



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»



УТВЕРЖДАЮ
Директор ИЭиАС
В.Р. Храмшин

03.03.2021 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

ТЕОРИЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

Направление подготовки (специальность)
27.03.04 Управление в технических системах

Направленность (профиль/специализация) программы
Системы и средства автоматизации технологических процессов

Уровень высшего образования - бакалавриат

Форма обучения
очная

| | |
|---------------------|-------------------------------------------------|
| Институт/ факультет | Институт энергетики и автоматизированных систем |
| Кафедра | Автоматизированных систем управления |
| Курс | 2, 3 |
| Семестр | 4, 5 |

Магнитогорск
2021 год

Рабочая программа составлена на основе ФГОС ВО - бакалавриат по направлению подготовки 27.03.04 Управление в технических системах (приказ Минобрнауки России от 31.07.2020 г. № 871)

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры Автоматизированных систем управления
17.02.2021, протокол № 8

Зав. кафедрой  С.М. Андреев

Рабочая программа одобрена методической комиссией ИЭиАС
03.03.2021 г. протокол № 5

Председатель  В.Р. Храмшин

Рабочая программа составлена:
доцент кафедры АСУ, канд. техн. наук

 М.Ю. Рябчиков

Рецензент:

зам. директора  ЗАО "КонсОМ СКС" , канд. техн. наук
Ю.Н. Волщук



Лист актуализации рабочей программы

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2022 - 2023 учебном году на заседании кафедры Автоматизированных систем управления

Протокол от _____ 20__ г. № ____
Зав. кафедрой _____ С.М. Андреев

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2023 - 2024 учебном году на заседании кафедры Автоматизированных систем управления

Протокол от _____ 20__ г. № ____
Зав. кафедрой _____ С.М. Андреев

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2024 - 2025 учебном году на заседании кафедры Автоматизированных систем управления

Протокол от _____ 20__ г. № ____
Зав. кафедрой _____ С.М. Андреев

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2025 - 2026 учебном году на заседании кафедры Автоматизированных систем управления

Протокол от _____ 20__ г. № ____
Зав. кафедрой _____ С.М. Андреев

1 Цели освоения дисциплины (модуля)

- формирование у обучающихся способности выполнять абстрактное описание системы или объекта автоматизации в терминах и понятиях теории управления;
- формирование у обучающихся способности решать базовые задачи управления в технических системах с использованием фундаментальных знаний с целью совершенствования в профессиональной деятельности;
- формирование у обучающихся способности осуществлять выбор показателей и средств для оценки эффективности и надежности систем управления;
- формирование у обучающихся способности производить оценку эффективности и надежности систем управления по методикам, разработанным на основе математических методов.

2 Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы

Дисциплина Теория автоматического управления входит в обязательную часть учебного плана образовательной программы.

Для изучения дисциплины необходимы знания (умения, владения), сформированные в результате изучения дисциплин/ практик:

Введение в направление

Математика

Знания (умения, владения), полученные при изучении данной дисциплины будут необходимы для изучения дисциплин/практик:

Диагностика и надежность автоматизированных систем

Подготовка к процедуре защиты и процедура защиты выпускной квалификационной работы

Моделирование систем управления

Системы автоматизации и управления

Автоматизация технологических процессов и производств

3 Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины (модуля) и планируемые результаты обучения

В результате освоения дисциплины (модуля) «Теория автоматического управления» обучающийся должен обладать следующими компетенциями:

| Код индикатора | Индикатор достижения компетенции |
|----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ОПК-3 | Способен использовать фундаментальные знания для решения базовых задач управления в технических системах с целью совершенствования в профессиональной деятельности |
| ОПК-3.1 | Выполняет абстрактное описание системы или объекта автоматизации в терминах и понятиях теории управления |
| ОПК-3.2 | Решает базовые задачи управления в технических системах с использованием фундаментальных знаний с целью совершенствования в профессиональной деятельности |
| ОПК-4 | Способен осуществлять оценку эффективности систем управления, разработанных на основе математических методов |
| ОПК-4.1 | Осуществляет выбор показателей и средств для оценки эффективности и надежности систем управления. |
| ОПК-4.2 | Производит оценку эффективности и надежности систем управления по методикам, разработанным на основе математических методов |

4. Структура, объём и содержание дисциплины (модуля)

Общая трудоемкость дисциплины составляет 10 зачетных единиц 360 акад. часов, в том числе:

- контактная работа – 179,9 акад. часов;
- аудиторная – 174 акад. часов;
- внеаудиторная – 5,9 акад. часов;
- самостоятельная работа – 144,4 акад. часов;
- в форме практической подготовки – 0 акад. час;
- подготовка к экзамену – 35,7 акад. час

Форма аттестации - зачет с оценкой, экзамен

| Раздел/ тема дисциплины | Семестр | Аудиторная контактная работа (в акад. часах) | | | Самостоятельная работа студента | Вид самостоятельной работы | Форма текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации | Код компетенции |
|-------------------------------------------------------------------------|---------|----------------------------------------------|-----------|-------------|---------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|------------------------------------|
| | | Лек. | лаб. зан. | практ. зан. | | | | |
| 1. Предмет изучения и методы теории управления | | | | | | | | |
| 1.1 Классификация систем управления. Общие принципы управления | 4 | 4 | | | 1,2 | Самостоятельное изучение учебной и научно литературы. Поиск дополнительных материалов по теме | Устный опрос | ОПК-3.1, ОПК-3.2, ОПК-4.1, ОПК-4.2 |
| 1.2 История развития теории и техники управления | | 2 | | | 1 | Самостоятельное изучение учебной и научно литературы. Поиск дополнительных материалов по теме | Устный опрос | ОПК-3.1, ОПК-3.2, ОПК-4.1, ОПК-4.2 |
| Итого по разделу | | 6 | | | 2,2 | | | |
| 2. Теория линейных систем автоматического | | | | | | | | |
| 2.1 Определение линейной системы. Системы управления по рассогласованию | 4 | 2 | | | 2 | Самостоятельное изучение учебной и научно литературы. Поиск дополнительных материалов по теме | Устный опрос | ОПК-3.1, ОПК-3.2, ОПК-4.1, ОПК-4.2 |

| | | | | | | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|------|------|---|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|
| 2.2 Статика линейных систем | 2 | 8/2И | | 2 | Самостоятельное изучение учебной литературы, подготовка к лабораторным занятиям, выполнение индивидуального задания по работе | Устный опрос по работе №2. Статические характеристики элементов и систем автоматического управления. Выполнение индивидуального задания в контрольной работе | ОПК-3.1, ОПК-3.2, ОПК-4.1, ОПК-4.2 |
| 2.3 Обзор типовых динамических звеньев | 2 | | | 2 | Самостоятельное изучение учебной и научно литературы. Поиск дополнительных материалов по теме | Устный опрос | ОПК-3.1, ОПК-3.2, ОПК-4.1, ОПК-4.2 |
| 2.4 Понятие передаточной функции и структурные преобразования систем управления | 2 | | | 2 | Самостоятельное изучение учебной и научно литературы. Поиск дополнительных материалов по теме | Устный опрос | ОПК-3.1, ОПК-3.2, ОПК-4.1, ОПК-4.2 |
| 2.5 Моделирование работы систем управления с применением пакета Matlab | 2 | | 6/2И | 2 | Самостоятельное изучение учебной литературы, подготовка к практическим занятиям, выполнение индивидуального задания по работе | Устный опрос по работе №1. Применение системы компьютерной математики МАТЛАВ для расчета линейных систем управления | ОПК-3.1, ОПК-3.2, ОПК-4.1, ОПК-4.2 |
| 2.6 Переходная и импульсная характеристика. Определение параметров модели по экспериментальным характеристикам | 2 | 6/2И | | 2 | Самостоятельное изучение учебной литературы, подготовка к лабораторным занятиям, выполнение индивидуального задания по работе | Устный опрос по работе №3. Переходные функции элементов систем автоматического управления. Выполнение индивидуального задания в контрольной работе | ОПК-3.1, ОПК-3.2, ОПК-4.1, ОПК-4.2 |
| 2.7 Показатели качества регулирования | 2 | | 2 | 2 | Самостоятельное изучение учебной литературы, подготовка к практическим занятиям, выполнение индивидуального задания по работе | Устный опрос по работе №4. Выбор типа регулятора и его ручная настройка в системе автоматического управления | ОПК-3.1, ОПК-3.2, ОПК-4.1, ОПК-4.2 |

