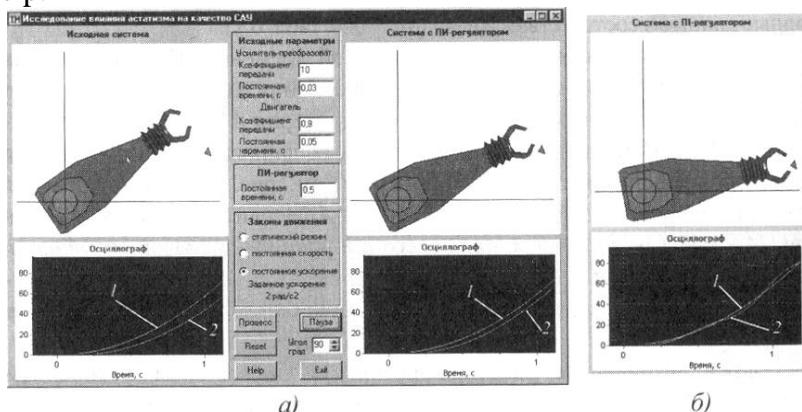


Рис. 6.3. Исследование влияния постоянной времени ПИ-регулятора на точность САУ

После активизации прикладной программы «САУ с ПИ-регулятором», на главном интерфейсе задаются исходные данные в соответствии с вариантом (см. табл. 6.2). При исследовании влияния постоянной времени ПИ-регулятора на качество регулирования установить статический режим и провести серию экспериментов для оценки комплексного критерия A качества. Измерение экспериментальных данных, необходимых для расчетов, проводится по осциллограммам (см. рис. 6.4). При этом для исходной системы комплексный критерий A

рассчитывается один раз, а для САУ с ПИ-регулятором - для всего выбранного диапазона изменения постоянной времени T_{II} . Диапазон изменения постоянной T_{II} времени определяется от значения, при котором САУ становится неустойчивой в сторону увеличения. Экспериментальные данные заносят в табл. 6.1.

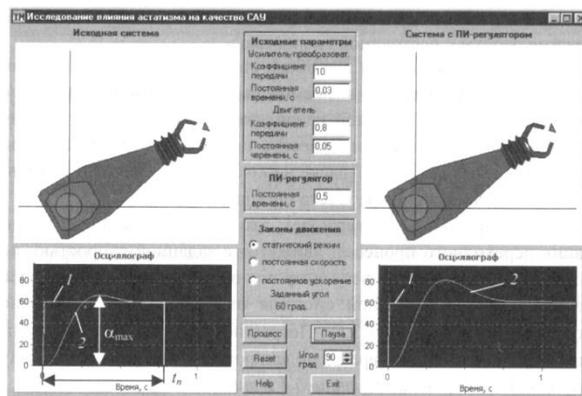


Рис. 6.4. Влияние повышения астатизма на быстродействие

Затем выбирается закон движения с постоянным ускорением (2 рад/с^2). На рис. 6.3 на изображении осциллографов *линией 1* обозначен закон движения, который задается, а *линией 2* - фактический закон движения, воспроизводимый рабочим органом. При выполнении экспериментов определяется зависимость установившейся погрешности через 1с после начала переходного процесса от постоянной T_{II} времени ПИ-регулятора. Рекомендуется начинать эксперименты с максимальной постоянной времени ПИ-регулятора, а затем постепенно, согласно выбранному шагу (см. табл. 6.1), уменьшать ее до величины, при которой система теряет устойчивость. На рис. 6.3, *а* представлен интерфейс прикладной программы при моделировании исходной системы (слева) и системы с ПИ-регулятором, который имеет постоянную времени $0,7\text{с}$. Погрешность исходной системы, которая установилась через 1с , равняется $13,4^\circ$, а погрешность системы с ПИ-регулятором - $8,1^\circ$. Кроме того, мо-

делирование позволяет убедиться, что для исходной системы погрешность с течением времени увеличивается, т.е. такая САУ не способна работать в заданном режиме работы.

Таблица 6.1

Экспериментальные и расчетные данные

№	T_n, c	Статический режим			Движение с постоянным ускорением $\delta\alpha, ^\circ$
		$\alpha_{max}, ^\circ$	t_n, c	A	
1	0,8	76,28	2,61	3,32	8,3
2	0,7	77,63	2,34	3,03	8,1
3	0,6	79,40	2,10	2,78	7,2
4	0,5	81,80	1,72	2,34	6,1
5	0,4	85,30	1,40	1,99	5,2
6	0,3	90,70	1,40	2,12	4,0
7	0,2	100,40	2,05	3,43	2,6
8	0,1	123,50	30,0	61,75	2,2
9	0,05	Система неустойчива			

Преобразованная САУ будет поддерживать постоянное значение установившейся погрешности. Графики экспериментальных зависимостей погрешности, которая установилась через 1с, и комплексного критерия качества A от T_n , построенные по изложенной методике (рис. 6.5). Там же, для сравнения, прямой линией, параллельной оси абсцисс, показано значение комплексного критерия для исходной системы.

