



Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра Математики

УТВЕРЖДАЮ  
Начальник учебно-методического управления

«29» июня 2021 г.

## **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

Теория управления

направление подготовки/специальность 01.03.02 Прикладная математика и информатика

направленность (профиль)/специализация образовательной программы Прикладная математика и информатика

Форма обучения очная

Санкт-Петербург, 2021

### 1. Цели и задачи освоения дисциплины (модуля)

Целями освоения дисциплины являются усвоение основных понятий и методов теории управления, используемых в инженерной практике.

Задачами освоения дисциплины являются получение опыта аналитического и численного решения задач оптимального управления

### 2. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с индикаторами достижения компетенций

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине, обеспечивающие достижение планируемых результатов освоения ОПОП
ОПК-1 Способен применять фундаментальные знания, полученные в области математических и (или) естественных наук, и использовать их в профессиональной деятельности	ОПК-1.2 Использует методы математического анализа и моделирования, теоретического исследования для решения сформулированной задачи профессиональной деятельности	<b>знает</b> - базовые понятия теории управления; - основные результаты и методы математической теории устойчивости и теории оптимального управления. <b>умеет</b> - использовать методы и алгоритмические приемы решения стандартных задач теории управления; - использовать пакеты прикладных программ для построения моделей и решения задач теории оптимального управления. <b>владеет навыками</b> - стандартными методами и моделями теории управления; - навыками математической формализации прикладных задач; - анализом и интерпретацией решений соответствующих математических моделей.

### 3. Указание места дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы

Данная дисциплина (модуль) включена в Блок «Дисциплины, модули» Б1.О.38 основной профессиональной образовательной программы 01.03.02 Прикладная математика и информатика и относится к обязательной части учебного плана.

№ п/п	Предшествующие дисциплины	Код и наименование индикатора достижения компетенции
1	Линейная алгебра и аналитическая геометрия	ОПК-1.3
2	Дифференциальные уравнения	ОПК-2.1
3	Основы функционального анализа	ОПК-1.3
4	Комплексный анализ	ОПК-1.3
5	Высшая математика	УК-2.1, УК-2.3, УК-2.4
6	Основы кибернетики, теория графов и дискретная математика	ОПК-2.1

Линейная алгебра и аналитическая геометрия  
 Математический анализ  
 Дифференциальные уравнения  
 Основы кибернетики и теория графов  
 Основы функционального анализа  
 Комплексный анализ  
 Комплексный анализ  
 Высшая математика  
 Основы кибернетики, теория графов и дискретная математика

№ п/п	Последующие дисциплины	Код и наименование индикатора достижения компетенции
1	Выполнение и защита выпускной квалификационной работы	УК-1.1, УК-1.2, УК-1.3, УК-1.4, УК-1.5, УК-1.6, УК-2.1, УК-2.2, УК-2.3, УК-2.4, УК-3.1, УК-3.2, УК-3.3, УК-3.4, УК-3.5, УК-3.6, УК-4.1, УК-4.2, УК-4.3, УК-4.4, УК-5.1, УК-5.2, УК-5.3, УК-6.1, УК-6.2, УК-6.3, УК-6.4, УК-6.5, УК-7.1, УК-7.2, УК-7.3, УК-7.4, УК-8.1, УК-8.2, УК-8.3, УК-8.4, УК-9.1, УК-9.2, УК-9.3, УК-9.4, УК-9.5, УК-10.1, УК-10.2, УК-10.3, ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-1.3, ОПК-2.1, ОПК-2.2, ОПК-2.3, ОПК-3.1, ОПК-3.2, ОПК-4.1, ОПК-4.2, ОПК-4.3, ОПК-5.1, ОПК-5.2, ОПК-5.3, ПК-1.1, ПК-1.2, ПК-1.3, ПК-1.4, ПК-2.1, ПК-2.2, ПК-2.3, ПК-3.1, ПК-3.2, ПК-3.3, ПК-4.1, ПК-4.2, ПК-4.3, ПК-4.4, ПК(Ц)-1.1, ПК(Ц)- 1.2, ПК(Ц)-1.3, ПК(Ц)-1.4, ПК(Ц)- 1.5

