

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Пекаревский Борис Владимирович  
Должность: Проректор по учебной и методической работе  
Дата подписания: 21.09.2023 14:02:40  
Уникальный программный ключ:  
3b89716a1076b80b2c167df0f27c09d01782ba84



**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Санкт-Петербургский государственный технологический институт  
(технический университет)»

УТВЕРЖДАЮ  
Проректор по учебной  
и методической работе  
\_\_\_\_\_ Б.В.Пекаревский  
« 17 » января 2022 г.

**Рабочая программа дисциплины**  
**ТЕОРИЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ**  
Направление подготовки

**15.03.04 Автоматизация технологических процессов и производств**

Направленность программы бакалавриата

**Автоматизация технологических процессов и производств**

Квалификация

**Бакалавр**

Форма обучения

**Заочная**

Факультет **информационных технологий и управления**

**Кафедра автоматизации процессов химической промышленности**

Санкт-Петербург

2022

Б1.О.23

## ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

Должность разработчика	Подпись	Ученое звание, фамилия, инициалы
Доцент		доцент О.А. Ремизова

Рабочая программа дисциплины «Теория автоматического управления» обсуждена на заседании кафедры автоматизации процессов химической промышленности протокол от «29» декабря 2021 № 3  
Заведующий кафедрой

Л.А. Русинов

Одобрено учебно-методической комиссией факультета информационных технологий и управления протокол от «29» декабря 2021 № 4  
Председатель

В.В. Куркина

### СОГЛАСОВАНО

Ответственный за направление подготовки «Автоматизация технологических процессов и производств»		О.А. Ремизова
Директор библиотеки		Т.Н. Старостенко
Начальник методического отдела учебно-методического управления		М.З. Труханович
Начальник учебно-методического управления		С.Н. Денисенко

## СОДЕРЖАНИЕ

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы.....	4
2. Место дисциплины в структуре образовательной программы.....	5
3. Объем дисциплины.....	5
4. Содержание дисциплины.....	5
4.1. Разделы дисциплины и виды занятий.....	5
4.2. Формирование индикаторов достижения компетенций разделами дисциплины.....	6
4.3. Занятия лекционного типа.....	6
4.4. Занятия семинарского типа.....	9
4.4.1. Семинары, практические занятия.....	9
4.4.2. Лабораторные работы.....	9
4.5. Самостоятельная работа обучающихся.....	10
5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине.....	12
6. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации.....	13
7. Перечень учебных изданий, необходимых для освоения дисциплины.....	14
8. Перечень электронных образовательных ресурсов, необходимых для освоения дисциплины.....	14
9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины.....	14
11. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине.....	15
10.1. Информационные технологии.....	15
10.2. Программное обеспечение.....	15
10.3. Базы данных и информационные справочные системы.....	15
11. Материально-техническое обеспечение освоения дисциплины в ходе реализации образовательной программы.....	15
12. Особенности освоения дисциплины инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья.....	16
Приложение № 1.....	17

**1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы.**

В результате освоения образовательной программы бакалавриата обучающийся должен овладеть следующими результатами обучения по дисциплине:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Планируемые результаты обучения (дескрипторы)
<p>ОПК-6. Способен решать стандартные задачи профессиональной деятельности на основе информационной и библиографической культуры с применением информационно-коммуникационных технологий.</p>	<p>ОПК 6.1. Владеет знаниями основ теоретического исследования динамических процессов в линейных системах управления и умеет решать базовые задачи управления типовыми объектами</p>	<p><b>Знать:</b> основные принципы построения систем регулирования для синтеза систем автоматического управления (ЗН-1); <b>Уметь:</b> Выполнить постановку задачи оптимального управления для типовых объектов регулирования (У-1); <b>Владеть:</b> Методами расчета для синтеза основных структур регулирования типовых объектов управления (Н-1)</p>
<p>ОПК-12. Способен оформлять, представлять и докладывать результаты выполненной работы.</p>	<p>ОПК-12.1. Составление отчетов о результатах настройки систем управления с применением современных математических методов и подходов для оценки достижения в АСУ требований по качеству управления и устойчивости.</p>	<p><b>Знать:</b> основные методики расчета и анализа для синтеза систем автоматического управления (ЗН-2); <b>Уметь:</b> Обоснованно ставить и решать типовые задачи при построении оптимальной структуры системы управления (У-2); <b>Владеть:</b> методами инженерных расчетов оптимальных систем управления технологическими процессами (Н-2).</p>

## 2. Место дисциплины в структуре образовательной программы.

Дисциплина относится к обязательной части основной образовательной программы (Б1.О.23) и изучается на 2, 3 курсах.

В методическом плане дисциплина опирается на элементы компетенций, сформированные при изучении дисциплин: «Физика», «Математика», «Введение в информационные технологии», «Вычислительные машины, системы и сети», «Теория вероятностей и математическая статистика».

Полученные в процессе изучения дисциплины «Теория автоматического управления» знания, умения и навыки могут быть использованы в научно-исследовательской работе бакалавра и при выполнении выпускной квалификационной работы.