| | | | | | | | | |
|---------------------------------------------------|--|---|--------|------|----|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|
| 2.8 Ручная настройка регулятора | | 2 | | 4/2И | 2 | Самостоятельное изучение учебной литературы, подготовка к практическим занятиям, выполнение индивидуального задания по работе | Устный опрос по работе №4. Выбор типа регулятора и его ручная настройка в системе автоматического управления | ОПК-3.1, ОПК-3.2, ОПК-4.1, ОПК-4.2 |
| 2.9 Частотные характеристики | | 2 | 8/2И | | 2 | Самостоятельное изучение учебной литературы, подготовка к лабораторным занятиям, выполнение индивидуального задания по работе | Устный опрос по работе №5. Частотные характеристики элементов систем автоматического управления | ОПК-3.1, ОПК-3.2, ОПК-4.1, ОПК-4.2 |
| 2.10 Настройка регулятора на технический оптимум | | 2 | 6/1,8И | | 10 | Самостоятельное изучение учебной литературы, подготовка к лабораторным занятиям, выполнение индивидуального задания по работе. Подготовка и выполнение индивидуального задания по контрольной работе | Устный опрос по работе №6. Настройка регулятора на технический оптимум. Опрос по выполненной самостоятельной работе «Определение математической модели объекта управления и разработка системы автоматического управления с использованием типовых законов управления». Выполнение индивидуального задания в контрольной работе | ОПК-3.1, ОПК-3.2, ОПК-4.1, ОПК-4.2 |
| 2.11 Настройка регулятора на симметричный оптимум | | 2 | 6/3И | | 10 | Самостоятельное изучение учебной литературы, подготовка к лабораторным занятиям, выполнение индивидуального задания по работе | Устный опрос по работе №7. Настройка регулятора на симметричный оптимум | ОПК-3.1, ОПК-3.2, ОПК-4.1, ОПК-4.2 |

| | | | | | | | |
|------------------------------------------------------------------------------------------|----|----------|-------|------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|
| 2.12 Точность систем автоматического управления. Астатические системы. Порядок астатизма | 2 | 6/3И | | 10 | Самостоятельное изучение учебной литературы, подготовка к лабораторным занятиям, выполнение индивидуального задания по работе | Устный опрос по работе №8. Статические и динамические ошибки управления | ОПК-3.1, ОПК-3.2, ОПК-4.1, ОПК-4.2 |
| 2.13 Настройка регулятора с применением эталонных полиномов Ньютона и Баттерворта | 2 | 6/3И | | 10 | Самостоятельное изучение учебной литературы, подготовка к лабораторным занятиям, выполнение индивидуального задания по работе | Устный опрос по работе №9. Настройка регулятора с применением эталонных полиномов Ньютона и Баттерворта | ОПК-3.1, ОПК-3.2, ОПК-4.1, ОПК-4.2 |
| 2.14 Устойчивость линейных систем. Критерии устойчивости | 2 | | 3/3И | 2 | Самостоятельное изучение учебной литературы, подготовка к лабораторным занятиям, выполнение индивидуального задания по работе | Устный опрос по работе №10. Частотные методы анализа устойчивости автоматических систем и построение переходных процессов | ОПК-3.1, ОПК-3.2, ОПК-4.1, ОПК-4.2 |
| 2.15 Модальное управление | | 5 | 2 | 14 | Самостоятельное изучение учебной литературы, подготовка к практическим занятиям, выполнение индивидуального задания по работе | Устный опрос по работе №11. Исследование разомкнутой линейной системы | ОПК-3.1, ОПК-3.2, ОПК-4.1, ОПК-4.2 |
| Итого по разделу | 28 | 51/16,8И | 17/7И | 74 | | | |
| Итого за семестр | 34 | 51/16,8И | 17/7И | 76,2 | | зао | |
| 3. Статистическая динамика линейных автоматических систем | | | | | | | |

| | | | | | | | | | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|----|------|---------|----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|
| 3.1 Вероятностные характеристики случайных величин. Моделирование случайных воздействий | 5 | 2 | | 7/2,6И | 3 | Самостоятельное изучение учебной литературы, подготовка к практическим занятиям, выполнение индивидуально о задания по работе | Устный опрос по работам: №12. Случайные величины. №13. Моделирование многомерной случайной величины. №14. Разработка модели возмущений с учетом частотных особенностей изменения случайной величины Проверка графика выполнения курсовой работы | ОПК-3.1, ОПК-3.2, ОПК-4.1, ОПК-4.2 | |
| 3.2 Статистические характеристики случайных процессов и их свойства | | 2 | | 6/2И | 3 | Самостоятельное изучение учебной литературы, подготовка к практическим занятиям, выполнение индивидуально о задания по работе | Устный опрос по работам: №12. Случайные величины. №13. Моделирование многомерной случайной величины. №14. Разработка модели возмущений с учетом частотных особенностей изменения случайной величины | ОПК-3.1, ОПК-3.2, ОПК-4.1, ОПК-4.2 | |
| 3.3 Связь между статистическими характеристиками случайных воздействий на входе и выходе системы | | 2 | 2 | | | 3 | Самостоятельное изучение учебной литературы, подготовка к лабораторным занятиям, выполнение индивидуально о задания по работе | Устный опрос по работе №15. Спектральная плотность на входе и выходе системы | ОПК-3.1, ОПК-3.2, ОПК-4.1, ОПК-4.2 |
| 3.4 Расчет систем управления при случайных воздействиях. Синтез систем с минимальной средней квадратической ошибкой | | 4 | 2/2И | | | 3 | Самостоятельное изучение учебной литературы, подготовка к лабораторным занятиям, выполнение индивидуально о задания по работе | Устный опрос по работе №16. Синтез системы с минимумом среднего значения квадрата ошибки регулирования | ОПК-3.1, ОПК-3.2, ОПК-4.1, ОПК-4.2 |
| Итого по разделу | | 10 | 4/2И | 13/4,6И | 12 | | | | |
| 4. Нелинейные системы | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | |
|---------------------------------------------------------------|---|----|------|------|-----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|
| 4.1 Сравнение свойств линейных и нелинейных систем | 5 | 2 | | | 2 | Самостоятельное изучение учебной и научно литературы. Поиск дополнительной материалов по теме | Устный опрос. Выполнение графика курсовой работы | ОПК-3.1, ОПК-3.2, ОПК-4.1, ОПК-4.2 |
| 4.2 Обзор типовых нелинейных элементов и их свойств | | 4 | | 5/2И | 2,3 | Самостоятельное изучение учебной литературы, подготовка к практическим занятиям, выполнение индивидуального задания по работе | Устный опрос по работе №17. Моделирование работы нелинейных систем автоматического управления. Выполнение графика курсовой работы | ОПК-3.1, ОПК-3.2, ОПК-4.1, ОПК-4.2 |
| 4.3 Метод исследования нелинейных систем на фазовой плоскости | | 2 | 2/2И | | 2 | Самостоятельное изучение учебной литературы, подготовка к лабораторным занятиям, выполнение индивидуального задания по работе | Устный опрос по работе №18. Исследование релейной системы второго порядка на фазовой плоскости. Выполнение графика курсовой работы | ОПК-3.1, ОПК-3.2, ОПК-4.1, ОПК-4.2 |
| 4.4 Метод гармонического баланса | | 2 | 3/2И | | 2 | Самостоятельное изучение учебной литературы, подготовка к лабораторным занятиям, выполнение индивидуального задания по работе | Устный опрос по работе №19. Метод гармонического баланса. Выполнение графика курсовой работы | ОПК-3.1, ОПК-3.2, ОПК-4.1, ОПК-4.2 |
| Итого по разделу | | 10 | 5/4И | 5/2И | 8,3 | | | |
| 5. Дискретные системы | | | | | | | | |
| 5.1 Классификация дискретных автоматических систем | 5 | 2 | | | 2 | Самостоятельное изучение учебной и научно литературы. Поиск дополнительной материалов по теме | Устный опрос | ОПК-3.1, ОПК-3.2, ОПК-4.1, ОПК-4.2 |
| 5.2 Импульсные системы | | 2 | 2 | | 3,9 | Самостоятельное изучение учебной литературы, подготовка к лабораторным занятиям, выполнение индивидуального задания по работе | Устный опрос по работе №20. Переоборудование непрерывного регулятора | ОПК-3.1, ОПК-3.2, ОПК-4.1, ОПК-4.2 |

| | | | | | | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------|---|----|-----------|-----------|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|------------------------------------|
| 5.3 Устойчивость дискретных систем | | 2 | 2 | | 10 | Самостоятельное изучение учебной литературы, подготовка к лабораторным занятиям, выполнение индивидуально о задания по работе | Устный опрос по работе №21. Устойчивость импульсных систем | ОПК-3.1, ОПК-3.2, ОПК-4.1, ОПК-4.2 |
| Итого по разделу | | 6 | 4 | | 15,9 | | | |
| 6. Системы управления с применением искусственных нейронных сетей и нечеткой логики | | | | | | | | |
| 6.1 Основные понятия и операции нечеткой логики | 5 | 2 | | | 2 | Самостоятельное изучение учебной и научно литературы. Поиск дополнительной материалов по теме | Устный опрос | ОПК-3.1, ОПК-3.2, ОПК-4.1, ОПК-4.2 |
| 6.2 Системы управления на основе нечеткой логики | | 2 | 2 | | 10 | Самостоятельное изучение учебной литературы, подготовка к лабораторным занятиям, выполнение индивидуально о задания по работе | Устный опрос по работе №23. Модели на базе нечеткой логики | ОПК-3.1, ОПК-3.2, ОПК-4.1, ОПК-4.2 |
| 6.3 Общие сведения об управлении с использованием искусственных нейронных сетей | | 2 | | | 10 | Самостоятельное изучение учебной и научно литературы. Поиск дополнительной материалов по теме | Устный опрос | ОПК-3.1, ОПК-3.2, ОПК-4.1, ОПК-4.2 |
| 6.4 Способы интеграции нейросетей в контур управления | | 4 | 3 | | 10 | Самостоятельное изучение учебной литературы, подготовка к лабораторным занятиям, выполнение индивидуально о задания по работе | Устный опрос по работе №22. Идентификация в задачах управления | ОПК-3.1, ОПК-3.2, ОПК-4.1, ОПК-4.2 |
| Итого по разделу | | 10 | 5 | | 32 | | | |
| Итого за семестр | | 36 | 18/6И | 18/6,6И | 68,2 | | экзамен | |
| Итого по дисциплине | | 70 | 69/22,8 И | 35/13,6 И | 144,4 | | зачет с оценкой, экзамен | |

5 Образовательные технологии

Для реализации предусмотренных видов учебной работы в качестве образовательных технологий в преподавании дисциплины «Теория автоматического управления» используются:

Традиционные образовательные технологии – информационная лекция (вводную лекцию, где дает первое представление о предмете и знакомство студентов с назначением и задачами курса); лекции – консультации, изложение нового материала сопровождается постановкой вопросов и дискуссией в поисках ответов на эти вопросы; лабораторные работы.

Технологии проблемного обучения – проблемные лекции является результатом усвоения полученной информации посредством постановки проблемного вопроса и поиска путей его решения; лабораторные работы с использованием проблемного обучения, которое заключается в стимулировании студентов к самостоятельной «добыче» знаний, необходимых для решения конкретной проблемы.

Информационно-коммуникационные образовательные технологии – в ходе проведения лекционных занятий предусматривается использование электронного демонстрационного материала (лекции-визуализации), использование Интернет ресурсов для промежуточных аттестаций и проверки остаточных знаний

Лекционный материал закрепляется в ходе лабораторных работ, на которых выполняются групповые или индивидуальные задания по пройденной теме.

Лабораторные и практические занятия проводятся в интерактивной форме с использованием следующих методов интерактивного обучения:

- актуализация познавательной деятельности учащихся путем побуждения к осмыслению логики и последовательности проведения научного исследования, к выделению в нем главных и наиболее существенных этапов; при этом определяется конечная цель исследования, а пути его проведения и формы представления результата обучающийся выбирает сам;

- отсутствие жестко регламентированного порядка выполнения работы по обработке исходных и экспериментальных данных, когда студент оперирует вспомогательной информацией о способах поиска необходимых программных средств, функций, протоколов передачи и обработки данных, что вырабатывает способность к познанию;

- при постановке и анализе результатов исследования для достижения поставленных целей обучающиеся должны делать сравнения, сопоставлять новые факты, приемы использованные другими участниками группы, обращать внимание на причины, вызывающие то или иное явление и быть способными продемонстрировать индивидуальность своего подхода к решению задачи;

- проведение занятий в форме поиска причин допущенных ошибок при проведении исследования, причин несовпадения результатов с полученными другими группами обучающихся, побуждение к стремлению находить и устранять чужие и свои ошибки.

Самостоятельная работа стимулирует студентов к самостоятельной проработке в процессе выполнения контрольных работ, а также в процессе подготовки к устному опросу, тестированию и итоговой аттестации.

В ходе проведения лекционных занятий предусматривается:

- использование электронного демонстрационного материала по современной измерительной технике;

- использование электронных учебников по отдельным темам занятий;

- активные и интерактивные формы обучения: вариативный опрос, дискуссии, устный опрос, тестовый опрос, индивидуальная «защита» лабораторных работ и т.д.

6 Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Представлено в приложении 1.

7 Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации

Представлены в приложении 2.

8 Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

а) Основная литература:

1. Ким, Д. П. Теория автоматического управления : учебник и практикум для вузов / Д. П. Ким. — Москва : Издательство Юрайт, 2020. — 276 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-9916-9294-6. — Текст : электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/450559> (дата обращения: 20.09.2020).

2. Коломейцева, М. Б. Системы автоматического управления при случайных воздействиях : учебное пособие для вузов / М. Б. Коломейцева, В. М. Беседин. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2020. — 104 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-11166-8. — Текст : электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/455298> (дата обращения: 20.09.2020).

б) Дополнительная литература:

1. Ягодкина, Т. В. Теория автоматического управления : учебник и практикум для вузов / Т. В. Ягодкина, В. М. Беседин. — Москва : Издательство Юрайт, 2020. — 470 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-06483-4. — Текст : электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/450572> (дата обращения: 20.09.2020).

2. Ким, Д. П. Теория автоматического управления. Многомерные, нелинейные, оптимальные и адаптивные системы. Задачник : учебное пособие для вузов / Д. П. Ким. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2020. — 331 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-01459-4. — Текст : электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/452303> (дата обращения: 20.09.2020).

в) Методические указания:

1. Рябчиков, М. Ю. Статистическая динамика систем управления : учебное пособие / М. Ю. Рябчиков, Е. С. Рябчикова ; МГТУ. - Магнитогорск : МГТУ, 2016. - 110 с. : ил., табл., схемы, граф., гистогр. - URL: <https://magtu.informsystema.ru/uploader/fileUpload?name=3126.pdf&show=dcatalogues/1/1136001/3126.pdf&view=true> (дата обращения: 14.05.2020). - Макрообъект. - Текст : электронный. - ISBN 978-5-9967-0868-0. - Имеется печатный аналог.

2. Ким, Д. П. Теория автоматического управления. Линейные системы. Задачник : учебное пособие для вузов / Д. П. Ким, Н. Д. Дмитриева. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2020. — 169 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-9916-8603-7. — Текст : электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/452301> (дата обращения: 20.09.2020).

3. Рябчиков, М. Ю. Планирование эксперимента и обработка результатов измерений : практикум / М. Ю. Рябчиков, Е. С. Рябчикова ; МГТУ. - Магнитогорск, 2013. - 141 с. : ил., гистогр., граф., схемы, табл. - URL: <https://magtu.informsystema.ru/uploader/fileUpload?name=619.pdf&show=dcatalogues/1/1107849/619.pdf&view=true> (дата обращения: 14.05.2020). - Макрообъект. - Текст : электронный. - ISBN 978-5-9967-0379-1. - Имеется печатный аналог.