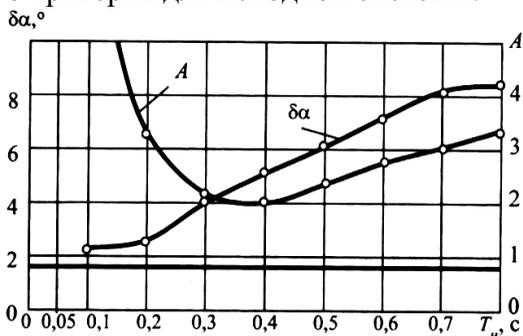


Рис. 6.5. Зависимость установившейся погрешности (через 1с) и критерия A от постоянной времени ПИ-регулятора

Уменьшение постоянной времени ПИ-регулятора положительно влияет на точность системы, но после некоторой величины постоянной времени ПИ-регулятора система теряет устойчивость, т.е. становится неспособной к функционированию. Такой случай зафиксирован на рис. 6.3, б, когда постоянная времени $T_{и} \leq 0,1$ с.

Задание. В соответствии с вариантом (табл. 6.2) провести следующие исследования: установить экспериментально минимальное значение постоянной времени ПИ-регулятора, при которой САУ теряет устойчивость. Определить диапазон и шаг изменения постоянной времени $T_{и}$ и подготовить таблицу экспериментальных и расчетных данных; провести эксперименты при статическом режиме работы и рассчитать комплексный критерий качества САУ с ПИ-регулятором; убедиться в устранении скоростной погрешности для САУ с ПИ-регулятором; провести эксперименты при движении с постоянным ускорением и определить точность регулирования; обработать результаты экспериментальных исследований и построить соответствующие графики.

Таблица 6.2

Исходные данные

Первая цифра	Усилитель-преобразователь		Вторая цифра	Двигатель	
	$k_{у.п}$	$T_{у.п}$		$k_{д}$, рад/с·В	$T_{д}$, с
1	0,012	10	1	0,5	0,08
2	0,025	15	2	1,0	0,09
3	0,030	7	3	1,5	0,11
4	0,003	8	4	2,0	0,14
5	0,006	9	5	0,8	0,10
6	0,004	12	6	0,9	0,12
7	0,005	13	7	1,2	0,07
8	0,056	14	8	1,3	0,06
9	0,037	16	9	0,7	0,05
0	0,045	18	0	0,6	0,15

Содержание отчета. В отчете представить структурные схемы исходной САУ и системы с ПИ-регулятором, исходные данные, копию интерфейса для какого-либо режима работы, таблицу экспериментальных и расчетных данных; графики экспериментальных зависимостей. Дать выводы.

Лабораторная работа № 7

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ПЕРЕДАЧИ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ НА СТАТИЧЕСКИЕ САУ

Цель работы: приобретение практических навыков расчета значения коэффициента передачи обратной связи для статических САУ.

Теоретическая часть. Исследуется система автоматической стабилизации скорости вращения нагрузки, функциональная схема которой представлена на рис. 7.1.

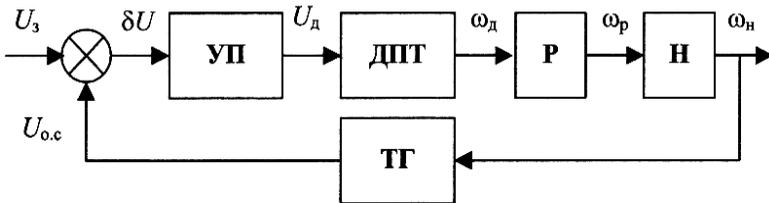


Рис. 7.1. Функциональная схема САУ

Для составления математической модели САУ необходимо установить передаточные функции входящих в нее звеньев. Усилитель-преобразователь (УП) описывается апериодическим звеном 1-го порядка:

$$W_{y.п}(s) = \frac{U_D(s)}{\delta U(s)} = \frac{k_{y.п}}{T_{y.п}s + 1}, \quad (7.1)$$

где δU , U_D - соответственно напряжение погрешности и питания двигателя; $k_{y.п}$, $T_{y.п}$ - коэффициент передачи и постоянная времени усилителя-преобразователя.

