федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Б1.В.ДВ.06.01
(шифр дисциплины)

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

ТЕОРИЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

(наименование дисциплины)

по направлению подготовки (специальности)

15.03.05 КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРОИЗВОДСТВ

(код и наименование направления подготовки, специальности в соответствии с ФГОС ВО)

ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ

(направленность (профиль))

Форма обучения: заочная

Год набора: 2019

Распределение часов дисциплины по семестрам и видам занятий (по учебному плану)

Количество ЗЕТ	**4**						
Часов по РУП	**144**						
Виды контроля на курсах	**Экзамены**	**Зачеты**		**Курсовые проекты**	**Курсовые работы**	**Контрольные работы (для заочной формы обучения)**	
		4					
	№№ курса						
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**Итого**
ЗЕТ по курсам				**4**			**4**
Лекции				**8**			**8**
Лабораторные				**4**			**4**
Практические							
Контактная работа				**12**			**12**
Сам. работа				**128**			**128**
Контроль				**4**			**4**
Итого				**144**			**144**

Тольятти, 2019

Рабочая программа составлена на основании ФГОС ВПО/ФГОС ВО и учебного плана направления подготовки (специальности) 15.03.05 Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств

(код и наименование направления подготовки, специальности в соответствии с ФГОС ВО)

Рецензирование рабочей программы дисциплины:

☐ Отсутствует

☐ Учебная (рабочая) программа одобрена на заседании кафедры ОТМП (протокол заседания № 1 от «31»августа 2018 г.).

☐ Рецензент

_____ _____ _____

(должность, ученое звание, степень) *(подпись)* *(И.О. Фамилия)*

«___»_____20___г.

Срок действия рабочей программы дисциплины до «31» августа 2025 г.

Информация об актуализации рабочей программы дисциплины:

.

Протокол заседания кафедры № _1__от « 30 » августа 2019 г.

Протокол заседания кафедры № _1__от « 31 » августа 2020 г.

Протокол заседания кафедры № _1__от « 31 » августа 2021 г.

Протокол заседания кафедры № _1__от « 31 » августа 2022 г.

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой «Оборудование и технологии машиностроительного производства»

(выпускающей направление (специальность))

«31 » августа 2018 г. _____ Н.Ю. Логинов

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 01EBF9AE0042AFACBF4C85985C8E0BA090
Владелец: Логинов Николай Юрьевич
Действителен: с 03.11.2022 до 03.11.2023

АННОТАЦИЯ
дисциплины (учебного курса)
Б1.В.ДВ.06.01 ТЕОРИЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

(шифр и наименование дисциплины (учебного курса))

1. Цель и задачи изучения дисциплины (учебного курса)

Цель – освоение общих принципов и средств, необходимых для управления динамическими системами различной физической природы применительно к производственным и технологическим процессам.

Задачи:

1. Изучение общих принципов и тенденций развития систем управления.
2. Изучение современных технических средств управления.
3. Изучение и освоение методов разработки математических моделей отдельных подсистем и их компьютерной программной реализации

2. Место дисциплины (учебного курса) в структуре ОПОП ВО

Данная дисциплина (учебный курс) относится к дисциплинам по выбору учебного плана по ФГОС ВО 15.03.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств».

Дисциплины, учебные курсы, на освоении которых базируется данная дисциплина (учебный курс) – Высшая математика, Системы автоматизированного проектирования, Основы технологии машиностроения, Металлорежущие станки, Основы САПР.

Дисциплины, учебные курсы, для которых необходимы знания, умения, навыки, приобретаемые в результате изучения данной дисциплины (учебного курса) – Автоматизация технологических процессов, Технология машиностроения.

3. Планируемые результаты обучения по дисциплине (учебному курсу), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Формируемые и контролируемые компетенции	Планируемые результаты обучения
способность выполнять работы по диагностике состояния динамики объектов машиностроительных производств с	Знать: - методологические основы функционирования, моделирования и синтеза систем автоматического управления (САУ); - основные методы анализа САУ во временной и частотной областях, способы синтеза САУ; - типовые пакеты прикладных программ анализа

использованием необходимых методов и средств анализа (ПК-12)	динамических систем; - кинематическую структуру и компоновку станков, системы управления ими; - средства для контроля, испытаний, диагностики и адаптивного управления оборудованием.
	Уметь: - выполнять анализ технологических процессов как объектов автоматизации и управления; - составлять структурные схемы, их математические модели как объектов управления; - использовать основные методы построения математических моделей процессов, систем, их элементов и систем управления; - работать с каким-либо из основных типов программных систем, предназначенных для математического и имитационного моделирования Mathcad, Matlab.
	Владеть: - навыками применения элементов анализа этапов жизненного цикла продукции и управления ими; - навыками наладки, настройки, регулировки, обслуживания технических средств и систем управления; - навыками оформления результатов исследований и принятия решений.
способность участвовать в разработке математических и физических моделей процессов и объектов машиностроительных производств (ПК-18)	Знать: - методы и средства геометрического моделирования технических объектов; - тенденции развития компьютерной графики, ее роль и значение в инженерных системах и прикладных программах; - общие требования к автоматизированным системам проектирования; - основы технологического регулирования.
	Уметь: - строить математические модели объектов управления и систем автоматического управления (САУ); - проводить анализ САУ, оценивать статистические и динамические характеристики; - рассчитывать основные качественные показатели САУ, выполнять: анализ ее устойчивости, синтез регулятора; - разрабатывать алгоритмы централизованного контроля координат технологического объекта; - рассчитывать одноконтурные и многоконтурные

	системы автоматического регулирования применительно к конкретному технологическому объекту; - использовать основные технологии передачи информации в среде локальных сетей, сети Internet.
	Владеть: - навыками оформления проектной и конструкторской документации в соответствии с требованиями ЕСКД; - навыками построения систем автоматического управления системами и процессами; навыками анализа технологических процессов как объекта управления и выбора функциональных схем их автоматизации.

Тематическое содержание дисциплины (учебного курса)

Раздел, модуль	**Подраздел, тема**
Основные понятия теории автоматического управления.	Основные понятия и определения. Сущность проблемы автоматического управления
	Основные устройства САР и их классификация по назначению. Классификация автоматического управления. Математическая модель центробежного регулятора скорости двигателя
	Исследование влияния параметров центробежного регулятора скорости на процесс регулирования.
	Характеристики переходного процесса. Частотные характеристики.
	Математические модели. Линеаризация математических моделей. Передаточные функции.
	Определение частотных характеристик по анализу входного и выходного сигнала во времени
	Типовые звенья передаточных функций.
	Экспериментальное исследование характеристик по фигурам Лиссажу.
	Определение переходной частотной характеристики.
Качественный и количественный анализ систем автоматического управления	Функциональные и структурные схемы. Правила преобразования структурных схем.
	Исследование устойчивости САУ по критерию Гурвица.
	Правила преобразования структурных схем.
	Построение годографа системы и логарифмической частотной характеристики.
	Математическая оценка устойчивости. Задачи устойчивости. Запас устойчивости
	Исследование точности САУ в режиме движения по гармоническому закону.
	Определение характеристик электромеханического привода.

	Определение характеристик гидромеханического привода.
Синтез и анализ систем автоматического управления.	Комплексная оценка качества систем и объектов автоматического управления.
	Определение характеристик САУ продольной подачей при точении.
	Электронные конструкционные элементы управления электроприводами
	Обеспечение необходимой точности САУ. Оценка точности САУ.
	Исследование влияния астатизма на качество САУ.
	Основы синтеза систем автоматического управления
	Исследование влияния коэффициента передачи обратной связи на точность САУ.
	Исследование влияния гибкой обратной связи на быстродействие САУ.

Общая трудоемкость дисциплины (учебного курса) – 6 ЗЕТ.

4. Структура и содержание дисциплины (учебного курса)___Теория автоматического управления__

(наименование дисциплины (учебного курса))

Курс изучения____4

Раздел, модуль	Подраздел, тема	Виды учебной работы							Необходимые материально-технические ресурсы	Формы текущего контроля	Рекомендуемая литература (№)
		Аудиторные занятия (в часах)					Самостоятельная работа				
		всего			в т.ч. в интерактивной форме	Формы проведения лекций, лабораторных, практических занятий, методы обучения, реализующие применяемую образовательную технологию	в часах	формы организации самостоятельной работы			
		лекций	лабораторных	практических							
Модуль 1. Основные понятия теории автоматического управления	Тема 1.1. Введение. Общие сведения об автоматическом управлении металлорежущим оборудованием	2				Вебинар на онлайн-площадке, дискуссия в чате вебинара	10	Изучение видеолекции по итогам вебинара, тесты для самоконтроля	компьютер либо планшет либо смартфон	Тест	1, 2, 3
	Задание, проверяемое вручную 1 Исследование влияния параметров центробежного регулятора скорости на процесс регулирования		0,5			Выполнение практических заданий с консультацией преподавателя на форуме и через комментарии в заданиях	10	Самостоятельное выполнение практических заданий, контроль смены IP-адресов, анализ текущей успеваемости при помощи БРС-рейтинга	LMS-система на основе Moodle, компьютер либо планшет либо смартфон	Тест Расчетная работа 1 и 2	1, 2, 3
	Тема 1.2. Математические модели	1				Аудио-/видео- лекции электронного учебника с консультацией преподавателя на форуме	10	Самостоятельное изучение материалов электронного учебника с разделением на лекции и с тестами для самоконтроля по каждой лекции, анализ поведения обучающихся при помощи LRS-системы и Experience API, анализ текущей	LMS-система на основе Moodle, компьютер либо планшет либо смартфон	Тест	1, 2, 3

								успеваемости при помощи БРС-рейтинга			
	Задание, проверяемое вручную 2 Определение частотных характеристик по анализу входного и выходного сигнала во времени		0,5			Выполнение практических заданий с консультацией преподавателя на форуме и через комментарии в заданиях	10	Самостоятельное выполнение практических заданий, контроль смены IP-адресов, анализ текущей успеваемости при помощи БРС-рейтинга	LMS-система на основе Moodle, компьютер либо планшет либо смартфон	Тест Расчетная работа 1 и 2	1, 2, 3
Модуль 2. Качественный и количественный анализ систем автоматического управления	Тема 2.1. Характеристики систем и объектов автоматического управления	2				Вебинар на онлайн-площадке, дискуссия в чате вебинара	10	Изучение видеолекции по итогам вебинара, тесты для самоконтроля	компьютер либо планшет либо смартфон	Тест	1, 2, 3
	Задание, проверяемое вручную 3 Исследование устойчивости САУ по критерию Гурвица Задание, проверяемое вручную 4 Исследование точности САУ в режиме движения по гармоническому закону		1			Выполнение практических заданий с консультацией преподавателя на форуме и через комментарии в заданиях	10	Самостоятельное выполнение практических заданий, контроль смены IP-адресов, анализ текущей успеваемости при помощи БРС-рейтинга	LMS-система на основе Moodle, компьютер либо планшет либо смартфон	Тест Расчетная работа 1 и 2	1, 2, 3
	Тема 2.2. Типовые динамические звенья и их идентификация	1				Аудио-/видео- лекции электронного учебника с консультацией преподавателя на форуме	10	Самостоятельное изучение материалов электронного учебника с разделением на лекции и с тестами для самоконтроля по каждой лекции, анализ поведения обучающихся при	LMS-система на основе Moodle, компьютер либо планшет либо смартфон	Тест	1, 2, 3

								помощи LRS-системы и Experience API, анализ текущей успеваемости при помощи БРС-рейтинга			
	Задание, проверяемое вручную 5 Определение характеристик электромеханического привода Задание, проверяемое вручную 6 Определение характеристик гидромеханического привода		1			Выполнение практических заданий с консультацией преподавателя на форуме и через комментарии в заданиях	10	Самостоятельное выполнение практических заданий, контроль смены IP-адресов, анализ текущей успеваемости при помощи БРС-рейтинга	LMS-система на основе Moodle, компьютер либо планшет либо смартфон	Тест Расчетная работа 3 и 4	1, 2, 3
Модуль 3. Синтез и анализ систем автоматического управления	Тема 3.1. Оценка качества систем и объектов автоматического управления	2				Аудио-/видео- лекции электронного учебника с консультацией преподавателя на форуме	10	Самостоятельное изучение материалов электронного учебника с разделением на лекции и с тестами для самоконтроля по каждой лекции, анализ поведения обучающихся при помощи LRS-системы и Experience API, анализ текущей успеваемости при помощи БРС-рейтинга.	LMS-система на основе Moodle, компьютер либо планшет либо смартфон	Тест	1, 2, 3

	Задание, проверяемое вручную 7 Определение характеристик САУ продольной подачей при точении		0,5			Выполнение практических заданий с консультацией преподавателя на форуме и через комментарии в заданиях	10	Самостоятельное выполнение практических заданий, контроль смены IP-адресов, анализ текущей успеваемости при помощи БРС-рейтинга	LMS-система на основе Moodle, компьютер либо планшет либо смартфон	Тест Расчетная работа 5 и 6	1, 2, 3
	Тема 3.2. Основы синтеза систем	2				Аудио-/видео- лекции электронного учебника с консультацией преподавателя на форуме	10	Самостоятельное изучение материалов электронного учебника с разделением на лекции и с тестами для самоконтроля по каждой лекции, анализ поведения обучающихся при помощи LRS-системы и Experience API, анализ текущей успеваемости при помощи БРС-рейтинга	LMS-система на основе Moodle, компьютер либо планшет либо смартфон	Тест	1, 2, 3
	Задание, проверяемое вручную 8 Исследование астатизма на качество САУ		0,5			Выполнение практических заданий с консультацией преподавателя на форуме и через комментарии в заданиях	18	Самостоятельное выполнение практических заданий, контроль смены IP-адресов, анализ текущей успеваемости при помощи БРС-рейтинга	LMS-система на основе Moodle, компьютер либо планшет либо смартфон	Тест Расчетная работа 7 и 8	1, 2, 3
	Контроль						**9**	Самостоятельное тестирование по банку тестовых заданий не менее 600 вопросов, анализ поведения	LMS-система на основе Moodle, компьютер либо планшет либо смартфон	Итоговый тест	

								тестирующихся при помощи LRS-системы и Experience API, контроль смены IP-адресов, удаленная аутентификация при помощи распознавания лиц, анализ текущей успеваемости при помощи БРС-рейтинга			
Итого:		**8**	**4**			**9**	**128**				
		144									

5. Критерии и нормы текущего контроля и промежуточной аттестации

Формы текущего контроля	Условия допуска	Критерии и нормы оценки
Практическая работа	Выполнение практических работ	«зачтено»: работа выполнена в соответствии с методическими указаниями, оформлена грамотно, студент технически правильно формулирует ответы на рассматриваемые вопросы.
		«не зачтено» работа выполнена с ошибками, студент не имеет представления о рассматриваемых вопросах
Реферат	Написание реферата	«зачтено»: тема реферата полностью раскрыта, оформлена грамотно, студент технически правильно формулирует ответы на рассматриваемые вопросы.
		«не зачтено»: тема реферата не раскрыта.

Форма проведения промежуточной аттестации	Условия допуска	Критерии и нормы оценки	
Зачет	Выполнение практических работ, выполнение реферата	«зачтено»	Полные и правильные ответы на все вопросы. Незначительные ошибки или неуверенность в ответах.
		«не зачтено»	Ответы на вопросы не сформулированы.

6. Критерии и нормы оценки курсовых работ (проектов)

Учебным планом по данной дисциплине курсовых работ (проектов) не предусмотрено.

7. Примерная тематика письменных работ (курсовых, рефератов, контрольных, расчетно-графических и др.)