## 3. Объем дисциплины.

Вид учебной работы	Всего, академических часов Заочная форма обучения		
	2 курс	3 курс	Итого
<b>Общая трудоемкость дисциплины</b> (зачетных единиц/ академических часов)	1/ 36	7/252	8/288
<b>Контактная работа с преподавателем:</b>	<b>6</b>	<b>22</b>	<b>28</b>
занятия лекционного типа	6	6	12
занятия семинарского типа, в т.ч.	-	14	14
семинары, практические занятия	-	4	4
лабораторные работы	-	10	10
курсовое проектирование (КР или КП)	-	2 (КР)	2(КР)
КСР	-	-	-
в том числе на КП	-	-	-
другие виды контактной работы	-	-	-
<b>Самостоятельная работа</b>	<b>30</b>	<b>212</b>	<b>242</b>
<b>Форма текущего контроля</b> (Кр, реферат, РГР, эссе)	-	-	<b>3 Кр</b>
<b>Форма промежуточной аттестации</b> (КР, КП, зачет, экзамен)	-	<b>Экзамен (9), Экзамен (9), КР</b>	<b>Экзамен (9), Экзамен (9), КР</b>

## 4. Содержание дисциплины.

### 4.1. Разделы дисциплины и виды занятий.

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	онного типа,	Занятия семинарского типа, академ. часы	ная работа	Формируемые компетенции	Формируемые индикаторы

			Семинары и/или практические занятия	Лабораторные работы			
1.	Место и задачи дисциплины	1				<b>ОПК-6</b>	<b>ОПК-6.1</b>
2.	Математическое описание линейных САУ	1	1	2	26	<b>ОПК-6</b>	<b>ОПК-6.1</b>
3.	Устойчивость линейных систем	1	1	1	26	<b>ОПК-6</b>	<b>ОПК-6.1</b>
4.	Качество переходных процессов	1	1	1	26	<b>ОПК-6</b>	<b>ОПК-6.1</b>
5.	Методы повышения качества линейных САУ	1	1	1	26	<b>ОПК-6</b>	<b>ОПК-6.1</b>
6.	Модели динамики в пространстве состояний	1			26	<b>ОПК-12</b>	<b>ОПК-12.1</b>
7.	Линейные дискретные САУ	1		1	28	<b>ОПК-12</b>	<b>ОПК-12.1</b>
8.	Анализ нелинейных САУ	1		1	28	<b>ОПК-12</b>	<b>ОПК-12.1</b>
9.	Приближенное исследование нелинейных САУ	2		3	28	<b>ОПК-12</b>	<b>ОПК-12.1</b>
10.	Методы оптимального управления	2			28	<b>ОПК-12</b>	<b>ОПК-12.1</b>
Итого		12	4	10	242		

#### 4.2 Формирование индикаторов достижения компетенций разделами дисциплины

№ п/п	Код индикаторов достижения компетенции	Наименование раздела дисциплины
1.	<b>ОПК-6.1</b>	Место и задачи дисциплины Математическое описание линейных САУ Устойчивость линейных систем Качество переходных процессов Методы повышения качества линейных САУ
	<b>ОПК-12.1</b>	Модели динамики в пространстве состояний Линейные дискретные САУ Анализ нелинейных САУ Приближенное исследование нелинейных САУ Методы оптимального управления

#### 4.3. Занятия лекционного типа.

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Инновационная форма
1	<u>Место и задачи дисциплины</u> Связь курса со специальными дисциплинами. Основные понятия автоматического регулирования	1	ЛВ

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Инновационная форма
2	<u>Математическое описание линейных САУ</u> Использование дифференциальных уравнений, весовые функции линейных систем, передаточные функции, частотные характеристики, условия реализуемости, типовые звенья, структурные схемы систем.	1	ЛВ
3	<u>Устойчивость линейных систем</u> Определение устойчивости динамической системы. Общая постановка задачи устойчивости по А. М. Ляпунову. Условия устойчивости линейных систем. Существование функций Ляпунова в виде квадратичных форм. Алгебраические и частотные критерии устойчивости (Рауса — Гурвица, Михайлова, Найквиста), экспоненциальная устойчивость.	1	ЛВ
4	<u>Качество переходных процессов</u> Классификация критериев качества САУ. Оценка качества САУ в типовых режимах (коэффициенты ошибок). Оценка качества САУ по переходной характеристике. Оценка качества САУ по собственному движению системы. Оценка качества САУ при гармонических воздействиях. Корневые методы оценки качества САУ	1	ЛВ
5	<u>Методы повышения качества линейных САУ</u> Повышение точности САУ. Основные законы управления. Метод динамической компенсации и его применение для разных классов передаточных функций объекта управления. Модальное управление. Выбор желаемой передаточной функции по типовым воздействиям. Типовые законы регулирования (П, ПИ, ПД, ПИД). Использование логарифмических частотных характеристик для синтеза систем регулирования.	1	ЛВ
6	<u>Модели динамики в пространстве состояний</u> Уравнения вход-выход-состояния для описания одномерных и многомерных систем. Нормальные канонические формы уравнений состояния и наблюдения. Получение этих уравнений по передаточной функции. Получение передаточных функций на основании уравнений вход-выход-состояние. Анализ систем во временной области. Построение наблюдателей. Управляемость, наблюдаемость, стабилизируемость, детектируемость систем.	1	ЛВ
7	<u>Линейные дискретные САУ</u> Виды дискретизации сигнала. Примеры дис-	1	ЛВ