Движение двигателя постоянного тока с учетом редуктора и полезной нагрузки с известной степенью идеализации может быть описано следующей системой дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} \frac{d\omega_D}{dt} I_D = M_D \\ \omega_N = k_p \omega_D \\ \frac{d\omega_N}{dt} I_N + \beta \omega_N = \frac{M_D}{k_p} \end{cases}, \quad (7.2)$$

где ω_D , ω_H - угловые скорости двигателя и нагрузки; I_D , I_H - момент инерции двигателя нагрузки соответственно; k_P - коэффициент передачи редуктора; β - коэффициент вязкого трения нагрузки (как правило, определяет полезное сопротивление выполняемой работы); M_D - момент движения, развиваемый двигателем. Учитывая, что в соответствии с электромеханической характеристикой двигателя постоянного тока $M_D = U_D \cdot k_D$, и приводя моменты инерции и полезного сопротивления нагрузки к валу двигателя, получим уравнение:

$$\frac{d\omega_D}{dt} (I_D + I_H k_P^2) + \beta k_P \omega_D = k_D U_D$$

Отсюда, после приведения уравнения к стандартной форме записи, можно найти передаточную функцию двигателя вместе с нагрузкой и редуктором:

$$W_{D1}(s) = \frac{\omega_D(s)}{U_D(s)} = \frac{k_{D1}}{T_{D1}s + 1}, \quad (7.3)$$

где $T_{D1} = \frac{I_D + I_H k_P^2}{\beta k_P}$ - постоянная времени; $k_{D1} = \frac{k_D}{\beta k_P}$ - коэффициент передачи.

Структурная схема САУ стабилизации скорости может быть представлена в виде, показанном на рис. 7.2.

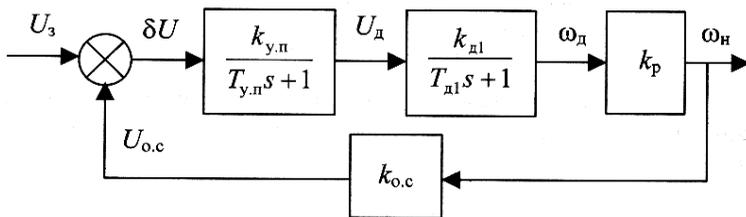


Рис. 7.2. Структурная схема САУ

САУ является статической и будет иметь погрешность при установившейся скорости движения нагрузки, тогда как САУ с астатизмом 1-го порядка такой погрешности не имеет, т.е. обладает значительно большей точностью регулирования. Необходимо выполнить превращение САУ в астатическую 1-го порядка за счет коэффициента передачи обратной связи.

Коэффициент обратной связи, в данном случае коэффициент передачи тахогенератора, должен рассчитываться по формуле:

$$k_{0.c} = 1 - \frac{\beta}{k_{y.\Pi}k_D}. \quad (7.4)$$

В этом случае САУ становится астатической 1-го порядка, статическая погрешность будет равна 0. Математическую модель такой системы можно получить, определив передаточную функцию W_I преобразованной системы:

$$W_I(s) = \frac{k_{y.\Pi}k_{D1}k_P}{T_{y.\Pi}T_{D1}s^2 + (T_{y.\Pi} + T_{D1})s + 1 + k_{y.\Pi}k_{D1}k_P(k_{0.c} - 1)}. \quad (7.5)$$

Тогда передаточная функция всей преобразованной САУ будет иметь вид:

$$W_{САУ}(s) = \frac{W_H(s)}{U_3(s)} = \frac{k_{y.\Pi}k_{D1}k_P}{T_{y.\Pi}T_{D1}s^2 + (T_{y.\Pi} + T_{D1})s + 1 + k_{y.\Pi}k_{D1}k_Pk_{0.c}}. \quad (7.6)$$

Практическая часть. На рис. 7.3 представлен интерфейс прикладной программы «Неединичная ОС», с помощью которой выполняются экспериментальные исследования. Инструкции и пояснения для работы с программой содержатся в самой программе и появляются на экране монитора при нажатии кнопки Help.

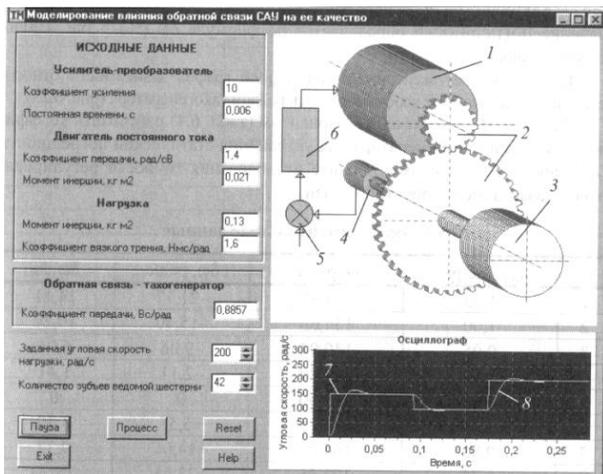


Рис.7.3. Интерфейс прикладной программы

САУ состоит из двигателя постоянного тока 1, одноступенчатого редуктора, состоящего из двух зубчатых колес 2, вала нагрузки 3, на котором установлен тахогенератор 4. Тахогенератор связан со сравнивающим устройством 5, а двигатель - с усилителем-преобразователем 6. Программа функционирует согласно полученной в теоретической части математической модели (7.5).