4. Рябчиков, М. Ю. Алгоритмы и способы самонастройки средств регулирования в современных микропроцессорных контроллерах : практикум / М. Ю. Рябчиков, С. М. Андреев, Е. С. Рябчикова ; МГТУ. - Магнитогорск, 2012. - 136 с. : ил., схемы, табл. - URL:

<https://magtu.informsystema.ru/uploader/fileUpload?name=602.pdf&show=dcatalogues/1/1104154/602.pdf&view=true> (дата обращения: 14.05.2020). - Макрообъект. - Текст : электронный. - Имеется печатный аналог.

5. Жмудь, В. А. Моделирование и численная оптимизация замкнутых систем автоматического управления в программе VisSim : учебное пособие / В. А. Жмудь. - Новосибирск : НГТУ, 2016. - 124 с. - ISBN 978-5-7782-2103-1. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/546586> (дата обращения: 20.09.2020). – Режим доступа: по подписке.

Методические указания к выполнению лабораторных и практических работ приведены также в приложении 3.

г) Программное обеспечение и Интернет-ресурсы:

Программное обеспечение

| Наименование ПО | № договора | Срок действия лицензии |
|-------------------------------------------|--------------------------------------------|------------------------|
| MS Windows XP Professional(для классов) | Д-1227-18 от 08.10.2018 | 11.10.2021 |
| MS Office 2003 Professional | № 135 от 17.09.2007 | бессрочно |
| 7Zip | свободно | бессрочно |
| Scilab Computation Engine | свободно распространяемое ПО | бессрочно |
| MathCAD v.15 Education University Edition | Д-1662-13 от 22.11.2013 | бессрочно |
| FAR Manager | свободно | бессрочно |
| SimInTech | Письмо о предоставлении временных лицензий | 01.03.2022 |

Профессиональные базы данных и информационные справочные системы

| Название курса | Ссылка |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Электронная база периодических изданий East View Information Services, ООО «ИВИС» | https://dlib.eastview.com/ |
| Национальная информационно-аналитическая система – Российский индекс научного цитирования | URL: https://elibrary.ru/project_risc.asp |
| Поисковая система Академия Google (Google Scholar) | URL: https://scholar.google.ru/ |
| Информационная система - Единое окно доступа к информационным ресурсам | URL: http://window.edu.ru/ |
| Федеральное государственное бюджетное учреждение «Федеральный институт промышленной собственности» | URL: http://www1.fips.ru/ |
| Российская Государственная библиотека. Каталоги | https://www.rsl.ru/ru/4readers/catalogues/ |
| Электронные ресурсы библиотеки МГТУ им. Г.И. Носова | http://magtu.ru:8085/marcweb2/Default.asp |
| Университетская информационная система РОССИЯ | https://uisrussia.msu.ru |

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Международная наукометрическая реферативная и полнотекстовая база данных научных изданий «Web of science» | http://webofscience.com |
| Международная реферативная и полнотекстовая справочная база данных научных изданий «Scopus» | http://scopus.com |
| Международная база полнотекстовых журналов Springer Journals | http://link.springer.com/ |
| Международная коллекция научных протоколов по различным отраслям знаний Springer Protocols | http://www.springerprotocols.com/ |
| Международная база научных материалов в области физических наук и инжиниринга | http://materials.springer.com/ |
| Международная база справочных изданий по всем отраслям знаний SpringerReference | http://www.springer.com/references |
| Международная реферативная база данных по чистой и прикладной математике zbMATH | http://zbmath.org/ |
| Международная реферативная и полнотекстовая справочная база данных научных изданий «Springer Nature» | https://www.nature.com/siteindex |
| Архив научных журналов «Национальный электронно-информационный конкорциум» (НП НЭИКОН) | https://archive.neicon.ru/xmlui/ |

9 Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Материально-техническое обеспечение дисциплины включает:

1. Учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа
Мультимедийные средства хранения, передачи и представления информации
2. Учебная аудитория для проведения лабораторных работ и практических занятий:
компьютерный класс
Персональные компьютеры с пакетом MS Office, выходом в Интернет и с доступом в электронную информационно-образовательную среду университета
3. Помещения для самостоятельной работы обучающихся
Персональные компьютеры с пакетом MS Office, выходом в Интернет и с доступом в электронную информационно-образовательную среду университета
4. Учебные аудитории для групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточных консультаций
Доска, мультимедийный проектор, экран
5. Помещение для хранения и профилактического обслуживания учебного оборудования
Стеллажи для хранения учебно-методической документации

Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся по дисциплине «Теория автоматического управления»

По дисциплине «Теория автоматического управления» предусмотрена аудиторная и внеаудиторная самостоятельная работа обучающихся.

Аудиторная самостоятельная работа студентов предполагает выполнение и защиту лабораторных и практических работ, решение индивидуальных задач.

| Перечень лабораторных и практических работ | Вопросы к защите |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>№1. Применение системы компьютерной математики MATLAB для расчета линейных систем управления</p> | <p>Как получить краткую справку по какой либо команде MATLAB?</p> <p>В чем разница между командами MATLAB who и whos, clear all и clc?</p> <p>Как скопировать график из окна MATLAB в другую программу?</p> <p>Какие возможности предоставляет модуль LTIViewer?</p> <p>Как ввести передаточную функцию в MATLAB?</p> |
| <p>№2. Статические характеристики элементов и систем автоматического управления</p> | <p>Что понимается под статической характеристикой элемента и как она определяется экспериментально?</p> <p>Что такое передаточный коэффициент линейного элемента?</p> <p>Какие Вы знаете статические характеристики у объекта управления и как их определить экспериментально?</p> <p>Дайте определение для передаточных коэффициентов k_{of} и k_{ou} ?</p> <p>Из каких элементов состоит статическая система управления и как следует эти элементы соединить между собой?</p> <p>Из каких элементов состоит астатическая система управления и как следует эти элементы соединить между собой?</p> |
| <p>№3. Статические характеристики и переходные функции элементов систем автоматического управления</p> | <p>Что понимается под переходной функцией, типы переходных функций, их экспериментальное определение.</p> <p>Как определить параметра k, T передаточной функции инерционного звена по переходной функции?</p> <p>Как определить параметра k, T, ξ передаточной функции колебательного звена по переходной функции?</p> <p>Как определить параметра k, T_1, T_2 передаточной функции инерционного звена второго порядка по переходной функции?</p> |

| Перечень лабораторных и практических работ | Вопросы к защите |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | <p>Напишите передаточную функцию разомкнутой и замкнутой системы для заданной структуры системы.</p> |
| <p>№4. Выбор типа регулятора и его ручная настройка в системе автоматического управления (порядок выполнения представлен в [1] раздела методических указаний)</p> | <p>Чем следует руководствоваться при выборе вида регулятора и закона регулирования?</p> <p>Перечислите правила, по которым проводится подстройка параметров регулятора в окрестностях оптимального режима.</p> <p>Как вручную настроить регулятор, не имея никакой предварительной информации об области оптимальных значений параметров настройки регулятора?</p> <p>Перечислите основные особенности различного вида приводов.</p> <p>Укажите основные причины необходимости перенастройки средств регулирования.</p> |
| <p>№5. Частотные характеристики элементов систем автоматического управления</p> | <p>Как найти коэффициент усиления в установившемся режиме по АЧХ?</p> <p>Что такое частотная характеристика?</p> <p>Что такое частота среза системы?</p> <p>Приведите пример вида амплитудных частотных характеристик типовых звеньев САУ.</p> <p>Что такое резонансная частота системы?</p> <p>Как получить выражения частотных характеристик по передаточной функции?</p> <p>Как экспериментально получить частотные характеристики?</p> |
| <p>№6. Настройка регулятора на технический оптимум</p> | <p>В чем отличие приведения к единице передаточной функции системы и амплитудной характеристики системы?</p> <p>Как сформировать регулятор в системе с прямым разомкнутым управлением?</p> <p>Выведите выражение для расчета параметров интегрального регулятора, управляющего инерционным объектом путем приведения к единице амплитудной характеристики замкнутой системы. Какие допущения при этом следует сделать?</p> <p>Запишите эталонное выражение разомкнутой системы, настроенной на технический оптимум.</p> |
| <p>№7. Настройка регулятора на симметричный</p> | <p>Запишите эталонное выражение разомкнутой системы, настроенной на симметричный оптимум.</p> |