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Инновационная форма
	<p>кретных систем. Описание элементов дискретной САУ. Преобразование Лапласа для импульсных сигналов. Z-преобразование. Теорема Котельникова-Шеннона. Фиксирующие цепи. Необходимое и достаточное условие устойчивости импульсной системы. Уравнение вход-выход-состояние для дискретной системы. Использование ПИД закона регулирования. Компенсационные регуляторы. Аperiodические регуляторы выхода. Модальные регуляторы.</p>		
8	<p><u>Анализ нелинейных САУ</u>  Основные особенности нелинейных систем. Условия существования и единственности решения нелинейной системы дифференциальных уравнений. Определение устойчивости движения нелинейной системы. Экспоненциальная устойчивость. Второй (прямой) метод Ляпунова. Теоремы об устойчивости и неустойчивости нелинейных систем. Примеры выбора функций Ляпунова. Абсолютная устойчивость. Алгебраические и частотные критерии абсолютной устойчивости. Инвариантные множества и аттракторы. Понятие о динамическом хаосе, странный аттрактор.</p>	1	ЛВ
9	<p><u>Приближенное исследование нелинейных САУ</u>  Метод гармонической линеаризации нелинейностей. Коэффициенты гармонической линеаризации релейных звеньев. Использование критерия Михайлова для определения параметров автоколебаний и устойчивости. Метод гармонического баланса амплитуд и фаз (метод Гольдфарба). Применение показателя колебательности к расчету нелинейной системы. Статистическая линеаризация нелинейностей. Нелинейное преобразование случайных сигналов. Расчет нелинейных систем методом статистической линеаризации.</p>	2	ЛВ
10	<p><u>Методы оптимального управления</u>  Оптимальное управление по критерию аperiodической устойчивости в линейных системах с запаздыванием. Решение задачи АКОР. Построение уравнений Риккати и их решение. Приближенные решения задач оптимального управления с переменными коэффициентами. Комбинированное оптимальное управление. Стохастические оптимальные системы. Решение задачи ЛКГ оптимального управления. Понятие о <math>H^\infty</math> – теории управления. Стохастические оп-</p>	2	ЛВ



№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Инновационная форма
	тимальные линейные дискретные системы. Решение задач АКОР и ЛКГ для дискретных систем. Принцип максимума, уравнение Беллмана.		

#### 4.4. Занятия семинарского типа.

##### 4.4.1. Семинары, практические занятия.

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы		Инновационная форма
		всего	в том числе на практическую подготовку	
2	<u>Математическое описание линейных САУ</u> Решение задач на нахождение весовых функций линейных систем, передаточных функций, частотных характеристики	1		РД
3	<u>Устойчивость линейных систем</u> Определение устойчивости динамической системы. Общая постановка задачи устойчивости по А. М. Ляпунову.	1		РД
4	<u>Качество переходных процессов</u> Оценка качества САУ по переходной характеристике, по собственному движению системы. при гармонических воздействиях.	1		РД
5	<u>Методы повышения качества линейных САУ</u> Метод динамической компенсации и его применение для разных классов передаточных функций объекта управления. Модальное управление.	1		РД

##### 4.4.2. Лабораторные работы

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы		Инновационная форма
		всего	в том числе на практическую подготовку	
2	<u>Изучение временных и частотных характеристик динамических звеньев</u> Изучение динамических свойств элементарных звеньев.	1		
2	<u>Изучение логарифмических характеристик динамических звеньев и их соединений</u> Использование логарифмической плоскости как инструмента для анализа объектов и систем, изучение операторов MATLAB.	1		
3, 4	<u>Проектирование одноконтурных линейных</u>	1		

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы		Инновационная форма
		всего	в том числе на практическую подготовку	
	<u>автоматических систем стабилизации при помощи логарифмических частотных характеристик на ПЭВМ</u> Изучение методов синтеза системы стабилизации на логарифмической плоскости, анализ устойчивости и показателей качества систем, изучение операторов MATLAB.			
3, 4	<u>Проектирование одноконтурных линейных автоматических систем программного управления при помощи логарифмических частотных характеристик на ПЭВМ</u> Изучение классических методов синтеза системы программного регулирования, анализ показателей качества во временной и частотной областях, изучение операторов MATLAB.	1		
5	<u>Проектирование одноконтурных линейных автоматических систем регулирования при помощи метода динамической компенсации</u> Изучение метода компенсации, как метода улучшения показателей качества системы.	1		
7	<u>Синтез линейных дискретных и импульсных систем автоматического регулирования</u> Изучение методов дискретного управления	1		
8	<u>Анализ и синтез нелинейных систем управления прямым методом Ляпунова</u> Изучение основных понятий теории устойчивости и управления на основе подхода Ляпунова	1		
9	<u>Анализ и синтез нелинейных систем при помощи метода гармонического баланса</u> Изучение методов синтеза нелинейных систем приближенными методами.	3		

#### 4.5. Самостоятельная работа обучающихся.

№ раздела дисциплины	Перечень вопросов для самостоятельного изучения	Объем, акад. часы	Форма контроля
2	Моделирование линейных объектов управления при помощи передаточных функций	6	Устный опрос №1
2	Решение дифференциальных уравнений методами операционного исчисления	6	Контрольная работа №1
2	Построение логарифмических частотных характеристик для линейных систем	7	Контрольная работа №2
2	Изучение элементарных динамических звеньев	7	Устный опрос №2