После активизации прикладной программы «Неединичная ОС», на главном интерфейсе задаются исходные данные в соответствии с вариантом (см. табл. 7.2). По формуле (7.4) рассчитывается коэффициент передачи тахогенератора и устанавливается на интерфейсе программы. Проводятся эксперименты с разным значением заданной скорости вращения нагрузки (статическая погрешность при любом значении скорости отсутствует). На рис. 7.3 результаты такого эксперимента зафиксированы на осциллограмме, где *линией 7* обозначен уровень заданной скорости, *линией 8* - фактическая скорость вращения нагрузки.

Результатов экспериментов с целью установления зависимости погрешности регулирования от коэффициента обратной связи - коэффициента передачи редуктора заносятся в таблицу экспериментальных данных (табл. 7.1). Диапазон и шаг изменения коэффициента выбирается так, чтобы рассчитанное ранее значение находилось в центре таблицы.

Таблица 7.1

Экспериментальные данные

№	$k_{о.с.}, В \cdot с/рад$	$\omega, рад/с$	$\delta\omega, рад/с$	$\delta\omega, \%$
1	1,05	128,83	-21,17	14,11
2	1,00	134,60	-15,40	10,27
3	0,95	140,94	-9,06	6,04
4	0,90	147,89	-2,11	1,41
5	0,8857	150,00	0	0
6	0,85	155,55	+5,55	3,70
7	0,80	164,06	+14,06	9,37
8	0,75	173,55	+23,55	15,70
9	0,70	184,20	+34,20	22,80

В качестве примера предлагаемый эксперимент был проведен для системы с исходными данными, представленными на интерфейсе (см. рис. 7.3). Заданный уровень угловой скорости нагрузки $\omega_3 = 150$ рад/с. Расчетное значение коэффициента передачи тахогенератора составляет 0,8857, а результаты экспериментов записаны в табл. 7.1. Относительное значение погрешности определяется по формуле $\delta\omega (\%) = \delta\omega \cdot 100/\omega_3$ без учета знака.

По результатам экспериментов построен график зависимости относительной погрешности от коэффициента передачи тахогенератора (рис. 7.4).

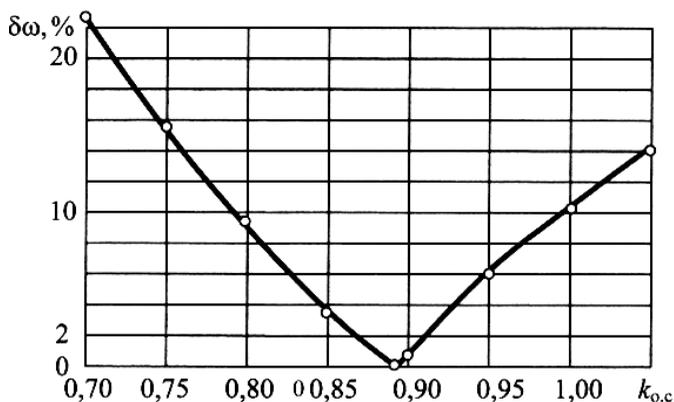


Рис. 7.4. График экспериментальной зависимости

Задание. В соответствии с вариантом (табл. 7.2) рассчитать коэффициент передачи тахогенератора для устранения статической погрешности САУ, провести экспериментальные исследования точности регулирования от коэффициента обратной связи.

Содержание отчета. В отчете представить: структурную схему САУ; исходные данные (согласно варианту), расчет коэффициента передачи тахогенератора, который обеспечивает превращение САУ в астатическую 1-го порядка; копию интерфейса для регулирования с расчетным значением коэффициента

циента передачи тахогенератора; таблицу экспериментальных данных; график экспериментальной зависимости. Дать выводы.

Таблица 7.2

Исходные данные

Первая цифра	Усилитель-преобразователь		Двигатель	
	$k_{уп}$	$T_{уп}, с$	$k_d, \text{рад}/(с \cdot В)$	$I_d, \text{кг} \cdot \text{м}^2$
1	12	0,005	П	0,025
2	14	0,008	0,9	0,030
3	16	0,009	0,8	0,035
4	8	0,003	0,7	0,040
5	6	0,010	1,2	0,045
6	18	0,012	1,4	0,020
7	20	0,007	1,0	0,050
8	22	0,004	0,6	0,055
9	24	0,006	0,5	0,060
0	26	0,011	0,4	0,065
Вторая цифра	Нагрузка		Число зубьев шестерни	Заданная скорость $\omega_H, \text{рад}/с$
	$I_H, \text{кг} \cdot \text{м}^2$	$\beta, \text{Н} \cdot \text{м} \cdot \text{с}/\text{рад}$		
1	2	3	4	5
1	0,15	1,40	42	80
1	2	3	4	5
2	0,18	1,65	46	100
3	0,20	1,25	38	120
4	0,23	0,95	14	190
5	0,30	1,80	18	150
6	0,45	2,00	36	90
7	0,50	2,15	34	130
8	0,35	2,45	32	160
9	0,55	2,55	30	180
0	0,60	1,70	28	200

Лабораторная работа № 8

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ГИБКОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ НА СКОРОСТЬ РАБОТЫ САУ

Цель работы: приобретение практических навыков по применению гибких обратных связей для повышения быстродействия и качества регулирования САУ.

