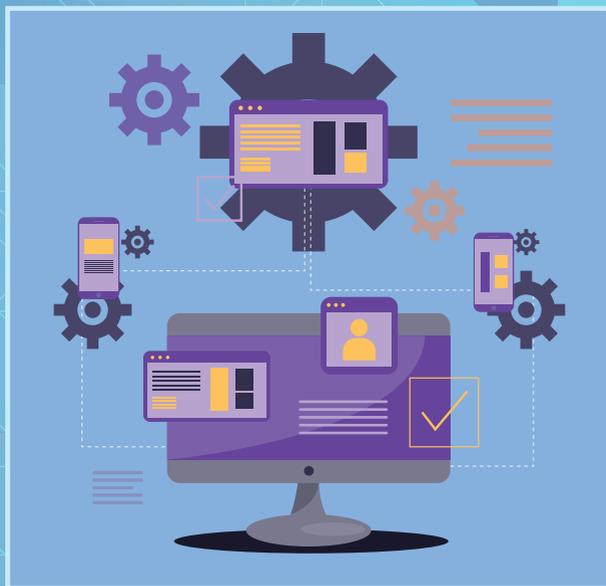


# ЦИФРОВЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫМИ ПРОЦЕССАМИ

Учебно-методическое пособие



Тольятти  
Издательство ТГУ  
2025

Министерство науки и высшего образования  
Российской Федерации  
Тольяттинский государственный университет

**ЦИФРОВЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ  
ПРОИЗВОДСТВЕННЫМИ ПРОЦЕССАМИ**

Учебно-методическое пособие

Составитель В.А. Гуляев

Тольятти  
Издательство ТГУ  
2025

УДК 621.91-529(075.8)+681.51.01(075.8)

ББК 34.63с5я73+32.966я73

Ц 752

Рецензенты:

канд. техн. наук, доцент, первый проректор Института развития профессионального образования *А.А. Солдатов*;

канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры «Оборудование и технологии машиностроительного производства» Тольяттинского государственного университета *Д.А. Расторгуев*.

**Ц 752** Цифровые системы управления производственными процессами : учебно-методическое пособие / составитель В.А. Гуляев. – Тольятти : Издательство ТГУ, 2025. – 56 с. – ISBN 978-5-8259-1710-8.

В учебно-методическом пособии представлены основные положения цифровых систем автоматического управления различными процессами резания, которые базируются на классических понятиях теории автоматического управления. Рассматриваются методы управления, основанные на использовании априорной, текущей, апостериорной информации и их комбинации.

Предназначено для студентов, обучающихся по направлению подготовки 15.04.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств», направленность (профиль) «Цифровые процессы и системы автоматизированного машиностроения», очной формы обучения высшего образования.

УДК 621.91-529(075.8)+681.51.01(075.8)

ББК 34.63с5я73+32.966я73

Рекомендовано к изданию научно-методическим советом Тольяттинского государственного университета.

ISBN 978-5-8259-1710-8

© Гуляев В.А., составление, 2025

© ФГБОУ ВО «Тольяттинский государственный университет», 2025

## ВВЕДЕНИЕ

Пособие предназначено для выполнения практических работ по дисциплине «Цифровые процессы и системы автоматизированного машиностроения» для студентов, обучающихся по направлению подготовки магистров 15.04.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств».

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

### **Задачи дисциплины:**

1. Дать понятия об основных положениях теории автоматического управления.
2. Сформировать у студентов знания методик проектирования и разработки цифровых систем управления (ЦСУ).
3. Обеспечить освоение студентами методов и способов оценки устойчивости и качества ЦСУ.

В ходе освоения теоретических знаний и выполнения практических работ студенты должны изучить методологические основы функционирования, моделирования и синтеза ЦСУ.

Студенты должны уметь выполнять анализ технологических процессов как объектов автоматизации и управления, составлять структурные схемы на основе математических моделей.

Также студенты должны овладеть 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.

## Структура учебно-методического пособия

Вид учебной работы	Наименование темы занятия (учебной работы)	Форма текущего контроля (наименование оценочного средства)
Лекция	Тема 1. Базовые характеристики систем управления	—
Практическое занятие	Практическое занятие 1. Исследование влияния параметров центробежного регулятора скорости на процесс регулирования	Отчет по практическому занятию
Практическое занятие	Практическое занятие 2. Определение частотных характеристик по анализу входного и выходного сигнала во времени	Отчет по практическому занятию
Практическое занятие	Практическое занятие 3. Типовые звенья передаточных функций	Отчет по практическому занятию
Практическое занятие	Практическое занятие 4. Определение переходной частотной характеристики	Отчет по практическому занятию
Самостоятельная работа	Самостоятельное изучение материала темы 1, не вошедшего в курс лекции	—
Лекция	Тема 2. Качественный и количественный анализ систем автоматического управления	—
Практическое занятие	Практическое занятие 5. Исследование устойчивости ЦСУ по критерию Гурвица	Отчет по практическому занятию
Практическое занятие	Практическое занятие 6. Математическая оценка устойчивости. Задачи устойчивости. Запас устойчивости	Отчет по практическому занятию
Практическое занятие	Практическое занятие 7. Исследование точности ЦСУ в режиме движения по гармоническому закону	Отчет по практическому занятию
Практическое занятие	Практическое занятие 8. Определение характеристик электромеханического привода	Отчет по практическому занятию
Самостоятельная работа	Самостоятельное изучение материала темы 2, не вошедшего в курс лекции	—

Вид учебной работы	Наименование темы занятия (учебной работы)	Форма текущего контроля (наименование оценочного средства)
Лекция	Тема 3. Синтез и анализ систем автоматического управления	—
Практическое занятие	Практическое занятие 9. Определение характеристик ЦСУ продольной подачи при точении	Отчет по практическому занятию
Практическое занятие	Практическое занятие 10. Обеспечение необходимой точности ЦСУ. Оценка точности ЦСУ	Отчет по практическому занятию
Практическое занятие	Практическое занятие 11. Исследование влияния астатизма на качество ЦСУ	Отчет по практическому занятию
Практическое занятие	Практическое занятие 12. Основы синтеза систем автоматического управления	Отчет по практическому занятию
Самостоятельная работа	Самостоятельное изучение материала темы 3, не вошедшего в курс лекции	—

За каждое практическое занятие студенту выставляется оценка: «зачтено», если задание выполнено, правильно оформлен отчет и пройдена устная защита теоретического материала, или «не зачтено», если задание не выполнено, неправильно оформлен отчет и не пройдена защита теоретического материала.

Выполнение практических заданий является допуском к экзамену по дисциплине «Цифровые системы управления производственными процессами». Критерии и нормы оценки текущего контроля: «отлично» — исчерпывающие ответы на вопросы экзаменационного билета и на дополнительные вопросы; «хорошо» — правильные ответы на вопросы билета с незначительными недочетами; «удовлетворительно» — правильные ответы на вопросы билета с существенными недочетами; «неудовлетворительно» — неправильные ответы на вопросы экзаменационного билета.

Библиографический список, представленный в конце пособия, рекомендуется для самостоятельного изучения учебного материала, не вошедшего в лекционный курс.

## **Тема 1. БАЗОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ**

**Цель изучения темы** – получение студентами теоретических и практических знаний по базовым характеристикам цифровых систем управления и регулирования.

### **Задачи:**

1. Ознакомить студентов с основными понятиями и определениями.
2. Показать сущность проблемы автоматического управления.
3. Исследовать влияние параметров центробежного регулятора скорости на процесс регулирования.
4. Исследовать характеристики переходного процесса и частотные характеристики.
5. Научить студентов линеаризации математических моделей.
6. Научить определять частотные характеристики по анализу входного и выходного сигналов во времени.

### **Изучив данную тему, студент должен:**

- иметь представление о сущности проблемы автоматического управления;
- знать параметры переходного процесса и влияние их друг на друга;
- уметь строить математические модели автоматических систем;
- владеть навыками определения частотных характеристик.

### **При освоении темы 1 необходимо:**

- изучить лекционный учебный материал курса и рекомендуемую учебную литературу;
- выполнить и сдать отчеты по практическим занятиям 1–4;
- показать знание изученного теоретического материала.

### **Краткие теоретические сведения по теме**

«Автоматическое управление в машиностроении осуществляется с помощью цифровых систем управления (ЦСУ), которые определяются как динамические системы, предназначенные для управления технологическими операциями, выполняемыми рабочими органами металлорежущего оборудования. Подчеркивая обобщающий характер изложения материала, отметим, что принципы построения ЦСУ не зависят от физической природы управляемых

процессов, а базируются только на взаимосвязях между входными и выходными величинами» [4].

## Практическое занятие 1

### Исследование влияния параметров центробежного регулятора скорости на процесс регулирования

**Форма проведения** – практическая работа.

#### Вопросы для обсуждения

1. Особенности работы центробежного регулятора скорости.
2. Переходная характеристика.
3. Момент нагрузки.
4. Быстродействие ЦСУ.
5. Точность ЦСУ.

#### Задание

«В соответствии с вариантом (табл. 1.1) провести исследование качества регулирования в зависимости от изменяемого параметра и построить графики зависимости быстродействия и точности ЦСУ в функции от изменяемого параметра» [4].

Таблица 1.1

#### Исходные данные

Первая цифра	Масса шариков $m$ , кг	Жесткость пружины $c_{пр}$ , Н/мм	Момент инерции двигателя $I_d$ , кг/м <sup>2</sup>	Вторая цифра	Начальная сила пружины $P_{пр}$ , Н	Коэффициент зависимости момента от открытия дросселя $k_d$ , Н/мм	Изменяемый 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	$I_d$
3	0,20	3,5	0,10	3	200	8	$k_d$
4	0,15	3,0	0,06	4	130	10	$P_{пр}$
5	0,10	2,0	0,04	5	85	9	$m$

Первая цифра	Масса шариков $m$ , кг	Жесткость пружины $c_{пр}$ , Н/мм	Момент инерции двигателя $I_d$ , кг/м <sup>2</sup>	Вторая цифра	Начальная сила пружины $P_{пр}$ , Н	Коэффициент зависимости момента от открытия дросселя $k_d$ , Н/мм	Изменяемый параметр
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	$I_d$
9	0,30	3,5	0,38	9	135	11	$k_d$

### Методические указания по выполнению задания

1. Изучите теоретический материал темы по экспериментальной оценке процесса регулирования и устойчивой работы системы автоматического управления.