№ п/п	Темы рефератов
1	Система автоматического управления поперечным суппортом токарного станка с ЧПУ
2	Система автоматического управления продольной подачей при точении
3	Система автоматического управления поперечной подачей при врезном шлифовании
4	Система автоматического управления поворотом рабочего органа промышленного робота
5	Система автоматического регулирования размера детали на бесцентрово-шлифовальном станке
6	Система автоматического дистанционного управления манипулятором
7	Система автоматического управления гидравлическим суппортом токарного станка
8	Система автоматического управления подачей при фрезеровании
9	Система автоматического управления продольной подачей при сверлении
10	Система автоматического управления Копировально-фрезерного станка

8. Вопросы к зачету

№ п/п	Вопросы
1	Основные понятия и определения
2	Содержание понятий: «система управления», «объект управления», «управляющие и возмущающие воздействия», «управляющие координаты»
3	Классификация систем автомеханического управления
4	Принцип разомкнутого управления. Управление по возмущению и отклонению
5	Основные виды алгоритмов функционирования
6	Классификация систем по характеру передачи сигналов
7	Классификация систем по основным видам уравнений динамики процессов управления
8	Математическое описание линейных систем
9	Математическое моделирование элементов САУ
10	Классификация элементов САУ. Статистические и динамические характеристики элементов
11	Линеаризация нелинейных дифференциальных уравнений динамических режимов работы элементов САУ. Стандартная форма записи дифференциальных уравнений
12	Основные свойства преобразования Лапласа
13	Характеристики динамических звеньев САУ
14	Понятие о динамическом звене. Характеристики динамического звена,

	передаточные функции, частотные характеристики (амплитудные и фазовые), логарифмические частотные характеристики, временные характеристики (переходные и весовые)
15	Типовые динамические звенья и их характеристики
16	Структурная схема систематического управления. Основные правила преобразования структурных схем: последовательное соединение звеньев; параллельное соединение звеньев; звено, охваченное обратной связью; перенос сумматора; перенос узла, перестановка узлов и сумматоров
17	Вычисление передаточных функций и частотных характеристик одноконтурной и многоконтурной разомкнутой системы. Передаточные функции и управление замкнутой САУ. Частотные характеристики замкнутой системы
18	Математическое моделирование и составление структурной схемы
19	Устойчивость систем автоматического управления. Понятие устойчивости линеаризованных систем. Необходимое и достаточное условие устойчивости
20	Алгебраические критерии устойчивости Рауса и Гурвица
21	Частотные критерии устойчивости. Принцип аргумента. Критерии устойчивости Михайлова А.В. Построение областей устойчивости. Понятие о Д-разбиении
22	Критерии устойчивости Найквиста. Анализ устойчивости по логарифмическим частотным характеристикам
23	Устойчивость систем с запаздыванием
24	Методы оценки качества регулирования САУ
25	Понятие о качестве процесса управления. Оценка качества систем управления в установившихся режимах. Постоянные ошибки. Астатические системы. Точность при гармоническом воздействии. Установившиеся ошибки при произвольном воздействии, коэффициенты ошибок
26	Оценки качества переходного процесса. Оценки качества процесса при воздействии ступенчатой функции
27	Частотные методы оценки качества регулирования. Оценка качества регулирования по амплитудно-частотной характеристики замкнутой системы; по вещественной частотной характеристике замкнутой системы; с по амплитудно-фазовой характеристике разомкнутой системы; по логарифмическим частотным характеристикам
28	Корневые оценки качества регулирования
29	Синтез САУ по заданным показателям качества процесса управления
30	Повышение точности в установившихся режимах и обеспечение устойчивости и качества управления синтезируемых систем за счет изменения параметров систем и путем введения корректирующих устройств
31	Система автоматического управления продольной подачей при точении
32	Система автоматического управления поперечной подачей при врезном шлифовании
33	Система автоматического управления поворотом рабочего органа промышленного робота
34	Система автоматического регулирования размера детали на бесцентрово-шлифовальном станке
35	Система автоматического дистанционного управления манипулятором
36	Система автоматического управления гидравлическим суппортом токарного станка

37	Система автоматического управления подачей при фрезеровании
38	Система автоматического управления продольной подачей при сверлении
39	Содержание понятий: «система управления», «объект управления», «управляющие и возмущающие воздействия», «управляющие координаты»
40	Классификация систем автомеханического управления
41	Принцип разомкнутого управления. Управление по возмущению и отклонению
42	Основные виды алгоритмов функционирования
43	Классификация систем по характеру передачи сигналов
44	Классификация систем по основным видам уравнений динамики процессов управления
45	Математическое описание линейных систем
46	Математическое моделирование элементов САУ
47	Классификация элементов САУ. Статистические и динамические характеристики элементов
48	Линеаризация нелинейных дифференциальных уравнений динамических режимов работы элементов САУ. Стандартная форма записи дифференциальных уравнений
49	Содержание понятий: «система управления», «объект управления», «управляющие и возмущающие воздействия», «управляющие координаты»
50	Классификация систем автомеханического управления

9. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине

9.1. Паспорт фонда оценочных средств

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Код контролируемой компетенции (или ее части)	Наименование оценочного средства
	Модуль 1. Основные понятия теории автоматического управления.	ПК-12, ПК-18	Протокол выполнения практического задания 1 «Исследование влияния параметров центробежного регулятора скорости на процесс регулирования». Протокол выполнения практического задания 2 «Определение частотных характеристик по анализу входного и

			выходного сигнала во времени».
	Модуль 2. Качественный и количественный анализ систем автоматического управления.	ПК-12, ПК-18	Протокол выполнения практического задания 3 «Исследование устойчивости САУ по критерию Гурвица». Протокол выполнения практического задания 4 «Исследование точности САУ в режиме движения по гармоническому закону». Протокол выполнения практического задания 5 «Определение характеристик электромеханического привода». Протокол выполнения практического задания 6 «Определение характеристик гидромеханического привода».
	Модуль 3. Синтез и анализ систем автоматического управления.	ПК-12, ПК-18	Протокол выполнения практического задания 7 «Определение характеристик САУ продольной подачей при точении». Протокол выполнения практического задания 8 «Исследование астатизма на качество САУ».

9.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы.

9.2.1. Комплект заданий для практических работ.

Практическая работа №1
Исследование влияния параметров центробежного регулятора скорости на процесс регулирования

Цель работы: *Приобретение практических навыков экспериментальной оценки процесса регулирования и устойчивой работы системы автоматического управления.*

Теоретическая часть

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

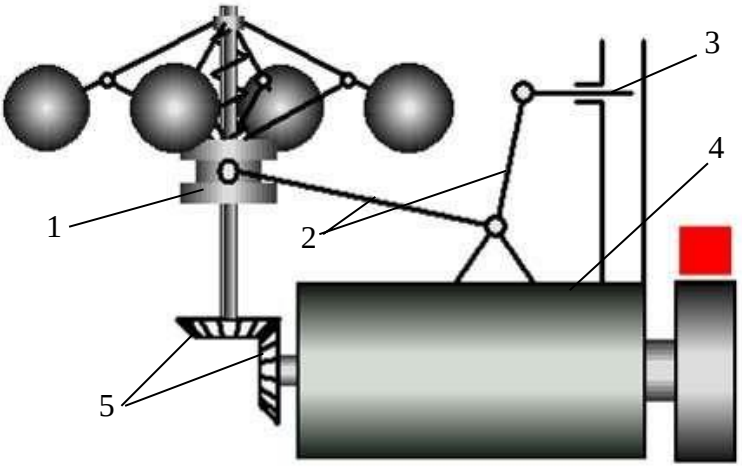


Рис.1.1. Схема САУ скоростью вращения двигателя

При функционировании 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 и 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 смеси в двигатель вызовет увеличение его скорости, равновесие вновь восстановится, но уже на другом уровне. Ясно, что разность скоростей определяет качество регулирования: чем она меньше, тем выше качество САУ. При уменьшении нагрузки САУ работает в обратном порядке.

Для анализа САУ необходимо составить ее математическую модель. Анализ показывает, что в систему входят двигатель, дроссель подачи рабочей смеси, рычажная передача и зубчатая передача.

Движение двигателя при ограничении учетом явлений первого порядка, т.е. его инерционностью, может быть представлено дифференциальным уравнением первого порядка:

$$I_{д}\frac{d\omega}{dt}+\lambda_{д}\omega+M_{н}=M_{д}, \qquad (1.1)$$

где $I_д$ и $\lambda_д$ – момент инерции ротора и коэффициент вязкого трения двигателя, $M_н$ и $M_д$ – момент сопротивления нагрузки и момент двигателя соответственно.

Момент движения зависит от открытия дросселя подачи рабочей смеси:

$$M_{д}=bk_{д}, \qquad (1.2)$$

где b – коэффициент передачи открытия дросселя от перемещения ползуна регулятора через рычажную передачу, $k_д$ – коэффициент пропорциональности между открытием дросселя и моментом двигателя.

Если принять передаточное отношение рычагов и зубчатой передачи равным единице, то, из геометрических соотношений, получим уравнение связи, которое определяет замкнутость САУ:

$$b = 2l(1-Sin\alpha). \qquad (1.3)$$

Полученная математическая модель (1.1)-(1.3) используется в прикладной программе, с помощью которой выполняются требуемые исследования.

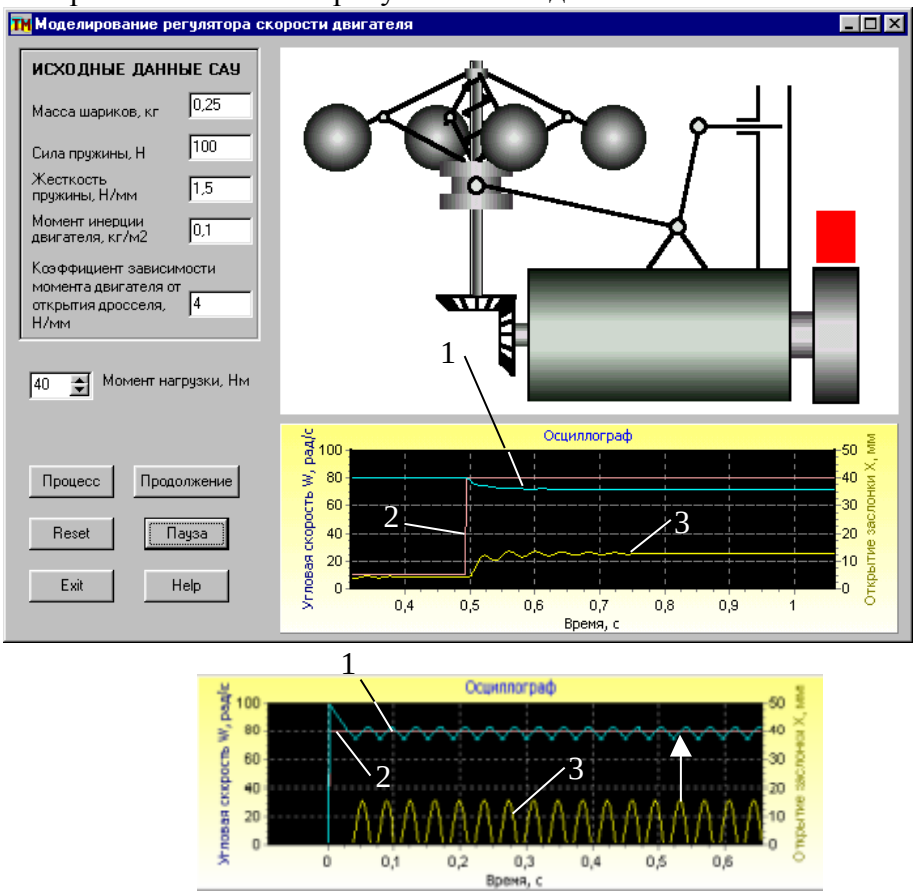


Рис.1.2. Моделирование центробежного регулятора скорости

Практическая часть

Практическая работа выполняется с помощью прикладной программы, интерфейс которой представлен на рис.1.2. Программа «Регулятор_скорости» находится на диске. При нажатии кнопки “Help” появляется дополнительный интерфейс с инструкциями и пояснениями к программе.

В зависимости от варианта задания выбрать диапазон и шаг изменения параметра, в функции которого необходимо проводить исследования. Рекомендуется выбирать диапазон, ориентируясь на максимальное и минимальное значение указанного параметра в таблице вариантов заданий (см. табл. 1.2). В начале работы подготовить таблицу экспериментальных данных (см. табл.1.1). 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) нажать кнопку «Пауза», определить точное значение скорости вращения двигателя и записать в таблицу экспериментальных данных. Затем увеличить момент нагрузки до 25 Нм и нажать кнопку «Продолжение». После выхода САУ на новый уровень установившегося режима работы нажать кнопку «Пауза» и провести измерения нового значения скорости вращения двигателя. Пользуясь осциллограммой зафиксировать также время между подачей скачка нагрузки и стабилизацией процесса регулирования. Стабилизацию оценивать по осциллограмме открытия заслонки дросселя подачи рабочей смеси. Проводить необходимые измерения по осциллограмме процесса регулирования, руководствуясь построениями рис.1.3.

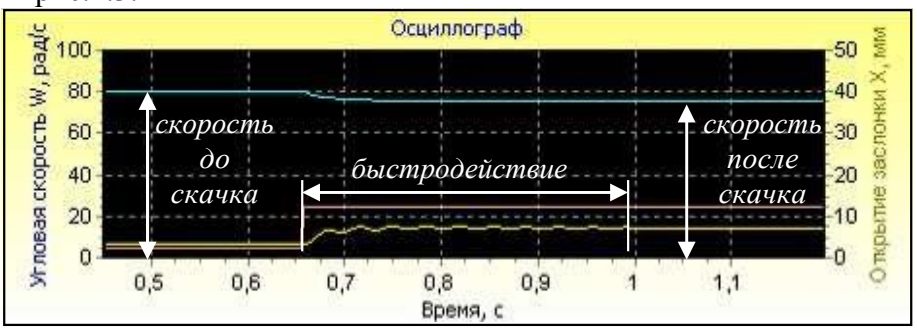


Рис.1.3. Схема измерения характеристик качества процесса регулирования

Данные записать в таблицу. 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 таблице 1.1 представлены экспериментальные данные исследования качества регулирования САУ с некоторыми исходными параметрами в функции жесткости пружины регулятора.

Таблица 1.1. Экспериментальные данные

№ пп	Жесткость пружины, Н/мм	Быстродействие 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
10	5,0	0,16	76,0	66,0	10

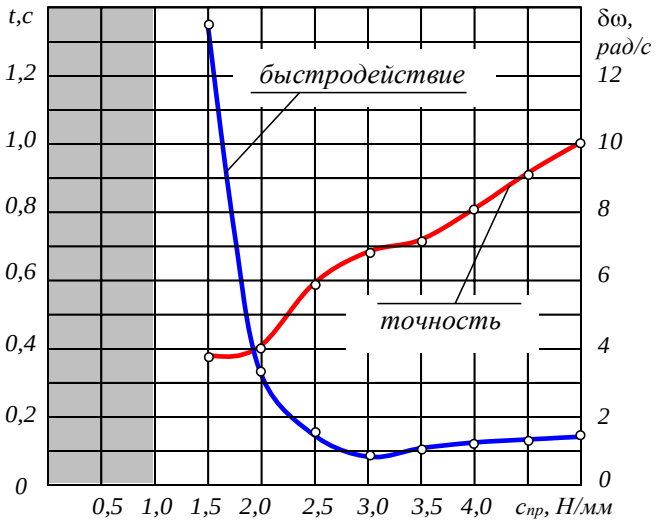


Рис.1.4. Графики, построенные по данным таблицы 1.1

Для построения графиков можно использовать пакет Exell, а для выполнения копии интерфейса программы, которая должна быть представлена в отчете, использовать клавиши Alt - Print Screen и вставить копию в документ Word.