Теоретическая часть. Исследуется САУ углом поворота рабочего органа робота-манипулятора, функциональная схема, которой представлена на рис. 8.1. САУ состоит из усилителя-преобразователя (УП), двигателя постоянного тока (ДПТ), редуктора (Р), рабочего органа робота (РО) и датчика угла (ДУ). САУ является замкнутой и выполняет регулирование угла φ_H в соответствии с заданным сигналом U_3 .

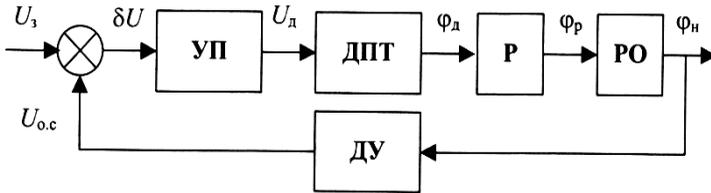


Рис. 8.1. Функциональная схема исходной САУ

Для составления математической модели САУ необходимо установить передаточные функции входящих в нее звеньев. Усилитель-преобразователь (УП) описывается апериодическим звеном 1-го порядка:

$$W_{у.п}(s) = \frac{U_д(s)}{\delta U(s)} = \frac{k_{у.п}}{T_{у.п}s + 1}, \quad (8.1)$$

где δU , $U_д$ — погрешность напряжения и напряжение питания двигателя; $k_{у.п}$, $T_{у.п}$ — коэффициент передачи и постоянная времени усилителя-преобразователя.

Для получения передаточной функции двигателя целесообразно воспользоваться тем же приемом, что и в теоретической части лабораторной работы 7, объединив его уравнение движения с уравнением движения нагрузки — руки робота. Получаем:

$$W_{Д1}(s) = \frac{\omega_{Д}(s)}{U_{Д}(s)} = \frac{k_{Д1}}{T_{Д1}s+1}, \quad (8.2)$$

где $T_{Д1} = \frac{I_{Д}+I_{Н}k_{Р}^2}{\beta k_{Р}}$ - постоянная времени, $k_{Д1} = \frac{k_{Д}}{\beta k_{Р}}$ - коэффициент передачи, $I_{Д}$, $I_{Н}$ - момент инерции двигателя и нагрузки (руки робота) соответственно, $k_{РЕД}$ - коэффициент передачи редуктора, β - коэффициент вязкого трения рабочего органа (руки робота).

При составлении структурной схемы необходимо учесть, что выходной величиной рассматриваемой САУ является угол поворота, а не угловая скорость. Таким образом, принимая коэффициент передачи датчика угла $k_{О.С}$, структурную схему САУ углом поворота руки робота можно представить в виде, показанном на рис. 8.2.

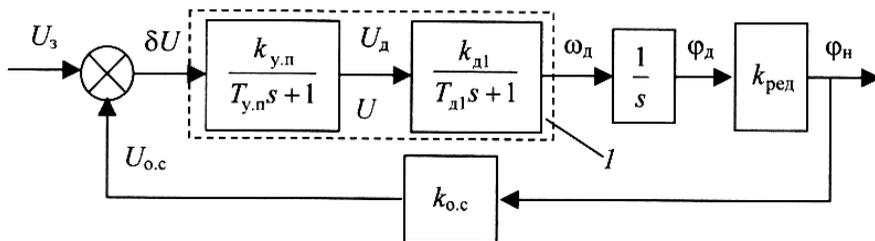


Рис. 8.2. Структурная схема исходной САУ

Как следует из структурной схемы, САУ является системой 3-го порядка и качество регулирования будет существенно зависеть от сочетания ее параметров: общего коэффициента передачи $k_{О} = k_{у.п}k_{д1}k_{ред}k_{о.с}$ и постоянных времени $T_{у.п}$ и $T_{д1}$.

Для улучшения динамических свойств системы целесообразно изменить ее структуру (рис. 8.3), введя гибкую обратную связь за счет использования тахогенератора, который замыкает 1-ю группу звеньев, обведенных штриховой линией на рис. 8.2.

Передаточная функция 1-й группы имеет вид:

$$W_1(s) = \frac{k_{у.п}k_{д1}}{T_{у.п}T_{д1}s^2 + (T_{у.п} + T_{д1})s + 1}. \quad (8.3)$$

Передаточная функция группы звеньев (обведены штриховой линией) преобразованной системы, которые заменяют группу звеньев I в исходной системе, имеет вид:

$$W_1(s) = \frac{\frac{k_{y,\Pi}k_{d1}}{1+k_{y,\Pi}k_{d1}k_{T,\Gamma}}}{\frac{T_{y,\Pi}T_{d1}}{1+k_{y,\Pi}k_{d1}k_{T,\Gamma}}s^2 + \frac{T_{y,\Pi}+T_{d1}}{1+k_{y,\Pi}k_{d1}k_{T,\Gamma}}s + 1}}, \quad (8.4)$$

где $k_{T,\Gamma}$ - коэффициент передачи тахогенератора.