2. На основе методических материалов оформите все виртуальные испытания для построения зависимостей быстродействия и точности системы от исследуемого параметра согласно исходным данным. Исходные данные должны соответствовать номеру варианта, выдаваемого преподавателем каждому студенту индивидуально.

### Методические материалы к занятию

Задание выполняется с помощью прикладной программы «Регулятор скорости». Программа предназначена для моделирования центробежного регулятора скорости двигателя, который представляет собой замкнутую систему автоматического управления (стабилизации).

Для работы с программой сначала необходимо установить соответствующие исходные данные ЦСУ. Эти данные записывают в соответствующих окошках главного интерфейса программы с помощью клавиатуры компьютера. При этом для записи десятичных дробей использовать только десятичную запятую.

Работа программы начинается с нажатия на кнопку «Процесс». На главном интерфейсе выполняется анимация работы регулятора, а на осциллографе появляются осциллограммы момента нагрузки

( $M$  – красная линия), угловой скорости двигателя ( $W$  – голубая линия) и открытия заслонки дросселя подачи рабочего тела ( $X$  – желтая линия). Исходные данные ЦСУ предусматривают стабилизацию угловой скорости двигателя на уровне 100 рад/с. Манипулируя соответствующими кнопками в окошке с надписью «Момент нагрузки» главного интерфейса, можно увеличивать либо уменьшать момент нагрузки с шагом 10 Нм, при этом наблюдать реакцию ЦСУ на осциллографе и поле анимации.

Для изменения исходных данных необходимо нажать кнопку **Reset**, которая переводит систему в исходное состояние, изменить необходимые данные и снова нажать на кнопку «Процесс».

Кнопка «Пауза» исполняет команду на временную остановку процесса моделирования без изменения данных, а кнопка «Продолжение» возобновляет моделирование с того положения, в котором была система при нажатии на кнопку «Пауза».

Любой участок осциллограммы может быть увеличен в несколько раз. Для этого нужно подвести мышку к левому верхнему углу участка, нажать левую клавишу и обвести участок, двигая мышку вниз – вправо. Отпустить левую клавишу. Такое увеличение можно делать несколько раз. Для возврата к исходному масштабу проделать манипуляции мышкой в обратном порядке: нажать левую клавишу, переместить мышку вверх – влево, отпустить клавишу.

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**. Представить также таблицу экспериментальных данных, графики требуемых зависимостей и выводы.

### **Рекомендуемая литература**

1. Петраков, Ю. В. Теория автоматического управления технологическими системами : учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по направлению 220100 «Системный анализ и управление» / Ю. В. Петраков, О. И. Драчев. – Москва : Машиностроение, 2008. – 336 с. – (Для вузов). – URL: [e.lanbook.com/book/751](http://e.lanbook.com/book/751) (дата обращения: 05.03.2024). – Режим доступа: по подписке. – ISBN 978-5-217-03391-1.

2. Гуляев, В. А. Теория автоматического управления технологическими процессами : учеб.-метод. пособие / В. А. Гуляев, А. О. Драчев, Ю. В. Петраков ; Тольяттинский государственный университет. — Тольятти : ТГУ, 2008. — 60 с.

## Практическое занятие 2

### Определение частотных характеристик по анализу входного и выходного сигналов во времени

**Форма проведения** – практическая работа.

#### Вопросы для обсуждения

1. Амплитудно-фазовая частотная характеристика (АФЧХ).
2. Отличие одно- и двухмассовой модели динамической системы.
3. Построение АФЧХ на комплексной числовой плоскости.

#### Задание

В соответствии с вариантом (табл. 1.2) провести исследование и построить АФЧХ системы (одномассовой или двухмассовой, по выходам  $x_1$  или  $x_2$ ).

Таблица 1.2

Исходные данные

Первая цифра	$m_1$ , кг	$c_1$ , Н/мм	$\lambda_1$ , кг/с	Вторая цифра	$m_2$ , кг	$c_2$ , Н/мм	$\lambda_2$ , 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

## **Методические указания по выполнению задания**

1. Изучите теоретический материал темы по построению амплитудно-фазовой частотной (АФЧХ), амплитудной частотной (АЧХ) и фазовой частотной (ФЧХ) характеристикам.

2. На основе методических материалов оформите все виртуальные испытания для построения требуемых характеристик согласно исходным данным. Исходные данные должны соответствовать номеру варианта, выдаваемого преподавателем каждому студенту индивидуально.

## **Методические материалы к занятию**

Для выполнения задания используется программа «Частотные характеристики». Программа предназначена для моделирования частотных характеристик механической системы, состоящей из одной или двух масс.

В начале работы с программой в верхнем левом углу главного интерфейса выбрать количество масс моделируемой динамической системы. В соответствии с таким выбором меняется изображение в окне анимации процесса моделирования и количество параметров системы, которые могут изменяться.

Для запуска процесса моделирования нажать кнопку «Процесс» и потом, используя кнопки со стрелками в окне «Частота входного сигнала», задать необходимую частоту. Частота изменяется с дискретностью 10 рад/с с помощью кнопок с надписью «Грубо» и с дискретностью 0,1 рад/с с помощью кнопок с надписью «Точно».

В окне анимации выполняется движение динамической системы под действием входного сигнала с постоянной амплитудой (левый элемент системы). Сигналы регистрируются на ленте самописца, расположенного под динамической системой.

Скорость протягивания ленты самописца регулируется соответствующими кнопками со стрелками, расположенными в окне «Регистрация сигналов». Скорость определяется по цифре, которая появляется в окне и обозначает интервал времени между горизонтальными делениями на ленте самописца. Для остановки и включения самописца использовать кнопки «Пуск» и «Стоп».

Процесс моделирования может быть приостановлен с помощью кнопки «Пауза». Для возобновления процесса моделирования нажать на кнопку «Процесс».

Изменение параметров динамической системы выполняется в соответствующих окнах, а после этого обязательно нажать кнопку «Процесс».

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

Аналогично обрабатывают результаты экспериментов и при исследовании двухмассовой системы.

В отчете представить копию интерфейса с записью выполненных экспериментов и построениями, необходимыми для определения выходных данных; таблицы экспериментальных и расчетных данных; графики экспериментальных АФЧХ-систем и выводы.

### **Рекомендуемая литература**

1. Петраков, Ю. В. Теория автоматического управления технологическими системами : учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по направлению 220100 «Системный анализ и управление» / Ю. В. Петраков, О. И. Драчев. — Москва : Машиностроение, 2008. — 336 с. — (Для вузов). — URL: [e.lanbook.com/book/751](http://e.lanbook.com/book/751) (дата обращения: 05.03.2024). — Режим доступа: по подписке. — ISBN 978-5-217-03391-1.
2. Гуляев, В. А. Теория автоматического управления технологическими процессами : учеб.-метод. пособие / В. А. Гуляев, А. О. Драчев, Ю. В. Петраков ; Тольяттинский государственный университет. — Тольятти : ТГУ, 2008. — 60 с.

## Практическое занятие 3

### Типовые звенья передаточных функций

Форма проведения – практическая работа.

#### Вопросы для обсуждения

1. Фигуры Лиссажу.
2. Отличие экспериментально полученной АФЧХ от расчетной.
3. Передаточные функции.

#### Задание

Определите передаточные функции заданных динамических систем. Проведите экспериментальные исследования, постройте экспериментальные АФЧХ и дайте их толкование для исследуемых систем. Исходные данные определяются по табл. 1.3 и рис. 1 в соответствии с вариантом.

Таблица 1.3

Исходные данные

Первая цифра	$c_1$ , Н/м	$c_2$ , Н/м	Вторая цифра	$\lambda_1$ , кг/с	$\lambda_2$ , кг/с	$M$ , кг
0	1000	5000	0	100	200	10
1	2000	3000	1	300	50	–
2	4000	1000	2	200	80	8
3	6000	10 000	3	500	800	–
4	5000	12 000	4	250	400	20
5	8000	14 000	5	600	700	–
6	4000	8000	6	400	200	5
7	12 000	6000	7	150	120	–
8	3000	1500	8	180	240	12
9	3600	7800	9	360	450	–

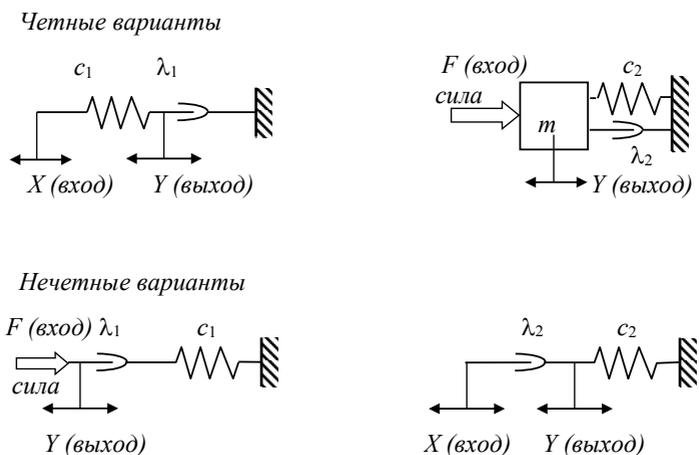


Рис. 1. Динамические схемы

### Методические указания по выполнению задания

1. Изучите теоретический материал темы по построению экспериментальной амплитудно-фазовой частотной характеристики с помощью фигур Лиссажу.
2. На основе методических материалов оформите все виртуальные испытания для построения требуемой характеристики согласно исходным данным. Исходные данные должны соответствовать номеру варианта, выдаваемого преподавателем каждому студенту индивидуально.