**4. Объем дисциплины (модуля) в зачетных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся**

Вид учебной работы	Всего часов	Из них часы на практическую подготовку	Семестр
			7
<b>Контактная работа</b>	32		32
Практические занятия (Пр)	32	0	32
<b>Иная контактная работа, в том числе:</b>			
консультации по курсовой работе (проекту), контрольным работам (РГР)			
контактная работа на аттестацию (сдача зачета, зачета с оценкой; защита курсовой работы (проекта); сдача контрольных работ (РГР))			
контактная работа на аттестацию в сессию (консультация перед экзаменом и сдача			
<b>Часы на контроль</b>	4		4
<b>Самостоятельная работа (СР)</b>	36		36
<b>Общая трудоемкость дисциплины (модуля)</b>			
<b>часы:</b>	72		72
<b>зачетные единицы:</b>	2		2

**5. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по разделам (темам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий**

**5.1. Тематический план дисциплины (модуля)**

№	Разделы дисциплины	Семестр	Контактная работа (по учебным занятиям), час.						СР	Всего, час.	Код индикатора достижения компетенции
			лекции		ПЗ		ЛР				
			всего	из них на практическую подготовку	всего	из них на практическую подготовку	всего	из них на практическую подготовку			
1.	1 раздел. Устойчивость систем с обратной связью										
1.1.	Принцип обратной связи. Математическое описание систем управления. Управляемость и наблюдаемость линейных блоков.	7			4			5	9	ОПК-1.2	
1.2.	Устойчивость линейных дифференциальных систем	7			6			6	12	ОПК-1.2	
1.3.	Устойчивость нелинейных дифференциальных систем.	7			6			5	11	ОПК-1.2	
2.	2 раздел. Принцип максимума Л.С.Понтрягина. Построение программного управления.										
2.1.	Постановки задач оптимального управления и методы их решения.	7			4			6	10	ОПК-1.2	
2.2.	Доказательство принципа максимума для линейной задачи оптимального быстрогодействия	7			6			6	12	ОПК-1.2	
2.3.	Построение траекторий в линейной задаче оптимального управления второго порядка.	7			6			8	14	ОПК-1.2	
3.	3 раздел. Контроль										
3.1.	Зачет	7							4	ОПК-1.2	

**5.1. Практические занятия**

№ п/п	Наименование раздела и темы практических занятий	Наименование и содержание практических занятий
1	Принцип обратной связи. Математическое описание систем управления. Управляемость и наблюдаемость линейных блоков.	Принцип обратной связи. Математическое описание систем управления. Управляемость и наблюдаемость линейных блоков. Блоки системы автоматического управления. Линейные стационарные блоки. Способы соединения блоков. Система управления с обратной связью. Способы задания линейных стационарных блоков. Передаточная функция и частотная характеристика линейной части системы. Полная управляемость