Задание

В соответствии с вариантом (табл.1.2) провести исследование качества регулирования в зависимости от изменяемого параметра и построить графики зависимости быстродействия и точности САУ в функции от изменяемого параметра.

Таблица 1.2. Исходные данные

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

Содержание протокола

В протоколе 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.

Практическая работа №2

Определение частотных характеристик по анализу входного и выходного сигнала во времени

Цель работы: *Приобретение практических навыков экспериментального определения частотных характеристик.*

Теоретическая часть

Исследуемой системой является двухмассовая динамическая система, схема которой изображена на рис 2.1. Система находится под действием кинематического возбуждения – *x*, выходными сигналами являются координаты x_1 и x_2 перемещения масс m_1 и m_2, связанных между собою жестокостями c_1 и c_2 и вязким трением λ_1 и λ_2.

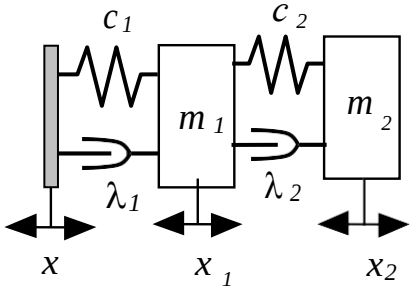


Рис.2.1. Динамическая схема двухмассовой системы

Уравнение движения системы составляется по известным правилам теоретической механики:

$$\begin{cases} m_1\dfrac{d^2x_1}{dt^2}+\lambda_2\left(\dfrac{dx_1}{dt}-\dfrac{dx_2}{dt}\right)+c_2(x_1-x_2)=\lambda_1\left(\dfrac{dx}{dt}-\dfrac{dx_1}{dt}\right)+c_1(x-x_1) \\ m_2\dfrac{d^2x_2}{dt^2}+\lambda_2\left(\dfrac{dx_2}{dt}-\dfrac{dx_1}{dt}\right)+c_2(x_2-x_1)=0 \end{cases}$$

Упрощенная математическая модель:

$$\begin{cases} m_1s^2x_1+(\lambda_1+\lambda_2)sx_1+(c_1+c_2)x_1=(\lambda_1+\lambda_2)sx+(c_1+c_2)x \\ m_2s^2x_2+\lambda_2sx_2+c_2x_2=\lambda_2sx_1+c_2x_1 \end{cases}$$

где $s=d/dt$ – оператор Лапласа.

Для представления математической модели в переменных состояния решим каждое уравнение относительно переменных x_1 и x_2, которые записаны в старших производных соответственно. Преобразованная таким образом математическая модель имеет вид:

$$\begin{cases} x_1=s^{-1}\left[-a_1x_1+a_1x+s^{-1}\left[-a_2x_1+a_2x\right]\right] \\ x_2=s^{-1}\left[-a_3x_2+a_3x_1+s^{-1}\left[-a_4x_2+a_4x\right]\right] \end{cases}$$

где коэффициенты модели: $a_1=(\lambda_2+\lambda_1)/m_1$, $a_2=(c_2+c_1)/m_1$, $a_3=\lambda_2/m_2$, $a_4=c_2/m_2$;

Теперь можно записать математическую модель в переменных состояния, то есть в виде системы дифференциальных уравнений, решенных относительно первых производных:

$$\begin{cases} sy_1=-a_1y_1+a_1x+y_2 \\ sy_2=-a_2y_1+a_2x \\ sy_3=-a_3y_3+a_3y_1+y_4 \\ sy_4=-a_4y_3+a_4x \end{cases}$$

Именно такая модель реализована в прикладной программе, по которой проводятся исследование частотных характеристик.

Практическая часть

На рис.2.2 представлен интерфейс прикладной программы при исследовании частотных характеристик одномассовой системы. Инструкции и пояснения для работы с прикладной программой появляются на дополнительном интерфейсе при нажатии кнопки «Hepl».

Подготовить таблицы экспериментальных и расчетных данных для исследования одно и двухмассовой систем. После активизации программы выбрать режим исследования

одномассовой системы и в соответствующих окнах интерфейса установить данные согласно варианту задания (см. табл.2.2). Нажать кнопку «Процесс», а потом задать первое значение частоты возбуждающего сигнала - система приходит в движение. Выбрать первое значение частоты возбуждающего сигнала, подобрать желаемую скорость перемещения ленты самописца и произвести запись. При этом скорость движения ленты должна выбираться так, чтобы обеспечивалась расшифровка сигналов при их обработке.

После записи требуемого участка нажать кнопку «Стоп» в окне регистрации сигналов. Изменить значение частоты, дождаться окончания переходного процесса и произвести запись следующего участка (кнопка «Пуск» в окне регистрации сигналов). Выполнять подобные манипуляции для каждого запланированного значения частоты возбуждающего сигнала.

Аналогично провести эксперимент и для двухмассовой системы.

Для обработки экспериментальных данных использовать полученные в процессе эксперимента осциллограммы. На рис.2.2 для частоты 300 рад/с показаны необходимые построения для определения одной точки амплитудной и фазовой частотных характеристик. Измерения удобно проводить после копирования экрана (Alt Print Screen) в редакторе Word как размер авто фигуры – соответствующей линии на рисунке.

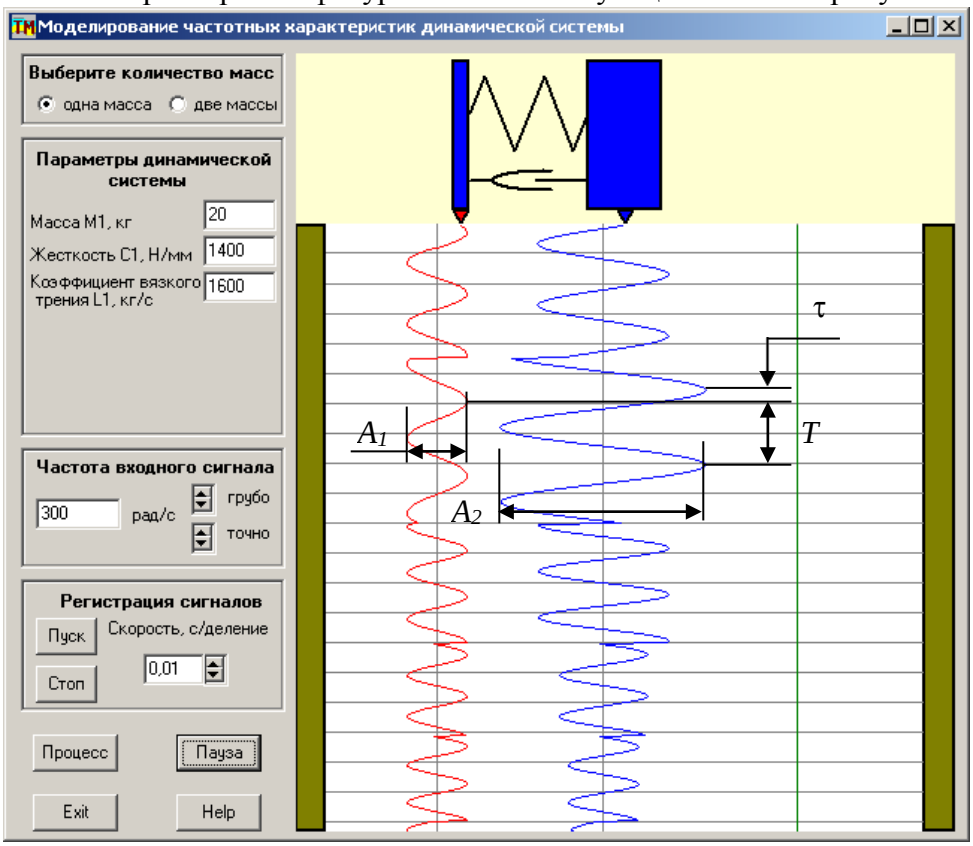


Рис.2.2. Исследование частотных характеристик одномасовой системы

Результаты измерений необходимо записывать в соответствующую таблицу (табл. 2.1).

Таблица 2.1. Экспериментальные и расчетные данные

№	Частота, рад/с	Амплитуда входа	Амплитуда выхода	Отставание	Период	A	φ град
1	30	0,69	0,70	0,0	0,74	1,01	0
2	100	069	0,83	0,0	0,25	1,20	0
3	150	0,69	1,09	0,05	0,35	1,58	-61
4	200	0,69	1,58	0,10	0,59	2,29	-66
5	250	0,69	2,47	0,10	0,44	3,58	-82
6	300	0,69	1,63	0,40	0,74	2,36	-120

7	350	0,69	0,79	0,25	0,64	1,14	-167

Таким образом, зафиксированы входной и выходной сигналы для 7 значений частот. Для каждой величины частоты определяются одна точка амплитудно-частотной и фазово-частотной характеристик по формулам:

$$A = -\frac{A_2}{A_1}; \quad \varphi = -\frac{360^0 \cdot \tau}{T}.$$

Поскольку в формулах присутствует отношение соответствующих величин, то и в таблице всюду для выходных данных размеры представлены в мм, которые определяются по размеру автофигуры на изображении интерфейса в редакторе Word. На рис.2.3 представлена амплитудно-фазовая частотная характеристика с обозначенными на ней экспериментальными точками, построенная по данным таблицы 2.1.

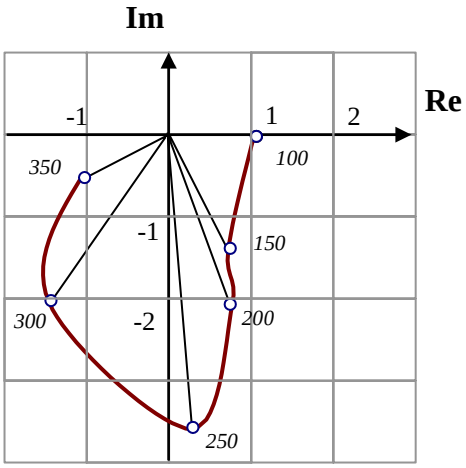


Рис.2. 3. Экспериментальная АФЧХ

Следует заметить, что некоторые отклонения этой характеристики от теоретической обусловленные неточностями определения исходных данных, в особенности относительно фазы.

Аналогично обрабатывают результаты экспериментов и при исследовании двухмассовой системы.

Задание

В соответствии с вариантом (Табл.2.2) провести исследование и построить АФЧХ системы (одно массовой или двух массовой, по выходам x_1 или x_2).

Таблица 2.2. Исходные данные

Первая цифра	m_1, кг	c_1, Н/мм	λ_1, кг/с	Вторая цифра	m_2, кг	c_2, Н/мм	λ_2, кг/с
0	10	1000	900	0	5	800	700
1	15	2000	1100	1	10	900	800
2	20	3000	1600	2	15	1100	900
3	25	4000	1800	3	20	1400	1000
4	30	2000	1300	4	30	1000	800
5	35	3000	1500	5	25	1200	1200
6	40	4000	1700	6	20	2200	1400
7	45	6000	1400	7	15	1800	800
8	50	3000	1600	8	40	1500	2000
9	55	5000	1800	9	35	2000	2200

Содержание протокола

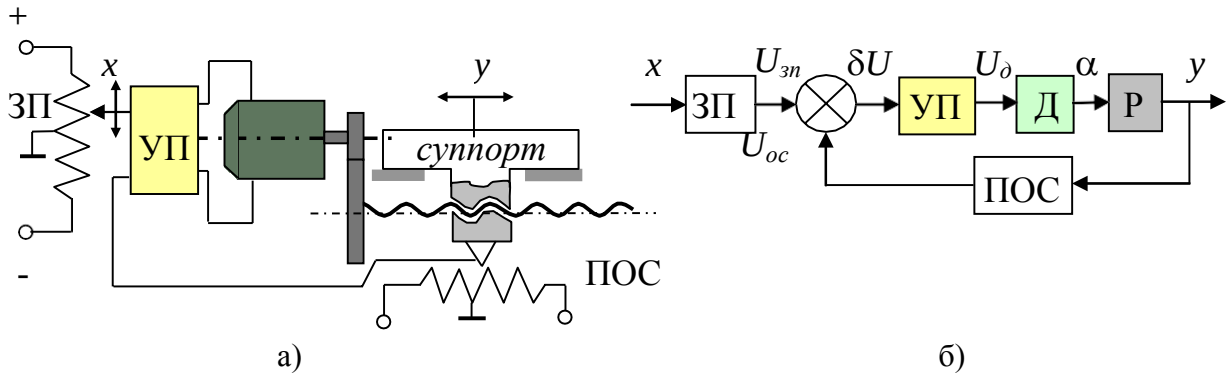
В протоколе представить цель работы, необходимые теоретические сведения, исходные данные в соответствии с вариантом задания, копию интерфейса с записью выполненных

экспериментов и построениями, необходимыми для определения выходных данных; таблицы экспериментальных и расчетных данных; графики экспериментальных АФЧХ систем. Выводы.

Практическая работа №3
Исследование устойчивости САУ по критерию Гурвица

Цель работы: *Приобретение практических навыков оценки устойчивости системы автоматического управления.*

Теоретическая часть
С помощью критерия Гурвица исследовать на устойчивость САУ поводом суппорта металлорежущего станка, схема которого показана на рис. 3.1, а.



а) б)

Рис.3.1. Принципиальная (а) и функциональная (б) схемы привода

Привод состоит из усилителя-преобразователя (ПП), двигателя (Д) постоянного тока, редуктора (Р), задающего потенциометра (ЗП) и потенциометра обратной связи (ПОС). Прежде всего необходимо составить математическую модель повода. Согласно принципу работы, повод представляет собой замкнутую САУ, функциональная схема которой приведена на рис.3.1, б. Пусть выделенные на схеме элементы описываются следующими передаточными функциями:

ЗП: $W_{зп}(s) = \frac{U_{зп}(s)}{X(s)} = k_n$;

ПП: $W_{уп}(s) = \frac{U_д(s)}{\delta U(s)} = \frac{k_y}{T_y s + 1}$;

Д: $W_д(s) = \frac{\alpha(s)}{U_д(s)} = \frac{k_д}{(T_д s + 1)s}$;

Р: $W_p(s) = \frac{Y(s)}{\alpha(s)} = k_p$;

ПОС: $W_{пос}(s) = \frac{U_{ос}(s)}{Y(s)} = k_{ос}$.

Теперь может быть построена структурная схема повода, в которой (при равенстве коэффициентов передачи задающего потенциометра и потенциометра обратной связи) два соответствующих элемента на функциональной схеме заменяются одним элементом с коэффициентом передачи k_n на структурной схеме (рис.3.2).

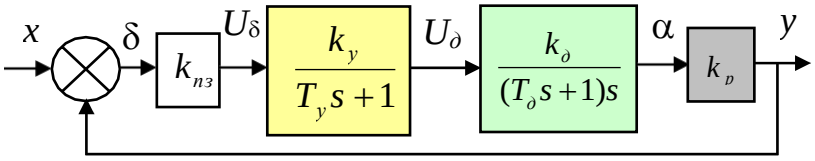


Рис.3.2. Структурная схема привода

Таким образом, передаточная функция замкнутой системы после несложных алгебраических преобразований приобретает вид:

$$W(s) = \frac{k_0}{(T_y s + 1)(T_\partial s + 1)s + k_0},$$

где k_0 – коэффициент передачи системы, равный произведению коэффициентов передачи всех звеньев канала прямого действия. Итак, система имеет характеристическое уравнение 3-го порядка:

$$T_y T_\partial s^3 + (T_y + T_\partial)\, s^2 + s + k_0 = 0.$$

Составим детерминант Гурвица и найдем условия устойчивости.

$$\Gamma = \begin{vmatrix} T_\partial + T_y & k_0 & 0 \\ T_\partial T_y & 1 & 0 \\ 0 & T_\partial + T_y & k_0 \end{vmatrix}.$$

Анализ условий устойчивости по критерию Гурвица показывает, что единственным условием является позитивность второго детерминанта, поскольку $a_0 = T_y T_\partial$, равно как и $\Delta_1 = a_1 = T_y + T_\partial$, всегда больше нуля. Таким образом, для устойчивости повода необходимо, чтобы:

$$\Delta_2 = (T_y + T_\partial) - k_0 T_y T_\partial > 0.$$

После несложных преобразований получаем единое условие устойчивости системы:

$$\frac{1}{T_y} + \frac{1}{T_\partial} > k_0. \qquad (3.1)$$

Выполнение этого условия обязательно, поэтому на практике вариацией, подбором параметров привода стремятся обеспечить (3.1). При этом наиболее удобно изменять параметры k_0 и T_n – общий коэффициент передачи привода и постоянную времени усилителя-преобразователя. В любом случае значения вариаций этих параметров должны лежать в области D, построенной согласно условию (3.1) (рис. 3.3).