### Методические материалы к занятию

Для выполнения задания используется программа «Фигуры Лиссажу». Программа предназначена для экспериментального исследования частотных характеристик системы с помощью фигур Лиссажу. Исследуемая система представляется в виде передаточной функции, форма которой показана выше – стандартная форма передаточной функции. При этом коэффициент  $k$  учитывается только при интерпретации результатов, то есть в программу не вводится.

В соответствии с исследуемой передаточной функцией устанавливается порядок числителя и порядка знаменателя, потом задаются коэффициенты и выполняется моделирование.

Для начала моделирования нажать мышкой переключатель частоты (грубо – через 1 рад/с, точно – через 0,01 рад/с). В окошке «Частота» появляется соответствующее значение частоты, а на экране осциллографа – эллипс, который отражает реакцию системы на гармонический входной сигнал с заданной частотой.

Коэффициент усиления и затухания следа меняет значение амплитуды сигналов сразу по двум координатам, и затухание следа симулируется как в реальном осциллографе.

При необходимости изменить передаточную функцию системы следует возобновить все манипуляции, как и при задании новой системы, а потом нажать кнопку Reset. Программа будет моделировать реакцию новой системы на гармонический сигнал.

### **ВНИМАНИЕ!**

При введении в поле коэффициентов передаточной функции необходимо задавать десятичные дроби только через десятичную запятую.

В отчете представить задание, схемы исследуемых систем, вывод их передаточных функций, копию интерфейса для любой частоты с построениями, объясняющими необходимые измерения, таблицы экспериментальных данных и графики АФЧХ, построенные по этим данным. Дать пояснение полученных результатов в приложении к динамическим системам.

### **Рекомендуемая литература**

1. Петраков, Ю. В. Теория автоматического управления технологическими системами : учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по направлению 220100 «Системный анализ и управление» / Ю. В. Петраков, О. И. Драчев. – Москва : Машиностроение, 2008. – 336 с. – (Для вузов). – URL: [e.lanbook.com/book/751](http://e.lanbook.com/book/751) (дата обращения: 05.03.2024). – Режим доступа: по подписке. – ISBN 978-5-217-03391-1.
2. Гуляев, В. А. Теория автоматического управления технологическими процессами : учеб.-метод. пособие / В. А. Гуляев, А. О. Драчев, Ю. В. Петраков ; Тольяттинский государственный университет. – Тольятти : ТГУ, 2008. – 60 с.

## Практическое занятие 4

### Определение переходной частотной характеристики

**Форма проведения** – практическая работа.

#### Вопросы для обсуждения

1. Виды передаточных функций.
2. Логарифмическая частотная характеристика.
3. Виды частотных характеристик.

#### Задание

Постройте переходную и частотные характеристики следующих типовых динамических звеньев:

*Четные варианты*

$$W_1(s) = \frac{k_3}{(T_4s + 1)s}$$

$$W_2(s) = \frac{\tau s}{T_5s + 1}$$

*Нечетные варианты*

$$W_1(s) = \frac{k_1}{T_1s + 1}$$

$$W_2(s) = \frac{k_2}{T_2^2s^2 + T_3s + 1}$$

Исходные данные приведены в табл. 1.4 в соответствии с номером варианта.

Таблица 1.4

Исходные данные

Первая цифра	$k_1$	$\frac{T_2^2}{c^2}$	$k_3$	$\tau, c$	Вторая цифра	$T_1, c$	$k_2$	$T_3, c$	$T_4, c$	$T_5, c$
0	0,2	0,06	12	0,1	0	0,03	10	0,06	0,3	0,9
1	0,8	0,08	20	0,2	1	0,04	20	0,02	0,2	0,8
2	1,2	0,09	15	0,3	2	0,05	30	0,03	0,1	0,7
3	4,0	0,12	2,5	0,4	3	0,06	40	0,04	0,05	0,6
4	12	0,10	10	0,5	4	0,07	45	0,05	0,5	0,5
5	25	0,05	1	0,6	5	0,08	6	0,1	0,6	0,4

Первая цифра	$k_1$	$T_2^2, \text{с}^2$	$k_3$	$\tau, \text{с}$	Вторая цифра	$T_1, \text{с}$	$k_2$	$T_3, \text{с}$	$T_4, \text{с}$	$T_5, \text{с}$
6	47	0,04	0,1	0,7	6	0,09	35	0,2	0,7	0,3
7	55	0,03	0,2	0,8	7	0,10	25	0,3	0,8	0,2
8	65	0,02	0,3	0,9	8	0,11	15	0,4	0,9	0,1
9	95	0,01	0,4	1,0	9	0,12	5	0,5	1,0	1,0

### Методические указания по выполнению задания

1. Изучите теоретический материал темы по построению амплитудно-фазовой частотной характеристики, переходной характеристики и логарифмической частотной характеристики.

2. На основе методических материалов оформите все виртуальные испытания для построения требуемых характеристик согласно исходным данным. Исходные данные должны соответствовать номеру варианта, выдаваемого преподавателем каждому студенту индивидуально.

### Методические материалы к занятию

Для выполнения задания используется программа «Построение частотных и переходной характеристик». Программа предназначена для определения переходной и частотных характеристик системы любого порядка по ее передаточной функции, которая представлена в стандартной форме.

Сначала, в соответствии с порядком числителя и знаменателя передаточной функции моделируемой системы, необходимо установить эти значения в соответствующих окошках интерфейса. В таблицах, которые расположены ниже, появляются обозначения соответствующих коэффициентов числителя и знаменателя передаточной функции. Необходимо ввести эти значения с помощью клавиатуры. При этом вводить значения следует, как и во все другие окошки интерфейса, используя только десятичную запятую.

После проверки ввести соответствующие значения для расчета и построения характеристик.

Для построения желаемой характеристики нажать соответствующую кнопку на интерфейсе. Если построенная характеристика требует изменений, вернуться к главному интерфейсу, выполнить необходимые корректировки и снова нажать соответствующую кнопку.

Поскольку для построения характеристик использован компонент Chart, можно увеличивать любой фрагмент характеристики. Для этого нажать на левую клавишу мышки и выделить желаемый участок графика, перемещая мышку слева направо и вниз. Для возвращения к исходному размеру действовать в обратном направлении.

В отчете представить цель работы, задание, исходные данные в соответствии с вариантом задания, результаты виртуального моделирования — графики всех полученных характеристик.

### **Рекомендуемая литература**

1. Петраков, Ю. В. Теория автоматического управления технологическими системами : учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по направлению 220100 «Системный анализ и управление» / Ю. В. Петраков, О. И. Драчев. — Москва : Машиностроение, 2008. — 336 с. — (Для вузов). — URL: [e.lanbook.com/book/751](http://e.lanbook.com/book/751) (дата обращения: 05.03.2024). — Режим доступа: по подписке. — ISBN 978-5-217-03391-1.
2. Гуляев, В. А. Теория автоматического управления технологическими процессами : учеб.-метод. пособие / В. А. Гуляев, А. О. Драчев, Ю. В. Петраков ; Тольяттинский государственный университет. — Тольятти : ТГУ, 2008. — 60 с.

## **Методические указания по выполнению самостоятельной работы по теме 1**

Для закрепления учебного материала рекомендуется письменно ответить на один из вопросов по выбору:

1. Какие основные понятия и определения используются при описании ЦСУ?
2. Что включают понятия: «система управления», «объект управления», «управляющие и возмущающие воздействия», «управляющие координаты»?
3. По какому принципу классифицируются цифровые системы управления?
4. В чем суть принципа разомкнутого управления, управления по возмущению и отклонению?
5. Как классифицируются цифровые системы управления по характеру передачи сигналов?
6. Как классифицируются цифровые системы управления по основным видам уравнений динамики процессов управления?
7. Какие особенности необходимо учитывать при математическом описании линейных цифровых систем?
8. Какие особенности необходимо учитывать при математическом моделировании элементов ЦСУ?
9. Какие особенности необходимо учитывать при линеаризации нелинейных дифференциальных уравнений динамических режимов работы элементов ЦСУ?
10. С помощью каких характеристик описываются динамические звенья ЦСУ?

## **Тема 2. КАЧЕСТВЕННЫЙ И КОЛИЧЕСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ**

**Цель изучения темы** — получение студентами теоретических и практических знаний для проведения качественного и количественного анализа систем автоматического управления и регулирования.

### **Задачи:**

1. Ознакомить студентов с основными правилами и принципами преобразования структурных схем.
2. Научить студентов исследовать автоматические системы на устойчивость.
3. Научить определять чувствительность и добротность систем автоматического управления.

### **Изучив данную тему, студент должен:**

- иметь представление о принципах преобразования структурных схем;
- знать процедуру исследования систем на устойчивость и их точность;
- уметь пользоваться частотными критериями устойчивости;
- владеть навыками применения алгебраических критериев устойчивости.

### **При освоении темы 2 необходимо:**

- изучить лекционный учебный материал курса и рекомендуемую учебную литературу;
- выполнить и сдать отчеты по практическим занятиям 5–8;
- показать знание изученного теоретического материала.

### **Краткие сведения по теме**

Изучение структурных схем и их правил преобразования удобно провести на примере ЦСУ скоростью резания при шлифовании (рис. 2).

«В разомкнутой ЦСУ (рис. 2, *a*) сигнал  $U_3$ , вырабатываемый задающим датчиком перемещения 3 (ЗП), поступает на управляющий вход тиристорного преобразователя 5 (ТП), нагрузкой которого является двигатель 2 (ДО) постоянного тока. Желаемая начальная скорость резания может устанавливаться предваритель-

ной настройкой потенциометра 3 по данным измерительных приборов. Главным возмущением для управляемого объекта является момент  $M_p$  от силы резания. Изменение момента приводит к изменению скорости резания в соответствии с динамическими свойствами системы и электромеханической характеристикой двигателя. Поэтому функциональное назначение системы – стабилизация скорости резания – в этом случае зависит от возмущения, которое снижает ее эксплуатационные показатели» [4].

