

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
Филиал «Протвино»  
федерального государственного бюджетного образовательного учреждения  
высшего образования  
«Университет «Дубна»  
(филиал «Протвино» государственного университета «Дубна»)  
Кафедра «Автоматизация технологических процессов и производств»

УТВЕРЖДАЮ  
Директор

\_\_\_\_\_ /Евсиков А.А./  
подпись                      Фамилия И.О.

« 30 » июня 2023 г.

**Рабочая программа дисциплины**

**Теория автоматического управления**

*наименование дисциплины (модуля)*

Направление подготовки

**15.03.04 Автоматизация технологических процессов и производств**

*код, наименование*

Уровень высшего образования

**бакалавриат**

*бакалавриат, магистратура, специалитет*

Направленность (профиль) образовательной программы

**«Автоматизация технологических процессов и производств»**

Форма обучения

**очная, заочная**

*очная, очно-заочная, заочная*

Протвино, 2023

Автор(ы) программы:

Леонов А.П., доцент, к.т.н., доцент

кафедра «Автоматизация технологических процессов и производств» \_\_\_\_\_

*Фамилия И.О., должность, ученая степень (при наличии),  
ученое звание (при наличии), кафедра;*

\_\_\_\_\_ *подпись*

Рабочая программа разработана в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению  
подготовки высшего образования

15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и производств» \_\_\_\_\_

*(код и наименование направления подготовки (специальности))*

Программа рассмотрена на заседании кафедры

«Автоматизация технологических процессов и производств» \_\_\_\_\_

*(название кафедры)*

Протокол заседания № 8 от «29» июня 2023 г.

Заведующий кафедрой Маков П.В. \_\_\_\_\_

*(Фамилия И.О., подпись)*

Эксперт (рецензент):

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
*(Ф.И.О., ученая степень, ученое звание, место работы, должность; если текст рецензии не прикладывается –  
подпись эксперта (рецензента), заверенная по месту работы)*

## Оглавление

1 Цели и задачи освоения дисциплины .....	4
2 Место дисциплины в структуре ОПОП .....	4
3 Планируемые результаты обучения по дисциплине .....	5
4 Объем дисциплины .....	5
5. Содержание дисциплины .....	6
6 Перечень учебно-методического обеспечения по дисциплине .....	9
7 Фонды оценочных средств по дисциплине .....	9
8 Ресурсное обеспечение .....	11
Приложение к рабочей программе дисциплины .....	14

## 1 Цели и задачи освоения дисциплины

Дисциплина «Теория автоматического управления» **имеет целью** сформировать у обучающихся общепрофессиональную ОПК-1 компетенцию в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки бакалавров 15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и производств» с учетом направленности бакалаврской программы – «Автоматизация технологических процессов и производств».

Студенты получают **навыки** работы в исследовании, проектировании и эксплуатации систем автоматизации технологических процессов и производств.

Задачи освоения дисциплины «Теория автоматического управления»:

### Изучить:

- принципы работы и построения САУ;
- задачи анализа САУ, типовые звенья САУ, их частотные и временные характеристики;
- критерии устойчивости линейных, нелинейных и дискретных САУ, показатели их качества, характеризующие точность и быстродействие;
- типы корректирующих звеньев и алгоритмы управления САУ, задачи и проблемы синтеза САУ, методы математического моделирования САУ, робастные, оптимальные и адаптивные САУ.

### Овладеть:

- навыками построения структурных схем САУ;
- навыками построения частотных и временных характеристик отдельных звеньев и САУ в целом;
- методами расчета устойчивости и точности САУ, величины требуемого коэффициента усиления, определения параметров переходного процесса;
- навыками определения параметров корректирующих звеньев САУ и алгоритмов управления, обеспечивающих соответствие регулируемых параметров заданным техническим требованиям.

Специфика курса учитывает особенности информационных технологий для студентов с ограниченными возможностями здоровья. Преподавание данного курса происходит с использованием адаптированной компьютерной техники.

**Объектами профессиональной деятельности** выпускников, освоивших программу бакалавриата, являются:

- системы автоматизации технологических процессов и производства продукции различного служебного назначения, управления ее жизненным циклом и качеством, автоматизированные системы контроля, диагностики и испытаний;
- автоматическое и автоматизированное оборудование систем управления, контроля, диагностирования, испытаний основного и вспомогательного производств;
- методы, способы и средства проектирования и исследования автоматизированных систем и входящего в них оборудования.

## 2 Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина «Теория автоматического управления» Б1.О.19 относится к обязательной части образовательной программы.

Дисциплина преподается в VI семестре III курса.

Приступая к изучению дисциплины «Теория автоматического управления», студент имеет знания и навыки по дисциплинам: «Физика», «Математический анализ», «Линейная алгебра и аналитическая геометрия», «Электротехника и электроника».

### 3 Планируемые результаты обучения по дисциплине

Формируемые компетенции (код и наименование)	Индикаторы достижения компетенций (код и формулировка)	Планируемые результаты обучения по дисциплине
ОПК-1. Способен применять естественнонаучные и общеинженерные знания, методы математического анализа и моделирования в профессиональной деятельности	ОПК-1.2. Формулирует решение стандартных профессиональных задач с применением естественнонаучных и общеинженерных знаний	Уметь использовать естественнонаучные и общеинженерные знания в профессиональной деятельности
	ОПК-1.3. Системно подходит к выбору методов моделирования и высшей математики, включая математический анализ, для решения задач профессиональной деятельности	Знать методы математического анализа
		Владеть навыками работы с программной системой для математического и имитационного моделирования

### 4 Объем дисциплины

Объем дисциплины составляет 4 зачетных единиц, всего 144 академических часа.

**5. Содержание дисциплины**  
очная форма обучения

Наименование разделов и тем дисциплины	Всего (академ. часы)	в том числе:						Самостоятельная работа обучающегося
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем) <sup>1</sup>						
		Лекции	Практические (семинарские) занятия	Лабораторные занятия	КРП*	...	Всего	
<b>VI семестр</b>								
<b>Раздел 1. Введение в теорию автоматического управления (ТАУ). Исследование линейных систем автоматического управления (САУ).</b> Тема 1.1. Базовые положения ТАУ. Тема 1.2. Типовые динамические звенья линейных САУ. Тема 1.3. Критерии устойчивости линейных САУ. Тема 1.4. Точность линейных САУ. Тема 1.5. Алгоритмы управления САУ. Тема 1.6. Коррекция динамических свойств линейных САУ.	65	19	20	0			39	26
<b>Раздел 2. Нелинейные САУ.</b> Тема 2.1. Характеристики типовых нелинейностей и особенности установившихся (стационарных) и динамических режимов нелинейных САУ. Тема 2.2. Фазовые портреты, моделирование нелинейных САУ. Тема 2.3. Исследование устойчивости нелинейных САУ с помощью критерия абсолютной устойчивости Попова В.М.	22	5	4	0			9	13
<b>Раздел 3. Дискретные САУ.</b> Тема 3.1. Классификация дискретных САУ. Тема 3.2. Импульсные САУ. Тема 3.3. Цифровые САУ и особенности их динамики.	30	10	10	0			20	10
Промежуточная аттестация: экзамен	27 <sup>2</sup>	X						

<sup>1</sup> Перечень видов учебных занятий уточняется в соответствии с учебным планом.

<b>Итого по дисциплине</b>	144	34	34	0	0		68	49
----------------------------	-----	----	----	---	---	--	----	----

*\*КРП - часы контактной работы на курсовую работу (проект) по дисциплине. Часы относятся к внеаудиторной контактной работе, выполняются вне расписания учебных занятий по дисциплине. Указываются, если предусмотрены учебным планом.*

---

<sup>2</sup> Часы на промежуточную аттестацию (зачет, дифференцированный зачет, экзамен и др.) указываются в случае выделения их в учебном плане.

## Содержание дисциплины

### **Раздел 1. Введение в теорию автоматического управления (ТАУ). Исследование линейных систем автоматического управления (САУ).**

#### **Тема 1.1. Базовые положения ТАУ.**

Основные понятия и определения в ТАУ. Задачи ТАУ.

Частотные и временные характеристики звеньев.

Показатели качества управления.