№ раздела дисциплины	Перечень вопросов для самостоятельного изучения	Объем, акад. часы	Форма контроля
3	Исследование характеристических уравнений систем с сингулярными параметрическими возмущениями. Системы с бесконечно большим коэффициентом передачи	8	Устный опрос №1
3	Критерий устойчивости Найквиста	8	Устный опрос №2
3	Изучение метода $D$ – разбиения по двум параметрам	10	Устный опрос №1
4	Построение траекторий корней методом корневого годографа	13	Контрольная работа №4
4	Изучение статических и астатических систем	13	Контрольная работа №2
5	Синтез регуляторов при помощи логарифмической плоскости	8	Контрольная работа №2
5	Синтез регуляторов методом динамической компенсации	8	Контрольная работа №4
5	Оптимальные и субоптимальные по критерию апериодической устойчивости системы	10	Контрольная работа №4
6	Построение уравнений вход – выход – состояние для передаточных функций	8	Контрольная работа №5
6	Вычисление матричной экспоненты, решение систем линейных уравнений	8	Контрольная работа №5
6	Управляемость и наблюдаемость линейных систем, минимальная реализация системы	10	Контрольная работа №5
6, 10	Задача аналитического конструирования оптимальных регуляторов (АКОР), построение динамических наблюдателей	1	Контрольная работа №5
6, 10	Оптимальное управление на конечном интервале времени	1	Контрольная работа №6
6, 10	Субоптимальное управление, метод замороженных коэффициентов	1	Контрольная работа №6
6, 10	Фильтр Калмана. Линейная квадратичная гауссова (ЛКГ) задача управления	1	Контрольная работа №6
7	Построение дискретного преобразования Лапласа по непрерывной передаточной функции. $Z$ – преобразование	3	Контрольная работа №8
7	Определение величины шага дискретности по заданной передаточной функции непрерывной части системы	3	Контрольная работа №8
7	Синтез традиционных (П, ПИ, ПИД) регуляторов для импульсных систем	3	Устный опрос №1
7	Синтез дискретных регуляторов методом динамической компенсации	3	Устный опрос №1
7	Синтез апериодических дискретных регуляторов	3	Контрольная работа №8
7	Синтез модальных дискретных регуляторов состояния	3	Контрольная работа №8
7	Синтез модальных дискретных регуляторов выхода	3	Контрольная работа №8
7	Оптимальное управление дискретной системой	3	Контрольная работа

№ раздела дисциплины	Перечень вопросов для самостоятельного изучения	Объем, акад. часы	Форма контроля
			та №8
7	Обеспечение качественного управления в импульсной системе	3	Устный опрос №1
8	Методы построения функций Ляпунова	8	Контрольная работа №7
8	Алгебраические методы теории абсолютной устойчивости	10	Контрольная работа №7
8	Частотные методы теории абсолютной устойчивости	10	Контрольная работа №7
9	Определение параметров автоколебаний и устойчивости при помощи критериев Михайлова и Найквиста (метод Гольдфарба)	28	Контрольная работа №7
1-10	Подбор материалов для выполнения курсовой работы, консультации	25	Защита КР
	Итого	242	

#### 4.6 Темы и содержание контрольных работ.

Предполагается написание студентами пяти письменных контрольных работ. Студенту необходимо представить отчёт о выполненных контрольных работах в рукописном или распечатанном виде.

Отчёт должен включать: титульный лист, условие задачи, подробное описание решения задачи, таблица расчетов и графики (при необходимости), ответ задачи. Во время защиты контрольных работ студент должен знать ход решения задачи, уметь отвечать на теоретические вопросы, непосредственно связанные с тематикой задачи. На титульном листе отчёта о выполнении контрольных работ необходимо указать фамилию, имя и отчество студента, номер учебной группы, номер контрольной работы, номер варианта. Каждая контрольная работа содержит задачи из 10 вариантов. Номер варианта соответствует последней цифре номера зачетной книжки студента.

Контрольные работы для студентов заочной формы обучения посвящены следующей тематике:

*Контрольная работа №1. Временные характеристики элементов линейных САУ.*

*Контрольная работа № 2. Построение области устойчивости и оценка качества линейных САУ на основе временных характеристик.*

*Контрольная работа №3. Дискретные, нелинейные, оптимальные и адаптивные САУ.*

**Контрольная работа № 1** «Временные и частотные характеристики элементов линейных САУ».

В состав работы входят 10 задач по получению временных и частотных характеристик элементов линейных САУ и использованию необходимого и достаточного условия устойчивости и критериев устойчивости для оценки качества работы САУ. Теоретический и практический материал, необходимый для выполнения контрольной работы № 1 содержится в лекционном курсе (разделы 1-3) и используется при выполнении лабораторного практикума.

**Контрольная работа № 2** «Построение области устойчивости и оценка качества линейных САУ на основе временных характеристик».

В состав работы входит комплексная задача построения области устойчивости, переходного процесса и оценки качества по точности, быстродействию и запасу устойчивости. Теоретический и практический материал, необходимый для выполнения контрольной работы № 2 содержится в лекционном курсе (раздел 4), и используется при выполнении лабораторного практикума.

**Контрольная работа № 3 «Дискретные, нелинейные, оптимальные и адаптивные САУ».**

Включает три части: расчет и построение переходного процесса непрерывной части дискретной системы автоматического регулирования (САР); построение области устойчивости для замкнутой дискретной САР в плоскости настроек регулятора; 3 теоретических вопроса и задача. Теоретический и практический материал, необходимый для выполнения контрольной работы № 3 содержится в лекционном курсе (раздел 7-10) и используется при выполнении лабораторного практикума

**5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине.**

Методические указания для обучающихся по организации самостоятельной работы по дисциплине, включая перечень тем самостоятельной работы, формы текущего контроля по дисциплине и требования к их выполнению размещены в электронной информационно-образовательной среде СПбГТИ(ТУ) на сайте: <https://media.technolog.edu.ru>

**6. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации**

Своевременное выполнение обучающимся мероприятий текущего контроля позволяет превысить (достигнуть) пороговый уровень («удовлетворительно») освоения предусмотренных элементов компетенций.

Результаты дисциплины считаются достигнутыми, если для всех элементов компетенций превышен (достигнут) пороговый уровень освоения компетенции на данном этапе.

Промежуточная аттестация по дисциплине проводится в форме экзамена в 5-м семестре и экзамена и курсовой работы в 6-м семестре.