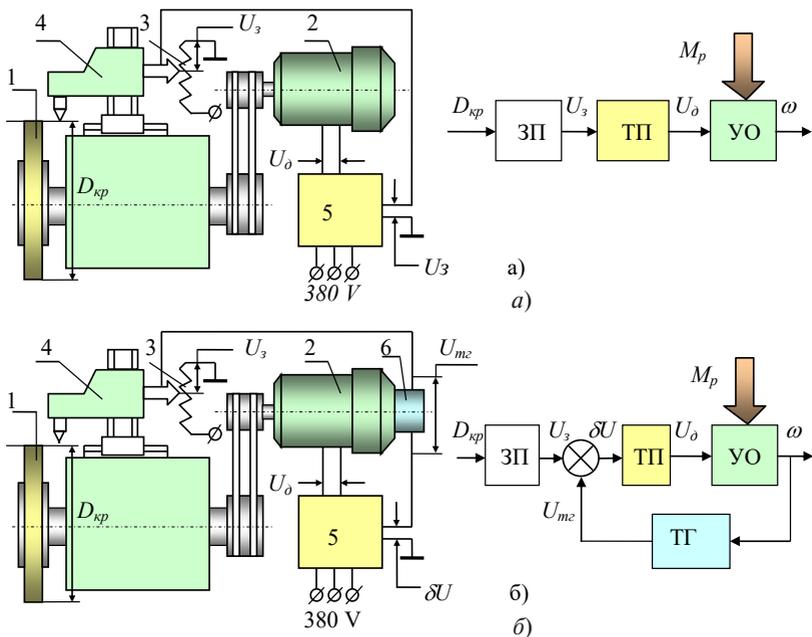


Рис. 2. Разомкнутая (а) и замкнутая (б) ЦСУ скоростью резания при шлифовании

«Таким образом, с помощью обратной связи получают замечательное свойство ЦСУ, которое определяется тем, что возмущения, действующие на элементы ЦСУ, охваченные обратной связью, практически не влияют на точность регулирования, а чувствительность относительно управляющего воздействия всегда сохраняется» [4].

## Практическое занятие 5

### Исследование устойчивости ЦСУ по критерию Гурвица

Форма проведения – практическая работа.

#### Вопросы для обсуждения

1. Критерий устойчивости Гурвица.
2. Основные характеристики усилителя-преобразователя.
3. Области устойчивости и неустойчивости.
4. Назначение потенциометра обратной связи.

#### Задание

1. По исходным данным, в соответствии с вариантом (табл. 2.1), построить диаграмму устойчивости системы по критерию устойчивости Гурвица. Определить максимально возможное значение коэффициента передачи усилителя-преобразователя и подготовить таблицу экспериментальных данных.

2. Используя прикладную программу, провести серию экспериментов и результаты записать в таблицу.

3. По результатам экспериментов построить экспериментальный график зависимости и провести его анализ.

Таблица 2.1

Исходные данные

Первая цифра	Усилитель $T_y$ , с	Двигатель $k_d$ , рад/сВ	Винтовая пара $H_{вп}$ , мм	Вторая цифра	Двигатель $T_d$ , с	Обратная связь $k_{oc}$ , 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

## **Методические указания по выполнению задания**

1. Изучите теоретический материал темы по применению алгебраических критериев устойчивости, в том числе критерия устойчивости Гурвица.

2. На основе методических материалов оформите все виртуальные испытания для проведения анализа устойчивости системы согласно исходным данным. Исходные данные должны соответствовать номеру варианта, выдаваемого преподавателем каждому студенту индивидуально.

## **Методические материалы к занятию**

Для выполнения задания используется прикладная программа «Исследование устойчивости». Программа предназначена для исследования устойчивости и точности ЦСУ электропривода для станка с ЧПУ.

Для работы с программой сначала выбирают желаемый вид исследований (устойчивость или точность), а потом в окнах главного интерфейса задают исходные данные ЦСУ. Все исходные данные задаются только с использованием десятичной запятой. Десятичная точка воспринимается программой как ошибка.

После проверки исходных данных переместить мышку к красному маркеру около датчика обратной связи. При этом стрелка мышки превращается в изображение руки. Нажать на левую клавишу мышки, переместить красный маркер в любую сторону и отпустить клавишу. Тем самым на вход системы задается управляющий сигнал, который при реальном приводе соответствует сигналу, сформированному системой ЧПУ с учетом коэффициента обратной связи. Таким образом, эта команда вынуждает суппорт занять положение, обозначенное красным маркером в окне анимации, то есть система следит за этим положением.

Процесс регулирования отображается на экране осциллографа двумя сигналами: фактическое перемещение суппорта – голубая линия, заданное перемещение суппорта – зеленая линия. Шкалы для измерений величин перемещений расположены справа и слева экрана осциллографа соответственно, внизу – шкала времени в секундах.

Слева от экрана осциллографа находятся кнопки управления, которые позволяют сделать паузу в моделировании и анимации, – кнопка «Пауза», перевести систему в исходное состояние – кнопка Reset. После нажатия на кнопки «Пауза» и Reset для продолжения моделирования при исследовании устойчивости необходимо снова перевести мышку в соответствующую зону красного маркера и нажать один раз левую клавишу мышки, а при исследовании точности – нажать кнопку «Процесс».

Изменение исходных данных можно проводить после нажатия кнопки Reset.

В отчете представить структурную схему ЦСУ, 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  $k_{yn}$  и выводы.

### **Рекомендуемая литература**

1. Петраков, Ю. В. Теория автоматического управления технологическими системами : учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по направлению 220100 «Системный анализ и управление» / Ю. В. Петраков, О. И. Драчев. – Москва : Машиностроение, 2008. – 336 с. – (Для вузов). – URL: [e.lanbook.com/book/751](http://e.lanbook.com/book/751) (дата обращения: 05.03.2024). – Режим доступа: по подписке. – ISBN 978-5-217-03391-1.
2. Гуляев, В. А. Теория автоматического управления технологическими процессами : учеб.-метод. пособие / В. А. Гуляев, А. О. Драчев, Ю. В. Петраков ; Тольяттинский государственный университет. – Тольятти : ТГУ, 2008. – 60 с.

## Практическое занятие 6

### Математическая оценка устойчивости. Задачи устойчивости. Запас устойчивости

Форма проведения – практическая работа.

#### Вопросы для обсуждения

1. Расчет оптимального коэффициента передачи обратной связи.
2. Экспериментальное исследование точности регулирования.

#### Задание

В соответствии с вариантом (табл. 2.2) рассчитайте коэффициент передачи тахогенератора для устранения статической ошибки ЦСУ, проведите экспериментальные исследования точности регулирования от коэффициента обратной связи.

Таблица 2.2

#### Исходные данные

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

## **Методические указания по выполнению задания**

1. Изучите теоретический материал темы по решению задач устойчивости и запаса устойчивости.

2. На основе методических материалов оформите все виртуальные испытания для проведения расчета оптимального коэффициента передачи обратной связи согласно исходным данным. Исходные данные должны соответствовать номеру варианта, выдаваемого преподавателем каждому студенту индивидуально.

## **Методические материалы к занятию**

Для выполнения задания используется программа «Неединичная ЦСУ». Программа предназначена для исследования влияния величины коэффициента обратной связи ЦСУ на точность регулирования.

Для работы с программой задать исходные данные в окнах, которые расположены в левой части главного интерфейса. Затем установить желаемый уровень угловой скорости нагрузки и нажать кнопку «Процесс». Все исходные данные задавать, используя десятичную запятую, а не точку.

В окне анимации начинается движение, а на осциллографе появляются осциллограммы заданного уровня угловой скорости (зеленая линия) и угловой скорости нагрузки (голубая линия).

Для точного измерения значений осциллограмм можно увеличить любой участок осциллограмм. Для этого нужно подвести мышку к левому верхнему участку увеличения, нажать левую клавишу, протянуть мышку вниз — вправо и отпустить левую клавишу. Увеличение можно проводить несколько раз. Для возврата к исходному размеру действовать мышкой в обратном направлении.

Для изменения передаточного отношения редуктора манипулировать кнопками около значения количества зубьев ведомой шестерни.

Кнопка «Пауза» временно останавливает процесс моделирования, кнопка Reset переводит программу в исходное состояние.

Программа воспринимает любые изменения исходных данных при нажатии кнопки «Процесс».

В отчете представить структурную схему ЦСУ, исходные данные (согласно варианту), расчет коэффициента передачи тахогенератора, который обеспечивает превращение ЦСУ в астатическую систему 1-го порядка, копию интерфейса для регулирования с расчетным значением коэффициента передачи тахогенератора, таблицу экспериментальных данных; график экспериментальной зависимости и выводы.

### **Рекомендуемая литература**

1. Петраков, Ю. В. Теория автоматического управления технологическими системами : учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по направлению 220100 «Системный анализ и управление» / Ю. В. Петраков, О. И. Драчев. – Москва : Машиностроение, 2008. – 336 с. – (Для вузов). – URL: [e.lanbook.com/book/751](http://e.lanbook.com/book/751) (дата обращения: 05.03.2024). – Режим доступа: по подписке. – ISBN 978-5-217-03391-1.
2. Гуляев, В. А. Теория автоматического управления технологическими процессами : учеб.-метод. пособие / В. А. Гуляев, А. О. Драчев, Ю. В. Петраков ; Тольяттинский государственный университет. – Тольятти : ТГУ, 2008. – 60 с.

## **Практическое занятие 7 Исследование точности ЦСУ в режиме движения по гармоническому закону**

**Форма проведения** – практическая работа.

### **Вопросы для обсуждения**

1. Гармонический закон.
2. Коэффициент передачи усилителя-преобразователя.

### **Задание**

1. По исходным данным, в соответствии с вариантом (табл. 2.3), рассчитайте максимально допустимый коэффициент  $k_{\text{уп}}$  передачи усилителя-преобразователя и подготовьте таблицу экспериментальных данных.

2. Используя прикладную программу, выберите диапазон и шаг изменения частоты входного сигнала. Проведите серию экспериментов (для каждого значения коэффициента передачи), записывая результаты в таблицу, а затем постройте графики экспериментальных зависимостей.