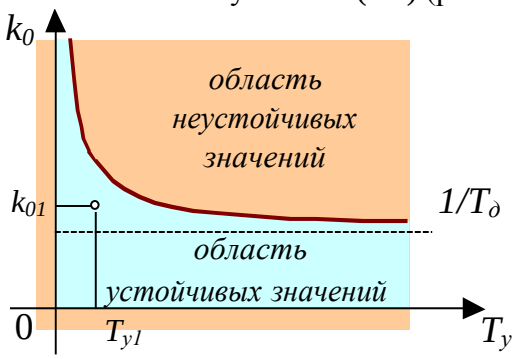


Рис.3.3. Область устойчивых значений

Практическая часть

Для выполнения работы используется прикладная программа, интерфейс которой представлены на рис.3.4. Прикладная программа «Устойчивость_точность_САУ» находится на диске. Инструкции и пояснения для работы с программой содержатся в самой программе и появляются на экране монитора при нажатии кнопки Help. Для выполнения этой практической работы, после активизации программы на главном интерфейсе должен быть выбран режим «Исследование устойчивости».

На изображении осциллографа зафиксирован переходный процесс САУ приводом станка, который отвечает исходным данным, представленным в окнах интерфейса (слева). Входной сигнал ступенчатой формы изображен линией 2, - перемещение суппорта – линией 1 на рис.3.4. Видно, что система является устойчивой и ее динамическое качество может быть оценено по комплексному показателю, который рассчитывается по формуле:

$$A = \frac{y_{\max}}{y_c} t_n, \qquad (3.2)$$

где y_{max} – максимальная величина перемещения суппорта, y_c – установившееся перемещение суппорта после окончания переходного процесса, t_n – время переходного процесса. Определение этих величин по результатам эксперимента показано на рис.3.4.

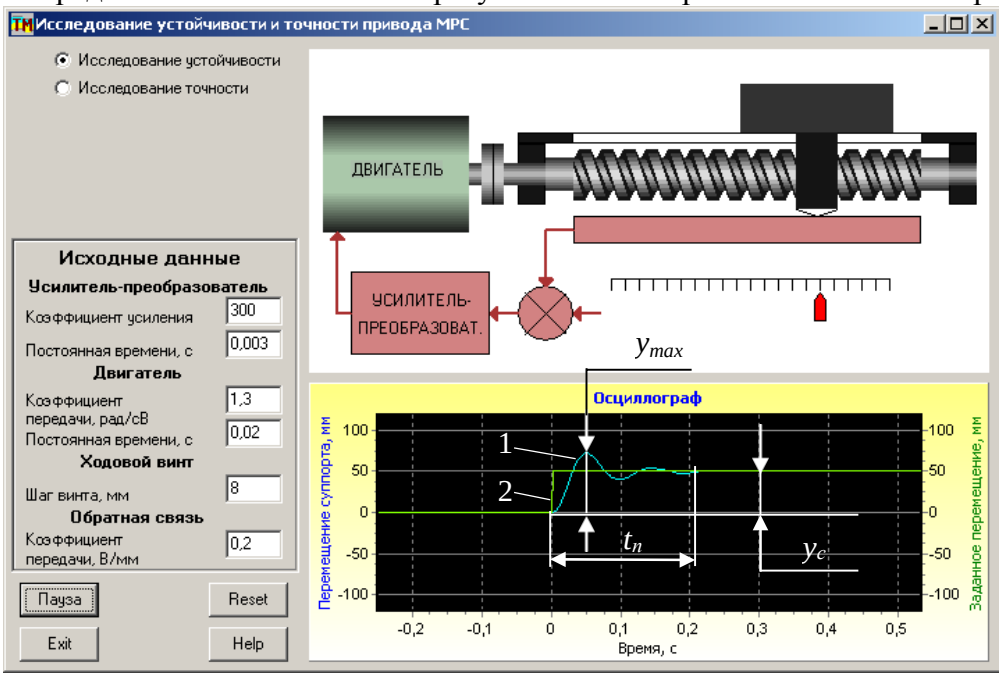


Рис.3.4. Интерфейс прикладной программы

В соответствии с заданием необходимо провести исследования зависимости комплексного показателя качества переходного процесса от коэффициента передачи усилителя-преобразователя. Для определения диапазона возможного изменения коэффициента необходимо, пользуясь зависимостью (3.1), для заданных значений T_y и $T_д$ рассчитать максимально возможную величину $(k_{yn})_{max}$. При этом учитывать, что общий коэффициент передачи САУ определяется по формуле:

$$k_0 = k_{yn} k_o k_{oc} \frac{H_{вп}}{2\pi}.$$

Выбрать шаг изменения коэффициента передачи усилителя-преобразователя (рекомендуется принять шаг $0.2(k_{yn})_{max}$) и подготовить таблицу экспериментальных и расчетных данных так, чтобы охватить максимально допустимый коэффициент передачи, определенный по зависимости (3.1).

В таблице 3.1 представлен пример для САУ с исходными данными, соответствующими рис. 3.5. Расчетом по (3.1) находим $k_0=383{,}3$. Следовательно $(k_{yn})_{max}=1158$. Выбираем шаг $0{,}2 \cdot 1158=232$, составляем таблицу и проводим эксперименты.

Активизировать прикладную программу, задать исходные данные в соответствии с вариантом, выбрать первое значение коэффициента передачи усилителя- преобразователя и выполнить моделирование переходного процесса. По осциллограмме произвести необходимые измерения и записать результаты в таблицу. Выполнять эксперименты для всего выбранного диапазона изменения коэффициента.

Рассчитать комплексный показатель качества для каждого эксперимента и построить график зависимости комплексного показателя A динамического качества системы от коэффициента передачи k_{yn} усилителя-преобразователя (рис.3.5). Если при каком-либо значении коэффициента передачи САУ оказывается не устойчивой – соответствующее сообщение записать в таблицу.

Таблица 3.1. Экспериментальные и расчетные данные

№	k_{yn}	y_{max}	y_c	t_n	A
1	1390	САУ не устойчива			
2	1158	97	50	24,40	47,30

3	926	93	50	1,10	2,05
4	694	85	50	0,53	0,90
5	462	79	50	0,34	0,54
6	230	68	50	0,24	0,33

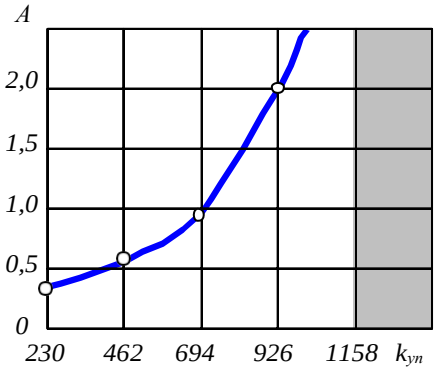


Рис.3.5. График зависимости комплексного показателя качества САУ от коэффициента передачи усилителя-преобразователя (зона неустойчивой работы затемнена)

Задание

1. По исходным данным, в соответствии с вариантом (табл.3.2), построить диаграмму устойчивости системы по критерию устойчивости Гурвица (см. рис.3.3). Определить максимально возможное значение коэффициента передачи усилителя-преобразователя и подготовить таблицу экспериментальных данных.
2. Используя прикладную программу, интерфейс которой представлен на рис.3.4, провести серию экспериментов и результаты записать в таблицу.
3. По результатам экспериментов построить экспериментальный график зависимости и провести его анализ.

Таблица 3.2. Исходные данные

Первая цифра	*Усилитель* $T_у$, *с*	*Двигатель* $k_д$, *рад/сВ*	*Винт.пара* $H_{вп}$, *мм*	Вторая цифра	*Двигатель* $T_д$, *с*	*Обр.связь* $k_{ос}$, В/мм
0	0,003	1,6	12	0	0,050	0,20
1	0,015	2,0	10	1	0,100	0,90
2	0,020	3,2	16	2	0,150	1,10
3	0,025	2,4	8	3	0,200	1,40
4	0,006	5,2	10	4	0,030	1,00
5	0,009	3,0	14	5	0,025	1,20
6	0,004	4,0	16	6	0,120	0,40
7	0,045	3,6	18	7	0,015	0,60
8	0.050	5,6	20	8	0,040	0,15
9	0.005	4,5	14	9	0,035	0,52

Содержание протокола

В протоколе представить структурную схему САУ, диаграмму качества, таблицу экспериментально-расчетных данных, график зависимости комплексного показателя динамического качества от коэффициента передачи усилителя-преобразователя, копию интерфейса с записью переходной характеристики при каком-либо значении $k_{уп}$. Выводы.

Практическая работа №4
Исследование точности САУ в режиме движения по гармоническому закону

Цель работы: *Приобретение практических навыков оценки точности систем автоматического управления при тестировании по гармоническому входному сигналу.*

Теоретическая часть

Исследуется САУ поводом, структурная схема которого представлена на рис.4.1. Видно, что САУ отличается от рассмотренной в практической работе №5 тем, что усилитель-преобразователь представлен не безынерционным звеном, а апериодическим 1-го порядка.

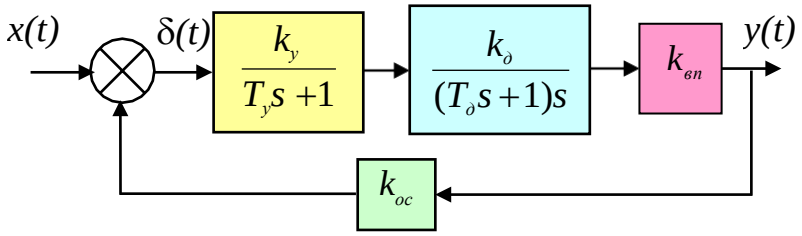


Рис.4.1. Структурная схема исследуемой САУ

Для такой системы важным и первостепенным является вопрос устойчивости. Поэтому перед началом экспериментальных исследований необходимо определить максимально допустимое значение коэффициента k_y передачи усилителя-преобразователя, пользуясь формулой (3.1) с учетом зависимости для определения общего коэффициента передачи последовательно соединенных звеньев САУ:

$$k_0 = k_y k_д k_{ос} k_{вп}.$$

где $k_{вп} = H/2\pi$ – передаточная функция винтовой пары (H –шаг винтовой пары).

Практическая часть

Для выполнения работы используется прикладная программа, интерфейс которой представлены на рис.4.2. Прикладная программа «Устойчивость_точность_САУ» находится на диске. Инструкции и пояснения для работы с программой содержатся в самой программе и появляются на экране монитора при нажатии кнопки Help. Для выполнения этой практической работы, после активизации программы на главном интерфейсе должен быть выбран режим «Исследование точности».

На изображении осциллографа зафиксирована реакция САУ поводом станка, которая отвечает исходному гармоническому сигналу *50Sin30t* – линия 1. Амплитуда и частота входного сигнала задаются в соответствующем окошке интерфейса. Суппорт отрабатывает заданный закон движения в соответствии со своими динамическими свойствами и в результате перемещается по закону, который соответствует линии 2, с ошибкой, изображенной линией 3. Следует отметить, что измерения экспериментальных значений на осциллографе можно выполнять только после завершения переходного режима работы (см. рис.4.2).

После определения максимально допустимого коэффициента k_y передачи усилителя-преобразователя, подготовить таблицу экспериментальных данных, пример которой для САУ с исходными данными по рис.4.2 представлен ниже. Предполагается проведение трех серий экспериментов при следующих значениях коэффициента передачи усилителя-преобразователя: $(k_{yn})_1=0,9(k_{yn})_{max}$; $(k_{yn})_2=0,6(k_{yn})_{max}$; $(k_{yn})_3=0,3(k_{yn})_{max}$.

Таблица 4.1. Экспериментальные данные

№	k_y	ω, *рад/с*	δ_{max}	№	k_y	ω, *рад/с*	δ_{max}	№	k_y	ω, *рад/с*	δ_{max}
1		40	3	6		40	5	11		40	12
2		80	16	7		80	33	12		80	54
3	417	120	111	8	278	120	68	13	139	120	32
4		160	49	9		160	34	14		160	26
5		200	32	10		200	27	15		200	24

Диапазон и шаг изменения частот определяется экспериментально так, чтобы при $(k_{yn})_1=0,9(k_{yn})_{max}$ максимальное значение ошибки приходилось на среднее значение

частоты, а шаг позволял продемонстрировать тенденцию изменения ошибки в обе стороны от максимума.

При выборе амплитуды входного сигнала необходимо учитывать возможность регистрации всех сигналов при частоте, соответствующей максимуму ошибки. Рекомендуется устанавливать A=20.

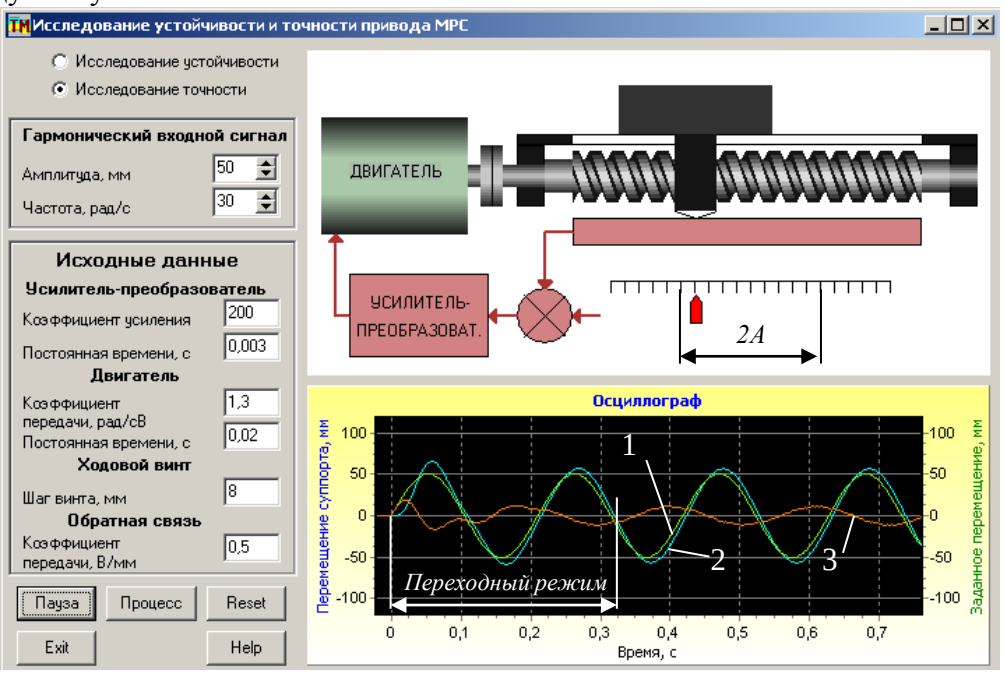


Рис.4.2. Интерфейс прикладной программы для исследования точности САУ

По результатам экспериментов (см. табл.4.1) построены графики зависимости ошибки от частоты входного сигнала для трех значений коэффициента передачи усилителя-преобразователя (рис.4.3).