#### **Тема 1.2. Типовые динамические звенья линейных САУ.**

Характеристики статических, интегрирующих и дифференцирующих звеньев.

Определение передаточных функций линейных САУ по управлению, ошибке и возмущению.

Правила преобразования структурных схем.

#### **Тема 1.3. Критерии устойчивости линейных САУ.**

Алгебраические и частотные критерии устойчивости (Гурвица, Михайлова, Найквиста).

Определение запасов устойчивости по фазе и амплитуде.

Определение предельных параметров САУ.

#### **Тема 1.4. Точность линейных САУ.**

Определение точности статических САУ в установившемся режиме. Понятие статизма САУ.

Способы устранения ошибки в статической системе в установившемся режиме.

Определение точности САУ в вынужденном режиме.

Динамическая ошибка в САУ.

#### **Тема 1.5. Алгоритмы управления САУ.**

Определение алгоритма. Схема обобщенного регулятора, управление с упреждением.

Аналоговые ПИД - регуляторы.

Реализация ПИД - алгоритма в цифровых САУ, пропорционально - суммарно-разностный (ПСР) алгоритм.

Границы применения ПИД – регуляторов. Адаптивные ПИД – регуляторы.

#### **Тема 1.6. Коррекция динамических свойств линейных САУ.**

Типы корректирующих устройств (КУ). Последовательные КУ, параллельные КУ (местные отрицательные обратные связи), коррекция по возмущению.

### **Раздел 2. Нелинейные САУ.**

#### **Тема 2.1. Характеристики типовых нелинейностей и особенности установившихся (стационарных) и динамических режимов нелинейных САУ.**

Математические выражения и графики, описывающие характеристики типовых нелинейностей.

Устойчивость в малом, устойчивость в большом, устойчивость в целом, автоколебания.

#### **Тема 2.2. Фазовые портреты, моделирование нелинейных САУ.**

Исследование нелинейных САУ с использованием фазовых портретов. Понятия асимптотической и неасимптотической устойчивости.

Построение фазовых портретов с помощью программы *Simulink* в пакете *Matlab*.

#### **Тема 2.3. Исследование устойчивости нелинейных САУ с помощью критерия абсолютной устойчивости Попова В.М.**

Критерий Попова В.М. для САУ с устойчивой линейной частью.

Критерий Попова В.М. для САУ с неустойчивой линейной частью.

Критерий Попова В.М. для особого случая.

### **Раздел 3. Дискретные САУ.**

#### **Тема 3.1. Классификация дискретных САУ.**

Определение дискретной САУ. Виды квантования дискретных сигналов по уровню.

Релейные, импульсные и цифровые САУ.

### **Тема 3.2. Импульсные САУ.**

Классификация импульсных САУ по виду модуляции, амплитудно-импульсная (АИМ), широтно-импульсная (ШИМ), фазово-импульсная (ФИМ), частотно-импульсная (ЧИМ).

Теорема Котельникова для импульсных САУ.

Математический аппарат теории линейных импульсных систем (решетчатая функция,  $Z$  – преобразование).

Исследование устойчивости импульсных САУ.

### **Тема 3.3. Цифровые САУ и особенности их динамики.**

Определение цифровой САУ. Методы определения допустимого значения интервала  $T$  дискретизации цифровой САУ по времени.

Преобразование непрерывной величины в цифровой код и цифрового кода в непрерывную величину.

Особенности динамики цифровой САУ.

Математическое описание цифровой САУ и методика её исследования.

Особенности технической реализации цифровой САУ.

Робастные системы, оптимальное и адаптивное управление.

При реализации дисциплины (модуля) организуется практическая подготовка путем проведения практических занятий (34 часа), выполнения 4-х контрольных работ по индивидуальным заданиям (49 часов), предусматривающих участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью.

Практическая подготовка при изучении дисциплины реализуется непосредственно в филиале в аудитории, предназначенной для проведения практических работ.

## **6 Перечень учебно-методического обеспечения по дисциплине**

Для обеспечения реализации программы дисциплины «Электротехника и электроника» разработаны:

- конспект лекций по дисциплине «Теория автоматического управления»;
- варианты индивидуальных заданий на контрольные работы ПР-2.1 ÷ ПР-2.4.

Методические материалы по дисциплине (модулю) и образовательной программе в целом представлены на официальном сайте образовательной организации: Веб-сайт филиала «Протвино» государственного университета «Дубна». – URL: [http://uni-protvino.ru/enter\\_ump.html](http://uni-protvino.ru/enter_ump.html). Режим доступа ограниченный, по логину и паролю.

## **7 Фонды оценочных средств по дисциплине**

Для аттестации обучающихся на соответствие их персональных достижений поэтапным требованиям образовательной программы по дисциплине разработаны фонды оценочных средств, позволяющие оценить результаты обучения (знания, умения, навыки) и сформированные (формируемые) компетенции.

Эти фонды включают теоретические вопросы, решение задач на практических занятиях, выполнение 4-х контрольных работ ПР-2.1 ÷ ПР-2.4, подготовку к сдаче и сдачу экзамена, критерии оценивания; иные оценочные материалы, используемые при проведении процедур текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации.

Фонды оценочных средств представлены в приложении к рабочей программе.

При необходимости обучающиеся с ограниченными возможностями здоровья и инвалиды обеспечиваются оценочными материалами в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации:

*Для лиц с нарушениями зрения:*

- в печатной форме увеличенным шрифтом,

- в форме электронного документа,
- в форме аудиофайла.

*Для лиц с нарушениями слуха:*

- в печатной форме,
- в форме электронного документа.

*Для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:*

- в печатной форме,
- в форме электронного документа,
- в форме аудиофайла.

## **8 Ресурсное обеспечение**

### **8.1. Перечень литературы**

#### *Основная учебная литература*

1. Певзнер Л.Д. Теория систем управления [Текст]: Учебное пособие / Л.Д. Певзнер. - 2-е изд., испр. и доп. - СПб.: Лань, 2021. - 424с.: ил. - ISBN 978-5-8114-1566-3.
2. Певзнер, Л. Д. Теория систем управления : учебное пособие / Л. Д. Певзнер. — 2-е изд., испр. и доп. — Санкт-Петербург : Лань, 2022. — 424 с. — ISBN 978-5-8114-1566-3. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/212207> (дата обращения: 28.04.2022). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
3. Гайдук А.Р. Теория автоматического управления в примерах и задачах с решениями в MATLAB : Учебное пособие для студентов вузов / А.Р. Гайдук, В.Е. Беляев, Т.А. Пьявченко. - 5-е изд.,испр.и доп. - СПб. : Лань, 2019. - 464с. : ил. - Библиогр.список:с.459.- Тем.указ.задач:с.460. - ISBN 978-5-8114-4200-3.
4. Гайдук, А. Р. Теория автоматического управления в примерах и задачах с решениями в MATLAB : учебное пособие для вузов / А. Р. Гайдук, В. Е. Беляев, Т. А. Пьявченко. — 6-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2022. — 464 с. — ISBN 978-5-8114-9549-8. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/200441> (дата обращения: 28.04.2022). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
5. Ерофеев А.А. Теория автоматического управления: Учебник для вузов. - СПб.: Политехника, 2001. - 302 с.: ил.; то же 2005.

#### *Дополнительная учебная литература*

1. Водовозов, А.М. Элементы систем автоматики: Учебное пособие./ А.М. Водовозов. – 2-е изд., стер. - М.: Издательский центр «Академия». 2008. – 224 с.: ил. 978-5-7659-5604-3 Рыбков, И. С. Электротехника : учебное пособие / И.С. Рыбков. — Москва : РИОР : ИНФРА-М, 2022. — 160 с. — (Высшее образование: Бакалавриат). - ISBN 978-5-369-00144-8. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1864188> (дата обращения: 28.04.2022). – Режим доступа: по подписке.
2. Малафеев С.И. Теория автоматического управления : Учебник (гриф) / С. И. Малафеев, А. А. Малафеева. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Издательский центр "Академия", 2014. - 384с. : ил. - (Высшее образование: Бакалавриат). - ISBN 978-5-4468-0230-2.
3. Ким, Д. П. Теория автоматического управления : учебник и практикум для вузов / Д. П. Ким. — Москва : Издательство Юрайт, 2022. — 276 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-9916-9294-6. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/489509> (дата обращения: 28.04.2022).