Экзамен предусматривают выборочную проверку освоения предусмотренных элементов компетенций и комплектуются вопросами (заданиями) двух видов: 2-а теоретических вопроса (для проверки знаний) и задача (для проверки умений и навыков).

При сдаче экзамена, студент получает три вопроса из перечня вопросов, время подготовки студента к устному ответу - до 40 мин.

Пример варианта вопросов на экзамене в 5 семестре:

**Вариант № 1**

1. Уравнения состояния в нормальной форме.
2. Бесконечно большая функция Ляпунова
3. Найти весовую функцию по передаточной функции

$$W(p) = \frac{2z + 1}{z^2 + 3z + 1}.$$

1. Основные свойства преобразования Лапласа
2. Найти обратное преобразование Лапласа путем разложения п.ф. на сумму элементарных составляющих для п.ф. вида

$$W(p) = \frac{2p + 1}{(p + 1)^2(p + 2)(p + 3)}.$$

Фонд оценочных средств по дисциплине представлен в Приложении № 1. Результаты освоения дисциплины считаются достигнутыми, если для всех элементов компетенций достигнут пороговый уровень освоения компетенции на данном этапе – оценка «удовлетворительно».

## 7. Перечень учебных изданий, необходимых для освоения дисциплины

### а) печатные издания:

1. Шишмарёв, В.Ю. Теория автоматического управления: учебник для вузов / В. Ю. Шишмарёв. - Москва: Академия, 2012. - 351 с. - ISBN 978-5-7695-9139-6.
2. 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. - 2-е изд., испр. – Санкт-Петербург; Москва ; Краснодар : Лань, 2011. - 463 с. - ISBN 978-5-8114-1255-6.
- 3.

### б) электронные учебные издания:

1. Ивченко, В. Д. Теория автоматического управления : учебно-методическое пособие / В. Д. Ивченко, В. Н. Арбузов. — Москва : РТУ МИРЭА, 2020. — 275 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/167590> (дата обращения: 04.06.2021). — Режим доступа: по подписке.
2. Певзнер, Л. Д. Теория автоматического управления. Задачи и решения : учебное пособие / Л. Д. Певзнер. — Санкт-Петербург : Лань, 2022. — 604 с. — ISBN 978-5-8114-2161-9. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/168937> (дата обращения: 03.06.2021). — Режим доступа: по подписке.

## 8. Перечень электронных образовательных ресурсов, необходимых для освоения дисциплины.

- учебный план, РПД и учебно-методические материалы:

<http://media.technolog.edu.ru>

### - Электронная библиотека СПбГТИ(ТУ) (на базе ЭБС «БиблиоТех»)

Принадлежность – собственная СПбГТИ(ТУ).

Договор на передачу права (простой неисключительной лицензии) на использования результата интеллектуальной деятельности ООО «БиблиоТех»

ГК№0372100046511000114\_135922 от 30.08.2011

Адрес сайта – <http://bibl.lti-gti.ru/>

Интернет-ресурсы: проводить поиск в различных системах, таких как [www.yandex.ru](http://www.yandex.ru), [www.google.ru](http://www.google.ru), [www.rambler.ru](http://www.rambler.ru), [www.yahoo.ru](http://www.yahoo.ru) и использовать материалы сайтов, рекомендованных преподавателем на лекционных занятиях.

С компьютеров института открыт доступ к:

[www.elibrary.ru](http://www.elibrary.ru) - eLIBRARY - научная электронная библиотека периодических изданий.

## 9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины.

Все виды занятий по дисциплине «Теория автоматического управления» проводятся в соответствии с требованиями следующих СТП:

СТП СПбГТИ 040-02. КС УКДВ. Виды учебных занятий. Лекция. Общие требования;

СТО СПбГТИ 018-2014. КС УКДВ. Виды учебных занятий. Семинары и практические занятия. Общие требования к организации и проведению.

СТО СПбГТИ 020-2011. КС УКДВ. Виды учебных занятий. Лабораторные занятия. Общие требования к организации и проведению.

СТО СПбГТИ(ТУ) 044-2012. КС УКДВ. Виды учебных занятий. Курсовой проект. Курсовая работа. Общие требования;

СТП СПбГТИ 048-2009. КС УКДВ. Виды учебных занятий. Самостоятельная планируемая работа студентов. Общие требования к организации и проведению.

Планирование времени, необходимого на изучение данной дисциплины, лучше всего осуществлять на весь семестр, предусматривая при этом регулярное повторение пройденного материала.

Основными условиями правильной организации учебного процесса для студентов является:

- плановость в организации учебной работы;
- серьезное отношение к изучению материала;
- постоянный самоконтроль.

На занятия студент должен приходить, имея знания по уже изученному материалу.

## **11. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине.**

### **10.1. Информационные технологии.**

В учебном процессе по данной дисциплине предусмотрено использование информационных технологий:

- чтение лекций с использованием слайд-презентаций;
- взаимодействие с обучающимися посредством ЭИОС.

### **10.2. Программное обеспечение.**

Для проведения занятий имеются персональные компьютеры с программным обеспечением:

- Microsoft Office Std, Академическая лицензия, сублицензионный договор №02(03)15 от 20.01.2015, с 20.01.2015 бессрочно;
- PTC Mathcad (ГК №19 от 13.10.08 г. на предоставление академической лицензии на MathCAD University Department Perpetual-200 Floating);
- MatLab (Simulink).

### **10.3. Базы данных и информационные справочные системы.**

<http://prometeus.nse.ru> – база ГПНТБ СО РАН.

<http://borovic.ru> - база патентов России.