Таблица 2.3

Исходные данные

Первая цифра	$T_{уп}, c$	$k_d, рад/сВ$	$T_d, c$	Вторая цифра	$H_{вп}, мм$	$K_{oc}$
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

**Методические указания по выполнению задания**

1. Изучите теоретический материал темы по исследованию точности систем управления.

2. На основе методических материалов оформите все виртуальные испытания для проведения расчета оптимального коэффициента передачи усилителя-преобразователя согласно исходным данным. Исходные данные должны соответствовать номеру варианта, выдаваемого преподавателем каждому студенту индивидуально.

**Методические материалы к занятию**

Для выполнения работы используется прикладная программа «Исследование точности». Программа предназначена для исследования устойчивости и точности ЦСУ электропривода для станка с ЧПУ.

Для работы с программой сначала выбирают желаемый вид исследований (устойчивость или точность), а потом в окнах главного интерфейса задают исходные данные ЦСУ. Все исходные данные задаются только с использованием десятичной запятой. Десятичная точка воспринимается программой как ошибка.

При этом виде исследований на главном интерфейсе появляются дополнительные окна для задания амплитуды и частоты гармонического входного сигнала, а также кнопка «Процесс».

После задания выбранных значений амплитуды и частоты для моделирования нажать кнопку «Процесс». В окне анимации красный маркер движется по выбранному гармоническому закону, а на осциллографе отображаются заданное перемещение – зеленая линия, перемещение суппорта – голубая линия – и ошибка – красная линия. Величины сигналов определяются по любой шкале в миллиметрах.

Слева от экрана осциллографа находятся кнопки управления, которые позволяют сделать паузу в моделировании и анимации – кнопка «Пауза», перевести систему в исходное состояние – кнопка Reset. После нажатия на кнопки «Пауза» и Reset для продолжения моделирования при исследовании устойчивости необходимо снова перевести мышку в соответствующую зону красного маркера и нажать один раз левую клавишу мышки, а при исследовании точности – нажать кнопку «Процесс».

Изменение исходных данных можно проводить после нажатия кнопки Reset.

В отчете привести структурную схему ЦСУ, соответствующие расчеты коэффициента передачи усилителя-преобразователя, таблицу экспериментальных данных, копию интерфейса прикладной программы для какого-либо эксперимента, графики экспериментальных зависимостей и выводы.

### **Рекомендуемая литература**

1. Петраков, Ю. В. Теория автоматического управления технологическими системами : учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по направлению 220100 «Системный анализ и управление» / Ю. В. Петраков, О. И. Драчев. – Москва : Машиностроение

ние, 2008. – 336 с. – (Для вузов). – URL: e.lanbook.com/book/751 (дата обращения: 05.03.2024). – Режим доступа: по подписке. – ISBN 978-5-217-03391-1.

2. Гуляев, В. А. Теория автоматического управления технологическими процессами : учеб.-метод. пособие / В. А. Гуляев, А. О. Драчев, Ю. В. Петраков ; Тольяттинский государственный университет. – Тольятти : ТГУ, 2008. – 60 с.

## **Практическое занятие 8**

### **Определение характеристик электромеханического привода**

**Форма проведения** – практическая работа.

#### **Вопросы для обсуждения**

1. Статические характеристики.
2. Динамическое качество системы управления.
3. Комплексный показатель качества системы управления.
4. Оптимальный по быстродействию коэффициент передачи редуктора.

#### **Задание**

1. По исходным данным, в соответствии с вариантом (табл. 2.4), определите статические характеристики электромеханического привода для разных значений напряжения питания двигателя и постройте соответствующие графики. (Диапазон изменения напряжения определяет преподаватель.)

2. Проведите серию экспериментов по моделированию переходной характеристики при разных значениях коэффициента  $k_p$  передачи редуктора, выполните необходимые измерения, рассчитайте комплексный показатель  $A$  и постройте соответствующий график для определения оптимального по быстродействию коэффициента  $k_p$ .

## Исходные данные

Первая цифра	$I_d$ , кгм <sup>2</sup>	$k_d$ , Нм/В	$k_m$ , Нмс/рад	$k_p$	Вторая цифра	$I$ , кгм <sup>2</sup>	$\beta$ , Нм/рад	$\lambda$ , 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

**Методические указания по выполнению задания**

1. Изучите теоретический материал темы по комплексному исследованию систем и объектов управления.

2. На основе методических материалов оформите все виртуальные испытания для определения статических характеристик и динамического качества электромеханического привода согласно исходным данным. Исходные данные должны соответствовать номеру варианта, выдаваемого преподавателем каждому студенту индивидуально.

**Методические материалы к занятию**

Для выполнения работы используется прикладная программа «Электромеханический привод». Программа предназначена для исследования качественных характеристик электромеханического привода.

На главном интерфейсе слева расположены окна для задания исходных параметров привода и кнопки управления. Справа – окно анимации движений привода и осциллограф для фиксации во времени характеристик движения привода.

Для моделирования после задания исходных параметров привода установить желаемую величину напряжения питания двигателя – управляющее воздействие – и нажать кнопку «Процесс». Начинается движение привода, в окне анимации появляется круг с цветным сектором, который соответствует углу скручивания упругого вала между выходной шестерней редуктора и нагрузкой, а на осциллографе появляется осциллограмма угловой скорости нагрузки – голубая линия. Шкала отсчета угловой скорости находится слева. Величина угла скручивания афишируется в градусах над кругом в окне анимации.

Для приостановки процесса моделирования нажать кнопку «Пауза», для продолжения снова нажать кнопку «Процесс».

Для изучения реакции привода на ступенчатый сигнал по каналу управления или по каналу возмущения нажать кнопку «Пауза», установить необходимую величину скачка и нажать кнопку «Процесс». Осциллограмма момента полезной нагрузки изображается красной линией на экране осциллографа.

Изменение коэффициента передачи редуктора автоматически переводит привод в исходное состояние. При этом можно изменить и все другие исходные данные. Процесс моделирования снова начинается при нажатии кнопки «Процесс».

**ВНИМАНИЕ!** Все исходные параметры задаются только через десятичную запятую.

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

### **Рекомендуемая литература**

1. Петраков, Ю. В. Теория автоматического управления технологическими системами : учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по направлению 220100 «Системный анализ и управление» / Ю. В. Петраков, О. И. Драчев. – Москва : Машиностроение

ние, 2008. – 336 с. – (Для вузов). – URL: [e.lanbook.com/book/751](http://e.lanbook.com/book/751) (дата обращения: 05.03.2024). – Режим доступа: по подписке. – ISBN 978-5-217-03391-1.

2. Гуляев, В. А. Теория автоматического управления технологическими процессами : учеб.-метод. пособие / В. А. Гуляев, А. О. Драчев, Ю. В. Петраков ; Тольяттинский государственный университет. – Тольятти : ТГУ, 2008. – 60 с.

### **Методические указания по выполнению самостоятельной работы по теме 2**

Для закрепления учебного материала рекомендуется письменно ответить на один из вопросов по выбору:

1. Какими характеристиками обладают динамические звенья ЦСУ?
2. Что такое устойчивость систем автоматического управления?
3. Какие существуют особенности алгебраических критериев устойчивости?
4. Какие правила используются при преобразовании структурных схем ЦСУ?
5. Какие методы используются для оценки качества автоматических систем?
6. Каким образом производится оценка качества переходного процесса?
7. В чем отличие математического описания линейных систем управления от нелинейных?
8. Каким образом можно повысить точность цифрового управления в установившихся режимах работы?
9. Как классифицируются цифровые системы управления в зависимости от характера передачи сигналов?
10. Чем отличаются статические характеристики элементов цифровой системы управления от динамических?

### **Тема 3. СИНТЕЗ И АНАЛИЗ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ**

**Цель изучения темы** – получение студентами теоретических знаний и практических навыков для проведения синтеза и анализа систем автоматического управления и регулирования.

#### **Задачи:**

1. Ознакомить студентов с основными правилами и принципами проведения комплексной оценки качества ЦСУ.
2. Научить студентов получать характеристики автоматических систем на примере управления продольной подачей при точении.
3. Научить добиваться требуемой точности ЦСУ и проводить анализ точности.
4. Научить студентов определять влияние астатизма на качество ЦСУ.
5. Ознакомить студентов с основами синтеза систем управления.

#### **Изучив данную тему, студент должен:**

- иметь представление об основных правилах и принципах расчета комплексной оценки качества ЦСУ;
- знать процедуру получения характеристик ЦСУ;
- уметь поддерживать требуемую по техническому заданию точность работы ЦСУ;
- владеть навыками применения основных принципов синтеза ЦСУ.

#### **При освоении темы 3 необходимо:**

- изучить лекционный учебный материал курса и рекомендуемую учебную литературу;
- выполнить и сдать отчеты по практическим занятиям 9–12;
- показать знание изученного теоретического материала.

#### **Краткие сведения по теме**

Наиболее распространенный в металлообработке тип замкнутых ЦСУ – это ЦСУ, 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.

## Практическое занятие 9

### Определение характеристик ЦСУ продольной подачи при точении

**Форма проведения** – практическая работа.

#### Вопросы для обсуждения

1. Точность регулирования, быстродействие, склонность к колебаниям.
2. Технологические обрабатывающие системы.
3. Комплексный показатель качества системы управления.
4. Относительное перерегулирование и затухание за период.