| Перечень лабораторных и практических работ | Вопросы к защите |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| оптимум | <p>Приведите эталонный вид логарифмической амплитудной характеристики системы, настроенной на симметричный оптимум.</p> <p>Приведите пример объекта без самовыравнивания.</p> <p>Как обеспечить приведение передаточной функции системы к эталонному виду? Приведите пример.</p> |
| <p>№8. Статические и динамические ошибки управления</p> | <p>Как сформировать ступенчатое, линейное и параболическое входное воздействие?</p> <p>Как на модели реализовать систему с астатизмом нулевого порядка и как она обрабатывает ступенчатое, линейное и квадратичное входное воздействие?</p> <p>Как на модели реализовать систему с астатизмом первого порядка и как она обрабатывает ступенчатое, линейное и квадратичное входное воздействие?</p> <p>Как на модели реализовать систему с астатизмом второго порядка и как она обрабатывает ступенчатое, линейное и квадратичное входное воздействие?</p> <p>Выпишите формулу для расчёта установившейся ошибки. Как она зависит от передаточного коэффициента разомкнутой системы.</p> |
| <p>№9. Настройка регулятора с применением эталонных полиномов Ньютона и Баттерворта</p> | <p>Что такое характеристическое уравнение?</p> <p>Как расположены корни биномиального характеристического полинома?</p> <p>Как расположены корни характеристического полинома Баттерворта?</p> <p>Приведите примеры характеристических полиномов Ньютона и Баттерворта первого и второго порядков.</p> <p>Показатели качества систем с типовыми характеристическими полиномами.</p> <p>Как связаны нормированное и фактическое время переходного процесса?</p> <p>Что такое среднегеометрический корень характеристического полинома?</p> |
| <p>№10. Частотные методы анализа устойчивости автоматических систем и построение переходных процессов</p> | <p>Напишите передаточную функцию системы управления с отрицательной обратной связью, пропорциональным регулятором и моделью объекта из трех инерционных звеньев первого порядка.</p> <p>Выведите формулы для амплитудной и фазовой частотных характеристик разомкнутой системы с пропорциональным регулятором и инерционным объектом.</p> |

| Перечень лабораторных и практических работ | Вопросы к защите |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | <p>Как по нормированной АФЧХ разомкнутой системы найти критический передаточный коэффициент.</p> <p>Сформулируйте частотный критерий устойчивости Найквиста и алгебраический критерий Гурвица.</p> <p>Как по передаточной функции разомкнутой системы найти характеристический многочлен замкнутой САУ?</p> |
| <p>№11. Исследование разомкнутой линейной системы</p> | <p>Что такое модель в пространстве состояний?</p> <p>Что такое нули и полюса передаточной функции?</p> <p>Может ли четверка матриц</p> $A = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ -1 & -3 & -1 \\ 2 & 2 & 2 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, C = [1 \ 2], D = 0$ <p>быть моделью системы в пространстве состояний? Почему? Какие соотношения между матрицами должны выполняться в общем случае?</p> <p>Как влияет изменение коэффициента прямой передачи (матрицы D в модели в пространстве состояний) на статический коэффициент усиления?</p> |
| <p>№12. Случайные величины. (порядок выполнения представлен в [2] раздела методических указаний)</p> | <ol style="list-style-type: none"> 1. Перечислите этапы эксперимента. 2. Отличия пассивного и активного эксперимента. 3. укажите основные цели сэмпинга данных. 4. Какие статистические оценки качества данных Вы знаете? 5. Как оценить адекватность статистической модели? 6. Как оценить воспроизводимость эксперимента? 7. Укажите цели дисперсионного и корреляционного анализа. 8. Перечислите принципы выбора типа статистической модели. 9. Изобразите функции плотности распределения для основных законов распределения случайной величины. 10. Приведите алгоритм генерации случайной величины по заданному закону распределения. |
| <p>№13. Моделирование многомерной</p> | <ol style="list-style-type: none"> 1. Запишите формулу для коэффициента линейной корреляции Пирсона и поясните ее. 2. Приведите примеры зависимостей между двумя параметрами с |

| Перечень лабораторных и практических работ | Вопросы к защите |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| случайной величины (порядок выполнения представлен в приложении) | <p>разными значениями коэффициента корреляции.</p> <p>3. Поясните отличие ковариации от корреляции.</p> <p>4. Поясните алгоритм моделирования m-мерного случайного вектора, распределенного по нормальному закону.</p> <p>5. Что такое ковариационная и корреляционная матрицы?</p> |
| <p>№14. Разработка модели возмущений с учетом частотных особенностей изменения случайной величины</p> <p>(порядок выполнения представлен в приложении)</p> | <p>1. Понятие автокорреляционной и взаимной корреляционной функции.</p> <p>2. Как рассчитать автокорреляционную функцию в среде excel.</p> <p>3. Приведите примеры вида автокорреляционной функции для различных случайных процессов.</p> <p>4. Перечислите модели для трендовой составляющей ряда.</p> <p>5. Перечислите модели периодической составляющей ряда.</p> <p>6. Опишите модель авторегрессии и проинтегрированного скользящего среднего.</p> <p>7. Перечислите этапы создания частотной модели временного ряда.</p> <p>8. Как понизить дискретность данных в excel?</p> <p>9. Как реализовать модель авторегрессии в среде VisSim?</p> |
| <p>№15. Спектральная плотность на входе и выходе системы</p> <p>(порядок выполнения представлен в приложении)</p> | <p>1. Что такое спектральная плотность случайного процесса? Связь спектральной плотности с корреляционной функцией.</p> <p>2. Приведите примеры вида спектральной плотности для различных случайных процессов.</p> <p>3. Какими выражениями часто аппроксимируют спектральную плотность?</p> <p>4. Почему при аппроксимации спектральной плотности используют выражения, которые могут быть представлены как функции частоты или как функции комплексной переменной?</p> <p>5. Как связаны спектральная плотность на входе и выходе системы?</p> |
| <p>№16. Синтез системы с минимумом среднего значения квадрата ошибки регулирования</p> <p>(порядок выполнения представлен в приложении)</p> | <p>1. Какова связь спектральной плотности с критериями качества управления?</p> <p>2. Что такое взаимная спектральная плотность и как она используется при синтезе систем управления?</p> <p>3. Приведите и поясните различные варианты взаимного расположения амплитудной характеристики и спектральных плотностей полезного сигнала и помехи.</p> <p>4. Какие можно выделить этапы при синтезе системы с заданной</p> |

| Перечень лабораторных и практических работ | Вопросы к защите |
|--------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | <p>структурой с минимумом средней квадратической ошибкой?</p> <p>5. Как получить аналитическое выражение для интеграла спектральной плотности случайного процесса?</p> <p>6. Приведите пример выражения для расчета интеграла от дробно-рациональной четной функции.</p> |
| <p>№17. Моделирование работы нелинейных систем автоматического управления</p> | <p>Изобразите характеристики нелинейных элементов типа люфт и упор.</p> <p>Изобразите характеристики релейных нелинейных элементов.</p> <p>Какие нелинейные элементы обычно используют при моделировании системы управления с интегрирующим исполнительным устройством постоянной скорости?</p> <p>Каково назначение зоны нечувствительности?</p> <p>Запишите формулы для расчета выхода двухпозиционного релейного элемента с гистерезисом.</p> <p>Каково назначение гистерезиса?</p> |
| <p>№18. Исследование релейной системы второго порядка на фазовой плоскости</p> | <p>Дать определение фазовой плоскости и фазовой траектории.</p> <p>Какой вид имеют фазовые траектории релейной системы второго порядка с передаточной функцией линейной части $H_{лч}(p) = \frac{1}{p(p+1)}$?</p> <p>Какой вид имеют фазовые портреты САУ, имеющие в качестве нелинейного элемента: а) идеальное реле; б) реле с зоной нечувствительности; в) реле с гистерезисной статической характеристикой</p> <p>В чем преимущества и недостатки метода исследования релейной системы на фазовой плоскости по сравнению с численным моделированием во времени с использованием математических пакетов?</p> |
| <p>№19. Метод гармонического баланса</p> | <p>Дать определение статической характеристики релейного элемента и методики её определения.</p> <p>Дать определение эквивалентного комплексного передаточного коэффициента нелинейного элемента. Чему равна его амплитуда и фаза.</p> <p>Привести формулы для расчёта АФХ линейной части системы и амплитудной характеристики нелинейного элемента.</p> <p>Как графически решается уравнение гармонического баланса методом Гольдфарба?</p> |