<http://1.fips.ru/wps/portal/Register> - Федеральный институт промышленной собственности

<http://gost-load.ru>- база ГОСТов.

<http://worlddofaut.ru/index.php> - база ГОСТов.

<http://elibrary.ru> – Российская поисковая система научных публикаций.

## **11. Материально-техническое обеспечение освоения дисциплины в ходе реализации образовательной программы.**

1. Для проведения занятий в интерактивной форме:  
кафедра автоматизации процессов химической промышленности, аудитория №13. 190013, г. Санкт-Петербург, Московский проспект, д. 24-26/49, лит. Е. Оснащение: специализированная мебель (30 посадочных мест), доска, демонстрационный экран, компьютер;
2. Для проведение лабораторных занятий и самостоятельной работы:
  - кафедра автоматизации процессов химической промышленности, лаборатория аудитория №18 190013, г. Санкт-Петербург, Московский проспект, д. 24-26/49, лит. Е. Оснащение: специализированная мебель (24 посадочных места), доска, 12 компьютеров, сетевое оборудование;
  - кафедра автоматизации процессов химической промышленности, помещение для

самостоятельной работы, аудитория №14 190013, г. Санкт-Петербург, Московский проспект, д. 24-26/49, лит. Е. Оснащение: специализированная мебель (20 посадочных мест).

**12. Особенности освоения дисциплины инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья.**

Для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями учебные процесс осуществляется в соответствии с Положением об организации учебного процесса для обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья СПбГТИ(ТУ), утвержденным ректором 28.08.2014.



**Фонд оценочных средств  
для проведения промежуточной аттестации по  
дисциплине «Теория автоматического управления»**

**1. Перечень компетенций и этапов их формирования.**

Индекс компетенции	Содержание	Этап формирования
<b>ОПК-6</b>	Способен решать стандартные задачи профессиональной деятельности на основе информационной и библиографической культуры с применением информационно-коммуникационных технологий;	промежуточный
<b>ОПК-12</b>	Способен оформлять, представлять и докладывать результаты выполненной работы	промежуточный

## 2. Показатели и критерии оценивания компетенций на различных этапах их формирования, шкала оценивания

### 2.1 Показатели и критерии оценивания компетенций при проведении экзамена

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Показатели сформированности (дескрипторы)	Критерий оценивания	Уровни сформированности (описание выраженности дескрипторов)		
			«удовлетворительно» (пороговый)	«хорошо» (средний)	«отлично» (высокий)
<b>ОПК 6.1.</b> Владеет знаниями основ теоретического исследования динамических процессов в линейных системах управления и умеет решать базовые задачи управления типовыми объектами	Знает основные принципы построения систем регулирования для синтеза систем автоматического управления (ЗН-1);	Правильные ответы на вопросы № 5 - 11, 13-22, 26-38, 41 к экзамену	Может назвать основные исторические этапы развития теории управления, дать основные определения и понятия, иметь представление о методах и этапах синтеза системы управления.	Раскрывает достоинства и недостатки методов исследования объектов управления и синтеза систем регулирования.	Аргументировано выбирать и обосновывать методику построения математической модели технологического объекта и синтезировать оптимальную систему управления.
	Умеет выполнить постановку задачи оптимального управления для типовых объектов регулирования (У-1);	Правильные ответы на вопросы №1-4, 12 39, 40 к экзамену.	Составляет структуру для синтеза систем регулирования, предлагает алгоритм и методы для исследования.	Выполняет анализ свойств типовых объектов управления. Обосновывает выбор метода и разрабатывает алгоритм для исследования систем управления.	Демонстрирует способности разработки алгоритмов и выбора методик анализа оптимальных систем управления.
	Владеет методами расчета для синтеза основных структур регулирования типовых объектов управления (Н-1)	Правильные ответы на вопросы № 23 – 25 к экзамену	Может сформировать типовую структуру регулирования с элементарными динамическими звеньями и типовыми регуляторами.	В зависимости от свойств объекта управления вносит коррективы в типовую структуру системы регулирования с целью получения регулятора.	Решает задачу синтеза типовых регуляторов с выбором методов коррекции для объекта управления с целью получения оптимальной системы управления



Код и наименование индикатора достижения компетенции	Показатели сформированности (дескрипторы)	Критерий оценивания	Уровни сформированности (описание выраженности дескрипторов)		
			«удовлетворительно» (пороговый)	«хорошо» (средний)	«отлично» (высокий)
<b>ОПК-12.1.</b> Составление отчетов о результатах настройки систем управления с применением современных математических методов и подходов для оценки достижения в АСУ требований по качеству управления и устойчивости.	<b>Знает</b> основные методики расчета и анализа для синтеза систем автоматического управления (ЗН-2);	Правильные ответы на вопросы № 46-50, 55 – 63, 66 – 69, 73 – 77, 82 – 97, к зачету.	Имеет представление об основных принципах построения моделей вход-выход-состояние, методах структурного анализа, основных подходах к построению современных импульсных систем управления, понятиях устойчивости, гармонического баланса.	Знает основные методы построения линейных дискретных систем в частотной и временной областях, основные подходы к построению современных импульсных систем управления.	Знает основные подходы к построению линейных оптимальных систем управления.
	<b>Умеет</b> обоснованно ставить и решать типовые задачи при построении оптимальной структуры системы управления (У-2);	Правильные ответы на вопросы № 42-45, 78 – 81, 88-91 к зачету.	Решает задачи моделирования с использованием методов структурного анализа, критериев устойчивости с целью построения систем у улучшенными показателями качества.	Умеет проводить анализ устойчивости дискретных систем.	Умеет использовать теоретические результаты оптимальной теории для построения систем с улучшенными качественными показателями.
	<b>Владеет</b> методами инженерных расчетов оптимальных систем управления технологическими процессами (Н-2).	Правильные ответы на вопросы № 51 – 54, 64 – 65, 70 – 72, 92 – 104 к зачету и курсовой работе.	Применяет методики и навыки синтеза линейных и нелинейных оптимальных систем.	Владеет навыками расчета импульсных систем.	Владеет навыками построения линейных оптимальных систем