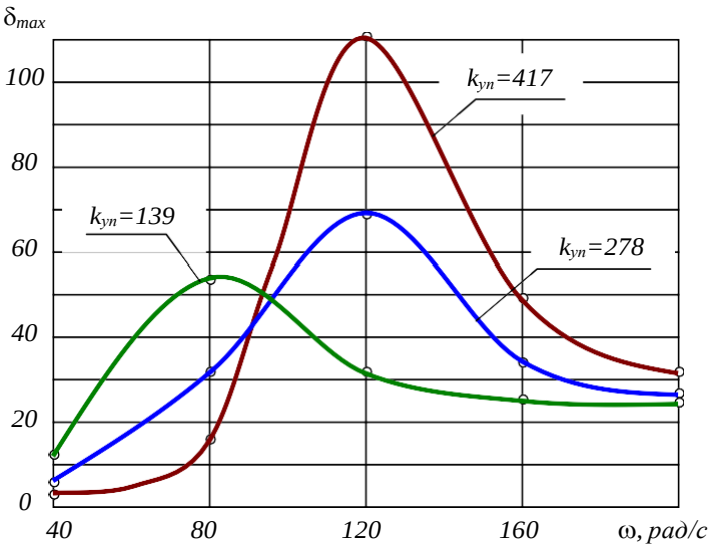


Рис.4.3. Графики экспериментальных зависимостей

Задание

1. По исходным данным, в соответствии с вариантом (табл.4.2), рассчитать максимально допустимый коэффициент $k_{уп}$ передачи усилителя-преобразователя, и подготовить таблицу экспериментальных данных.
2. Используя прикладную программу, интерфейс которой представлен на рис.4.2, выбрать диапазон и шаг изменения частоты входного сигнала. Провести серию экспериментов (для

каждого значения коэффициента передачи), записывая результаты в таблицу, а затем построить графики экспериментальных зависимостей.

Таблица 4.2. Исходные данные

Первая цифра	$T_{уп}$, *с*	$k_д$, *рад/сВ*	$T_д$, *с*	Вторая цифра	$H_{вп}$, *мм*	$K_{ос}$
0	0,003	1,6	0,050	0	12	0,20
1	0,015	2,0	0,100	1	10	0,90
2	0,020	3,2	0,150	2	16	1,10
3	0,025	2,4	0,200	3	8	1,40
4	0,006	5,2	0,030	4	10	1,00
5	0,009	3,0	0,025	5	14	1,20
6	0,004	4,0	0,120	6	16	0,40
7	0,045	3,6	0,015	7	18	0,60
8	0.050	5,6	0,040	8	20	0,15
9	0.005	4,5	0,035	9	14	0,52

Содержание протокола

В протоколе привести структурную схему САУ, соответствующие расчеты коэффициента передачи усилителя-преобразователя, таблицу экспериментальных данных, копию интерфейса прикладной программы для какого-либо эксперимента, графики экспериментальных зависимостей. Выводы.

Практическая работа №5
Определение характеристик электромеханического привода

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

Теоретическая часть

На рис.5.1 представлена электромеханическая система – привод вращающего движения, который состоит из электродвигателя 1 постоянного тока, редуктора 2 и нагрузки, например, шпинделя 3.

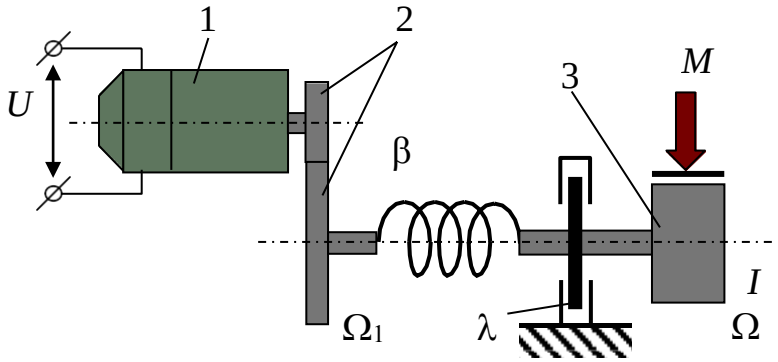


Рис.5.1. Схема электромеханической системы

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

$$M_{двиг} = I_{двиг} \frac{d\Omega_{двиг}}{dt} + M_1; \qquad (5.1)$$

где $M_{двиг}$, $I_{двиг}$, $\Omega_{двиг}$ – момент движения, момент инерции ротора и угловая скорость двигателя, M_1 – момент нагрузки на валу двигателя. С другой стороны, в соответствии с электромеханической характеристикой двигателя:

$$M_{двиг} = k_д U - k_м \Omega_{двиг}; \quad (5.2)$$

где $k_д$ – коэффициент пропорциональности между напряжением U и моментом движения, $k_м$ – коэффициент наклона электромеханической характеристики.

Редуктор может быть представлен безынерционным звеном:

$$\Omega_1 = \Omega_{двиг} k_{ред}, \quad (5.3)$$

где Ω_1 – угловая скорость выходного вала редуктора, $k_{ред}$ – коэффициент передачи.

В конечном итоге, уравнение движения вала нагрузки:

$$I\frac{d\Omega}{dt} + \lambda\Omega + \beta\left(\int \Omega dt - \int \Omega_1 dt\right) + M = 0, \quad (5.4)$$

где M, I, Ω - полезный момент, момент инерции и угловая скорость нагрузки, β - крутильная жесткость, λ - коэффициент вязкого трения. Таким образом, уравнение связи, которое показывает, на что расходуется полезная часть момента двигателя, имеет вид:

$$M_1 = k_{ред}\beta\left(\int \Omega_1 dt - \int \Omega dt\right). \quad (5.5)$$

По полученной математической модели, которая состоит из уравнений (5.1-5.5), построена структурная схема электромеханической системы (рис.5.2).

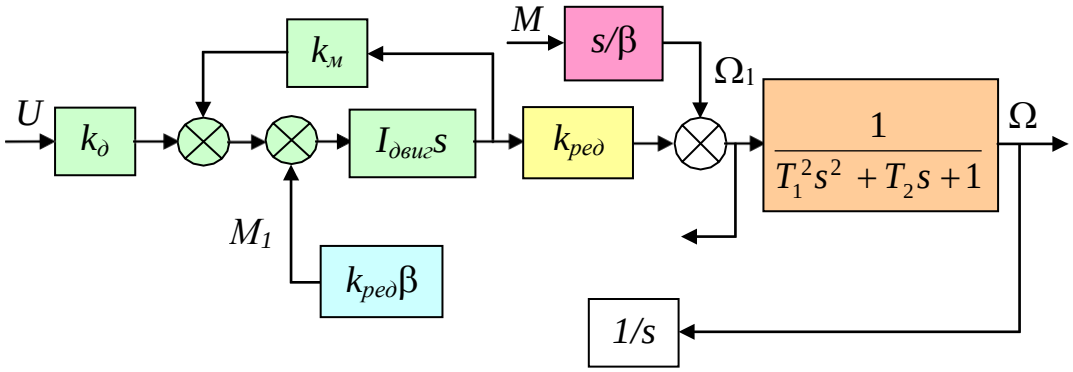


Рис.5.2. Структурная схема электромеханической системы

На схеме есть два входа: один по управляющему воздействию U, а второй - по возмущению M. Не смотря на то, что по исходной схеме (см. рис.5.1) система кажется разомкнутой, на самом деле она замкнута с обратными потоками сигналов. По разработанной математической модели электромеханического повода можно проводить предварительные исследования с целью определения характеристик, оценки качества и выбора некоторых его параметров. Такой этап предварительного проектирования всегда должен присутствовать при разработке систем и объектов автоматического управления и является чрезвычайно важным, так как именно здесь определяются общие направления удовлетворения требованиям технического задания и улучшения характеристик системы. Например, известно, что передаточное отношение редуктора существенно влияет на динамические характеристики электромеханического привода. Оценка переходных характеристик системы, представленной разработанной математической моделью, при разных значениях коэффициента передачи редуктора позволяет решить такую задачу.

Практическая часть

Для выполнения работы используется прикладная программа, интерфейс которой представлен на рис.5.3. Прикладная программа «Электромеханическая_система» находится на диске. Ядром 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.

На изображении осциллографа (рис.5.3, а) зафиксирован процесс изменения угловой скорости нагрузки (линия 1) при разгоне и при изменении момента полезной нагрузки (линия 2) по ступенчатому закону.

Выполняя такие эксперименты при разных значениях напряжения питания двигателя, можно построить статические характеристики электромеханического повода: зависимость угловой скорости нагрузки от полезного момента (рис.5.4, а).

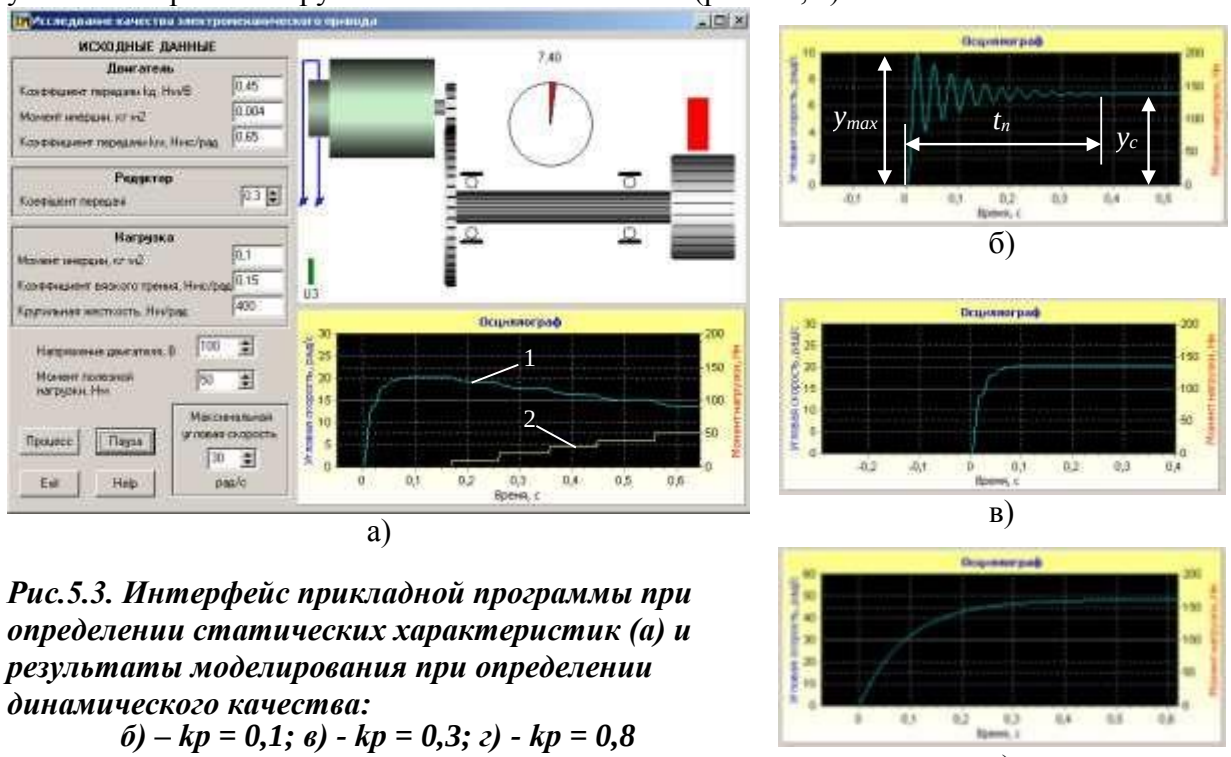


Рис.5.3. Интерфейс прикладной программы при определении статических характеристик (а) и результаты моделирования при определении динамического качества:
б) – kp = 0,1; в) - kp = 0,3; г) - kp = 0,8

Для определения оптимального по быстродействию коэффициента передачи редуктора проводится серия экспериментов, при которых фиксируется переходный процесс (разгон привода) при всех его неизменных параметрах, но для разных значений коэффициента передачи редуктора (рис.5.3, б, в, г).

По результатам экспериментов построены график зависимости динамического качества, которое определяется по комплексному показателю (смотри формулу 5.2), от коэффициента передачи редуктора (рис.5.4, 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 (3.2) параметров показано на рис.5.3, б. Видно, что оптимальное значение коэффициента передачи, при котором $A \rightarrow min$, равняется 0,3. Переходный процесс при таком значении коэффициента передачи редуктора представлен на осциллограмме рис.5.3, в.

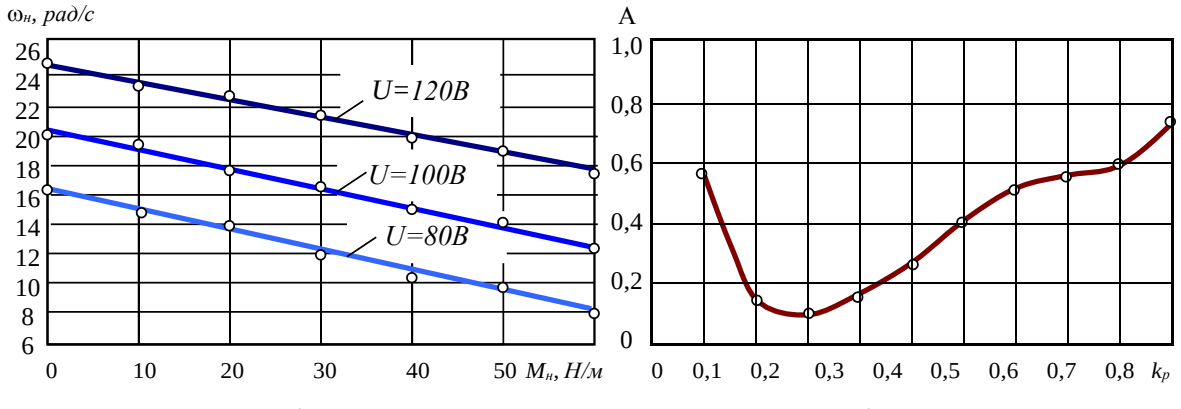


Рис.5.4. Графики экспериментальных зависимостей:
а) – статические характеристики; б) – динамическая характеристика

Задание

1. По исходным данным, в соответствии с вариантом (табл.5.1), определить статические характеристики электромеханического повода для разных значений напряжения питания двигателя и построить соответствующие графики. (Диапазон изменения напряжения определяет преподаватель).

2. Провести серию экспериментов по моделированию переходной характеристики при разных значениях коэффициента k_p передачи редуктора, выполнить необходимые измерения, рассчитать комплексный показатель *A* и построить соответствующий график для определения оптимального по быстродействию коэффициента k_p.

Таблица 5.1 Исходные данные

Первая цифра	$I_д$ кгм^2	$k_д$ Нм/В	$k_м$ Нмс/рад	k_p	Вторая цифра	I кгм^2	β Нм/рад	λ Нмс/рад
0	0.004	0.50	0.63	0.1	0	0,20	1000	0.15
1	0.006	0.48	0.70	0.2	1	0,30	500	0.17
2	0.008	0.35	0.52	0.3	2	0,05	740	0.09
3	0.010	0.25	0.45	0.4	3	0,08	600	0.11
4	0.012	0.55	0.85	0.5	4	0,10	520	0.19
5	0.014	0.52	0.91	0.3	5	0,12	860	0.12
6	0.016	0.32	0.65	0.1	6	0,18	960	0.14
7	0.018	0.28	0.54	0.2	7	0,22	640	0.13
8	0.020	0.42	0.58	0.3	8	0,14	1200	0.07
9	0.022	0.30	0.43	0.5	9	0,16	1100	0.09

Содержание протокола

В протоколе 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. Выводы.