#### **Периодические издания**

1. Информатика и системы управления: научное издание / Учредитель: Амурский государственный университет; гл. ред. Е.Л. Еремин. – Благовещенск: Амурский государственный университет. – журнал выходит 2 раза в полуг. - Основан в 2001 г. – ISSN: 1814-2400. - Текст : непосредственный (подписка на печатное издание).
2. Современные технологии автоматизации: профессиональный научно-технический журнал. / Учредитель: ООО «СТА-ПРЕСС»; гл. ред. Сорокин С.А. - М.: Издательство «СТА-ПРЕСС», - Журнал выходит 2 раза в полуг. - Основан в 1996 г. - ISSN 0206-975X. – Текст : непосредственный (подписка на печатное издание).

#### **Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»**

##### *Электронно-библиотечные системы и базы данных*

1. ЭБС «Znanium.com»: <https://znanium.com/>
2. ЭБС «Лань»: <https://e.lanbook.com/>
3. ЭБС «Юрайт»: <https://urait.ru/>
4. ЭБС «Университетская библиотека онлайн»: <https://biblioclub.ru/>
5. Научная электронная библиотека (РУНЭБ) «eLIBRARY.RU»: <http://elibrary.ru>
6. Национальная электронная библиотека (НЭБ): <http://нэб.рф/>
7. Базы данных российских журналов компании «East View»: <https://dlib.eastview.com/>

### ***Научные поисковые системы***

1. ArXiv.org - научно-поисковая система, специализируется в областях: компьютерных наук, астрофизики, физики, математики, квантовой биологии. <http://arxiv.org/>
2. Google Scholar - поисковая система по научной литературе. Включает статьи крупных научных издательств, архивы препринтов, публикации на сайтах университетов, научных обществ и других научных организаций. <https://scholar.google.ru/>
3. SciGuide - навигатор по зарубежным научным электронным ресурсам открытого доступа. <http://www.prometeus.nsc.ru/sciguide/page0601.ssi>

### ***Профессиональные ресурсы сети «Интернет»***

1. Федеральная информационная система «Единое окно доступа к информационным ресурсам»: <http://window.edu.ru/>, раздел Теория автоматического управления: [http://window.edu.ru/catalog/resources?p\\_rubr=2.2.75.2.17](http://window.edu.ru/catalog/resources?p_rubr=2.2.75.2.17)

### **Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса, включая программное обеспечение, информационные справочные системы**

Проведение лекционных занятий предполагает использование комплектов слайдов и программных презентаций по рассматриваемым темам.

Проведение практических занятий по дисциплине предполагает использование специализированных аудиторий, оснащенных персональными компьютерами, объединенными в локальную сеть и имеющих в определенном порядке доступ к ресурсам глобальной сети Интернет.

Для выполнения заданий самостоятельной подготовки обучающиеся обеспечиваются литературой, а также в определенном порядке доступом к информационным ресурсам Интернета.

Дисциплина обеспечена необходимым программным обеспечением, которое находится в свободном доступе (программы Open office, VisSim) свободная лицензия, код доступа не требуется).

В филиале «Протвино» государственного университета «Дубна» созданы условия для обучения людей с ограниченными возможностями: использование специальных образовательных программ и методов обучения, специальных учебников, учебных пособий и дидактических материалов, специальных технических средств обучения коллективного и индивидуального пользования, предоставление услуг ассистента (помощника), оказывающим обучающимся необходимую техническую помощь, обеспечение доступа в здания организации.

Имеется универсальное средство для подъема и перемещения инвалидных колясок – пандус-платформа складной.

Компьютерные классы оборудованы столами для инвалидов с ДЦП, также здесь оборудованы рабочие места для лиц с ОВЗ: установлены специальный программно-технологический комплекс позволяющий работать на них студентам с нарушением опорно-двигательного аппарата, слабовидящим и слабослышащим. Имеются гарнитуры компактные, беспроводная клавиатура с большими кнопками, беспроводной компьютерный джойстик с двумя выносными кнопками, беспроводной ресивер, беспроводная выносная большая кнопка, портативное устройство для чтения печатных материалов.

Специальные учебники, учебные пособия и дидактические материалы, в том числе в формате печатных материалов (крупный шрифт или аудиофайлы) имеются в ЭБС, на которые подписан филиал.

Наличие на сайте филиала справочной информации о расписании учебных занятий в адаптированной форме доступной для обучающихся с ограниченными возможностями здоровья, являющихся слепыми или слабовидящими.

### **Описание материально-технической базы**

Для проведения лекционных занятий используется аудитория с проектором и экраном.

Для проведения практических занятий используется компьютерный класс (15 ПК) с проектором и экраном (оборудование в собственности).

Обучающиеся из числа инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья могут использовать специализированное программное и материально-техническое обеспечение:

- обучающиеся с нарушениями опорно-двигательного аппарата при необходимости могут использовать адаптивные технические средства: специально оборудованные джойстики, увеличенные выносные кнопки, клавиатуры с большими клавишами.
- обучающиеся с ограничениями по зрению могут прослушать доступный аудиоматериал или прочитать тексты, увеличив шрифт на экране монитора компьютера. Рекомендуется использовать экранную лупу и другие визуальные вспомогательные средства, чтобы изменить шрифт текста, межстрочный интервал, синхронизацию с речью и т.д., программы экранного доступа (скрин-ридеры для прочтения текстовой информации через синтезированную речь) и/или включить функцию «экранного диктора» на персональном компьютере с операционной системой Windows 7, 8, 10.
- обучающиеся с ограничениями по слуху могут воспользоваться компьютерной аудиогарнитурой при прослушивании необходимой информации и портативной индукционной системой серии «ИСТОК».

При необходимости обучающиеся с ограниченными возможностями здоровья и инвалиды обеспечиваются печатными и (или) электронными образовательными ресурсами (образовательная программа, учебные пособия и др.) в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации:

Для лиц с нарушениями зрения:

- в печатной форме увеличенным шрифтом,
- в форме электронного документа,
- в форме аудиофайла.

Для лиц с нарушениями слуха:

- в печатной форме,
- в форме электронного документа.

Для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:

- в печатной форме,
- в форме электронного документа,
- в форме аудиофайла.

## Фонды оценочных средств

В результате освоения дисциплины «Теория автоматического управления» программы бакалавров по направлению подготовки 15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и производств» с учетом направленности бакалаврской программы – «Автоматизация технологических процессов и производств» выпускник должен обладать следующими компетенциями:

Компетенция **ОПК-1** - Способен применять естественнонаучные и общетехнические знания, методы математического анализа и моделирования в профессиональной деятельности

*код и формулировка компетенции*

### Описание показателей и критериев оценивания компетенций, а также шкал оценивания

Компетенция **ОПК-1** - Способен применять естественнонаучные и общетехнические знания, методы математического анализа и моделирования в профессиональной деятельности

ИНДИКАТОР ДОСТИЖЕНИЯ КОМПЕТЕНЦИИ (код и наименование)	КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТА ОБУЧЕНИЯ по практике ШКАЛА оценивания				
	1	2	3	4	5
ОПК-1.2. Формулирует решение стандартных профессиональных задач с применением естественнонаучных и общетехнических знаний	Отсутствие умения	Демонстрирует частичное умение использовать естественнонаучные и общетехнические знания в профессиональной деятельности. Допускает множественные грубые ошибки.	Демонстрирует достаточно устойчивое умение использовать естественнонаучные и общетехнические знания в профессиональной деятельности. Допускает достаточно серьезные ошибки.	Демонстрирует устойчивое умение использовать естественнонаучные и общетехнические знания в профессиональной деятельности. Допускает отдельные негрубые ошибки.	Демонстрирует свободное и уверенное умение использовать естественнонаучные и общетехнические знания в профессиональной деятельности. Не допускает ошибок.
ОПК-1.3. Системно подходит к выбору методов моделирования и высшей математики, включая математический анализ, для решения задач профессиональной деятельности	Отсутствие знания	Демонстрирует частичное знание методов математического анализа. Допускает множественные грубые ошибки.	Демонстрирует достаточно устойчивое знание методов математического анализа. Допускает достаточно серьезные ошибки.	Демонстрирует устойчивое знание методов математического анализа. Допускает отдельные негрубые ошибки.	Демонстрирует свободное и уверенное знание методов математического анализа. Не допускает ошибок.
	Отсутствие владения	Демонстрирует частичное владение навыками работы с программной си-	Демонстрирует достаточно устойчивое владение навыками работы с про-	Демонстрирует устойчивое владение навыками работы с про-	Демонстрирует свободное и уверенное владение навыками работы с про-

		стемой для математического и имитационного моделирования. Допускает множественные грубые ошибки.	граммной системой для математического и имитационного моделирования. Допускает достаточно серьезные ошибки.	стемой для математического и имитационного моделирования. Допускает отдельные негрубые ошибки.	граммной системой для математического и имитационного моделирования. Не допускает ошибок.
--	--	--	---	--	---

При балльно-рейтинговой системе все знания, умения и навыки, приобретаемые студентами в результате изучения дисциплины, оцениваются в баллах.