**3. Типовые контрольные задания для проведения промежуточной аттестации**  
**а) Вопросы для оценки знаний, умений и навыков, сформированных у студента по компетенции ОПК-6:**

1. Основные сведения о пакете MATLAB.
2. Операторы MATLAB для построения частотных характеристик передаточных функций.
3. Операторы MATLAB для построения временных характеристик передаточных функций.
4. Операторы MATLAB для моделирования и структурного анализа систем в пространстве состояний.
5. Предмет изучения теории управления, основные этапы развития науки об управлении
6. Понятие АСР, основные виды и задачи регулирования
7. Классы систем автоматического управления
8. Понятие о вынужденном и свободном движении линейной системы
9. Понятие о передаточной функции объекта или системы
10. Основные свойства преобразования Лапласа
11. Обратное преобразование Лапласа. Основные способы вычисления.
12. Вычисление вынужденной и свободной составляющих движения линейной системы через преобразование Лапласа
13. Частотные характеристики линейной системы
14. Логарифмические частотные характеристики
15. Элементарные звенья
16. Неминимально-фазовые звенья
17. Передаточная функция АСР
18. Оценка качества переходного процесса по вынужденной составляющей
19. Виды свободного движения АСР. Диаграмма Вышнеградского
20. Статические и астатические системы
21. Порядок астатизма системы. Коэффициенты ошибок.
22. Устойчивость линейной АСР. Виды границ устойчивости.
23. Исследование устойчивости АСР при бесконечно больших значениях коэффициента передачи разомкнутой системы.
24. Исследование устойчивости системы при наличии бесконечно больших характеристических чисел.
25. Алгебраические методы исследования устойчивости (критерий Стодолы, критерий Гурвица).
26. Принцип аргумента. Критерий устойчивости Михайлова.
27. Критерий устойчивости Найквиста для систем, устойчивых и неустойчивых в разомкнутом состоянии.
28. Критерий устойчивости Найквиста для систем, которые в разомкнутом состоянии находятся на аperiodической границе устойчивости.
29. Критерий устойчивости Найквиста для систем, которые в разомкнутом состоянии находятся на колебательной границе устойчивости.
30. Критерий устойчивости Найквиста для систем с запаздыванием.
31. Использование показателя колебательности для определения запаса устойчивости
32. Корректирующие устройства в АСР.
33. Метод корневого годографа.
34. Метод Д-разбиения
35. Метод динамической компенсации для устойчивого и минимально фазового объекта.
36. Метод динамической компенсации для неминимально-фазового устойчивого объекта.
37. Метод динамической компенсации для неустойчивого объекта.
38. Метод динамической компенсации для объекта с запаздыванием
39. Синтез модального регулятора по передаточной функции замкнутой системы
40. Проектирование АСР методом компенсации

41. Основные законы регулирования

**б) Вопросы для оценки знаний, умений и навыков, сформированных у студента по компетенции ОПК-12:**

42. Выбор интегрального квадратичного критерия качества оптимизации для линейной АСР на основании известного желаемого характеристического уравнения
43. Параметрическая оптимизация линейной замкнутой системы
44. Корневые методы оценки качества АСР
45. Построение желаемой передаточной функции замкнутой системы при помощи логарифмических частотных характеристик
46. Требования к высокочастотной части АСР
47. Требования к низкочастотной части АСР
48. Требования к среднечастотной части АСР
49. Понятие состояния системы. Уравнения вход-выход-состояние.
50. Уравнение вход-выход-состояние для системы динамических звеньев.
51. Получение матрицы передаточных функций для системы динамических звеньев по уравнению вход-выход-состояние.
52. Решение системы уравнений состояния с постоянными коэффициентами.
53. Вычисление матричной экспоненты с применением теоремы Кели-Гамильтона.
54. Вычисление матричной экспоненты путем разложения в ряд.
55. Спектральное представление матричной экспоненты.
56. Изменение базиса динамической системы. Понятие моды.
57. Структурные свойства линейной системы с одним входом и одним выходом.
58. Понятие невырожденности систем.
59. Управляемость и наблюдаемость системы. Системы с минимальной реализацией.
60. Стабилизация одномерной системы.
61. Наблюдение и оценка составляющих вектора состояния системы.
62. Стабилизация системы по наблюдениям выхода.
63. Оптимальное управление линейным объектом
64. Проектирование оптимальных АСР линейным объектом.
65. Оптимальное управление линейным объектом с переменными параметрами.
66. Метод замороженных коэффициентов при синтезе управления объектом с переменными параметрами.
67. Управление объектом при наличии измеряемых возмущений. Комбинированное управление.
68. Понятие о невозмущенном и возмущенном движении в нелинейных системах. Определение устойчивости по Ляпунову.
69. Теоремы Ляпунова об устойчивости и о неустойчивости.
70. Построение функции Ляпунова для линейной системы.
71. Проблема Айзермана и ее применение для построения функции Ляпунова.
72. Методы построения функций Ляпунова.
73. Абсолютная устойчивость нелинейных систем. Системы прямого управления. Системы непрямого управления.
74. Устойчивость систем прямого управления. Теорема Попова.
75. Оптимальное управление линейным объектом при ограничениях на управление.
76. Гармоническая линеаризация нелинейностей.
77. Алгебраические способы определения автоколебаний и устойчивости в нелинейных системах с одной нелинейностью.
78. Использование кривой Михайлова для анализа устойчивости систем с одной нелинейностью.
79. Использование метода Гольдфарба для анализа устойчивости систем с одной нелинейностью.
80. Применение показателя колебательности к расчету нелинейных систем.