#### Задание

1. По исходным данным, в соответствии с вариантом (табл. 3.1), проведите моделирование с целью определения качества переходной характеристики ЦСУ по комплексному показателю и точности по ошибке  $\delta P$  от следующих параметров ЦСУ:

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

Таблица 3.1

#### Исходные данные

Первая цифра	Диаметр детали $D$ , мм	Жесткость ТОС $C_y$ , Н/мм	Масса $M$ , кг	Коэффициент вязкого трения $\lambda$	Скорость резания $V$ , м/мин	Главный угол реза в плане $F_l$ , град	Коэффициент передачи динамометра, В/Н	Вторая цифра	Двигатель			
									Тиристорный преобразователь	$k_{уп}$	$k_{дв}$	$T_y$ , с
0	200	30 000	100	1200	200	30	0,001	0	20	0,8	0,003	0,01
1	180	28 000	90	1400	180	45	0,002	1	30	0,9	0,005	0,02
2	160	26 000	70	1000	160	60	0,003	2	40	1,0	0,007	0,03
3	140	24 000	60	800	140	75	0,004	3	50	1,1	0,010	0,04

Первая цифра	Диаметр детали $D$ , мм	Жесткость ТОС $C_y$ , Н/мм	Масса $M$ , кг	Коэффициент вязкого трения $\lambda$	Скорость резания $V$ , м/мин	Главный угол реза в плане $FI$ , град	Коэффициент передачи динамометра, В/Н	Вторая цифра	Двигатель			
									Тиристорный преобразователь	$k_{уп}$	$k_{дв}$	$T_я$ , с
4	120	22 000	50	900	80	80	0,005	4	60	1,2	0,008	0,05
5	100	20 000	40	600	100	45	0,006	5	70	1,3	0,009	0,01
6	80	23 000	30	700	110	60	0,007	6	80	0,7	0,006	0,02
7	60	25 000	55	1100	120	75	0,008	7	90	0,6	0,004	0,03
8	40	27 000	65	550	90	30	0,002	8	100	1,5	0,003	0,04
9	20	29 000	85	750	130	45	0,004	9	110	1,8	0,005	0,05

**Примечание:**

- диапазон изменения жесткости (Н/мм)  $18\ 000 \leq c_x \leq 50\ 000$ ;
- диапазон варьирования коэффициента усилителя обратной связи  $5 \leq k_y \leq 55$ ;
- диапазон изменения коэффициента передачи редуктора (мм/рад)  $0,2 \leq k_p \leq 0,05$ .

2. Выбирая шаг изменения заданного параметра, проведите эксперименты на всем диапазоне его изменения, определите необходимые динамические характеристики и запишите результаты в соответствующие таблицы.

3. Постройте графики экспериментальных зависимостей комплексного показателя качества и ошибки от указанных выше параметров ЦСУ. Определите динамические показатели ЦСУ: относительное перерегулирование и затухание за период.

**ВНИМАНИЕ!** Поскольку исходные данные задаются случайно, не исключается ситуация, когда ЦСУ оказывается неустойчивой, то есть совсем не пригодной к функционированию. Сообщение об этом в таком случае появляется на экране монитора во время моделирования. Рекомендуется для решения этой проблемы действовать в такой последовательности:

1) изменить параметр, в функции которого анализируется динамическое качество ЦСУ в диапазоне, указанном в задании;

2) если в результате выполнения п. 1 не удастся обеспечить постоянство ЦСУ, следует уменьшить коэффициент передачи прямого канала ЦСУ за счет уменьшения коэффициента усиления транзисторного (тиристорного) преобразователя. Полученный таким образом новый коэффициент занести в исходные данные с соответствующим комментарием.

### **Методические указания по выполнению задания**

1. Изучите теоретический материал темы по комплексному исследованию систем и объектов управления.

2. На основе методических материалов оформите все виртуальные испытания для стабилизации силы резания во время обработки специально подготовленной детали с неравномерным припуском согласно исходным данным. Исходные данные должны соответствовать номеру варианта, выдаваемого преподавателем каждому студенту индивидуально.

### **Методические материалы к занятию**

Для выполнения задания используется программа «ЦСУ продольной подачей». Программа предназначена для моделирования цифровой системы управления (ЦСУ) продольной подачей при точении с целью стабилизации силы резания.

На главном интерфейсе программы задаются:

1. Динамические параметры технологической обрабатываемой системы (ТОС), которая представлена динамической моделью с двумя степенями подвижности – по оси  $Y$  и по оси  $X$ .

2. Параметры процесса резания. Следует заметить, что изменение главного угла в плане резца не вызывает соответствующих изменений на анимации процесса точения, но полностью учитывается в математической модели ЦСУ.

3. Параметры самой ЦСУ. **ВНИМАНИЕ!** При задании всех параметров использовать только десятичную запятую.

Параметр  $U_3$  (расположен внизу интерфейса) является входным сигналом ЦСУ и в определенном масштабе соответствует составляющей  $P_z$  силы резания. Таким образом, манипуляция этим сигналом позволяет изменять уровень стабилизации силы резания.

Для моделирования нажать кнопку «Процесс». Обработываемая деталь имеет переменный по длине припуск, что обеспечивает ступенчатую функцию по возмущению — глубина резания изменяется от 1 до 1,5 мм. При анимации движение суппорта в направлении продольной подачи отображает в определенном масштабе времени процесс регулирования: скорость изменяется при изменении припуска.

После окончания процесса точения на осциллографе появляются результаты моделирования, представленные двумя осциллограммами: составляющая  $P_z$  силы резания (желтая линия) и продольная подача (красная линия).

В процессе моделирования программа автоматически определяет устойчивость ЦСУ. Если исходные параметры системы заданы так, что не обеспечивают устойчивую работу, то моделирование прекращается с соответствующим уведомлением. В таком случае следует нажать кнопку Ok на уведомлении, кнопку Reset на главном интерфейсе, изменить исходные данные и снова нажать кнопку «Процесс».

Представленные результаты позволяют увеличивать любой участок изображения осциллограмм. Для этого необходимо нажать на левую клавишу мышки и обвести желаемый участок слева — направо — вниз. Возврат к исходному изображению происходит при действиях мышкой в обратном направлении. Для изменения исходных данных нажать кнопку Reset, что переводит систему в исходное состояние, ввести необходимые коррективы и новые данные и нажать кнопку «Процесс».

В отчете представить структурную схему исследуемой ЦСУ с исходными данными, копию интерфейса при моделировании, таблицы экспериментальных данных, графики соответствующих зависимостей и выводы.

## Рекомендуемая литература

1. Петраков, Ю. В. Теория автоматического управления технологическими системами : учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по направлению 220100 «Системный анализ и управление» / Ю. В. Петраков, О. И. Драчев. – Москва : Машиностроение, 2008. – 336 с. – (Для вузов). – URL: e.lanbook.com/book/751 (дата обращения: 05.03.2024). – Режим доступа: по подписке. – ISBN 978-5-217-03391-1.
2. Гуляев, В. А. Теория автоматического управления технологическими процессами : учеб.-метод. пособие / В. А. Гуляев, А. О. Драчев, Ю. В. Петраков ; Тольяттинский государственный университет. – Тольятти : ТГУ, 2008. – 60 с.

## Практическое занятие 10 Обеспечение необходимой точности ЦСУ. Оценка точности ЦСУ

**Форма проведения** – практическая работа.

### Вопросы для обсуждения

1. Методика проведения оценки точности ЦСУ.
2. Статические характеристики гидромеханической системы.
3. Комплексный показатель качества системы управления.
4. Относительное перерегулирование и затухание за период.

### Задание

1. По исходным данным, в соответствии с вариантом (табл. 3.2), определите статические характеристики гидромеханического привода (зависимость скорости рабочего органа от силы полезной нагрузки) для разных значений давления питания гидравлической системы и постройте соответствующий график. (Диапазон изменения давления определяет преподаватель.)

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

## Исходные данные

Первая цифра	$k$ , мм	$p_0$ , МПа	$P$ , см <sup>2</sup>	Вторая цифра	$c$ , Н/мм	$\lambda$ , 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

**Методические указания по выполнению задания**

1. Изучите теоретический материал темы по комплексному исследованию систем и объектов управления.
2. На основе методических материалов оформите все виртуальные испытания гидравлической системы согласно исходным данным. Исходные данные должны соответствовать номеру варианта, выдаваемого преподавателем каждому студенту индивидуально.

**Методические материалы к занятию**

Для выполнения задания используется программа «Гидромеханический привод». Программа предназначена для исследования качественных характеристик гидромеханического привода.

На главном интерфейсе программы размещены окна для задания исходных параметров привода и кнопки управления. Справа размещено окно анимации движений привода, под ним – осциллограф для фиксации главных выходных характеристик привода и возмущения.

Для моделирования после задания исходных параметров нажать кнопку «Процесс», задать желаемую величину открытия

дросселя (управляющий сигнал), подвести мышку к электрическому соленоиду электрогидравлического клапана в окне анимации (в зависимости от выбранного направления движения) и нажать левую клавишу мышки.

Гидропривод начинает движение, на экране осциллографа появляются осциллограммы скорости гидроцилиндра (голубая линия) и скорости массы (желтая линия). Величины скоростей отсчитываются по левой шкале. При необходимости можно изменить масштаб изображения, манипулируя соответствующими кнопками, которые размещены слева осциллографа ( $V_{\max}$ ).

Для задания возмущения следует нажимать соответствующие кнопки на главном интерфейсе («Полезная нагрузка»). На экране осциллографа величина силы изображается красной линией — отсчет по правой шкале.

Кнопка «Пауза» временно приостанавливает процесс моделирования, кнопка Reset возвращает систему в исходное положение.

Для изучения реакции системы на ступенчатый сигнал (как по каналу управления, так и по каналу возмущения) нажать кнопку «Пауза», установить желаемую величину скачка, подвести мышку к соответствующему (в зависимости от выбранного направления движения) соленоиду электрогидравлического клапана в окне анимации и нажать левую клавишу мышки.

При моделировании цвет рабочей жидкости в полости нагнетания гидроцилиндра соответствует давлению: при движении он бледнее, при остановке — более насыщенный. Если под действием полезной нагрузки давление в полости превышает давление линии питания, то происходит движение в обратном направлении и цвет жидкости изменяется на темный.

**ВНИМАНИЕ!** Все исходные параметры задаются с использованием десятичной запятой.

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

## Рекомендуемая литература

1. Петраков, Ю. В. Теория автоматического управления технологическими системами : учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по направлению 220100 «Системный анализ и управление» / Ю. В. Петраков, О. И. Драчев. — Москва : Машиностроение, 2008. — 336 с. — (Для вузов). — URL: [e.lanbook.com/book/751](http://e.lanbook.com/book/751) (дата обращения: 05.03.2024). — Режим доступа: по подписке. — ISBN 978-5-217-03391-1.
2. Гуляев, В. А. Теория автоматического управления технологическими процессами : учеб.-метод. пособие / В. А. Гуляев, А. О. Драчев, Ю. В. Петраков ; Тольяттинский государственный университет. — Тольятти : ТГУ, 2008. — 60 с.