Практическая работа №6
Определение характеристик гидромеханического привода

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

Теоретическая часть

На рис.6.1 представлена гидромеханическая система – привод поступательного движения. Привод состоит из гидравлического цилиндра 1, 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. Таким образом, 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*.

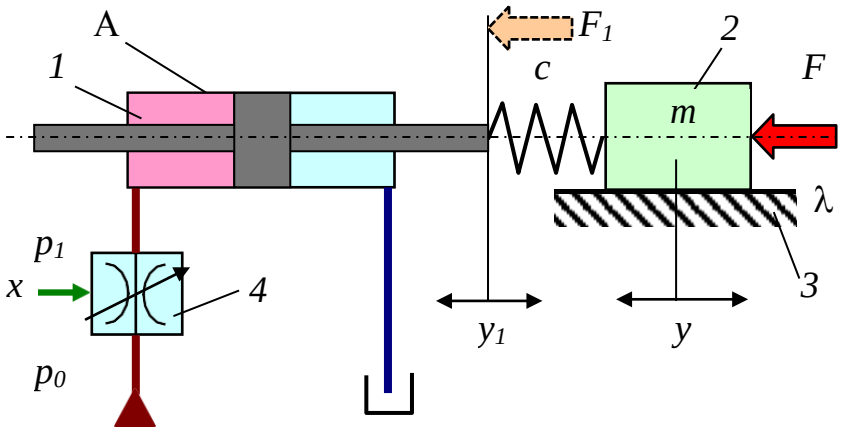


Рис.6.1. Гидромеханическая система

Движение суппорта может быть описано дифференциальным уравнением второго порядка:

$$m\frac{d^2y}{dt^2}+\lambda\frac{dy}{dt}+c(y-y_1)=F, \tag{6.1}$$

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

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

$$y_1=\int\frac{Q}{P}dt, \tag{6.2}$$

а второе – изменение давления в полости:

$$p_1=\frac{F_1}{P}. \tag{6.3}$$

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

$$Q=\mu kx\sqrt{\frac{p_0-p_1}{\rho}}, \tag{6.4}$$

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

К математической модели необходимо прибавить уравнение связи:

$$F_1=(y_1-y)c. \tag{6.5}$$

По полученной математической модели, которая состоит из уравнений (6.1-6.5), построена структурная схема гидромеханической системы (рис.6.2). На структурной схеме есть два входа: один по управляющему воздействию x, а второй по возмущению F.

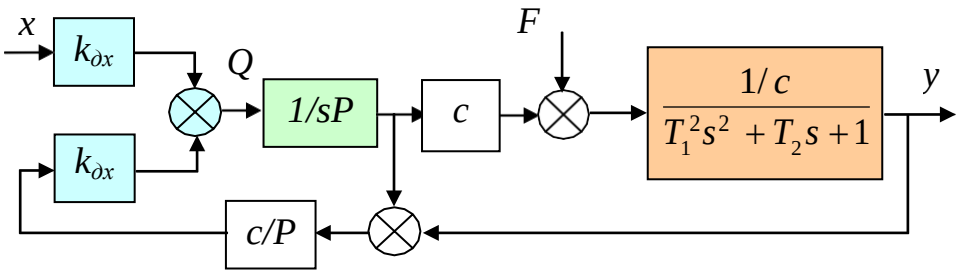


Рис.6.2. Структурная схема гидромеханической системы

Дроссель на входе схемы представлен двумя передаточными функциями с линеаризованными коэффициентами передачи $k_{\partial x}$ – по управляющему воздействию x и $k_{\partial p}$ – по перепаду давления. При моделировании системы с применением численных алгоритмов можно использовать первичную нелинейную зависимость (6.4). Постоянные времени передаточной функции нагрузки в соответствии с (6.1) равняются: $T_1^2 = m/c$, $T_2 = \lambda/c$. Здесь, как и для электромеханического повода, можно констатировать замкнутость системы, которая, тем не менее, не является САУ.

Разработанная математическая модель позволяет на этапе предварительного проектирования проводить исследования с целью определения влияния параметров привода на плавность движения, оценки качества управления и 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 важной задачей, от решения которой будут зависеть энергетические показатели повода в целом.

Практическая часть

На рис.6.3 представлен интерфейс прикладной программы, которая моделирует гидромеханическую систему. Прикладная программа «Гидромеханическая_система» находится на диске. Ядром этой программы является представленная выше нелинейная математическая модель, которая учитывает нелинейную зависимость (6.4) кроме нелинейностей, описанных в теоретической части. Коэффициенты модели рассчитаны для следующих исходных данных: μ=0.9, ρ=900 кг/м^3. Инструкции и пояснения для работы с программой содержатся в самой программе и появляются на экране монитора при нажатии кнопки Help.

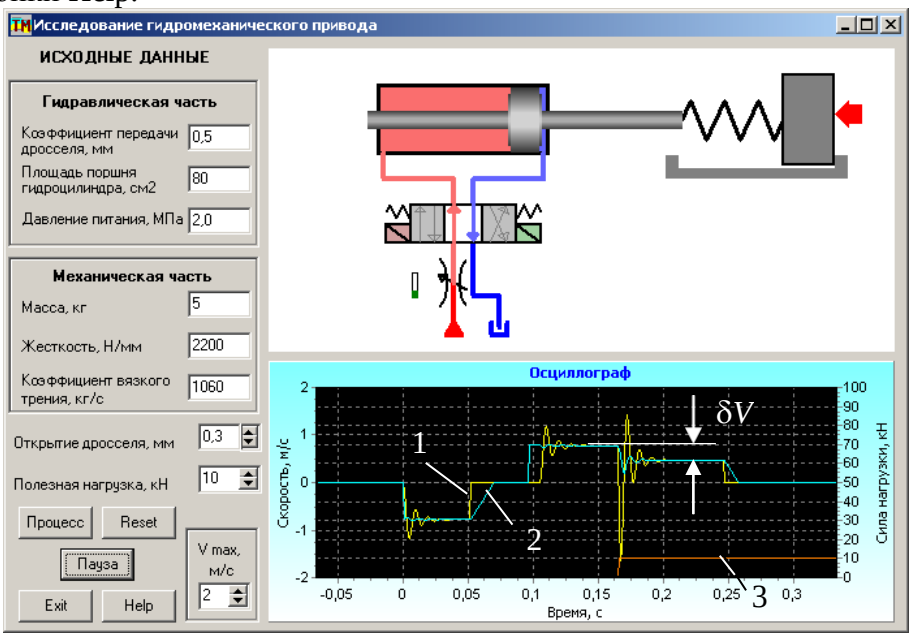


Рис.6.3. Интерфейс прикладной программы моделирования гидромеханической системы

На изображении осциллографа (рис.6.3) 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 потом внезапное приложение силы нагрузки, движение к правому упору.

Анализ осциллограммы показывает, что при изменении направления движения в системе происходит переходный процесс, который сопровождается затухающими колебаниями, как скорости рабочего органа, так и скорости штока гидравлического цилиндра, а изменение силы нагрузка, кроме переходного процесса, вызывает уменьшение фактической скорости движения рабочего органа (величина δV на осциллограмме). При увеличении силы сверх определенной величины может произойти движение в противоположном от желаемого направлении, то есть масло будет вытесняться из полости гидравлического цилиндра.

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.6.4).

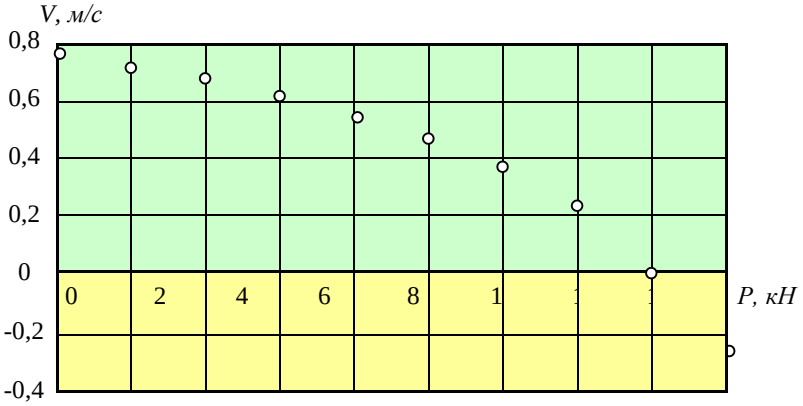


Рис.6.4. Статическая зависимость скорости движения от полезной нагрузки

Задание

1. По исходным данным, в соответствии с вариантом (табл.6.1), определить статические характеристики гидромеханического привода (зависимость скорости рабочего органа от силы полезной нагрузки) для разных значений давления питания гидравлической системы и построить соответствующий график. (Диапазон изменения давления определяет преподаватель).
2. Определить динамические показатели гидромеханического привода: относительное перерегулирование и затухание за период.

Таблица 6.1 Исходные данные

Первая цифра	k, мм	p_0, МПа	P, см^2	Вторая цифра	c, Н/мм	λ, кг/с	m, кг
0	0.50	1.0	80	0	1800	1750	5
1	0.25	1.5	100	1	5000	2000	10
2	0.08	2.0	120	2	2500	1250	15
3	0.12	2.5	140	3	2000	1360	20
4	0.35	1.0	160	4	3250	2500	25

5	0.45	1.5	180	5	1250	1500	30
6	0.30	3.0	200	6	4500	1800	35
7	0.20	3.5	80	7	5250	1450	40
8	0.40	4.0	150	8	3500	1300	45
9	0.14	4.5	170	9	4000	1600	20

Содержание протокола

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

Практическая работа №7
Определение характеристик САУ продольной подачей при точении

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

Теоретическая часть

Наиболее распространенный в металлообработке тип замкнутых САУ – это 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 программного регулирования ее по заданному закону позволяет повысить точность обработки и значительно улучшить качество поверхности деталей.

САУ стабилизации силы резания при точении (рис.7.1) 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 $U_{ос}$, пропорциональный составляющей P_z силы резания. Привод подачи состоит из усилителя-преобразователя **УП**, двигателя постоянного тока **Д** и редуктора **Р.**

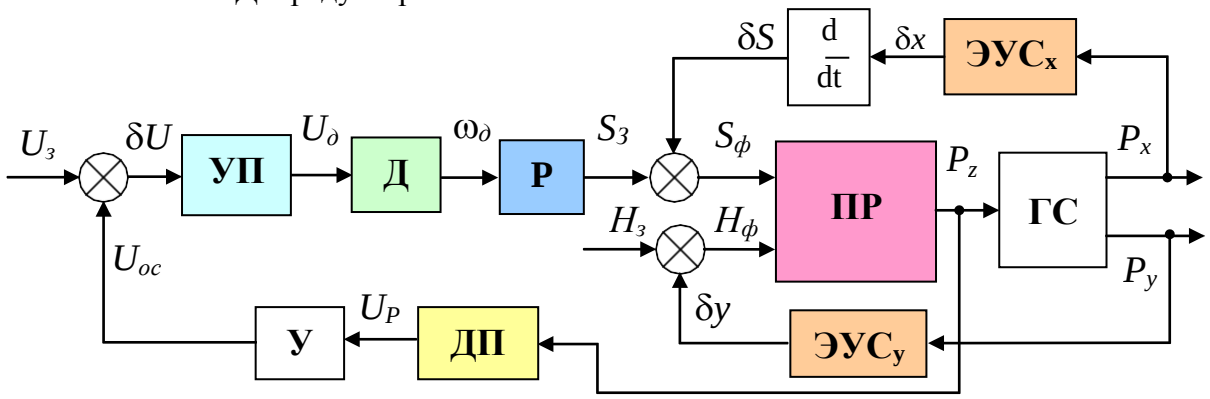


Рис.7.1. Функциональная схема САУ стабилизации силы резания при точении

САУ функционирует следующим образом. На вход системы, к сравнивающему устройству поступает сигнал $U_з$, который соответствует требуемому значению силы

резания в определенном масштабе. На второй вход сравнивающего устройства поступает сигнал $U_{ос}$, вырабатываемый динамометрическим преобразователем **ДП** и усилителем **У.** Таким образом напряжение $U_{ос}$ пропорционально реальному значению силы резания. Ошибка $\delta U=U_з–U_{ос}$ поступает на вход усилителя-преобразователя **УП**, который вырабатывает напряжение $U_д$ питания двигателя **Д.** Двигатель **Д**, через редуктор **Р** определяет величину продольной подачи так, чтобы свести ошибку к минимуму.

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 первого порядка,

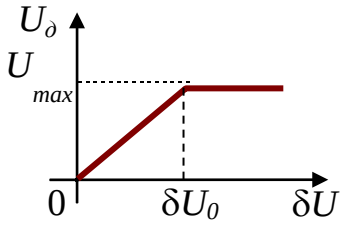


Рис. 7.2. Характеристика усилителя-преобразавателя

$$T_{уп}\frac{dU_д}{dt}+U_д=k_{уп}\delta U, \qquad (7.1)$$

но его характеристика нелинейная типа “насыщения” (рис. 5.34):

$$\begin{cases} U_д=k_{уп}\delta U, & если \quad \delta U<\delta U_0; \\ U_д=U_{max}, & если \quad \delta U\ge\delta U_0; \end{cases}$$

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

Двигатель постоянного тока описывается дифференциальным уравнением второго порядка:

$$T_е T_м\frac{d^2\omega_д}{dt^2}+T_м\frac{d\omega_в}{dt}+\omega_д=k_д U_д, \qquad (7.2)$$

где $k_д$, $T_о$, $T_м$ - коэффициент передачи, постоянные времени (электромагнитная и механическая) двигателя.

Редуктор, тензометрический динамометр и электронный усилитель описываются линейными уравнениями, которые соответствуют безынерционным звеньям с коэффициентами передачи: $k_р$, $k_{дп}$, $k_у$.

Эквивалентные упругие системы (**ЭУС**) по соответствующим осям координат могут быть представлены дифференциальными уравнениями второго порядка, как для одномассовых систем:

$$\begin{cases} P_x=m\dfrac{d^2\delta x}{dt^2}+\lambda\dfrac{d\delta x}{dt}+c_x\delta x; \\ P_y=m\dfrac{d^2\delta y}{dt^2}+\lambda\dfrac{d\delta y}{dt}+c_y\delta y; \end{cases} \qquad (7.3)$$

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 $S_ф$ и глубины $H_ф$ резания с составляющей P_z силы резания:

$$P_z=C_p H_ф^{xp} S_ф^{yp} V^{np}, \qquad (7.4)$$

где C_p, x_p, y_p, n_p – эмпирические коэффициент и показатели степени, V – скорость резания.