81. Дискретное преобразование Лапласа.
  82. Понятие о дискретных и импульсных системах. Примеры импульсных систем.
  83. Теорема Котельникова-Шеннона.
  84. Прямое и обратное Z-преобразование.
  85. Передаточные функции импульсной системы.
  86. Свойства Z-преобразования.
  87. Фиксирующие цепи в импульсной системе.
  88. Способы выбора шага квантования по времени в импульсной системе.
  89. Устойчивость дискретной системы. Понятие о бесконечной степени устойчивости.
  90. Дискретные регуляторы. ПИД-закон регулирования в дискретной системе.
  91. Построение дискретного регулятора в импульсной системе, максимально воспроизводящего заданный непрерывный закон регулирования.
  92. Метод компенсации в дискретных и импульсных системах.
  93. Синтез дискретного регулятора с бесконечной степенью устойчивости.
  94. Синтез апериодического регулятора выхода.
  95. Метод компенсации для дискретных и импульсных систем с запаздыванием.
  96. Модифицированное Z-преобразование.
  97. Управление импульсной системой при помощи непрерывного регулятора.
  98. Уравнение вход-выход-состояние для дискретной системы.
  99. Уравнения вход-выход-состояние для дискретных систем с запаздыванием.
  100. Апериодический регулятор состояния.
  101. Модальный регулятор состояния.
  102. Задача фильтрации, фильтр Калмана.
  103. Задача фильтрации Винера.
  104. Синтез систем по критерию максимальной степени устойчивости и по критерию апериодической устойчивости.
- При сдаче экзамена, студент получает три вопроса из перечня, приведенного выше.  
 Время подготовки студента к устному ответу на вопросы - до 45 мин.

#### 4 Курсовая работа

Курсовая работа проводится в 6 семестре и включает следующие темы:

1. Проектирование линейных одноконтурных систем стабилизации,
2. Проектирование линейных одноконтурных систем программного регулирования,
3. Использование методов динамической компенсации и оптимального управления для проектирования линейных систем стабилизации,
4. Синтез линейных систем с запаздыванием по критерию апериодической устойчивости.

Задание выдается преподавателем по одной из тем или комплексно по нескольким темам. Задание включает передаточные функции объекта управления, исполнительного механизма и датчика, а также требования к качественным показателям проектируемой системы управления.

##### Варианты заданий для курсовой работы

Для выбора варианта задания используются три передаточные функции: передаточная функция объекта, передаточная функция исполнительного механизма, передаточная функция датчика, которые приведены в таблицах 1-3.

Задание на проектирование: спроектировать систему стабилизации, со следующими показателями качества:

- Время регулирования  $t_n \leq 500$  мин
- Перерегулирование  $\sigma \leq 25\%$
- Число колебаний  $n \leq 2$
- Запас по фазе  $\varphi \geq 25^\circ$
- Запас по амплитуде  $h \geq 7$  дб.



- Статическая ошибка (по заданию и по возмущению)  $\Delta_{ст} \leq 2\%$ .

1. Задание объекта

Передаточная функция  $W_0 = W_0'(P)e^{-p\tau}$

Таблица 1 – Задание объекта

Номер задания	Передаточная функция $W_0'(P)$	Примечания
1	$\frac{2}{P}$	Запаздывание 10 мин.
2	$1.5 \cdot \frac{1-7P}{(1+10P)^2}$	Запаздывание 7 мин.
3	$\frac{1.5}{225P^2 + 15P + 1}$	Колебательное звено $\xi=0.5, T=15$ мин.
4	$\frac{1.5 \cdot (1-5P)}{(1+20P)(1+10P)}$	Запаздывание 2 мин.
5	$\frac{1.5}{(1+20P)(1+10P)}$	Запаздывание 12 мин.
6	$\frac{1.5}{P(1+20P)}$	Запаздывание 10 мин.

2. Задание исполнительного механизма.

Таблица 2 – Задание исполнительного механизма

Номер задания	Передаточная функция $W_{им}(P)$	Примечания
1	2.5	
2	$\frac{1.5}{P}$	
3	$\frac{1.5}{P(1+5P)}$	
4	$\frac{1+5P}{1+10P}$	
5	$\frac{1+5P}{P}$	
6	$\frac{1+5P}{P(1+10P)}$	

3. Измерительная система

Таблица 3 – Измерительная система

Номер задания	Передаточная функция $W_{им}(P)$	Примечания
1	2	
2	$\frac{1+3P}{1+6P}$	
3	$\frac{0.5}{3P+1}$	
4	$\frac{1}{(2P+1)^2}$	

5	$\frac{2P+1}{(4P+1)^2}$	
6	$\frac{1-2P}{(1+2P)^2}$	

**5. Методические материалы для определения процедур оценивания знаний, умений и навыков, характеризующих этапы формирования компетенций.**

Промежуточная аттестация по дисциплине проводится в соответствии с требованиями СПбГТИ(ТУ) 016-2015. КС УКДВ Порядок проведения зачетов и экзаменов.

По дисциплине промежуточная аттестация проводится в форме экзаменов и защиты курсовой работы. Шкала оценивания на экзамене балльная («отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно»).