## Практическое занятие 11 Исследование влияния астатизма на качество ЦСУ

**Форма проведения** — практическая работа.

### Вопросы для обсуждения

1. Понятие астатизма применительно к системам управления.
2. Статический режим работы ЦСУ.
3. Особенности ПИ-регуляторов.

### Задание

В соответствии с вариантом (табл. 3.3) проведите следующие исследования.

1. Установите экспериментально минимальное значение постоянной времени ПИ-регулятора, при которой ЦСУ теряет устойчивость. Определите диапазон и шаг изменения постоянной времени  $T_{\text{и}}$  и подготовьте таблицу экспериментальных и расчетных данных.

2. Проведите эксперименты при статическом режиме работы и рассчитайте комплексный критерий качества ЦСУ с ПИ-регулятором.

3. Убедитесь в устранении скоростной ошибки для ЦСУ с ПИ-регулятором.

4. Проведите эксперименты при движении с постоянным ускорением и определите точность регулирования.

5. Обработайте результаты экспериментальных исследований и постройте соответствующие графики.

Таблица 3.3

### Исходные данные

Первая цифра	Усилитель-преобразователь		Вторая цифра	Двигатель	
	$k_{уп}$	$T_{уп}, c$		$k_d, рад/сВ$	$T_d, c$
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

### Методические указания по выполнению задания

1. Изучите теоретический материал темы по исследованию астатизма при оценке качества ЦСУ.

2. На основе методических материалов оформите все виртуальные испытания для определения параметров ПИ-регулятора согласно исходным данным. Исходные данные должны соответствовать номеру варианта, выдаваемого преподавателем каждому студенту индивидуально.

### Методические материалы к занятию

Для выполнения задания используется программа «Исследование влияния астатизма». Программа предназначена для исследования влияния повышения порядка астатизма системы автоматического управления на качество регулирования.

На главном интерфейсе посередине расположены окна с исходными данными систем. Эти исходные данные задаются одинаковыми для обеих систем, однако правая система имеет пропорционально-интегральный регулятор, постоянная времени интегрирования которого задается дополнительно. Перед началом моделирования из представленного меню выбирается закон движения, который необходимо воспроизвести системе. Моделирование начинается при нажатии на кнопку «Процесс».

Обе системы (слева и справа) выполняют движение по выбранным законам, а на осциллографах, расположенных под окнами анимации, отображаются осциллограммы изменения заданного в соответствии с выбранным законом движения угла поворота (желтая линия) и фактического угла поворота руки робота (зеленая линия). На вертикальной шкале осциллографов обозначена шкала угла поворота в градусах, на горизонтальной — время в секундах.

В окнах анимации движений роботов красным треугольником обозначается положение, которое соответствует заданному во время моделирования.

Процесс моделирования в любой момент может быть приостановлен (кнопка «Пауза») и продолжен (кнопка «Процесс»).

Для возврата в исходное положение нажать кнопку Reset.

Любые изменения в исходных данных воспринимаются программой только после нажатия на кнопку «Процесс».

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

### **Рекомендуемая литература**

1. Петраков, Ю. В. Теория автоматического управления технологическими системами : учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по направлению 220100 «Системный анализ и управление» / Ю. В. Петраков, О. И. Драчев. — Москва : Машиностроение, 2008. — 336 с. — (Для вузов). — URL: [e.lanbook.com/book/751](http://e.lanbook.com/book/751) (дата обращения: 05.03.2024). — Режим доступа: по подписке. — ISBN 978-5-217-03391-1.

2. Гуляев, В. А. Теория автоматического управления технологическими процессами : учеб.-метод. пособие / В. А. Гуляев, А. О. Драчев, Ю. В. Петраков ; Тольяттинский государственный университет. — Тольятти : ТГУ, 2008. — 60 с.

## Практическое занятие 12

### Основы синтеза систем автоматического управления

**Форма проведения** — практическая работа.

#### Вопросы для обсуждения

1. Применение гибких обратных связей.
2. Комплексный критерий динамического качества.
3. Особенности параметров качества систем регулирования.

#### Задание

В соответствии с вариантом (табл. 3.4) выполните эксперименты для исходной ЦСУ, рассчитайте комплексный критерий динамического качества, составьте таблицу экспериментальных данных и проведите эксперименты для ЦСУ с местной гибкой обратной связью, данные запишите в таблицу и постройте графики экспериментальных зависимостей.

Таблица 3.4

#### Исходные данные

Первая цифра	Усилитель-преобразователь		Двигатель		Вторая цифра	Нагрузка		$k_p$	$k_y$	$k_{ос},$ В/рад	$k_{тп},$ Вс/рад
	$k_{уп}$	$T_{уп},$ с	$k_d,$ рад/сВ	$I_d,$ кг·м <sup>2</sup>		$I_n,$ кг·м <sup>2</sup>	$\beta,$ Нмс/рад				
0	2	0,003	1,2	0,03	0	0,35	1,5	14/42	10	2,0	0,65
1	4	0,004	1,0	0,02	1	0,45	1,4	8/48	15	3,0	0,55
2	6	0,005	0,9	0,04	2	0,50	1,3	12/44	20	4,0	0,45
3	8	0,006	0,6	0,01	3	0,25	1,2	28/28	25	5,0	0,35
4	10	0,007	1,1	0,03	4	0,20	1,1	20/36	12	6,0	0,25

Первая цифра	Усилитель-преобразователь		Двигатель		Вторая цифра	Нагрузка		$k_p$	$k_y$	$k_{oc}^*$ В/рад	$k_{п}^*$ Вс/рад
	$k_{уп}$	$T_{уп}, c$	$k_d^*$ рад/сВ	$I_d^*$ кг·м <sup>2</sup>		$I_n^*$ кг·м <sup>2</sup>	$\beta,$ Нмс/рад				
5	9	0,008	0,7	0,02	5	0,15	1,6	22/34	14	2,5	0,50
6	7	0,010	0,8	0,05	6	0,30	1,7	16/40	16	3,5	0,40
7	5	0,012	0,5	0,06	7	0,40	1,8	18/38	18	4,5	0,30
8	3	0,009	0,4	0,04	8	0,55	1,9	24/32	22	5,5	0,20
9	11	0,011	1,3	0,02	9	0,60	2,0	26/30	28	6,5	0,15

### Методические указания по выполнению задания

1. Изучите теоретический материал темы по применению гибких обратных связей для повышения быстродействия и качества регулирования ЦСУ.

2. На основе методических материалов оформите все виртуальные испытания для сравнения работы систем с наличием гибкой обратной связи и без нее согласно исходным данным. Исходные данные должны соответствовать номеру варианта, выдаваемого преподавателем каждому студенту индивидуально.

### Методические материалы к занятию

Для выполнения задания используется программа «Гибкая ОС». Программа предназначена для моделирования влияния местной гибкой обратной связи в ЦСУ на качество ее регулирования.

Для работы с программой выбрать желаемую структуру ЦСУ – с местной гибкой обратной связью или без таковой. Выбор выполняется в верхней левой части главного интерфейса. После задать исходные данные в соответствующих окнах интерфейса. При записи данных использовать только десятичную запятую.

Для моделирования перевести мышку в поле графической анимации, нажать левую клавишу мышки, которая приобретает вид руки, перевести мышку в желаемое угловое положение красной

линии и отпустить левую клавишу. Выполняется моделирование, причем синхронно движется изображение в графическом окне анимации и осциллограммы на осциллографе. Зеленая линия показывает заданное угловое положение руки робота-манипулятора, голубая линия – фактический угол поворота руки.

Изменение передаточного отношения, структуры ЦСУ автоматически переводит ее в исходное состояние, так же как и кнопка Reset.

Изменение всех исходных данных воспринимается программой только после начала моделирования.

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

### **Рекомендуемая литература**

1. Петраков, Ю. В. Теория автоматического управления технологическими системами : учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по направлению 220100 «Системный анализ и управление» / Ю. В. Петраков, О. И. Драчев. – Москва : Машиностроение, 2008. – 336 с. – (Для вузов). – URL: [e.lanbook.com/book/751](http://e.lanbook.com/book/751) (дата обращения: 05.03.2024). – Режим доступа: по подписке. – ISBN 978-5-217-03391-1.
2. Гуляев, В. А. Теория автоматического управления технологическими процессами : учеб.-метод. пособие / В. А. Гуляев, А. О. Драчев, Ю. В. Петраков ; Тольяттинский государственный университет. – Тольятти : ТГУ, 2008. – 60 с.

## **Методические указания по выполнению самостоятельной работы по теме 3**

Для закрепления учебного материала рекомендуется письменно ответить на один из вопросов по выбору:

1. Какими параметрами характеризуется качество ЦСУ?
2. Каким образом производится анализ ЦСУ по заданным показателям качества процесса цифрового управления?
3. Каким образом производится синтез ЦСУ по заданным показателям качества процесса цифрового управления?
4. Изменение какого параметра режима резания существенно влияет на цифровое управление продольной подачей при точении?
5. Изменение какого параметра режима резания существенно влияет на цифровое управление поперечной подачей при шлифовании?
6. Изменение какого параметра режима резания существенно влияет на цифровое управление подачей при фрезеровании?
7. Изменение какого параметра режима резания существенно влияет на цифровое управление подачей при сверлении?
8. Какие принципы применяются при разомкнутом цифровом управлении?
9. Какие принципы применяются при замкнутом цифровом управлении?
10. Какие принципы применяются при цифровом управлении по возмущению?
11. Какие принципы применяются при цифровом управлении по отклонению?