| Перечень лабораторных и практических работ | Вопросы к защите |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | Как определить точку устойчивых периодических колебаний? |
| <p>№20. Переоборудование непрерывного регулятора</p> | <p>Дайте определение D и Z преобразованиям.</p> <p>Что такое линейное разностное уравнение?</p> <p>Что такое оператор сдвига?</p> <p>Что такое дискретная передаточная функция?</p> <p>Правила замены при интегрировании по методам Эйлера и обратных разностей.</p> |
| <p>№21. Устойчивость импульсных систем</p> | <p>Как определить передаточную функцию разомкнутой импульсной системы по известной передаточной функции приведённой линейной части?</p> <p>Как определить передаточную функцию замкнутой импульсной системы?</p> <p>Как связаны передаточная функция и разностное уравнение?</p> <p>Эквивалентная схема амплитудно-импульсного элемента.</p> |
| <p>№22. Идентификация в задачах управления (порядок выполнения представлен в [1] раздела методических указаний)</p> | <p>Структурные схемы идентификации.</p> <p>Способы интеграции искусственной нейронной сети в контур управления.</p> <p>Проблемы применения искусственной нейронной сети при управлении.</p> <p>Понятие частичного и полного предиктора.</p> <p>Схема обобщенного инверсного обучения.</p> <p>Схема адаптивной системы управления с прямой и обратной инверсной моделями.</p> <p>Функциональная схема адаптивной системы управления с заградительным фильтром и моделью.</p> |
| <p>№23. Модели на базе нечеткой логики (порядок выполнения представлен в [2] раздела методических указаний)</p> | <p>Понятие функций принадлежности.</p> <p>Приведите пример правила для регулятора, решающего задачу стабилизации, на основе нечеткой логики и поясните его смысл.</p> <p>Что такое лингвистическая переменная?</p> <p>Какие правила нечеткого вывода вы знаете?</p> <p>Пример структуры регулятора на основе нечеткой логики для решения задачи стабилизации.</p> |

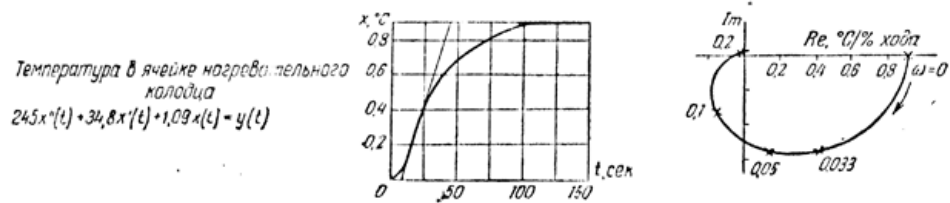
Примеры вариантов заданий на самостоятельную работу

Определение математической модели объекта управления и разработка системы автоматического управления с использованием типовых законов управления

Вид математической модели и экспериментальные данные по переходной функции объекта выдаются преподавателем индивидуально каждому студенту. При выполнении работы рекомендуется придерживаться следующей последовательности его выполнения:

1. По заданной переходной функции объекта управления определить параметры математической модели первого и второго порядка.
2. Найти интегральное квадратичное отклонение переходных функций построенных по модели, от переходных функций объекта. Выбрать наилучшую модель.
3. По выбранной математической модели объекта построить его АФЧХ. Объект следует представить в виде последовательного соединения типовых звеньев.
4. Исходя из требования настройки на технический оптимум или симметричный оптимум, выбрать закон управления для каждого типа модели и рассчитать параметры настройки регулятора.
5. Выполнить моделирование переходных процессов при использовании регуляторов с найденными параметрами и сравнить качество переходных процессов с типовым.

Образец задания на самостоятельную работу:



а) Планируемые результаты обучения и оценочные средства для проведения промежуточной аттестации:

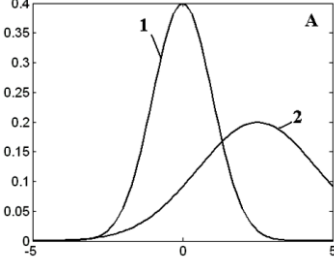
| Структурный элемент компетенции | Планируемые результаты обучения | Оценочные средства |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ОПК-3: Способен использовать фундаментальные знания для решения базовых задач управления в технических системах с целью совершенствования в профессиональной деятельности | | |
| ОПК-3.1 | Выполняет абстрактное описание системы или объекта автоматизации в терминах и понятиях теории управления | <p>Теоретические вопросы:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Что понимается под статической характеристикой элемента и как она определяется экспериментально? 2. Что такое передаточный коэффициент линейного элемента? 3. Какие Вы знаете статические характеристики у объекта управления и как их определить экспериментально? 4. Дайте определение для передаточных коэффициентов k_{of} и k_{ou}? 5. Из каких элементов состоит статическая система управления и как следует эти элементы соединить между собой? 6. Из каких элементов состоит астатическая система управления и как следует эти элементы соединить между собой? 7. Чем следует руководствоваться при выборе вида регулятора и закона регулирования? 8. Перечислите правила, по которым проводится подстройка параметров регулятора в окрестностях оптимального режима. 9. Как вручную настроить регулятор, не имея никакой предварительной информации об области оптимальных значений параметров настройки регулятора? 10. Перечислите основные особенности различного вида приводов. 11. Укажите основные причины необходимости перенастройки средств регулирования. 12. Как найти коэффициент усиления в установившемся режиме по АЧХ? 13. Что такое частотная характеристика? 14. Что такое частота среза системы? 15. Приведите пример вида амплитудных частотных характеристик типовых звеньев САУ. 16. Что такое резонансная частота системы? 17. Как получить выражения частотных характеристик по передаточной функции? |

| Структурный элемент компетенции | Планируемые результаты обучения | Оценочные средства |
|---------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | | <ol style="list-style-type: none"> 18. Как экспериментально получить частотные характеристики? 19. В чем отличие приведения к единице передаточной функции системы и амплитудной характеристики системы? 20. Как сформировать регулятор в системе с прямым разомкнутым управлением? 21. Выведите выражение для расчета параметров интегрального регулятора, управляющего инерционным объектом путем приведения к единице амплитудной характеристики замкнутой системы. Какие допущения при этом следует сделать? 22. Запишите эталонное выражение разомкнутой системы, настроенной на технический оптимум. 23. Запишите эталонное выражение разомкнутой системы, настроенной на симметричный оптимум. 24. Приведите эталонный вид логарифмической амплитудной характеристики системы, настроенной на симметричный оптимум. 25. Приведите пример объекта без самовыравнивания. 26. Как обеспечить приведение передаточной функции системы к эталонному виду? Приведите пример. 27. Как сформировать ступенчатое, линейное и параболическое входное воздействие? 28. Как на модели реализовать систему с астатизмом нулевого порядка и как она отрабатывает ступенчатое, линейное и квадратичное входное воздействие? 29. Как на модели реализовать систему с астатизмом первого порядка и как она отрабатывает ступенчатое, линейное и квадратичное входное воздействие? 30. Как на модели реализовать систему с астатизмом второго порядка и как она отрабатывает ступенчатое, линейное и квадратичное входное воздействие? 31. Выпишите формулу для расчёта установившейся ошибки. Как она зависит от передаточного коэффициента разомкнутой системы. 32. Перечислите этапы эксперимента. 33. Отличия пассивного и активного эксперимента. 34. Укажите основные цели сэмпинга данных. 35. Перечислите принципы выбора типа статистической модели. 36. Изобразите функции плотности распределения для основных законов распределения случайной величины. |