		стационарного линейного блока. Необходимые и достаточные условия полной управляемости. Полная наблюдаемость стационарного линейного блока. Принцип двойственности Калмана. Необходимые и достаточные условия полной наблюдаемости. Свойства передаточной функции полностью управляемого и наблюдаемого блока.
1	Принцип обратной связи. Математическое описание систем управления. Управляемость и наблюдаемость линейных блоков.	Построение передаточных функций и частотных характеристик линейных блоков. Проверка условий полной управляемости и полной наблюдаемости линейных блоков Нахождение передаточных функций для систем второго и третьего порядков. Построение годографов частотных характеристик. Определение полной управляемости и полной наблюдаемости на основе невырожденности передаточной функции. Проверка критерия управляемости (наблюдаемости) Калмана для линейной части системы.
2	Устойчивость линейных дифференциальных систем	Устойчивость линейных дифференциальных систем Устойчивость по Ляпунову, асимптотическая устойчивость, устойчивость в целом. Необходимые и достаточные условия устойчивости линейных систем. Необходимые и достаточные условия асимптотической устойчивости линейных систем. Алгебраический и геометрический критерии устойчивости стационарных систем. Стабилизируемость линейных блоков. Устойчивость линейных систем с обратной связью. Критерий Найквиста.
2	Устойчивость линейных дифференциальных систем	Проверка критериев Гурвица и Михайлова для линейных систем с постоянными коэффициентами. Проверка критерия Найквиста для систем с линейной обратной связью Построение матрицы Гурвица для линейных систем третьего и четвертого порядков. Проверка ее положительной определенности. Построение годографа Михайлова для полиномов третьего и четвертого порядков, определение изменения угла поворота вектора годографа. Использование годографа частотной характеристики для проверки критерия Найквиста.
3	Устойчивость нелинейных дифференциальных систем.	Устойчивость нелинейных дифференциальных систем Устойчивость нелинейных дифференциальных систем. Прямой метод Ляпунова. Теоремы Ляпунова об устойчивости и асимптотической устойчивости нестационарных нелинейных систем. Теорема Барбашина-Красовского об устойчивости в целом. Устойчивость стационарных нелинейных систем по первому приближению. Абсолютная устойчивость нелинейных систем с обратной связью. Частотная теорема Якубовича-Калмана-Попова. Круговой критерий.
3	Устойчивость нелинейных дифференциальных систем.	Построение функций Ляпунова. Проверка выполнения условий кругового критерия. Построение функций Ляпунова для линейной системы и исследование с ее помощью устойчивости по первому приближению. Построение функций Ляпунова для математического маятника и исследование с ее помощью устойчивых в малом положений равновесия. Примеры проверки условий кругового критерия для различных систем, удовлетворяющих условию сектора. Геометрическая интерпретация кругового критерия.
4	Постановки задач оптимального управления и методы их решения.	Постановки задач оптимального управления и методы их решения. Понятие об управляемых объектах. Задача управления. Уравнения движения управляемого объекта. Допустимые управления. Стационарные и нестационарные системы. Формулировка основной задачи оптимального управления.

4	Постановки задач оптимального управления и методы их решения.	Решение задачи Коши для системы двух линейных однородных дифференциальных уравнений первого порядка с постоянными коэффициентами Освоение операционного метода и его приложение к решению задач, связанных с линейными дифференциальными уравнениями на примере системы второго порядка..
5	Доказательство принципа максимума для линейной задачи оптимального быстрогодействия	Доказательство принципа максимума для линейной задачи оптимального быстрогодействия Формулировка принципа максимума. Принцип максимума для линейной задачи оптимального быстрогодействия. Теорема существования и единственности для линейной задачи оптимального быстрогодействия. Принцип максимума – необходимое и достаточное условие оптимальности. Некоторые сведения о выпуклых множествах. Множества достижимости и их свойства. Доказательство принципа максимума для линейной задачи оптимального быстрогодействия. Теорема А.А. Фельдбаума о числе переключений.
5	Доказательство принципа максимума для линейной задачи оптимального быстрогодействия	Решение задачи Коши для простейшей системы двух линейных неоднородных дифференциальных уравнений первого порядка с постоянными коэффициентами Изучение управляемого объекта с двумерным вектором состояния и скалярным кусочно-непрерывным управлением, по модулю не превосходящим 1.
6	Построение траекторий в линейной задаче оптимального управления второго порядка.	Построение траекторий в линейной задаче оптимального управления второго порядка. Синтез оптимальных управлений. Программное управление. Задача второго порядка, случаи вещественных и комплексно-сопряженных собственных значений. Нелинейные задачи оптимального управления. Билинейная задача. Динамическое программирование. Принцип оптимальности Р. Беллмана. Задача стабилизации программного движения. Системы управления, оптимальные по вероятности. Принцип максимума для систем с дискретным временем. Построение программного управления, оптимального по быстроддействию, и оптимальной траектории в линейной задаче второго порядка. Выбор начального сопряженного вектора, которому соответствует траектория, наименее удаленная от начала координат.
6	Построение траекторий в линейной задаче оптимального управления второго порядка.	Построение траекторий в линейной задаче оптимального управления второго порядка Построение программного управления, оптимального по быстроддействию, и оптимальной траектории в линейной задаче второго порядка Получение таблицы значений расстояния от траектории билинейной системы до начала координат, содержащей один локальный минимум. Определение времени оптимального быстрогодействия.