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

$$P_y=\sqrt{\frac{(0.6P_z)^2}{1+tg^2(\varphi+\eta)}}; \quad P_x=P_y\cdot tg(\varphi+\eta); \qquad (7.5)$$

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

С учетом приведенных выше уравнений (7.1-7.5) и связей функциональной схемы по рис. 5.30, математическую модель всей САУ надо дополнить следующими зависимостями:

$$\begin{cases} \delta U = U_з - U_{ос}; \\ S_з = \omega_д k_р \dfrac{d\delta x}{dt}; \\ S_ф = S_з - \dfrac{}{}; \\ H_ф = H_з - \delta y; \\ U_{ос} = \delta y \cdot k_{дп} \cdot k_y; \end{cases} \qquad (7.6)$$

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

Практическая часть

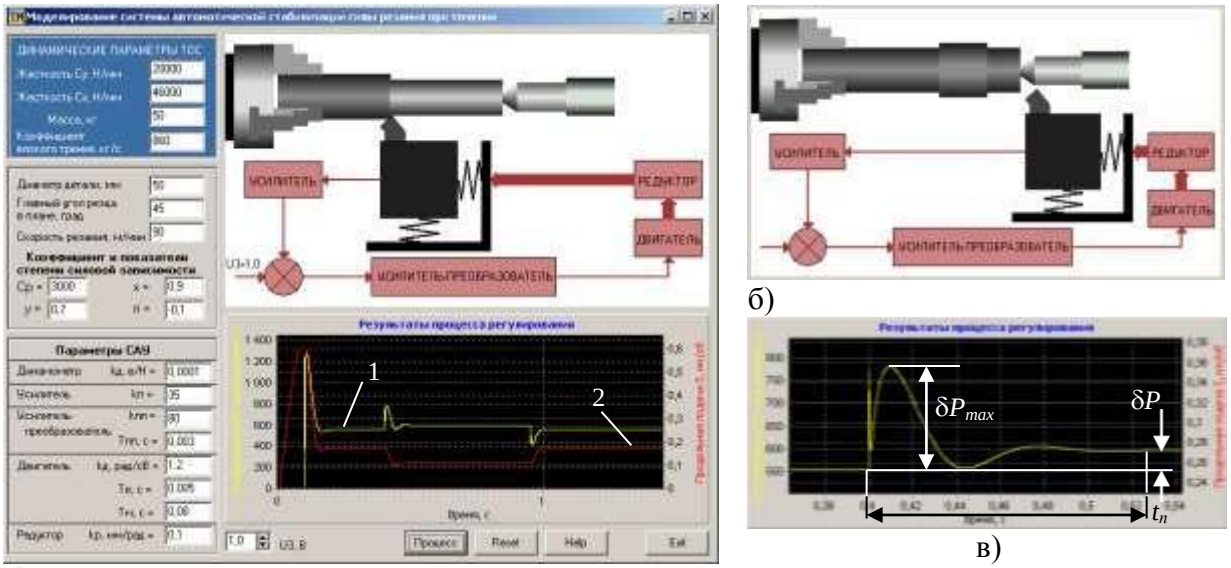
На рис. 7.3, а представлен интерфейс прикладной программы в конце моделирования процесса стабилизации силы резания при точении специально подготовленной детали с неравномерным припуском, которую можно увидеть на экране в начале моделирования (рис.7.3, б). Прикладная программа «САУ_стабилизации_силы_резания» находится на диске.

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

На осциллографе интерфейса (рис.7.3, 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.7.3, в). Стабилизация выполняется по переходной характеристике с параметрами: время t_n переходного процесса, максимальная величина P_{max} составляющей силы резания и с некоторой ошибкой δP. По этим параметрам можно оценить качество САУ.



а) б) в)

Рис.7.3. Моделирование САУ стабилизации силы резания при точении: а) – главный интерфейс, б) – начальное положение, в) – оценка качества

Задание

1. По исходным данным, в соответствии с вариантом (табл.7.1), провести моделирование с целью определения качества переходной характеристики САУ по комплексному показателю (смотри формулу (5.2)) и точности по ошибке δP от следующих параметров САУ:

1) от коэффициента передачи редуктора;
2) от жесткости c_x упругой ТОС;
3) от коэффициента передачи усилителя обратной связи.

Примечание:

- диапазон изменения жесткости (Н/мм) $18000 \le c_x \le 50000$;
- диапазон варьирования коэффициента усилителя обратной связи $5 \le k_y \le 55$;
- диапазон изменения коэффициента передачи редуктора (мм/рад) $0{,}2 \le k_p \le 0{,}05$.

2. Выбирая шаг изменения заданного параметра, провести эксперименты на всем диапазоне его изменения, определить необходимые (см. выше) динамические характеристики и записать результаты в соответствующие таблицы.

3. Построить графики экспериментальных зависимостей комплексного показателя качества и ошибки 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, то есть совсем не пригодной к функционированию. Сообщения об этом, в таком случае, появляется на экране монитора во время моделирования. Рекомендации для решения такой проблемы – действовать в следующей последовательности:

1) изменять параметр, в функции которого анализируется динамическое качество САУ в диапазоне, указанном в задании;
2) если в результате выполнения п.1 не удается 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.

Таблица 7.1. – Исходные данные

Первая цифра шифра	Диаметр детали, мм D	Жесткость ТОС, Н/мм Cy	Масса М, кг	Коэффициент вязкого трения λ	Скорость резания, м/мин V	Главный угол резца в плане, град FI	Коэф. передачи динамометра, В/Н	Вторая цифра шифра	Тиристорный преобразователь	Двигатель		
									$k_{уп}$	$k_{дв}$	$T_я$, с	$T_м$, с
0	200	30000	100	1200	200	30	0.001	0	20	0.8	0.003	0.01
1	180	28000	90	1400	180	45	0.002	1	30	0.9	0.005	0.02
2	160	26000	70	1000	160	60	0.003	2	40	1.0	0.007	0.03
3	140	24000	60	800	140	75	0.004	3	50	1.1	0.010	0.04
4	120	22000	50	900	80	80	0.005	4	60	1.2	0.008	0.05
5	100	20000	40	600	100	45	0.006	5	70	1.3	0.009	0.01
6	80	23000	30	700	110	60	0.007	6	80	0.7	0.006	0.02
7	60	25000	55	1100	120	75	0.008	7	90	0.6	0.004	0.03
8	40	27000	65	550	90	30	0.002	8	100	1.5	0.003	0.04
9	20	29000	85	750	130	45	0.004	9	110	1.8	0.005	0.05

Содержание протокола
В протоколе представить структурную схему исследуемой САУ с исходными данными, копию интерфейса при моделировании, таблицы экспериментальных данных, графики соответствующих зависимостей. Выводы.

Практическая работа №8
Исследование влияния астатизма на качество САУ

Цель работы: *Приобретение практических навыков экспериментального определения параметров ПИ-регулятора.*

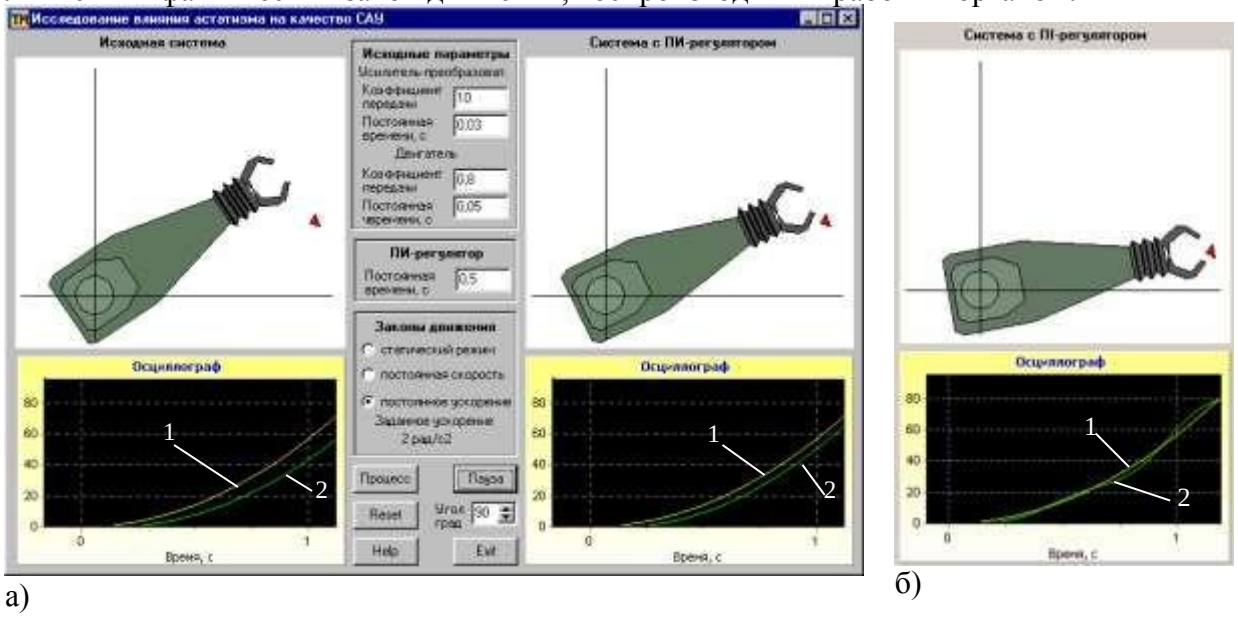
Теоретическая часть
Исследуются две САУ: исходная система с астатизмом первого порядка, преобразованная (с ПИ-регулятором) – система с астатизмом второго порядка. Известно, что для оценки точности астатических систем второго порядка используется управляющее воздействие в виде сигнала с постоянным ускорением. При таком режиме работы астатическая система второго порядка имеет ошибку, по величине которой можно проводить оценку качества САУ и процесса регулирования. Установившаяся ошибка астатической САУ первого порядка в этом случае будет стремиться к бесконечности.
Практическая часть
На рис.8.1 представлен интерфейс прикладной программы, с помощью которой выполняются экспериментальные исследования. Программа «ПИ_регулятор» находится на диске. Инструкции и пояснения для работы с программой содержатся в самой программе и появляются на экране монитора при нажатии кнопки Help.
После активизации прикладной программы «САУ_с_ПИ-регулятором», которая находится на диске, на главном интерфейсе задаются исходные данные в соответствии с вариантом (смотри таблицу 8.2).
При исследовании влияния постоянной времени ПИ-регулятора на качество регулирования установить статический режим и провести серию экспериментов для оценки комплексного критерия *A* качества, в соответствии с формулой (5.2). Измерение экспериментальных данных, необходимых для расчетов, проводится по осциллограммам. 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_u. Диапазон изменения постоянной T_u времени определяется от значения, при котором САУ становится неустойчивой, в сторону увеличения. Экспериментальные данные записывают в таблицу, пример которой представлен ниже.

Таблица 8.1. Экспериментальные и расчетные данные

№	T_u, *с*	Статический режим			Движ. с пост ускорением
		α_{max}, *град*	t_n, *с*	A	$\delta\alpha$, *град*
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			

Затем выбирается закон движения с постоянным ускорением (2 рад/с^2). На рис.8.1 на изображении осциллографов линией 1 обозначен закон движения, который задается, а линией 2 – фактический закон движения, воспроизводимый рабочим органом.



а) б)

Рис.8.1. Исследование влияния постоянной времени ПИ-регулятора на точность САУ

При выполнении экспериментов определяется зависимость установившейся ошибки через 1 с после начала переходного процесса от постоянной T_u времени ПИ-регулятора. Рекомендуется начинать эксперименты с максимальной величины 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.8.1, а представлен интерфейс прикладной программы при моделировании исходной системы (слева) и системы с ПИ-регулятором, который имеет постоянную времени 0,7 с. Ошибка исходной системы, которая установилась через 1 с, равняется $13{,}4^0$, а ошибка системы с ПИ-регулятором – $8{,}1^0$. Кроме того, моделирование позволяет убедиться, что для исходной системы ошибка с течением времени увеличивается, то есть такая САУ не способна работать в заданном режиме работы. Преобразованная САУ будет поддерживать постоянное значение установившейся ошибки. Графики экспериментальных зависимостей ошибки, которая установилась через 1с, и комплексного критерия качества *A* от T_u, построенные по изложенной методике, представлены на

рис.8.2. Там же, для сравнения, прямой линией, параллельной оси абсцисс, показано значение комплексного критерия для исходной системы.

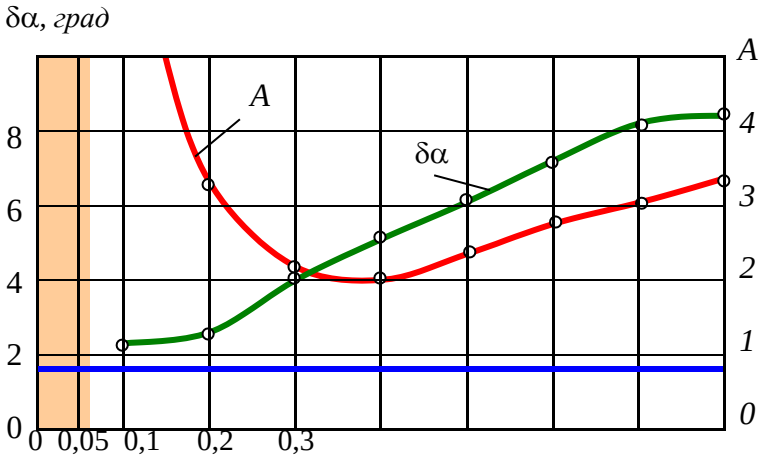


Рис.8.2. Зависимость установившейся ошибки (через 1с) и критерия А от постоянной времени ПИ-регулятора

Уменьшение постоянной времени ПИ-регулятора положительно влияет на точность системы, но после некоторой величины постоянной времени ПИ-регулятора система теряет устойчивость, то есть становится не способной к функционированию. Такой случай зафиксирован на рис.8.1, б, когда постоянная времени $T_u \leq 0{,}1c$.

Задание

В соответствии с вариантом (табл.8.2) провести следующие исследования.

1. Установить экспериментально минимальное значение постоянной времени ПИ-регулятора, при которой САУ теряет устойчивость. Определить диапазон и шаг изменения постоянной времени T_u и подготовить таблицу экспериментальных и расчетных данных.
2. Провести эксперименты при статическом режиме работы и рассчитать комплексный критерий качества САУ с ПИ-регулятором.
3. Убедиться в устранении скоростной ошибки для САУ с ПИ-регулятором.
4. Провести эксперименты при движении с постоянным ускорением и определить точность регулирования.
5. Обработать результаты экспериментальных исследований и построить соответствующие графики.

Таблица 8.2. Исходные данные

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

Содержание протокола

В протоколе 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. Выводы.

Критерии оценки:

- оценка «зачтено» выставляется студенту, если правильно оформленыотчетные таблицы.
- оценка «не зачтено» выставляется студенту, если неправильно оформленыотчетные таблицы.

Тестовые задания:

1. Из каких блоков состоит САУ?

- объекта управления и регулятора
- привода подач и первичных преобразователей
- задатчика управления и сравнивающего элемента
- привода главного движения и коробки передач

2. Что понимают под управляемым объектом?

- процесс резания или приводные механизмы
- переднюю бабку станка
- заднюю бабку станка
- станину станка

3. Какие внешние силы (возмущения) мешают достижению управляемой цели?

- напряжение питания электродвигателя и внешняя сила сопротивления
- расход масла и технологическая нагрузка в гидравлических цилиндрах
- колебания, передаваемые через фундамент от рядом стоящих станков
- температура помещения

4. Какие основные принципы управления?

- по возмущению и по погрешности
- по передаче информации
- по управлению моментом
- по управлению силами резания

5. Какой принцип заложен в замкнутой системе управления?

- принцип обратной связи
- принцип внешнего воздействия
- принцип отклонений от заданных значений
- принцип быстрого реагирования

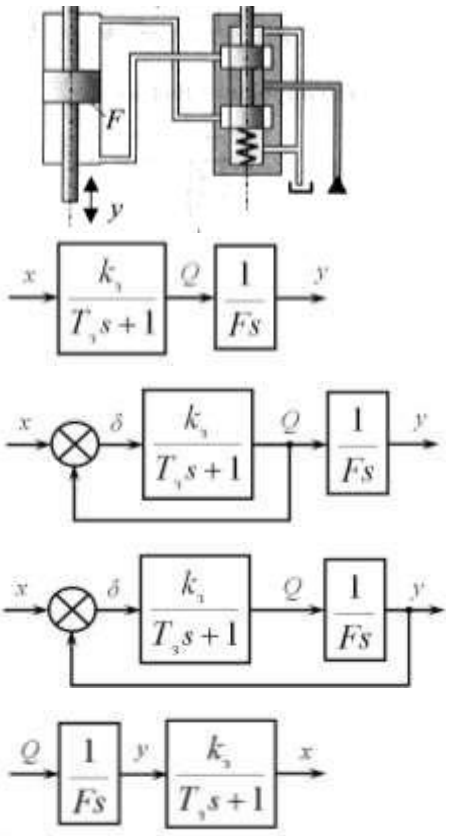
6.Чему равна статическая погрешность в астатических САУ при постоянном входном сигнале: $x(t) = x_0$ и $W(0) \to \infty$?