Оценка качества работы в рейтинговой системе является накопительной и используется для оценивания системной работы студентов в течение всего периода обучения.

По итогам работы в семестре студент может получить максимально **70** баллов. Итоговой формой контроля в VI семестре является экзамен. На экзамене студент может набрать максимально **30** баллов.

В течение V семестра студент может заработать баллы за следующие виды работ:

№	Вид работы	Сумма баллов
1	Лекционные и практические занятия (посещение)	34
2	Активная работа на практических занятиях	5
3	Выполнение контрольных работ ПР-2.1, ПР-2.2, ПР-2.3, ПР-2.4	31
	Итого:	70

Если к моменту окончания семестра студент набирает от **51** до **70** баллов, то он получает допуск к экзамену.

Если студент к моменту окончания семестра набирает от **61** до **70** баллов, то он может получить автоматическую оценку «удовлетворительно». При желании повысить свою оценку, студент имеет право отказаться от автоматической оценки и сдать экзамен.

Если студент не набрал минимального числа баллов (**51** балл), то он не получает допуск к экзамену.

Соответствие рейтинговых баллов и академических оценок экзамена

Общая сумма баллов за семестр	Итоговая оценка
86-100	Отлично
71-85	Хорошо
51-70	Допуск к экзамену
в том числе: 61-70	Возможность получения автоматической оценки «удовлетворительно»
51-60	Только допуск к экзамену
0-50 *	Неудовлетворительно (студент не допущен к экзамену)

Текущий контроль успеваемости осуществляется в процессе выполнения практических и самостоятельных работ в соответствии с приведенным ниже графиком.

График выполнения и защит самостоятельных работ студентами в 6 семестре

Виды работ	Недели учебного процесса																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
ПР-2.1			В ПР-2.1				3 ПР-2.1										
ПР-2.2							В ПР-2.2			3 ПР-2.2							

Виды работ	Недели учебного процесса																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
ПР-2.3										В ПР-2.3				3 ПР-2.3			
ПР-2.4														В ПР-2.4		3 ПР-2.4	

(указываются: В ПР-2 на неделю выдачи задания на самостоятельную работу, 3 ПР-2 на неделю защиты самостоятельной работы)

Процедура оценивания результатов обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья по дисциплине предусматривает предоставление информации в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации:

- в печатной форме,
- в печатной форме увеличенным шрифтом,
- в форме электронного документа.

Данный перечень может быть конкретизирован в зависимости от контингента обучающихся.

При необходимости обучающемуся инвалиду и лицу с ОВЗ предоставляется дополнительное время для подготовки ответа на зачете или экзамене. У обучающегося инвалида и лица с ОВЗ имеется возможность выбора формы контроля на практических занятиях, зачетах, экзаменах, подходящая конкретно для него.

### Методические указания к практическим занятиям

#### Тематика практических занятий

1. Уравнения звеньев системы, линеаризация. Передаточная функция звена. Частотные и временные характеристики.
2. Построение амплитудно-фазовых характеристик (годографов) САУ. Определение зависимости от частоты значений модуля комплексного коэффициента усиления и сдвига по фазе.
3. Построение логарифмических амплитудно-частотных характеристик (ЛАЧХ) и логарифмических фазово-частотных характеристик (ЛФЧХ). Определение передаточных функций САУ по ЛАЧХ для минимально-фазовых звеньев.
4. Определение передаточных функций САУ по управляющему воздействию, ошибке, возмущению.
5. Решение задач на преобразование структурных схем САУ с определением передаточных функций по управляющему воздействию и ошибке.
6. Определение устойчивости САУ и расчет предельной величины коэффициента усиления с помощью критериев устойчивости Гурвица и Михайлова.
7. Определение устойчивости САУ с помощью критерия Найквиста по годографу разомкнутой системы, ЛАЧХ и ЛФЧХ. Определение запасов устойчивости по амплитуде и фазе с помощью ЛАЧХ и ЛФЧХ.
8. Расчет точности и требуемого коэффициента усиления статических САУ в установленном режиме.
9. Расчет точности САУ в вынужденном режиме.
10. Определение параметров корректирующих звеньев.
11. Построение фазовых портретов нелинейных САУ.
12. Определение абсолютной устойчивости нелинейных САУ с помощью критерия Попова.
13. Разностные уравнения. Определение передаточных функций разомкнутых и замкнутых импульсных САУ.
14. Определение устойчивости импульсных САУ.
15. Определение периода формирования управляющей функции для цифровой САУ. Особенности реализации цифровых САУ, интерфейсы ввода-вывода.
16. Методика исследования цифровых САУ.

## 17. Оптимальные и адаптивные САУ. Особенности робастных САУ.

### *Методическое обеспечение практических занятий по дисциплине «Теория автоматического управления»*

Гайдук А.Р. Теория автоматического управления в примерах и задачах с решениями в MATLAB: Учебное пособие для студентов вузов / А.Р. Гайдук, В.Е. Беляев, Т.А. Пьявченко. - 5-е изд., испр. и доп. - СПб.: Лань, 2019. - 464с.: ил. – (Учебники для вузов. Специальная литература). – Текст: непосредственный - ISBN 978-5-8114-4200-3.

Гайдук, А. Р. Теория автоматического управления в примерах и задачах с решениями в MATLAB: учебное пособие для вузов / А. Р. Гайдук, В. Е. Беляев, Т. А. Пьявченко. — 6-е изд., стер. — Санкт-Петербург: Лань, 2022. — 464 с. — ISBN 978-5-8114-9549-8. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/200441> (дата обращения: 28.04.2022). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

Ерофеев А.А. Теория автоматического управления: Учебник для вузов. - СПб.: Политехника, 2001. - 302 с.: ил.; то же 2005.

Конспект лекций по дисциплине «Теория автоматического управления». – Текст: электронный. // Веб-сайт филиала «Протвино» государственного университета «Дубна». – URL: [http://uni-protvino.ru/enter\\_ump.html](http://uni-protvino.ru/enter_ump.html). Режим доступа ограниченный, по логину и паролю.

### **Методические указания для самостоятельной работы обучающихся и прочее**

#### Тематика самостоятельных работ

1. Контрольная работа ПР-2.1 «Построение годографов АФХ, асимптотических ЛАЧХ и ЛФЧХ» (индивидуальные задания) – 13 часов.
2. Контрольная работа ПР-2.2 «Исследование устойчивости САУ с помощью критериев Гурвица, Михайлова и Найквиста» (индивидуальные задания) – 13 часов.
3. Контрольная работа ПР-2.3 «Исследование устойчивости нелинейных САУ с помощью критерия Попова» (индивидуальные задания) – 13 часов.
4. Контрольная работа ПР-2.4 «Определение передаточных функций и исследование устойчивости импульсных САУ» (индивидуальные задания) – 10 часов.

### *Методическое обеспечение самостоятельных работ по дисциплине «Теория автоматического управления»*

Ерофеев А.А. Теория автоматического управления: Учебник для вузов. - СПб.: Политехника, 2001. - 302 с.: ил.; то же 2005.

Ким, Д. П. Теория автоматического управления: учебник и практикум для вузов / Д. П. Ким. — Москва: Издательство Юрайт, 2021. — 276 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-9916-9294-6. — Текст: электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/468925> (дата обращения: 14.04.2022). Режим доступа: ограниченный по логину и паролю.