| Структурный элемент компетенции | Планируемые результаты обучения | Оценочные средства |
|---------------------------------|---------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | | <p>37. Приведите алгоритм генерации случайной величины по заданному закону распределения.</p> <p>38. Как получить аналитическое выражение для интеграла спектральной плотности случайного процесса?</p> <p>39. Приведите пример выражения для расчета интеграла от дробно-рациональной четной функции.</p> <p>40. Изобразите характеристики нелинейных элементов типа люфт и упор.</p> <p>41. Изобразите характеристики релейных нелинейных элементов.</p> <p>42. Какие нелинейные элементы обычно используют при моделировании системы управления с интегрирующим исполнительным устройством постоянной скорости?</p> <p>43. Каково назначение зоны нечувствительности?</p> <p>44. Запишите формулы для расчета выхода двухпозиционного релейного элемента с гистерезисом.</p> <p>45. Каково назначение гистерезиса?</p> <p>46. Дать определение фазовой плоскости и фазовой траектории.</p> <p>47. Какой вид имеют фазовые траектории релейной системы второго порядка с передаточной функцией линейной части</p> $H_{лч}(p) = \frac{1}{p(p+1)}?$ <p>48. Какой вид имеют фазовые портреты САУ, имеющие в качестве нелинейного элемента: а) идеальное реле; б) реле с зоной нечувствительности; в) реле с гистерезисной статической характеристикой</p> <p>49. В чем преимущества и недостатки метода исследования релейной системы на фазовой плоскости по сравнению с численным моделированием во времени с использованием математических пакетов?</p> <p>50. Дать определение статической характеристики релейного элемента и методики её определения.</p> <p>51. Дать определение эквивалентного комплексного передаточного коэффициента нелинейного элемента. Чему равна его амплитуда и фаза.</p> <p>52. Привести формулы для расчёта АФХ линейной части системы и амплитудной характеристики нелинейного элемента.</p> <p>53. Как графически решается уравнение гармонического баланса методом Гольдфарба?</p> <p>54. Как определить точку устойчивых периодических колебаний?</p> <p>55. Дайте определение D и Z преобразованиям.</p> |

| Структурный элемент компетенции | Планируемые результаты обучения | Оценочные средства |
|---------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | | <p>56. Что такое линейное разностное уравнение?</p> <p>57. Что такое оператор сдвига?</p> <p>58. Что такое дискретная передаточная функция?</p> <p>59. Правила замены при интегрировании по методам Эйлера и обратных разностей.</p> <p>60. Как определить передаточную функцию разомкнутой импульсной системы по известной передаточной функции приведённой линейной части?</p> <p>61. Как определить передаточную функцию замкнутой импульсной системы?</p> <p>62. Как связаны передаточная функция и разностное уравнение?</p> <p>63. Эквивалентная схема амплитудно-импульсного элемента.</p> <p>64. Структурные схемы идентификации.</p> <p>65. Способы интеграции искусственной нейронной сети в контур управления.</p> <p>66. Проблемы применения искусственной нейронной сети при управлении.</p> <p>67. Понятие частичного и полного предиктора.</p> <p>68. Схема обобщенного инверсного обучения.</p> <p>69. Схема адаптивной системы управления с прямой и обратной инверсной моделями.</p> <p>70. Функциональная схема адаптивной системы управления с заградительным фильтром и моделью.</p> <p>71. Понятие функций принадлежности.</p> <p>72. Приведите пример правила для регулятора, решающего задачу стабилизации, на основе нечеткой логики и поясните его смысл.</p> <p>73. Что такое лингвистическая переменная?</p> <p>74. Какие правила нечеткого вывода вы знаете?</p> <p>75. Пример структуры регулятора на основе нечеткой логики для решения задачи стабилизации.</p> |
| ОПК-3.2 | Решает базовые задачи управления в технических системах с использованием фундаментальных знаний с целью совершенствования в профессиональной деятельности | <p>Практические задания:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Реализуйте типовые динамические звенья в SimInTech. 2. В среде SimInTech реализуйте систему управления с двумя степенями свободы. 3. Аппроксимируйте заданную экспериментальную спектральную плотность зависимостью $S(\omega) = \frac{2DT}{1 + \omega^2 T^2}$ в среде excel. |

| Структурный элемент компетенции | Планируемые результаты обучения | Оценочные средства |
|---------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | | <div data-bbox="938 302 1412 660" data-label="Figure"> </div> <ol style="list-style-type: none"> <li data-bbox="821 689 1476 824">4. С использованием среды SimInTech оцените влияние параметров настройки регулятора на среднее значение квадрата ошибки регулирования в заданном контуре управления. <li data-bbox="821 828 1444 922">5. Постройте амплитудную характеристику инерционного звена первого порядка в среде SimInTech. <li data-bbox="821 927 1476 994">6. Найдите корни заданного характеристического уравнения в среде SimInTech. <li data-bbox="821 999 1476 1344">7. Для системы с отрицательной обратной связью, интегральным регулятором и инерционным объектом выведите общую передаточную функцию системы. Реализуйте обе структуры моделей системы в SimInTech и сравните их переходные характеристики. Реализуйте модель исполнительного механизма постоянной скорости в среде SimInTech с применением типовых динамических и нелинейных звеньев. <li data-bbox="821 1377 1476 1444">8. Реализовать модель авторегрессии в среде Excel с заданными параметрами $AR1 = 0,9$; $AR2 = 0,5$. <li data-bbox="821 1449 1476 1612">9. Выполните моделирование работы системы управления с интегральным регулятором и передаточной функцией объекта $H(s)=1/(2s+1)$ при действии возмущений в форме белого шума по каналу управления в среде SimInTech. <li data-bbox="821 1617 1476 1742">10. Аппроксимируйте заданную экспериментальную спектральную плотность наиболее подходящей зависимостью в среде excel. <div data-bbox="954 1747 1308 2049" data-label="Figure"> </div> |

| Структурный элемент компетенции | Планируемые результаты обучения | Оценочные средства |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | | <p>11. Выполните моделирование реализации случайной величины с заданным законом распределения в среде excel.</p>  <p>12. В среде SimInTech выполните ручную настройку ПИД регулятора одним из типовых методов. Объектом является последовательное соединение инерционного звена с постоянной времени 5с и звена запаздывания с постоянной времени 2с.</p> <p>13. С применением SimInTech настройте модель объекта по заданной переходной характеристике</p> |
| <p>ОПК-4: Способен осуществлять оценку эффективности систем управления, разработанных на основе математических методов</p> | | |
| <p>ОПК-4.1</p> | <p>Осуществляет выбор показателей и средств для оценки эффективности и надежности систем управления</p> | <p>Теоретические вопросы:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Что такое характеристическое уравнение? 2. Как расположены корни биномиального характеристического полинома? 3. Как расположены корни характеристического полинома Баттерворта? 4. Приведите примеры характеристических полиномов Ньютона и Баттерворта первого и второго порядков. 5. Показатели качества систем с типовыми характеристическими полиномами. 6. Как связаны нормированное и фактическое время переходного процесса? 7. Что такое среднегеометрический корень характеристического полинома? 8. Напишите передаточную функцию системы управления с отрицательной обратной связью, пропорциональным регулятором и моделью объекта из трех инерционных звеньев первого порядка. 9. Выведите формулы для амплитудной и фазовой частотных характеристик разомкнутой системы с пропорциональным регулятором и инерционным объектом. 10. Как по нормированной АФЧХ разомкнутой системы найти критический передаточный |