Из сравнения передаточных функций в исходной САУ (8.3) и преобразованной (8.4) видно, что тип звена, которым представляется группа выделенных блоков, не меняется, что отвечает основному свойству гибкой обратной связи, которая функционирует только в переходных режимах. Следовательно, условия устойчивости сохраняются при уменьшении (если $1+k_{y,\Pi}k_{d1}k_{T,\Gamma} > 1$) постоянных времени, что, безусловно, повысит динамические свойства всей САУ. Уменьшение коэффициента передачи компенсируется введенным в систему усилителем с коэффициентом усиления k_y .

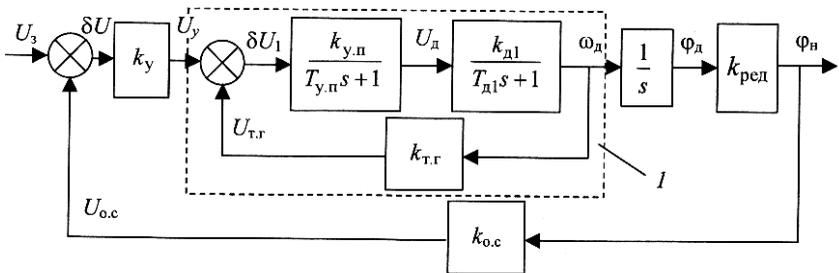


Рис. 8.3. Структурная схема преобразованной САУ

Практическая часть. На рис. 8.4 представлен интерфейс прикладной программы, с помощью которой выполняются экспериментальные исследования. Инструкции и пояснения для работы содержатся в самой программе и появляются на экране монитора при нажатии кнопки Help. Программа позволяет проводить сравнительные исследования исходной (без местной гибкой обратной связи) и преобразованной систем (с местной гибкой обратной связью).

Исходная САУ состоит из двигателя постоянного тока 1, одноступенчатого редуктора, состоящего из двух зубчатых колес 2, вала нагрузки 5, на котором установлена рука 4 робота, и датчика 5 угла поворота. Датчик 5 угла связан со сравнивающим устройством 6, а двигатель - с усилителем-преобразователем 7. Программа функционирует согласно полученной в теоретической части математической модели по структурной схеме на рис. 8.2.

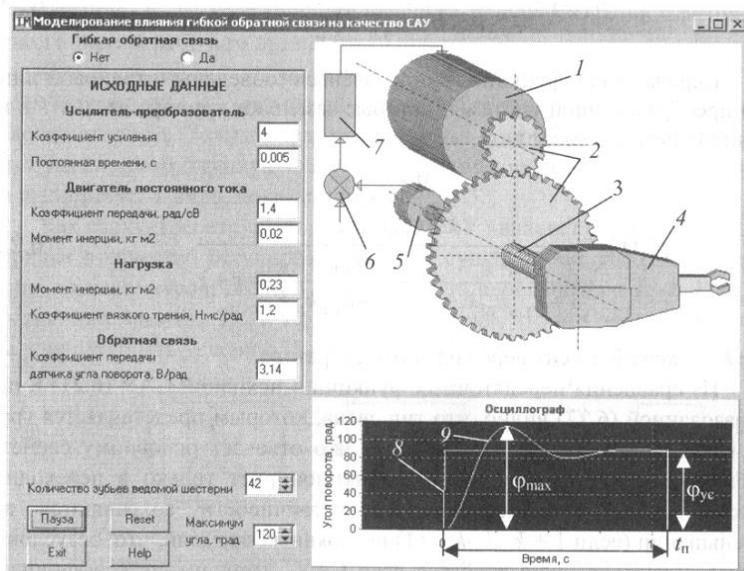


Рис. 8.4. Интерфейс прикладной программы моделирования исходной САУ

После активизации прикладной программы «Гибкая ОС», на главном интерфейсе выбирается структура без гибкой обратной связи, и задаются исходные данные в соответствии с вариантом (см. табл. 8.2). Необходимо провести эксперименты для разных значений заданного углового положения руки робота и убедиться в отсутствии статической погрешности для любого угла. Поскольку исходные данные задаются случайным образом, то САУ может оказаться неустойчивой; в таком случае следует уменьшить коэффициент передачи усилителя-

преобразователя до получения устойчивой работы, записав его значение в отчете. На осциллографе (см. рис. 8.4) зафиксирован процесс регулирования: *линия 8* - заданное угловое положение руки робота, *линия 9* - фактический поворот руки. Качество регулирования оценивают комплексным критерием:

$$A = \frac{\varphi_{max}}{\varphi_{у.с}} t_{п.}$$

Далее переходят к структуре с местной гибкой обратной связью (рис. 8.5). На интерфейсе появляются окна *1* и *2* для введения дополнительных данных, а в графическом окне - тахогенератор *3* и усилитель *4*. Математическая модель, по которой функционирует программа в этом случае, соответствует структурной схеме на рис. 8.3.