Конспект лекций по дисциплине «Теория автоматического управления». – Текст: электронный. // Веб-сайт филиала «Протвино» государственного университета «Дубна». – URL: [http://uni-protvino.ru/enter\\_ump.html](http://uni-protvino.ru/enter_ump.html). Режим доступа ограниченный, по логину и паролю.

### ***Индивидуальные задания на контрольную работу ПР-2.1***

#### **Построение годографов АФХ, асимптотических ЛАЧХ и ЛФЧХ**

*(номер варианта соответствует порядковому номеру фамилии студента в журнале)*

**Задача №1.** В соответствии с правилами построения амплитудно-фазовых характеристик для заданного варианта (Таблица 1) построить годограф для системы с передаточной

функцией  $W(p) = \frac{K}{(1+pT_1)(1+pT_2)}$ . Использовать не менее 5-и промежуточных точек, соответствующих частотам  $\omega = 0, \omega_1, \omega_2, \omega_3, \infty$ , заданным в таблице 1. По годографу графически (с помощью линейки) определить модули комплексного коэффициента усиления  $|W(j\omega)| = A(\omega)$  при  $\varphi(\omega) = -45^\circ$  и  $\varphi(\omega) = -135^\circ$ .

Таблица 1

Варианты заданий

№ варианта	$K$	$T_1$ (с.)	$T_2$ (с.)	$\omega_1$	$\omega_2$	$\omega_3$
1	100	0.22	0.12	1	4.5	8.3
2	40	0.25	0.06	1	4.0	16.7
3	60	0.5	0.15	1	2.0	6.7
4	50	0.36	0.18	1	2.8	5.6
5	70	0.3	0.12	1	3.3	8.3

**Задача №2.** В соответствии с правилами построения амплитудно-фазовых характеристик для заданного варианта (Таблица 2) построить годограф для системы с передаточной функцией  $W(p) = \frac{K}{1+2\xi pT+p^2T^2}$ . Использовать не менее 6-и промежуточных точек, соответствующих частотам  $\omega = 0, \omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4, \infty$ , заданным в таблице 2. По годографу графически (с помощью линейки) определить модули комплексного коэффициента усиления  $|W(j\omega)| = A(\omega)$  при  $\varphi(\omega) = -45^\circ$  и  $\varphi(\omega) = -135^\circ$ .

Таблица 2

Варианты заданий

№ варианта	$K$	$T$ (с.)	$\xi$	$\omega_1$	$\omega_2$	$\omega_3$	$\omega_4$
6	100	0.2	0.4	1.0	3.0	5.0	10
7	40	0.15	0.2	2.0	5.0	6.6	13
8	60	0.1	0.4	2.0	8.0	10.0	20
9	50	0.05	0.16	5.0	16.0	20.0	40
10	70	0.04	0.2	8.0	20.0	25.0	50

**Задача №3.** В соответствии с правилами построения амплитудно-фазовых характеристик для заданного варианта (Таблица 3) построить годограф для системы с передаточной функцией  $W(p) = \frac{K}{p(1+pT)}$ . Использовать не менее 5-и промежуточных точек, соответствующих частотам  $\omega = 0, \omega_1, \omega_2, \omega_3, \infty$ , заданным в таблице 3. По годографу графически (с помощью линейки) определить модуль комплексного коэффициента усиления  $|W(j\omega)| = A(\omega)$  при  $\varphi(\omega) = -135^\circ$ .

Таблица 3

Варианты заданий

№ варианта	$K$	$T$ (с.)	$\omega_1$	$\omega_2$	$\omega_3$
11	60	0.1	2	10	20
12	40	0.2	1	5	10
13	80	0.05	15	20	30
14	20	0.04	10	25	40
15	30	0.02	30	50	70
16	50	0.25	1	4	15

**Задача №4.** Для заданного варианта построить асимптотическую ЛАЧХ для САУ с передаточной функцией  $W(p) = \frac{K}{p(1+pT_1)(1+pT_2)}$ . Рекомендуемые масштабы: по оси

$\omega \rightarrow 2,5 \text{ см/декада}$ ; по оси  $L(\omega) \rightarrow 20 \text{ дб/см}$ . По ЛАЧХ определить частоту среза  $\omega_{CP}$  для данной САУ.

Для построения ЛФЧХ найти значения  $\varphi(\omega)$  при  $\omega = \omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4$  (Таблица 4), округлив их с точностью до градуса. По полученным точкам построить ЛФЧХ в диапазоне от  $\approx 0^\circ$  до  $-270^\circ$ .

По критерию Найквиста определить устойчивость САУ и запасы устойчивости по фазе и амплитуде.

Таблица 4

Варианты заданий

№ варианта	$K$	$T_1 (c.)$	$T_2 (c.)$	$\omega_1$	$\omega_2$	$\omega_3$	$\omega_4$
1	400	0.4	0.02	1	2.5	50.0	200.0
2	100	0.2	0.02	1	5.0	50.0	400.0
3	1000	0.5	0.05	1	2.0	20.0	100.0
4	90	0.25	0.04	1	4.0	25.0	90.0
5	40	0.16	0.1	1	6.2	10.0	200.0

**Задача №5.** Для заданного варианта построить асимптотическую ЛАЧХ для САУ с передаточной функцией  $W(p) = \frac{K}{(1+pT_1)(1+pT_2)(1+pT_3)}$ . Рекомендуемые масштабы: по оси  $\omega \rightarrow 2,5 \text{ см/декада}$ ; по оси  $L(\omega) \rightarrow 20 \text{ дб/см}$ . По ЛАЧХ определить частоту среза  $\omega_{CP}$  для данной САУ.

Для построения ЛФЧХ найти значения  $\varphi(\omega)$  при  $\omega = \omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4$  (Таблица 5), округлив их с точностью до градуса. По полученным точкам построить ЛФЧХ в диапазоне от  $\approx 0^\circ$  до  $-270^\circ$ .

По критерию Найквиста определить устойчивость САУ и запасы устойчивости по фазе и амплитуде.

Таблица 5

Варианты заданий

№ варианта	$K$	$T_1 (c.)$	$T_2 (c.)$	$T_3 (c.)$	$\omega_1$	$\omega_2$	$\omega_3$	$\omega_4$
6	600	0.5	0.15	0.02	2.0	6.7	50.0	500.0
7	200	0.4	0.2	0.05	2.5	5.0	20.0	300.0
8	900	1.0	0.4	0.1	1.0	2.5	10.0	200.0
9	300	0.5	0.1	0.02	2.0	10.0	20.0	250.0
10	400	0.2	0.16	0.01	5.0	6.2	100.0	800.0

**Задача №6.** Для заданного варианта построить асимптотическую ЛАЧХ для САУ с передаточной функцией  $W(p) = \frac{K}{(1+pT_1)(1+2\xi pT_2+p^2T_2^2)}$ . Рекомендуемые масштабы: по оси  $\omega \rightarrow 2,5 \text{ см/декада}$ ; по оси  $L(\omega) \rightarrow 20 \text{ дб/см}$ . По ЛАЧХ определить частоту среза  $\omega_{CP}$  для данной САУ.

Для построения ЛФЧХ найти значения  $\varphi(\omega)$  при  $\omega = \omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4$  (Таблица 6), округлив их с точностью до градуса. По полученным точкам построить ЛФЧХ в диапазоне от  $\approx 0^\circ$  до  $-270^\circ$ .

По критерию Найквиста определить устойчивость САУ и запасы устойчивости по фазе и амплитуде.

Таблица 6

Варианты заданий

№ варианта	$K$	$T_1 (c.)$	$T_2 (c.)$	$\xi$	$\omega_1$	$\omega_2$	$\omega_3$	$\omega_4$
11	400	0.5	0.1	0.2	2.0	10.0	40.0	400.0
12	100	0.4	0.05	0.1	2.5	20.0	80.0	200.0
13	800	2.0	0.2	0.5	0.5	5.0	100	600.0
14	80	1.0	0.04	0.4	1.0	25.0	90	500
15	60	0.8	0.4	0.1	1.25	2.5	50	200

16	200	0.4	0.08	0.3	2.5	12.5	100	400
----	-----	-----	------	-----	-----	------	-----	-----

**Задача №7.** Определить передаточную функцию  $W(p)$  САУ по ЛАЧХ, приведенной на рис. 1 при заданных в Таблице 7 значениях  $\omega_{c1}, \omega_{c2}, \omega_{c3}$ .