## 5.2. Самостоятельная работа обучающихся

№ п/п	Наименование раздела дисциплины и темы	Содержание самостоятельной работы
1	Принцип обратной связи. Математическое описание систем управления. Управляемость и	Передаточная функция. Управляемость и наблюдаемость Домашняя задание: построение передаточной функции системы третьего порядка. Определение ее невырожденности. Проверка управляемости (наблюдаемости) линейного блока как с помощью критерия Калмана, так и на основе невырожденности передаточной функции.

	наблюдаемость линейных блоков.	
2	Устойчивость линейных дифференциальных систем	Устойчивость линейных систем с постоянными коэффициентами. Домашняя задание: построение характеристического полинома для системы линейных дифференциальных уравнений. Определение его гурвицевости с помощью критерия Рауса-Гурвица, определение количества корней справа от мнимой оси с помощью критерия Михайлова. Определение возможного управления гурвицевостью системы с помощью критерия Найквиста.
3	Устойчивость нелинейных дифференциальных систем.	Устойчивость нелинейных систем с обратной связью. Круговой критерий. Домашняя задание: построение частотного неравенства для проверки кругового критерия. Проверка его выполнения.
4	Постановки задач оптимального управления и методы их решения.	Применение преобразования Лапласа к решению задачи Коши. Домашнее задание: решение задачи Коши для линейных уравнений и систем с постоянными коэффициентами.
5	Доказательство принципа максимума для линейной задачи оптимального быстродействия	Сведение задачи оптимального быстродействия второго порядка к задаче минимизации функции одного аргумента. Домашнее задание: построение функции одного аргумента по значению угла наклона начального сопряженного вектора.
6	Построение траекторий в линейной задаче оптимального управления второго порядка.	Построение оптимального по быстродействию программного управления. Домашнее задание: приближенное решение билинейной задачи оптимального быстродействия второго порядка.

## 6. Методические материалы для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю)

Программой дисциплины предусмотрено проведение лекционных занятий, на которых дается основной систематизированный материал, и практических занятий, предполагающих закрепление изученного материала и формирование у обучающихся необходимых знаний, умений и навыков. Кроме того, важнейшим этапом изучения дисциплины является самостоятельная работа обучающихся с использованием всех средств и возможностей современных образовательных технологий.

В объем самостоятельной работы по дисциплине включается следующее:

- изучение теоретических вопросов по всем темам дисциплины;
- подготовка к практическим занятиям;
- подготовка к текущему контролю успеваемости студентов;
- подготовка к зачету.

Залогом успешного освоения математики является обязательное посещение лекционных и практических занятий, так как пропуск одного (тем более, нескольких) занятий может осложнить освоение разделов курса. На практических занятиях материал, изложенный на лекциях, закрепляется выполнением практических заданий и посредством консультаций по выполнению индивидуальных заданий.

Итогом изучения дисциплины является зачет. Зачет проводится по расписанию на последнем занятии. Форма проведения зачета – устная. Студенты, не прошедшие аттестацию, должны ликвидировать задолженность в установленном порядке.