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В результате изучения дисциплины студенты узнают методологические основы функционирования, моделирования и синтеза ЦСУ; основные методы анализа качества ЦСУ во временной и частотной областях; типовые пакеты прикладных программ анализа динамических элементов ЦСУ; средства для контроля испытаний, диагностики и адаптивного управления оборудованием. Студенты смогут проводить анализ ЦСУ; оценивать статические и динамические характеристики; рассчитывать основные качественные показатели ЦСУ; выполнять анализ устойчивости, синтез регулятора; разрабатывать алгоритмы централизованного контроля координат технологического оборудования; рассчитывать одноконтурные и многоконтурные ЦСУ применительно к конкретному технологическому объекту.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Автоматическое управление процессами механической обработки : учебник / С. М. Братан, Е. А. Левченко, Н. И. Покинтелица, А. О. Харченко. — Москва : Вузовский учебник [и др.], 2022. — 226, [1] с. — URL: [znanium.ru/catalog/document?id=399990](http://znanium.ru/catalog/document?id=399990) (дата обращения: 15.10.2023). — Режим доступа: по подписке. — ISBN 978-5-16-104959-4.
2. Егоров, А. И. Введение в теорию управления системами с распределенными параметрами : учеб. пособие / А. И. Егоров, Л. Н. Знаменская. — Санкт-Петербург [и др.] : Лань, 2022. — 288 с. — URL: [e.lanbook.com/book/209897](http://e.lanbook.com/book/209897) (дата обращения: 19.10.2023). — Режим доступа: по подписке. — ISBN 978-5-8114-2554-9.
3. Левашкин, Д. Г. Управление мехатронными системами распределения и сортировки на базе модульной учебной станции FESTO : электрон. учеб.-метод. пособие / Д. Г. Левашкин, А. С. Селиванов, С. А. Мальцев ; Тольяттинский государственный университет. — Тольятти : Издательство ТГУ, 2016. — 63 с. — URL: [dspace.tltsu.ru/xmlui/handle/123456789/2971](http://dspace.tltsu.ru/xmlui/handle/123456789/2971) (дата обращения: 19.10.2023). — ISBN 978-5-8259-0947-9.
4. Петраков, Ю. В. Теория автоматического управления технологическими системами : учеб. пособие для студентов вузов / Ю. В. Петраков, О. И. Драчев. — Москва : Машиностроение, 2008. — 336 с. — (Для вузов). — URL: [e.lanbook.com/book/751](http://e.lanbook.com/book/751) (дата обращения: 05.03.2024). — Режим доступа: по подписке. — ISBN 978-5-217-03391-1.

## ГЛОССАРИЙ

**Автоматизация управления производственным процессом** — применение автоматических устройств и средств вычислительной техники для обеспечения требуемого хода производственного процесса.

**Автоматическое регулирование** — поддержание постоянной (стабилизация) или меняющейся во времени по некоторому закону (слежение) величины, характеризующей объект управления.

**Автоматическое управление** — подача на объект управления совокупности воздействий с целью обеспечения оптимального в некотором определенном смысле функционирования объекта. Совокупность воздействий выбирается из множества возможных.

**Анализ системы управления** — изучение ее структуры, свойств и характеристик. Осуществляется на основе построения моделей системы управления.

**Астатическая ЦСУ** — ЦСУ с управлением по отклонению, в контуре которой находится по крайней мере один интегратор, не охваченный обратными связями. Такая ЦСУ отслеживает безошибочно по крайней мере постоянный сигнал.

**АЧХ** — амплитудно-частотная характеристика — зависимость коэффициента усиления линейным звеном синусоидального сигнала, то есть модуля комплексного коэффициента передачи, от частоты.

**Время переходного процесса** — интервал времени, в течение которого отклонение величины на выходе устройства относительно установившегося ее значения становится меньше наперед заданной величины.

**Гибкое автоматизированное производство** — производство изделий различных наименований, основанное на высокой степени автоматизации технологических операций, а также процедур транспортировки, контроля качества изделий, диагностики оборудования, складирования, проектирования изделий и технологической подготовки производства.

**Динамический режим работы ЦСУ** — работа ЦСУ при изменяющихся во времени задании и возмущении. В динамическом режиме проявляются инерционные свойства ЦСУ. Частные случаи динамического режима: переходный и установившийся режимы.

**Замкнутая ЦСУ с управлением по отклонению** — система управления, в которой регулятор вырабатывает управляющие воздействия

на объект на основе определения отклонения управляемой величины от задающей.

**Канал** – совокупность устройств, предназначенных для передачи информации.

**Качество ЦСУ** – мера способности ЦСУ решать поставленные перед ней задачи: осуществлять слежение и стабилизацию. Характеризуется точностью и быстродействием в переходном и установившемся режимах.

**Комплексный коэффициент передачи** – функция мнимого аргумента, связывающая спектры входного и выходного сигналов линейного звена.

**Критерии устойчивости** – правила, в соответствии с которыми можно установить факт устойчивости или неустойчивости системы и даже судить о степени ее устойчивости по косвенным признакам: виду ЛАЧХ и ЛФЧХ, соотношению между коэффициентами характеристического полинома и др.

**Модуль гибкий производственный** – единица технологического оборудования, оснащенная устройствами автоматической смены инструмента и заготовок, удаления отходов, контроля и подналадки технологического процесса, управляемая с помощью сменяемых программ.

**Объект управления** – машина, механизм, устройство и т. п., способные воспринимать внешние воздействия и реагировать на них изменением некоторой величины, характеризующей объект, например, температуры, напряжения, пространственной координаты и др.

**Передаточная функция** – функция комплексного аргумента, связывающая изображения Лапласа входного и выходного сигналов линейного звена.

**Перерегулирование** – максимальное отклонение регулируемой величины относительно ее установившейся величины.

**Переходная функция** – реакция (отклик) линейного звена на ступенчатое единичное воздействие. По экспериментальной переходной характеристике объекта или системы можно количественно оценить их устойчивость, колебательность, инерционность, способность к накоплению, усиление. Это позволяет построить модель ЦСУ или объекта.

**Разомкнутая ЦСУ с управлением по возмущению** — система управления, в которой регулятор вырабатывает управляющие воздействия на объект на основе задания и возмущений, действующих на объект. Информация о реальном значении управляемой величины в регулятор не поступает.

**Регулирование** — поддержание постоянной (стабилизация) или изменяющейся по некоторому закону (программное управление или слежение) величины, характеризующей объект управления.

**Синтез системы** — построение теоретической модели проектируемой ЦСУ, соответствующей требуемым критериям ее качества.

**Стабилизация** — одна из задач регулирования. Поддержание постоянной некоторой величины, характеризующей объект управления, то есть его управляемой величины, например, температуры в печи. Приведение неустойчивой ЦСУ в устойчивое состояние.

**Статическая характеристика объекта управления** — зависимость выходной величины объекта  $y$ , то есть величины, характеризующей объект управления, от величины подаваемого на его вход воздействия  $x$ , при условии, что подаваемое воздействие постоянно.

**Статическая ЦСУ** — ЦСУ с управлением по отклонению, в контуре которой отсутствуют интеграторы. Ошибка слежения такой ЦСУ в статическом режиме пропорциональна отслеживаемой величине.

**Структурная схема** — теоретическая модель реальной системы, представляющая собой блок-схему, в которой звенья соответствуют математическим операциям преобразования сигналов, а стрелки указывают направление передачи информации. Для одной системы может быть построено несколько эквивалентных и адекватных структурных схем.

**Устойчивость системы** — способность системы возвращаться в исходное состояние по окончании воздействия. Устойчивая ЦСУ может выполнять задачи слежения и стабилизации лучше или хуже, в то время как неустойчивая ЦСУ просто вредна.

**Функциональная схема** — блок-схема, состоящая из блоков, соответствующих функциональным, физическим элементам системы управления. Стрелки на схеме указывают направление передачи энергии.

**ЦСУ** — цифровая система управления.

## Содержание

ВВЕДЕНИЕ .....	3
Тема 1. БАЗОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ .....	6
Практическое занятие 1. Исследование влияния параметров центробежного регулятора скорости на процесс регулирования .....	7
Практическое занятие 2. Определение частотных характеристик по анализу входного и выходного с игналов во времени .....	10
Практическое занятие 3. Типовые звенья передаточных функций .....	13
Практическое занятие 4. Определение переходной частотной характеристики .....	16
Методические указания по выполнению самостоятельной работы по теме 1 .....	19
Тема 2. КАЧЕСТВЕННЫЙ И КОЛИЧЕСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ .....	20
Практическое занятие 5. Исследование устойчивости ЦСУ по критерию Гурвица .....	22
Практическое занятие 6. Математическая оценка устойчивости. Задачи устойчивости. Запас устойчивости .....	25
Практическое занятие 7. Исследование точности ЦСУ в режиме движения по гармоническому закону .....	27
Практическое занятие 8. Определение характеристик электромеханического привода .....	30
Методические указания по выполнению самостоятельной работы по теме 2 .....	33
Тема 3. СИНТЕЗ И АНАЛИЗ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ .....	34
Практическое занятие 9. Определение характеристик ЦСУ продольной подачи при точении .....	35
Практическое занятие 10. Обеспечение необходимой точности ЦСУ. Оценка точности ЦСУ .....	39

Практическое занятие 11. Исследование влияния астатизма на качество ЦСУ .....	42
Практическое занятие 12. Основы синтеза систем автоматического управления .....	45
Методические указания по выполнению самостоятельной работы по теме 3 .....	48
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	49
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....	50
ГЛОССАРИЙ .....	51

*Учебное издание*

*Составитель Гуляев Вадим Анатольевич*

**ЦИФРОВЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ  
ПРОИЗВОДСТВЕННЫМИ ПРОЦЕССАМИ**

Учебно-методическое пособие

Редактор *Л.Н. Ворожцова*

Технический редактор *Н.П. Крюкова*

Компьютерная верстка: *Л.В. Сызганцева*

Дизайн обложки: *И.И. Шишкина*

В оформлении обложки использованы изображения  
от freepik и Creative\_hat на сайте ru.freepik.com

Подписано в печать 25.02.2025. Формат 60×84/16.

Печать оперативная. Усл. п. л. 3,25.

Тираж 100 экз. Заказ № 1-04-23.

Издательство Тольяттинского государственного университета  
445020, г. Тольятти, ул. Белорусская, 14,  
тел. 8 (8482) 44-91-47, www.tltsu.ru