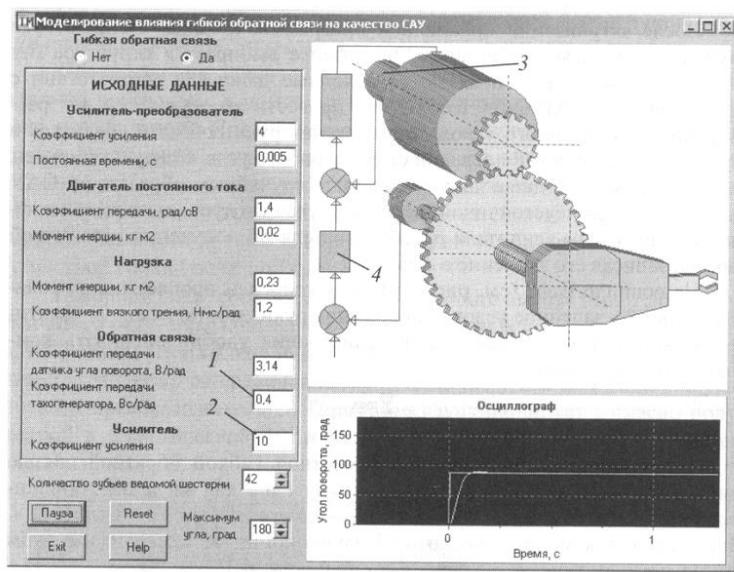


Рис. 8.5. Интерфейс прикладной программы при моделировании преобразованной САУ с гибкой обратной связью

Подготовить таблицу экспериментальных данных для записи результатов экспериментов с целью установить зависимость качества регулирования, оцениваемого комплексным критерием, от коэффициента передачи тахогенератора и коэф-

фициента усиления дополнительного усилителя. Диапазон изменения коэффициентов выбирают таким, чтобы табличное значение находилось в центре таблицы. В качестве примера предлагаемый эксперимент был проведен для системы с исходными данными, представленными на интерфейсе рис. 8.5, а результаты экспериментов записаны в табл. 8.1.

Таблица 8.1

Экспериментальные данные

№	$k_{TГ}$, В·с/рад	k_y			k_y			k_y		
		$\varphi_{max}, ^\circ$	$тп, с$	A	$\varphi_{max}, ^\circ$	$тп, с$	A	$\varphi_{max}, ^\circ$	$тп, с$	A
1	0,3	90	0,22	0,22	100	0,24	0,27	110	0,20	0,24
2	0,4	90	0,35	0,35	92	0,16	0,16	98	0,13	0,14
3	0,5	90	0,44	0,44	90	0,21	0,21	91	0,08	0,08
4	0,6	90	0,56	0,56	90	0,24	0,24	90	0,14	0,14
5	0,7	90	0,66	0,66	90	0,30	0,30	90	0,18	0,18
6	0,8	90	0,74	0,74	90	0,43	0,43	90	0,29	0,29
7	0,9	90	0,82	0,82	90	0,41	0,41	90	0,26	0,26

По результатам экспериментов построен график зависимости комплексного критерия качества регулирования САУ от коэффициентов $k_{TГ}$ передачи тахогенератора при трех значениях коэффициента усиления k_y (рис. 8.6).

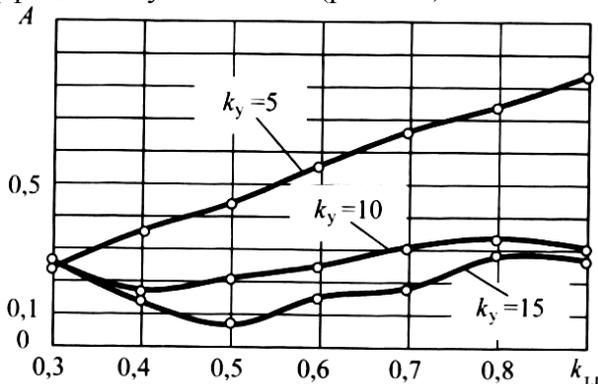


Рис. 8.6. Графики экспериментальных зависимостей

Выполненные экспериментальные исследования убедительно подтверждают преимущества коррекции структуры САУ с помощью местных гибких обратных связей. Комплекс-

ный показатель динамического качества исходной системы был улучшен более чем в 10 раз при $k_{TГ} = 0,5$ и $k_y = 15$.

Задание. В соответствии с вариантом (табл. 8.2) выполнить эксперименты для исходной САУ, рассчитать комплексный критерий динамического качества, составить таблицу экспериментальных данных и провести эксперименты для САУ с местной гибкой обратной связью. Данные записать в таблицу и построить графики экспериментальных зависимостей.