- $\delta_{уст} = 0$

- $\delta_{\text{уст}} = 1$
- $\delta_{\text{уст}} = \dfrac{1}{x_0}$
- $\delta_{\text{уст}} = \infty.$

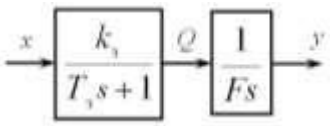
…

300. Какая структурная схема гидропривода будет соответствовать его принципиальной схеме?



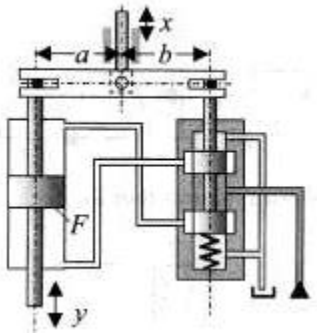
-

301. Какому звену соответствует математическое описание соединения золотника с гидравлическим цилиндром? Структурная схема соединения представлена на схеме. Используемые обозначения: $k_з$ – коэффициент зависимости расхода потока масла от открытия щелей золотника F – площадь поршня гидравлического цилиндра $T_з$ – постоянная времени золотника.

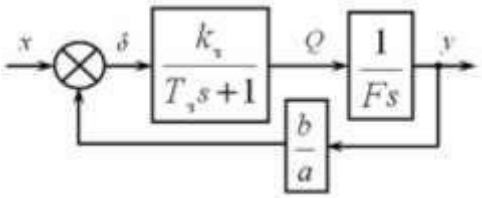


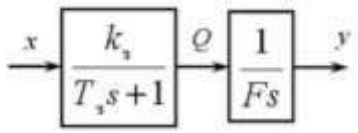
- реальному интегрирующему звену
- дифференцирующему звену
- инерционному звену
- колебательному звену.

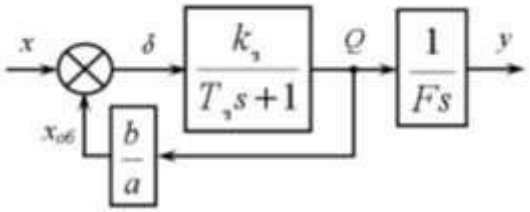
302. Какая структурная схема гидропривода с жесткой обратной связью будет соответствовать его принципиальной схеме, приведенной на рисунке?

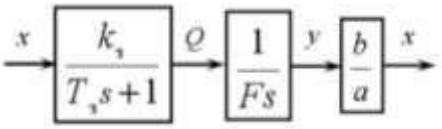


-

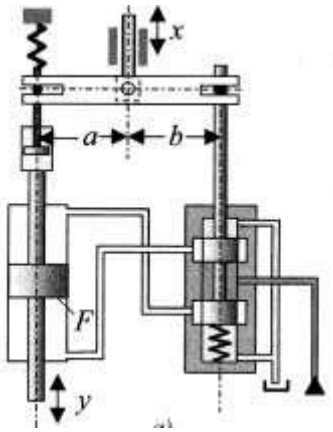


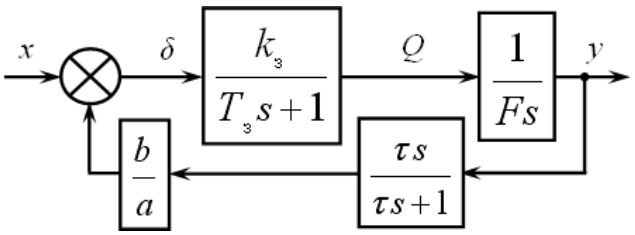


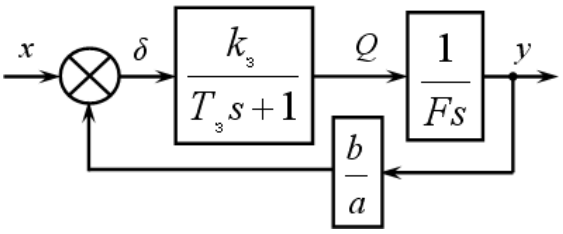


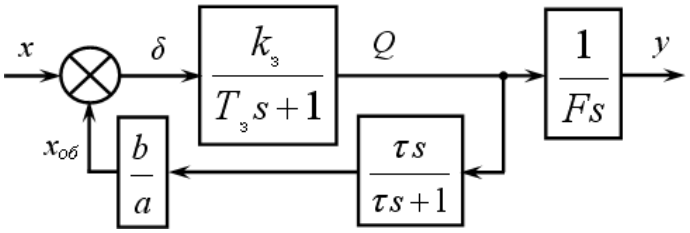


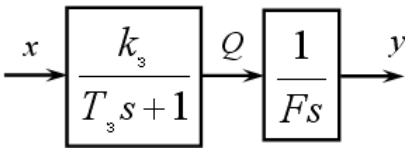
303. Какая структурная схема гидропривода с гибкой обратной связью будет соответствовать его принципиальной схеме, приведенной на рисунке?











Процедура оценивания

Устный опрос и/или компьютерное тестирование по экзаменационному билету (банку тестовых заданий)

Критерии оценки:

- оценка «отлично» выставляется студенту, если он дал полные и исчерпывающие ответы на вопросы билета;
- оценка «хорошо» выставляется студенту, если он при ответе на вопросы билета разобрался в сути вопросов, но его ответ был не полным;
- оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он в целом ориентируется в тематике вопросов, но его ответы были неуверенными и не полными, при этом студент не четко отвечал на дополнительные вопросы;
- оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, если он не смог ответить на вопросы билета, а также не ответил ни на один дополнительный вопрос.

Методические рекомендации по изучению дисциплины

Теория автоматического управления

Модуль 1	Основные понятия теории автоматического управления

Модуль 1	Практическое занятие 1 Исследование влияния параметров центробежного регулятора скорости на процесс регулирования.
Модуль 1	Практическое занятие 2 Определение частотных характеристик по анализу входного и выходного сигнала во времени.
Модуль 2	Качественный и количественный анализ систем автоматического управления.
Модуль 2	Практическое занятие 3 Исследование устойчивости САУ по критерию Гурвица.
Модуль 2	Практическое занятие 4 Исследование точности САУ в режиме движения по гармоническому закону.
Модуль 2	Практическое занятие 5 Определение характеристик электромеханического привода.
Модуль 2	Практическое занятие 6 Определение характеристик гидромеханического привода.
Модуль 3	Синтез и анализ систем автоматического управления.
Модуль 3	Практическое занятие 7 Определение характеристик САУ продольной подачей при точении.
Модуль 3	Практическое занятие 8 Исследование астатизма на качество САУ.

Модуль 1

Тема. Основные понятия теории автоматического управления.

Цель и задачи изучения.

Цель – получение теоретических знаний по основным основополагающим понятиям в теории автоматического управления технологическими процессами.

Задачи:

1. Ознакомиться с основными терминами и определениями теории автоматического управления.
2. Получение практических навыков построения частотных характеристик на примере работы регулятора скорости.

Изучив данный модуль, студент должен:

иметь представление о возможном виртуальном моделировании работы технического устройства и получение необходимых его характеристик для наиболее оптимального проектирования.

знать методы и средства геометрического моделирования технических объектов; методологические основы функционирования, моделирования и синтеза систем автоматического управления; основные методы анализа САУ во временной и частотной областях, способы синтеза САУ.

уметь строить математические модели объектов управления и систем автоматического управления; проводить анализ САУ, оценивать статистические и динамические характеристики; выполнять анализ технологических процессов как объектов автоматизации и управления.

владеть навыками оформления проектной и конструкторской документации в соответствии с требованиями ЕСКД; навыками применения элементов анализа этапов жизненного цикла продукции и управления ими.

При освоении темы необходимо:

- **изучить учебный материал.**
- **выполнить практические задания по теме.**

Модуль 2.

Тема. Качественный и количественный анализ систем автоматического управления.

Цель и задачи изучения.

Цель – Ознакомление и овладение методиками качественной и количественной оценки систем автоматического управления.

Задачи:

1. Изучение различных подходов и методик расчета качественной и количественной оценки САУ.
2. Получение практических навыков с помощью выполнения практических заданий для закрепления изученного материала.

Изучив данный модуль, студент должен:

иметь представление о возможных способах расчета количественной и качественной оценки САУ.

знать тенденции развития компьютерной графики, ее роль и значение в инженерных системах и прикладных программах; типовые пакеты прикладных программ анализа динамических систем; кинематическую структуру и компоновку станков, системы управления ими.

уметь рассчитывать основные качественные показатели САУ, выполнять: анализ ее устойчивости, синтез регулятора; разрабатывать алгоритмы централизованного контроля координат технологического объекта; составлять структурные схемы, их математические модели как объектов управления; использовать основные методы построения математических моделей процессов, систем, их элементов и систем управления.

владеть: навыками построения систем автоматического управления системами и процессами; навыками наладки, настройки, регулировки, обслуживания технических средств и систем управления.

При освоении темы необходимо:

- **изучить учебный материал;**
- **выполнить практические задания по теме.**

Модуль 3.

Тема. Синтез и анализ систем автоматического управления.

Цель и задачи изучения.

Цель – Изучение и освоение возможности проведения синтеза и анализа систем автоматического управления.

Задачи:

1. Изучить методику проведения синтеза и анализа САУ.

2. Получение практических навыков с помощью виртуального эксперимента проводить синтез и анализ САУ.

Изучив данный модуль, студент должен:

иметь представление о таких ключевых понятиях в теории управления как синтез и анализ САУ.

знать общие требования к автоматизированным системам проектирования; основы технологического регулирования; средства для контроля, испытаний, диагностики и адаптивного управления оборудованием.

уметь рассчитывать одноконтурные и многоконтурные системы автоматического регулирования применительно к конкретному технологическому объекту; работать с каким-либо из основных типов программных систем, предназначенных для математического и имитационного моделирования Mathcad, Matlab.

владеть: навыками анализа технологических процессов как объекта управления и выбора функциональных схем их автоматизации; навыками оформления результатов исследований и принятия решений.

При освоении темы необходимо:

- **изучить учебный материал;**
- **выполнить практические работы.**

10. Образовательные технологии и методические указания по освоению дисциплины (учебного курса)

В процессе изучения дисциплины используется метод дистанционного обучения.

При подготовке к ответам на тесты по темам курса и выполнению типовых заданий студенту необходимо тщательно изучить предлагаемую литературу, нормативные правовые акты, учебный материал.

Студент самостоятельно работает с дополнительной и основной литературой, нормативными актами, интернет-ресурсами.

При изучении дисциплины необходимо изучить материалы тем, выполнить соответствующие тесты. При необходимости задать вопросы преподавателю в форуме.

После изучения курса выполнить итоговый тест.

Разместить на личной странице курса выполненные задания для проверки преподавателем.

11. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (учебного курса)

11.1. Обязательная литература

№ п/п	Библиографическое описание	Тип (учебник, учебное пособие, учебно-методическое пособие, практикум, аудио-, видео-пособия и др.)	Количество в библиотеке
1	Автоматическое управление процессами механической обработки [Электронный ресурс] : учебник / С. М. Братан [и др.]. - Москва : Вузовский учебник : ИНФРА-М, 2017. - 228 с. - ISBN 978-5-9558-0514-6.	учебник	ЭБС "ZNANIUM. COM"
2	Егоров А. И. Введение в теорию управления системами с распределенными параметрами [Электронный ресурс] : учеб. пособие / А. И. Егоров, Л. Н. Знаменская. - Санкт-Петербург : Лань, 2017. - 292 с. : ил. - (Учебники для вузов. Специальная литература). - ISBN 978-5-8114-2554-9.	учебное пособие	ЭБС "Лань"

11.2. Дополнительная литература и учебные материалы (аудио-, видеопособия и др.)

№ п/п	Библиографическое описание	Тип (учебник, учебное пособие, учебно-методическое пособие, практикум, аудио-, видеопособия и др.)	Количество в библиотеке
1	Вереина Л. И. Конструкции и наладка токарных станков [Электронный ресурс] : учеб. пособие / Л. И. Вереина, М. М. Краснов ; под общ. ред. Л. И. Вереиной. - Москва : ИНФРА-М, 2017. - 480 с.	Учебное пособие	ЭБС "ZNANIUM. COM"

СОГЛАСОВАНО

Директор научной библиотеки _____ А.М. Асаева
(подпись) *(И.О. Фамилия)*

«__»_____20___г.
МП

11.3. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет"

- Elibrary[Электронный ресурс] : научная электронная библиотека. – Москва : НЭБ, 2000– . – Режим доступа : elibrary.ru. – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ.
- SpringerLink[Электронный ресурс] : [база данных]. – Switzerland: SpringerNature, 1842– . – Режим доступа : link.springer.com. – Загл. с экрана. – Яз. англ.
- ScienceDirect[Электронный ресурс] : коллекция электронных книг издательства Elsevier. – Netherlands: Elsevier, 2018– . – Режим доступа : sciencedirect.com. – Загл. с экрана. – Яз. англ.

11.4. Перечень программного обеспечения

№ п/п	Наименование ПО	Количество лицензий	Реквизиты договора (дата, номер, срок действия)
1	Windows: WinPro 10 RUS Upgrd OLP NL Acdmc		договор № 757 от 04.07.2018, срок действия – бессрочно; контракт № 1653 от 14.12.2018, срок действия – бессрочно
2	Office Standard: Office Stdandard 2013 Russian OLP NL AcademicEdition Office Stdandard 2016 Russian OLP NL AcademicEdition Office Stdandard 2016 Russian OLP NL AcademicEdition		 контракт № 690 от 19.05.2015, срок действия – бессрочно договор № 757 от 04.07.2018, срок действия – бессрочно контракт № 727 от 20.07.2016, срок действия – бессрочно
3.	КОМПАС-3D v 18 (Проектирование и конструирование в машиностроении)	250	контракт № 1198 от 18.11.2019, срок действия – бессрочно
4.	Mathcad Education - University Edition Subscription (25 pack)	25	контракт № 469 от 05.06.2020, срок действия – бессрочно
5.	Mirapolis Human Capital Management		лицензионный договор № 42/02/22-К от 02.02.2022, срок действия – до 31.08.2022

11.5. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

№ п/п	Наименование оборудованных учебных кабинетов, лабораторий, мастерских и др. объектов для проведения практических и лабораторных занятий	Перечень основного оборудования	Фактический адрес учебных кабинетов, лабораторий, мастерских и др.	Площадь, $м^2$	Количество посадочных мест
1	Аудитория веб-конференций. Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа. Учебная аудитория для проведения занятий семинарского типа. Учебная аудитория для курсового проектирования (выполнения курсовых работ). Учебная аудитория для проведения групповых и индивидуальных консультаций Учебная аудитория для проведения занятий текущего контроля и промежуточной аттестации. (УЛК-810)	Экран телевизионный, ширма, прожектор на штативе. стол преподавательский, стул преподавательский, транспарант-перетяжка, системный блок .	445020, Самарская обл., г. Тольятти, ул. Белорусская, 16 В	30,5	1
2	Помещение для самостоятельной работы студентов (Г-401)	Столы, стулья, компьютеры	г.Тольятти,ул. Белорусская 14	84,8	16
3	Помещение для самостоятельной работы обучающихся (С-508)	Доска аудиторная (меловая), столы ученические, стол преподавательский, стулья, стенды, шкафы.	445020, г. Тольятти, ул. Ушакова, 58	34,1	10