| Структурный элемент компетенции | Планируемые результаты обучения | Оценочные средства |
|---------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | | <p>коэффициент.</p> <ol style="list-style-type: none"> 11. Сформулируйте частотный критерий устойчивости Найквиста и алгебраический критерий Гурвица. 12. Как по передаточной функции разомкнутой системы найти характеристический многочлен замкнутой САУ? 13. Что такое модель в пространстве состояний? 14. Что такое нули и полюса передаточной функции? 15. Какие статистические оценки качества данных Вы знаете? 16. Как оценить адекватность статистической модели? 17. Как оценить воспроизводимость эксперимента? 18. Укажите цели дисперсионного и корреляционного анализа. 19. Что такое спектральная плотность случайного процесса? Связь спектральной плотности с корреляционной функцией. 20. Приведите примеры вида спектральной плотности для различных случайных процессов. 21. Какими выражениями часто аппроксимируют спектральную плотность? 22. Почему при аппроксимации спектральной плотности используют выражения, которые могут быть представлены как функции частоты или как функции комплексной переменной? 23. Как связаны спектральная плотность на входе и выходе системы? 24. Какова связь спектральной плотности с критериями качества управления? 25. Что такое взаимная спектральная плотность и как она используется при синтезе систем управления? 26. Приведите и поясните различные варианты взаимного расположения амплитудной характеристики и спектральных плотностей полезного сигнала и помехи. Какие можно выделить этапы при синтезе системы с заданной структурой с минимумом средней квадратической ошибкой? |
| ОПК-4.2 | Производит оценку эффективности и надежности систем управления по методикам, разработанным на основе математических методов | <p>Практические задания:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Каково минимальное значение общего коэффициента усиления системы, чтобы относительное значение ошибки регулирования относительно задания не превышало 5%? 2. На входе системы с астатизмом первого порядка и добротностью по скорости $K = 2$ действует линейно-нарастающее воздействие $g(t) = bt$. Определить величину установившейся ошибки. |

| Структурный элемент компетенции | Планируемые результаты обучения | Оценочные средства |
|---------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | | <p>3. Устойчива ли система с характеристическим уравнением $4s^2 + 8s - 1$?</p> <p>4. Какой вид будет иметь результирующая передаточная функция при последовательном соединении двух звеньев с передаточными функциями $H_1(s)=1/(2s+1)$ и $H_2(s)=s+1$?</p> <p>5. Передаточная функция разомкнутой системы $W_p = s^2$. Найдите передаточную функцию по ошибке для замкнутой системы с отрицательной обратной связью.</p> <p>6. Составьте структурную схему модели системы управления инерционным объектом с использованием ПИ-регулятора и исполнительного механизма постоянной скорости.</p> <p>7. Рассчитайте параметры переходного режима на фазовой плоскости при управлении объектом с передаточной функцией $1/(p*(p+1))$ с использованием идеального реле. Параметры реле и начальное состояние процесса принять произвольно.</p> <p>8. Оцените устойчивость дискретной системы с характеристическим полиномом z^2+2z+1.</p> <p>9. Для объекта с передаточной функцией $1/((2p+1)*(5p+1))$ выберите оптимальный регулятор с позиции настройки на технический оптимум и составьте структурную схему для реализации регулятора в математическом редакторе. На входе интегрального регулятора с передаточной функцией $1 / (T_i s)$ действует постоянный сигнал $g = 1$. Выход регулятора в начальный момент времени равен нулю. $T_i = 2$. Определить значение выхода регулятора через две секунды.</p> |

б) Порядок проведения промежуточной аттестации, показатели и критерии оценивания:

Промежуточная аттестация по дисциплине «Теория автоматического управления» включает теоретические вопросы, позволяющие оценить уровень усвоения обучающимися знаний, и практические задания, выявляющие степень сформированности умений и владений, проводится в форме зачета с оценкой и экзамена.

Экзамен по данной дисциплине проводится в устной форме по экзаменационным билетам, каждый из которых включает 2 теоретических вопроса и практические задания.

Показатели и критерии оценивания зачета с оценкой и экзамена:

– на оценку **«отлично»** (5 баллов) – обучающийся демонстрирует высокий уровень сформированности компетенций, всестороннее, систематическое и глубокое знание учебного материала, свободно выполняет практические задания, свободно оперирует знаниями, умениями, применяет их в ситуациях повышенной сложности.

– на оценку **«хорошо»** (4 балла) – обучающийся демонстрирует средний уровень сформированности компетенций: основные знания, умения освоены, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях, переносе знаний и умений на новые, нестандартные ситуации.

– на оценку **«удовлетворительно»** (3 балла) – обучающийся демонстрирует пороговый уровень сформированности компетенций: в ходе контрольных мероприятий допускаются ошибки, проявляется отсутствие отдельных знаний, умений, навыков, обучающийся испытывает значительные затруднения при оперировании знаниями и умениями при их переносе на новые ситуации.

– на оценку **«неудовлетворительно»** (2 балла) – обучающийся демонстрирует знания не более 20% теоретического материала, допускает существенные ошибки, не может показать интеллектуальные навыки решения простых задач.

– на оценку **«неудовлетворительно»** (1 балл) – обучающийся не может показать знания на уровне воспроизведения и объяснения информации, не может показать интеллектуальные навыки решения простых задач.

Методические указания к выполнению лабораторных и практических работ по дисциплине «Теория автоматического управления»

Работа №13. Моделирование многомерной случайной величины

Исходные данные: временные ряды по 2-3 технологическим параметрам.

Порядок выполнения работы

1. Построить графики по исходным данным.
2. Выбрать интервалы времени, на которых дисперсии технологических параметров по возможности не изменяются.
3. Удалить трендовые составляющие рядов данных.
4. Рассчитать корреляционную и ковариационную матрицы.
5. Рассчитать матрицу C (см. [1] методических указаний).
6. Получить новую реализацию многомерной случайной величины.
7. По полученной реализации рассчитать корреляционную матрицу и сравнить ее с корреляционной матрицей исходных данных.

С примером выполнения заданий работы можно ознакомиться в [1] методических указаний.

Работа №14. Разработка модели возмущений с учетом частотных особенностей изменения случайной величины

Исходные данные: временной ряды по одному технологическому параметру.

Порядок выполнения работы

1. Построить график по исходным данным.
2. Выбрать интервалы времени, на которых дисперсия и частотные особенности изменения технологического параметра по возможности не изменяются.
3. Удалить трендовую составляющую ряда данных.

4. Рассчитать автокорреляционную функцию.
5. Определить число коэффициентов авторегрессионной модели.
6. При необходимости понизить дискретность данных.
7. Настроить авторегрессионную модель временного ряда.
8. Получить новую реализацию случайного процесса.
9. По новой реализации случайного процесса рассчитать автокорреляционную функцию и сравнить ее с автокорреляционной функцией исходных данных.

С примером выполнения заданий работы можно ознакомиться в [1] методических указаний.

Работа №15. Спектральная плотность на входе и выходе системы

Порядок выполнения работы

Исходные данные: параметры авторегрессионной модели, полученные в работе №3.

Часть 1. Численное моделирование действия возмущений на систему.

1. Реализовать разработанную ранее авторегрессионную модель возмущений по одному параметру в среде VisSim.
2. В среде VisSim получить реализацию возмущений X протяженностью 500 секунд и вывести случайную величину на график. Экспортировать данные графика в текстовый файл 1.
3. Подать возмущения X на вход инерционного звена первого порядка с постоянной времени согласно варианту работы №1. Рассчитать среднее значение квадрата сигнала Y на выходе звена.

Часть 2. Аналитический расчет действия возмущений на систему.

4. Получить спектральную плотность случайной величины X в файле 1 и экспортировать ее в текстовый файл.
5. Импортировать файл спектральной плотности в excel и выполнить аппроксимацию спектральной плотности одним из двух, рассмотренных в [1] методических указаний выражений (тем, которое больше подходит).
6. В среде VisSim получить амплитудную частотную характеристику инерционного звена и экспортировать ее в файл. Либо воспользоваться аналитическим способом нахождения амплитудной характеристики.
7. Используя информацию об амплитудной характеристике системы (инерционного звена) и спектральной плотности сигнала X , рассчитать спектральную плотность сигнала Y на выходе системы.
8. Рассчитать среднее значение квадрата Y и сравнить его со значением, полученным в ходе численного моделирования.

С примером выполнения заданий работы можно ознакомиться в [1] методических указаний.

**Работа №16. Синтез системы с минимумом среднего значения квадрата
ошибки регулирования**

Исходные данные: структура системы управления, параметры модели возмущений согласно работе №3.

Порядок выполнения работы

1. Вывести аналитическое выражение связывающее среднее значение квадрата ошибки регулирования с параметрами модели объекта управления, регулятора и возмущений.
2. При трех различных вариантах значений параметров регулятора рассчитать по полученному выражению среднее значение квадрата ошибки регулирования.
3. Проверить результаты расчетов, выполнив моделирование работы системы в среде VisSim.

С примером выполнения заданий работы можно ознакомиться в [1] методических указаний.