## 7. Оценочные материалы для проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине (модулю)

### 7.1. Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения дисциплины

№ п/п	Контролируемые разделы дисциплины (модуля)	Код и наименование индикатора контролируемой компетенции	Вид оценочного средства
1	Принцип обратной связи. Математическое описание систем управления. Управляемость и наблюдаемость линейных блоков.	ОПК-1.2	Устный опрос.
2	Устойчивость линейных дифференциальных систем	ОПК-1.2	Решение задач.
3	Устойчивость нелинейных дифференциальных систем.	ОПК-1.2	Устный опрос.
4	Постановки задач оптимального управления и методы их решения.	ОПК-1.2	Устный опрос.
5	Доказательство принципа максимума для линейной задачи оптимального быстрогодействия	ОПК-1.2	Устный опрос.
6	Построение траекторий в линейной задаче оптимального управления второго порядка.	ОПК-1.2	Решение задач.
7	Зачет	ОПК-1.2	Устный опрос

7.2. Типовые контрольные задания или иные материалы текущего контроля успеваемости, необходимые для оценки знаний, умений и навыков и (или) опыта профессиональной деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения дисциплины

Задания для выполнения расчетно-графической работы, предназначенные для проверки сформированности индикатора достижения компетенции ОПК-1.2, т.к. эти задания способствуют укреплению знаний по базовым понятиям теории управления и основным методам теории устойчивости (комплект заданий)

Задание 1: Найти передаточную функцию линейной части системы.

Задание 2 : Установить, является ли система с обратной связью полностью управляемой, полностью наблюдаемой.

Задание 3: Установить устойчивость или неустойчивость линейной неоднородной системы с помощью критерия Рауса-Гурвица

Задание 4 : Вычислить количество собственных чисел характеристического полинома квадратной матрицы с положительными вещественными частями.

Задание 5: Методом преобразования Лапласа решить задачу Коши для однородной линейной системы 2-го порядка

Задание 6: Методом преобразования Лапласа решить задачу Коши для неоднородной линейной системы 2-го порядка с постоянной правой частью.

Задание 7: Приближенное решение билинейной задачи оптимального быстродействия второго порядка.

Тестовые задания,

предназначенные для проверки сформированности индикатора достижения компетенции ОПК-1.2, т.к. эти задания воспитывают умение

использовать методы и алгоритмические приемы решения стандартных задач теории управления и обучают владению

стандартными методами и моделями теории управления

(комплект тестовых заданий)

1. Задана квадратная матрица второго порядка

Выбрать верное утверждение:

1. Все собственные значения матрицы имеют отрицательные вещественные части.
2. Матрица имеет хотя бы одно собственное значение с положительной вещественной частью.
3. Матрица имеет собственные значения как с нулевой, так и с отрицательной вещественной частью.
4. Все собственные значения матрицы  $A$  имеют нулевые вещественные части.

2. Задан полином четвертой степени.

Выбрать верное утверждение:

1. Полином гурвицев;
2. не является гурвицевым;
3. Полином имеет корни с нулевыми вещественными частями.

3. Задана линейная однородная система второго порядка.

Выбрать верное утверждение:

1. Система асимптотически устойчива;
2. Система устойчива по Ляпунову;
3. Система не является устойчивой по Ляпунову.
4. Линейный блок задан тройкой матриц. Задана его передаточная функция.

Выбрать вид передаточной функции соответствующей данной тройке матриц.

5. Линейный блок определен тройкой матриц

Выбрать верное утверждение:

1. Блок управляем, но ненаблюдаем;
2. Блок неуправляем, но наблюдаем;
3. Блок управляем и наблюдаем;
4. Блок неуправляем и ненаблюдаем.