Таблица 7

№ варианта	$\omega_{c1}$	$\omega_{c2}$	$\omega_{c3}$
1	2	10.0	250.0
2	1	8.0	40.0
3	1.25	25	120.0
4	0.8	62.0	500.0
5	1.5	40.0	300.0

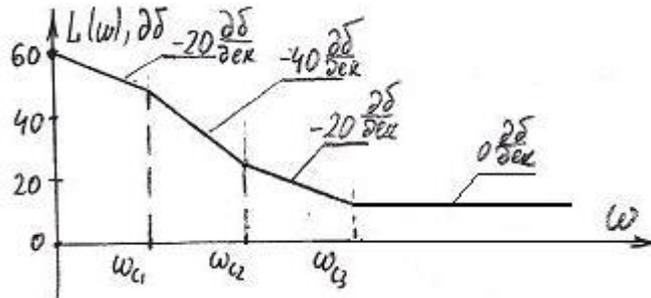


Рис. 1

**Задача №8.** Определить передаточную функцию  $W(p)$  САУ по ЛАЧХ, приведенной на рис. 2 при заданных в Таблице 8 значениях  $\omega_{c1}, \omega_{c2}, \omega_{c3}$ .

Таблица 8

№ варианта	$\omega_{c1}$	$\omega_{c2}$	$\omega_{c3}$
6	5.0	20.0	400.0
7	1.0	12.5	150.0
8	2.0	40.0	125.0
9	2.5	62.0	250.0
10	1.25	80.0	400.0

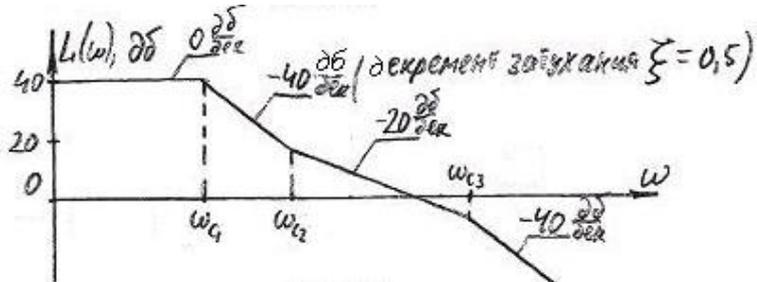


Рис. 2

**Задача №9.** Определить передаточную функцию  $W(p)$  САУ по ЛАЧХ, приведенной на рис. 3 при заданных в Таблице 9 значениях  $\omega_{c1}, \omega_{c2}, \omega_{c3}$ .

Таблица 9

№ варианта	$\omega_{c1}$	$\omega_{c2}$	$\omega_{c3}$
11	4.0	20.0	200.0
12	0.8	6.2	50.0
13	2.0	60.0	125.0
14	2.5	40.0	250.0
15	1.25	25.0	125.0
16	1.0	80.0	200.0

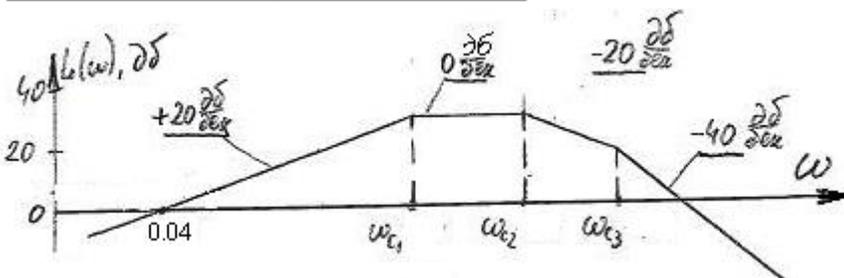


Рис. 3

### Индивидуальные задания на контрольную работу ПР-2.2

Исследование устойчивости САУ с помощью критериев Гурвица, Михайлова и Найквиста

(номер варианта соответствует порядковому номеру фамилии студента в журнале)

**Задача №1.** С помощью критерия Гурвица определить устойчивость САУ, структурная схема которой представлена на рисунке 1. Варианты заданий представлены в Таблице 1.

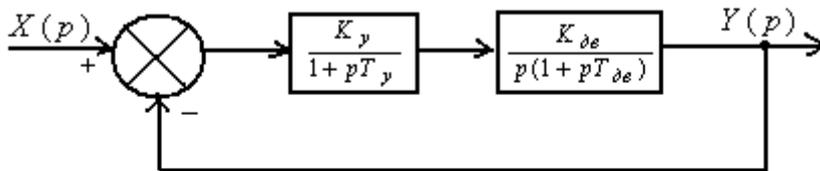


Рис .1

Таблица 1

№ варианта	$K_y$	$K_{дв} [1/Вс]$	$T_y [с]$	$T_{дв} [с]$
1	10	2.4	0.15	0.4
2	8	2.3	0.05	0.3
3	15	1.8	0.04	0.2
4	12	2.1	0.08	0.5
5	6	1.5	0.02	0.1
6	18	1.4	0.03	0.2
7	14	2.0	0.01	0.9
8	20	1.9	0.06	0.8

**Задача №2.** С помощью критерия Гурвица определить предельное значение коэффициента усиления  $K_y$  для САУ, структурная схема которой представлена на рисунке 1. Варианты заданий представлены в Таблице 2.

Таблица 2

№ варианта	$K_{дв} [1/Вс]$	$T_y [с]$	$T_{дв} [с]$
9	2.3	0.04	0.5
10	1.8	0.08	0.1
11	2.1	0.02	0.2
12	1.5	0.03	0.9
13	1.4	0.01	0.8
14	2.0	0.06	0.4
15	1.9	0.15	0.3
16	2.4	0.05	0.2

**Задача №3.** С помощью критерия Михайлова определите устойчивость замкнутой САУ, имеющей единичную обратную связь, если передаточная функция разомкнутой системы (звеньев, стоящих в прямой цепи). Варианты заданий приведены в Таблице 3.

$$W_{раз}(p) = \frac{K}{(1+pT_1)(1+pT_2)(1+pT_3)}$$

Таблица 3

№ варианта	$K$	$T_1 [с]$	$T_2 [с]$	$T_3 [с]$
1	20	1	0.4	0.1
2	15	1.2	0.5	0.1
3	25	1.5	0.15	0.08
4	10	2.5	0.8	0.2
5	30	2.0	0.6	0.3
6	11	1.8	1.0	0.4
7	22	0.9	0.6	0.2
8	12	1.1	1.0	0.9
9	30	1.9	0.9	0.1
10	24	0.8	0.3	0.08
11	16	1.3	0.4	0.1
12	28	1.7	0.09	0.04

13	35	2.4	0.1	0.02
14	12	1.2	0.8	0.2
15	40	0.6	0.1	0.06

**Задача №4.** Построить асимптотическую ЛАЧХ и участок ЛФЧХ для САУ с передаточной функцией  $W(p) = \frac{K}{p(1+0.1p)(1+0.01p)}$ . Величины  $K$  заданы в Таблице 4. При построении ЛФЧХ использовать  $\omega = 10; \omega_{cp}; 100$ .  $\omega_{cp}$  определить по ЛАЧХ. Рекомендуемые масштабы: по оси  $\omega \rightarrow 5 \text{ клеток} / \text{декада}$ ; по оси  $L(\omega) \rightarrow 10 \text{ дб} / \text{клетка}$ . Определить запасы устойчивости по фазе и амплитуде.

Таблица 4

№ варианта	$K$
1	8
2	100
3	20
4	80
5	40
6	45
7	60
8	35
9	70
10	30
11	90
12	10
13	25
14	120
14	55
15	75

### Индивидуальные задания на контрольную работу ПР-2.3

**Исследование устойчивости нелинейных САУ с помощью критерия Попова**  
(номер варианта соответствует порядковому номеру фамилии студента в журнале)

Решить следующие задачи, используя критерий абсолютной устойчивости Попова (исходные данные заданы в Табл. 1):

Задача №1. Определить предельное значение  $K_{нз}$  ПР, при котором система будет абсолютно устойчива, если характеристика нелинейного звена расположена в секторе  $(0; K_{нз} \text{ ПР})$ . Пе-

редаточная функция линейной части  $W_{л}(p) = \frac{K}{(1+pT_1)(1+pT_2)(1+pT_3)}$ .