Таблица 8.2

Исходные данные

Первая цифра	Усилитель-преобразователь		Двигатель			
	$k_{y.П}$	$T_{y.П}, c$	$k_D, рад/(c \cdot B)$	$I_D, кг \cdot м^2$		
1	2	0,003	1,2	0,03		
2	4	0,004	1,0	0,02		
3	6	0,005	0,9	0,04		
4	8	0,006	0,6	0,01		
5	10	0,007	1,1	0,03		
6	9	0,008	0,7	0,02		
7	7	0,010	0,8	0,05		
8	5	0,012	0,5	0,06		
9	3	0,009	0,4	0,04		
0	11	0,011	1,3	0,02		
Вторая цифра	Нагрузка		k_p	k_y	$k_{O.C.}, B/рад$	$k_{TГ}, B \cdot c/рад$
	$I_H, кг \cdot м^2$	$\beta, Н \cdot м \cdot c/рад$				
1	0,35	1,5	14/42	10	2,0	0,65
2	0,45	1,4	8/48	15	3,0	0,55
3	0,50	1,3	12/44	20	4,0	0,45
4	0,25	1,2	28/28	25	5,0	0,35
5	0,20	1,1	20/36	12	6,0	0,25
6	0,15	1,6	22/34	14	2,5	0,50
7	0,30	1,7	16/40	16	3,5	0,40
8	0,40	1,8	18/38	18	4,5	0,30
9	0,55	1,9	24/32	22	5,5	0,20
0	0,60	2,0	26/30	28	6,5	0,15

Содержание отчета. В отчете представить структурные схемы исходной и преобразованной САУ, исходные данные (согласно варианту), копии интерфейса с записью процесса регулирования для исходной и преобразованной САУ, таблицу экспериментальных данных; графики экспериментальных зависимостей. Дать выводы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Адаптивное управление станками / под ред. Б.С. Балакшина. М.: Машиностроение, 1973. 688 с.
2. Бесекерский В.А. Теория систем автоматического регулирования / В.А. Бесекерский, Е.П. Попов. М.: Наука, 1975. 768 с.
3. Иващенко Н.Н. Автоматическое регулирование. Теория и элементы систем / Н.Н. Иващенко. М.: Машиностроение, 1978. 736 с.
4. Левин А.И. Математическое моделирование в исследованиях и проектировании станков / А.И. Левин. М.: Машиностроение, 1978. 184 с.
5. Палк К.И. Системы управления механической обработкой на станках / К.И. Палк. Л.: Машиностроение, 1984. 178 с.
6. Петраков Ю.В. Теория автоматического управления технологическими системами: учеб. пособие для студ. вузов / Ю.В. Петраков, О.И. Драчев. М.: Машиностроение, 2009. – 336 с.
7. Солодовников В.В. Основы теории и элементы систем автоматического регулирования: учеб. пособие для вузов / В.В. Солодовников, В.Н. Плотников, А.В. Яковлев. М.: Машиностроение, 1985. 536 с.
8. Адаптивное управление технологическими процессами / Ю.М. Соломенцев, В.Г. Митрофанов, С.П. Протопопов и др. М.: Машиностроение, 1980. 536 с.
9. Тверской М.М. Автоматическое управление режимами обработки деталей на станках / М.М. Тверской. М.: Машиностроение, 1982. 208 с.
10. Теория автоматического управления / под ред. Ю.М. Соломенцева. М.: Высш. шк., 2000. 268 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	1
Лабораторная работа № 1. Исследование процесса регулирования параметров центробежного регулятора	2
Лабораторная работа № 2. Определение передаточных функций переходной и частотных характеристик систем управления	7
Лабораторная работа № 3. Исследование характеристик электромеханического привода	20
Лабораторная работа № 4. Исследование комплексных характеристик гидромеханического привода	25
Лабораторная работа № 5. Характеристики САУ продольной подачи при точении и их определение	30
Лабораторная работа № 6. Исследование влияния пропорционально-интегрального регулятора на качество САУ	37
Лабораторная работа № 7. Оценка влияния коэффициента передачи обратной связи на статические САУ	43
Лабораторная работа № 8. Определение воздействия гибкой обратной связи на скорость работы САУ	48
Библиографический список	55

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению лабораторных работ
по дисциплине «Автоматизированное управление
технологическими процессами и системами» для студентов
направления 15.04.05 «Конструкторско-технологическое
обеспечение машиностроительных производств» (программа
магистерской подготовки «Высокоэффективные технологии
производства современных изделий») и по дисциплине
«Управление системами и процессами» для студентов
направления 15.03.05 «Конструкторско-технологическое
обеспечение машиностроительных производств»
(профиль «Технология машиностроения») всех форм обучения

Составители

Сухочев Геннадий Алексеевич
Смолянникова Евгения Геннадьевна

В авторской редакции

Компьютерный набор Д.В. Силаева

Подписано к изданию 20.03.2015.

Формат 60×84/16. Бумага для множительных аппаратов.

Усл. печ. л. 3,7. Уч.-изд. л. 3,5. Тираж экз. «С»

Зак. №

ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический
университет»

396026 Воронеж, Московский просп., 14