Задача №2. Определить, удовлетворяет ли условию абсолютной устойчивости нелинейная САУ, линейная часть которой имеет передаточную функцию

$W_{л}(p) = \frac{K(p\tau + 1)}{(1+pT_1)(1+pT_2)(1+pT_3)}$ , а характеристика нелинейного звена располагается в зоне  $(0;$

2)

Таблица 1

№ варианта	Задача №1				Задача №2				
	$K$	$T_1$	$T_2$	$T_3$	$K$	$T_1$	$T_2$	$T_3$	$\tau$
1	5	0.4	0.1	0.01	5	0.17	0.12	0.01	0.2
2	25	0.5	0.02	0.01	25	0.25	0.12	0.01	0.18
3	10	0.28	0.15	0.05	10	0.2	0.1	0.05	0.08

4	20	0.22	0.11	0.03	20	0.22	0.11	0.03	0.16
5	85	0.12	0.06	0.04	85	0.12	0.06	0.04	0.1
6	64	0.18	0.09	0.05	64	0.18	0.05	0.03	0.12
7	55	0.17	0.1	0.06	55	0.17	0.09	0.06	0.01
8	15	0.28	0.15	0.1	15	0.28	0.15	0.1	0.21
9	100	0.1	0.08	0.02	100	0.1	0.02	0.02	0.15
10	10	0.32	0.2	0.09	10	0.11	0.07	0.09	0.18
11	75	0.13	0.08	0.04	75	0.13	0.08	0.04	0.1
12	25	0.26	0.12	0.07	25	0.26	0.12	0.07	0.16
13	95	0.12	0.1	0.04	95	0.12	0.1	0.04	0.15
14	18	0.3	0.17	0.1	18	0.3	0.07	0.1	0.2
15	80	0.2	0.1	0.06	80	0.2	0.1	0.06	0.08
16	12	0.35	0.2	0.12	12	0.35	0.2	0.12	0.16
17	70	0.19	0.08	0.04	70	0.19	0.05	0.04	0.12
18	28	0.24	0.16	0.08	28	0.24	0.15	0.08	0.1
19	60	0.38	0.25	0.14	60	0.38	0.2	0.14	0.08
20	38	0.2	0.09	0.05	38	0.2	0.1	0.05	0.14

### Индивидуальные задания на контрольную работу ПР-2.4

**Определение передаточных функций и исследование устойчивости импульсных САУ**  
(номер варианта соответствует порядковому номеру фамилии студента в журнале)

**Задача №1.** Определить передаточные функции  $W(z) = Y(z)/X(z)$  для дискретных САУ, описываемых разностными уравнениями, представленными в Таблице 1. В числителе и знаменателе  $W(z)$  значения  $z$  расположить по убыванию степени.

Таблица 1

№п/п	Заданное разностное уравнение
1	$y[n] - 0.45y[n-1] - 3y[n-2] = 1.5x[n-1] + 4x[n-2]$
2	$y[n] - 0.2y[n-1] - 2y[n-2] = 15x[n-3]$
3	$y[n] = 0.1x[n] + 1.1x[n-1] - 0.2x[n-2]$
4	$y[n] - 0.33y[n-1] + 2y[n-2] = x[n] + x[n-1]$
5	$y[n] - 0.8y[n-1] - 3.2y[n-2] = x[n-1] + 2.5x[n-2]$
6	$0.005y[n] + 0.15y[n-1] + y[n-2] = 6x[n-2]$
7	$y[n] - 1.4y[n-1] + 0.24y[n-2] = 0.5x[n-1] + 0.25x[n-2]$
8	$y[n] - 3y[n-1] + 2y[n-2] = x[n-2]$
9	$y[n] = 0.5x[n-1] - 1.2x[n-2] + 0.9x[n-3]$
10	$y[n] + 0.19y[n-1] - 0.2y[n-2] = 2x[n-2] + x[n-3]$
11	$y[n] - 0.27y[n-1] + 0.135y[n-2] = 0.865x[n-1]$
12	$y[n] + 6y[n-1] + 5y[n-2] = 5x[n-3]$
13	$y[n] + 3y[n-1] + 2y[n-2] = x[n-1] + 3x[n-2]$
14	$y[n] - 0.5y[n-1] - 6y[n-2] = 4x[n-2]$
15	$2y[n] - 0.8y[n-1] + 1.5y[n-2] = 0.8x[n-1] + 4x[n-2]$
16	$y[n] - 1.1y[n-1] + 0.4y[n-2] = 0.4x[n-1] + 0.25x[n-2]$

**Задача №2.** Импульсной системе регулирования с единичной обратной связью соответствует передаточная функция разомкнутой системы  $W_{раз}(z)$  (Таблица 2). Определить передаточную функцию замкнутой системы  $\Phi(z)$  и передаточную функцию относительно ошибки  $\Phi_\varepsilon(z)$ . Выражения в числителе и знаменателе расположить по убыванию степени  $z$ .

Таблица 2

№п/п	Заданная $W_{раз}(z)$
------	-----------------------

1	$W_{раз}(z) = \frac{0.11z}{(z-1)(z-0.78)}$
2	$W_{раз}(z) = \frac{5.4}{(z-0.12)(z-0.6)(z-1)}$
3	$W_{раз}(z) = \frac{z}{(z-1)(z-0.5)(z-0.1)}$
4	$W_{раз}(z) = \frac{7.2}{(z-1)(z-0.5)(z-0.03)}$
5	$W_{раз}(z) = \frac{25}{(z-1)(z-0.45)}$
6	$W_{раз}(z) = \frac{0.9z}{(z-1)(z-0.15)}$
7	$W_{раз}(z) = \frac{6.2}{(z-1)(z-0.7)(z-0.01)}$
8	$W_{раз}(z) = \frac{3z}{(z-1)(z-0.3)(z-0.05)}$
9	$W_{раз}(z) = \frac{9.6}{(z-1)(z-0.8)(z-0.2)}$
10	$W_{раз}(z) = \frac{16}{(z-0.9)(z-0.15)}$
11	$W_{раз}(z) = \frac{3.7z}{(z-0.9)(z-0.2)}$
12	$W_{раз}(z) = \frac{4.4}{(z-0.8)(z-0.15)(z-0.05)}$
13	$W_{раз}(z) = \frac{4.5z}{(z-1)(z-0.75)(z-0.08)}$
14	$W_{раз}(z) = \frac{12}{(z-0.9)(z-0.25)(z-0.04)}$
15	$W_{раз}(z) = \frac{7}{(z-0.8)(z-0.07)}$
16	$W_{раз}(z) = \frac{2z}{(z-1)(z-0.1)(z-0.06)}$

**Задача №3.** Импульсной системе регулирования с единичной обратной связью соответствует передаточная функция разомкнутой системы  $W_{раз}(z)$  (Таблица 3). Определите устойчивость замкнутой импульсной САУ по критерию Гурвица.

Таблица 3

Варианты заданий	
№п/п	Заданная $W_{раз}(z)$
1	$W_{раз}(z) = \frac{5.2}{(z-1)(z-0.3)(z-0.08)}$
2	$W_{раз}(z) = \frac{0.9z}{(z-1)(z-0.6)(z-0.07)}$

3	$W_{раз}(z) = \frac{12}{(z-0.09)(z-0.6)(z-1)}$
4	$W_{раз}(z) = \frac{8.5}{(z-0.9)(z-0.25)}$
5	$W_{раз}(z) = \frac{0.25z}{(z-0.9)(z-0.65)}$
6	$W_{раз}(z) = \frac{9.5}{(z-0.9)(z-0.5)(z-0.04)}$
7	$W_{раз}(z) = \frac{3z}{(z-0.9)(z-0.4)(z-0.03)}$
8	$W_{раз}(z) = \frac{5.4}{(z-0.12)(z-0.7)(z-1)}$
9	$W_{раз}(z) = \frac{3.5}{(z-1)(z-0.35)}$
10	$W_{раз}(z) = \frac{4.2z}{(z-0.9)(z-0.54)}$
11	$W_{раз}(z) = \frac{7.2}{(z-1)(z-0.2)(z-0.06)}$
12	$W_{раз}(z) = \frac{2.5z}{(z-1)(z-0.5)(z-0.1)}$
13	$W_{раз}(z) = \frac{6.5}{(z-0.08)(z-0.2)(z-1)}$
14	$W_{раз}(z) = \frac{6.2}{(z-0.9)(z-0.75)}$
15	$W_{раз}(z) = \frac{0.75z}{(z-0.9)(z-0.24)}$
16	$W_{раз}(z) = \frac{4.5}{(z-0.6)(z-0.35)}$

### Методическое обеспечение инновационных форм учебных занятий

Разбор различных моделей представления знаний, задач моделирования интеллектуальной деятельности.

#### Инновационные формы проведения учебных занятий

Семестр	Вид учебных занятий	Используемые инновационные формы проведения учебных занятий	Количество академ. часов
VI	Лекции	Разбор конкретных ситуаций по использованию законов «Теории автоматического управления» при проектировании промышленных САУ для обеспечения требуемой точности и производительности оборудования.	6

Семестр	Вид учебных занятий	Используемые инновационные формы проведения учебных занятий	Количество академ. часов
VI	Практические занятия	<u>Практические тренинги:</u> «Как определить практическую приемлемость САУ по переходной характеристике?», «Как минимизировать зависимость напряжения на выходе генератора от нагрузки?», «Как выполнить настройку промышленного ПИД-регулятора?» <u>Разбор конкретных ситуаций:</u> «Откуда появляется неустойчивость САУ и почему при анализе устойчивости используется точка с координатами $(-1; j0)$ ». «Зачем нужны частотные характеристики, в том числе, ЛАЧХ и ЛФЧХ?» «Сравнительный анализ критериев устойчивости Гурвица, Михайлова и Найквиста». «Что такое управление с упреждением и его отличие от управления по отклонению?» «В чем заключается практическое применение теоремы Котельникова для цифровых САУ?»	9
Всего:			15,0

*Перечень обязательных видов учебной работы студента:*

- посещение лекционных и практических занятий;
- ответы на теоретические вопросы на практических занятиях;
- решение задач и выполнение заданий на практических занятиях;
- самостоятельное решение задач при выполнении домашних заданий;
- выполнение 4-х контрольных работ;
- подготовка к сдаче и сдача экзамена.

Процедура промежуточной аттестации проходит в соответствии с «Положением о балльно-рейтинговой системе оценки и текущем контроле успеваемости студентов», а также с «Положением о промежуточной аттестации» университета «Дубна».

Адаптированная рабочая программа учебной дисциплины (модуля) разработана в отношении разнозологической учебной группы обучающихся, имеющих документально подтвержденные нарушения слуха, зрения, опорно-двигательного аппарата, соматические заболевания и поддающиеся коррекции нервно-психические нарушения или сочетанные нарушения.

**Список вопросов для подготовки к экзамену**

1. Понятие об автоматическом управлении. Типовая функциональная схема САУ.
2. Виды воздействия на объект управления. Определение САУ. Одномерные и многомерные САУ.
3. Понятие устойчивости САУ. Переходной процесс и показатели его качества. Точность управления.
4. Анализ и синтез САУ. Функциональные и структурные схемы САУ.
5. Уравнения звеньев системы. Условия допустимости линеаризации.
6. Использование преобразования Лапласа для решения дифференциальных уравнений. Правила записи уравнений в операторной форме.
7. Определение передаточной функции звена. Общее свойство минимально-фазовых устойчивых звеньев.
8. Определение комплексного коэффициента усиления звена. Частотные и временные характеристики звена.

9. Показатели качества переходного процесса.
10. Переходная характеристика звена и четыре варианта ее аналитического определения.
11. Определение импульсной переходной (весовой) характеристики звена. Необходимое и достаточное условие устойчивости звена.
12. Типы динамических звеньев линейных САУ.
13. Частотные и временные характеристики типовых динамических звеньев.
14. Определение передаточной функции и характеристик САУ при последовательном и параллельном соединении звеньев. Общие правила построения асимптотических ЛАЧХ последовательных звеньев.
15. Определение передаточной функции САУ по управляющему воздействию, ошибке и возмущению при параллельном встречном соединении звеньев.
16. Преобразования структурных схем. Правила 1 – 4.
17. Алгебраический критерий устойчивости Гурвица. Условия устойчивости по Гурвицу для систем 1 – 4-го порядков.
18. Частотный критерий устойчивости Михайлова.
19. Частотный критерий устойчивости Найквиста для амплитудно-фазовых характеристик (годографов), логарифмических характеристик. Определение запасов устойчивости по фазе и амплитуде по ЛАЧХ и ЛФЧХ разомкнутой системы.
20. Определение установившегося режима и статической САУ. Точность статических САУ в установившемся режиме.
21. Способы компенсации ошибки в статической САУ.
22. Определение вынужденного режима в САУ. Порядок входного воздействия и порядок астатизма САУ. Определение вынужденной ошибки в САУ с астатизмом 0-го, 1-го, 2-го порядков.
23. Алгоритмы управления. Блок-схема обобщенного регулятора.
24. Аналоговые ПИД-регуляторы. Реализация ПИД-алгоритма в цифровых САУ (ПСР – алгоритм).
25. Коррекция динамических свойств САУ. Типы корректирующих устройств по способу их включения.
26. Последовательные корректирующие интегрирующие, дифференцирующие, интегродифференцирующие звенья.
27. Встречно-параллельные корректирующие звенья (отрицательные обратные связи). Основные соотношения для жесткой и гибкой обратных связей.
28. Согласно-параллельные корректирующие звенья.
29. Характеристики типовых нелинейных звеньев.
30. Особенности установившихся и динамических режимов нелинейных САУ. Устойчивость (неустойчивость) в малом, большом, в целом, автоколебания.
31. Фазовые портреты нелинейных систем. Фазовые портреты и особые точки для нелинейных систем 2-го порядка.
32. Исследование устойчивости нелинейных САУ с помощью критерия абсолютной устойчивости В.М. Попова.
33. Определение дискретных систем. Виды квантования сигналов.
34. Импульсные САУ. Классификация импульсных САУ по виду модуляции.
35. Амплитудно-импульсные САУ как непрерывные. Теорема Котельникова для импульсных САУ.
36. Математический аппарат теории линейных импульсных систем. Решетчатые функции.  $Z$  - преобразование Лапласа для решетчатых функций.
37. Определение передаточных функций разомкнутых и замкнутых импульсных систем.
38. Исследование устойчивости импульсных САУ. Критерий Гурвица для импульсных систем.
39. Исследование устойчивости импульсных САУ. Критерий Найквиста для импульсных систем. Определение запасов устойчивости по амплитуде и фазе по годографу импульсной системы.
40. Определение цифровых САУ. Определение допустимых значений интервала дискретности  $T$

(интервала формирования управляющего кода и интервала считывания информации с датчиков).

41. Динамика цифровых САУ. Преобразование непрерывной величины в цифровой код и цифрового кода в непрерывную величину.
42. Особенности динамики цифровых САУ. Математическое описание цифровых САУ.
43. Условия сведения цифровой САУ к линейной импульсной. Условия сведения цифровой САУ к нелинейной дискретной системе.
44. Методика исследования цифровых САУ. Численные методы.
45. Основные достоинства цифровых САУ.
46. Робастные системы и их характеристики.
47. Критерии оптимальности, задачи оптимального управления, оптимальность и квазиоптимальность.
48. Цифровое адаптивное управление технологическими процессами.

### **Содержание экзаменационного билета**

1 вопрос – ТАУ линейными системами (знать + уметь + владеть)

2 вопрос – ТАУ нелинейными и дискретными системами (знать + уметь + владеть)

### **Пример экзаменационного билета**

1. Частотный критерий устойчивости Найквиста для амплитудно-фазовых характеристик (годографов), логарифмических характеристик. Определение запасов устойчивости по фазе и амплитуде по ЛАЧХ и ЛФЧХ разомкнутой системы.
2. Импульсные САУ. Классификация импульсных САУ по виду модуляции..