7.3. Система оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю) при проведении текущего контроля успеваемости

<p>Оценка «отлично» (зачтено)</p>	<p>знания:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- систематизированные, глубокие и полные знания по всем разделам дисциплины, а также по основным вопросам, выходящим за пределы учебной программы;</li><li>- точное использование научной терминологии, систематически грамотное и логически правильное изложение ответа на вопросы;</li><li>- полное и глубокое усвоение основной и дополнительной литературы, рекомендованной рабочей программой по дисциплине (модулю)</li></ul> <p>умения:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- умеет ориентироваться в теориях, концепциях и направлениях дисциплины и давать им критическую оценку, используя научные достижения других дисциплин</li></ul> <p>навыки:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- высокий уровень сформированности заявленных в рабочей программе компетенций;</li><li>- владеет навыками самостоятельно и творчески решать сложные проблемы и нестандартные ситуации;</li><li>- применяет теоретические знания для выбора методики выполнения заданий;</li><li>- грамотно обосновывает ход решения задач;</li><li>- безупречно владеет инструментарием учебной дисциплины, умение его эффективно использовать в постановке научных и практических задач;</li><li>- творческая самостоятельная работа на практических/семинарских/лабораторных занятиях, активно участвует в групповых обсуждениях, высокий уровень культуры исполнения заданий</li></ul>
<p>Оценка «хорошо» (зачтено)</p>	<p>знания:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- достаточно полные и систематизированные знания по дисциплине;</li><li>- усвоение основной и дополнительной литературы, рекомендованной рабочей программой по дисциплине (модулю)</li></ul> <p>умения:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- умеет ориентироваться в основных теориях, концепциях и направлениях дисциплины и давать им критическую оценку;</li><li>- использует научную терминологию, лингвистически и логически правильно излагает ответы на вопросы, умеет делать обоснованные выводы;</li><li>- владеет инструментарием по дисциплине, умение его использовать в постановке и решении научных и профессиональных задач</li></ul> <p>навыки:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- самостоятельная работа на практических занятиях, участие в групповых обсуждениях, высокий уровень культуры исполнения заданий;</li><li>- средний уровень сформированности заявленных в рабочей программе компетенций;</li><li>- без затруднений выбирает стандартную методику выполнения заданий;</li><li>- обосновывает ход решения задач без затруднений</li></ul>

<p>Оценка «удовлетворительно» (зачтено)</p>	<p>знания: - достаточный минимальный объем знаний по дисциплине; - усвоение основной литературы, рекомендованной рабочей программой; - использование научной терминологии, стилистическое и логическое изложение ответа на вопросы, умение делать выводы без существенных ошибок умения: - умеет ориентироваться в основных теориях, концепциях и направлениях по дисциплине и давать им оценку; - владеет инструментарием учебной дисциплины, умение его использовать в решении типовых задач; - умеет под руководством преподавателя решать стандартные задачи навыки: - работа под руководством преподавателя на практических занятиях, допустимый уровень культуры исполнения заданий; - достаточный минимальный уровень сформированности заявленных в рабочей программе компетенций; - испытывает затруднения при обосновании алгоритма выполнения заданий</p>
<p>Оценка «неудовлетворительно» (не зачтено)</p>	<p>знания: - фрагментарные знания по дисциплине; - отказ от ответа (выполнения письменной работы); - знание отдельных источников, рекомендованных рабочей программой по дисциплине; умения: - не умеет использовать научную терминологию; - наличие грубых ошибок навыки: - низкий уровень культуры исполнения заданий; - низкий уровень сформированности заявленных в рабочей программе компетенций; - отсутствие навыков самостоятельной работы; - не может обосновать алгоритм выполнения заданий</p>

7.4. Теоретические вопросы и практические задания для проведения промежуточной аттестации обучающихся, необходимые для оценки знаний, умений и навыков и (или) опыта профессиональной деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы

7.4.1. Теоретические вопросы для проведения промежуточной аттестации обучающихся

1. Функция-оригинал и ее изображение по Лапласу.
2. Изображения по Лапласу функции Хэвисайда, синуса, косинуса, экспоненты.
3. Линейность преобразования Лапласа.
4. Свойство преобразования Лапласа: дифференцирование оригинала.
5. Свойство преобразования Лапласа: дифференцирование изображения.
6. Свойство преобразования Лапласа: теорема запаздывания.
7. Свойство преобразования Лапласа: теорема смещения.
8. Свойство преобразования Лапласа: теорема о свертке.
9. Изображения по Лапласу от правильной дроби.
10. Изображения по Лапласу от простейших дробей первого и второго типов.
11. Изображение по Лапласу от простейшей дроби третьего типа.
12. Изображение по Лапласу от простейшей дроби четвертого типа.
13. Решение задачи Коши для линейного однородного уравнения с постоянными коэффициентами с помощью преобразования Лапласа.
14. Решение задачи Коши для линейного неоднородного уравнения с постоянными коэффициентами с помощью преобразования Лапласа.
15. Решение задачи Коши для линейной однородной системы уравнению с постоянными

коэффициентами с помощью преобразования Лапласа.

16. Решение задачи Коши для линейной неоднородной системы уравнению с постоянными коэффициентами с помощью преобразования Лапласа.

17. Норма матрицы. Свойства нормы.

18. Евклидова норма матрицы.

19. Последовательность матриц. Предел последовательности матриц.

20. Матричный ряд и его сходимость.

21. Абсолютная сходимость матричного ряда.

22. Степенной матричный ряд и соответствующий ему скалярный степенной ряд.

23. Достаточные условия сходимости степенного матричного ряда в терминах радиуса сходимости степенного скалярного ряда.

24. Достаточное условие сходимости матричного степенного ряда с общим членом в терминах собственных значений матрицы .

25. Производная матричной функции и ее свойства.

26. Интеграл от матричной функции и его свойства.

27. Экспоненциал матрицы.

28. Свойство экспоненциала.

29. Жорданова форма квадратной матрицы.

30. Экспоненциал жордановой формы матрицы.

31. Выражение для экспоненциала матричной функции.

32. Определитель экспоненциала матричной функции.

33. Производная экспоненциала матричной функции.

34. Устойчивость в малом по Ляпунову для тривиального решения нормальной системы ОДУ.

35. Теорема Ляпунова об устойчивости в малом для тривиального решения нормальной системы ОДУ.

36. Асимптотическая устойчивость по Ляпунову для тривиального решения нормальной системы ОДУ.

37. Теорема Ляпунова об асимптотической устойчивости для тривиального решения нормальной системы ОДУ.

38. Устойчивость в целом тривиального решения нормальной системы ОДУ.

39. Теорема Барбашина-Красовского об устойчивости в целом тривиального решения нормальной системы ОДУ.

40. Устойчивость и асимптотическая устойчивость линейных систем: однородных и неоднородных ОДУ.

41. Связь устойчивости однородной линейной системы ОДУ и ограниченности ее решений.

42. Связь асимптотической устойчивости однородной линейной системы ОДУ и устойчивости в целом ее тривиального решения.

43. Необходимые и достаточные условия устойчивости линейной системы ОДУ с постоянной матрицей.

44. Необходимые и достаточные условия асимптотической устойчивости линейной системы ОДУ с постоянной матрицей.

45. Гурвицев полином. Стандартный полином.

46. Необходимое условие гурвицевости стандартного полинома.

47. В каком случае необходимое условие гурвицевости стандартного полинома является достаточным условием его гурвицевости.

48. Алгебраический критерий гурвицевости (Критерий Рауса-Гурвица).

49. Годограф полинома.

50. Геометрический критерий гурвицевости (Критерий Михайлова).

51. Знакопостоянные и знакоопределенные функции нескольких переменных.

52. Производная функции нескольких переменных в силу нормальной системы ОДУ.

53. Автономная система ОДУ. Линейная система первого приближения для автономной системы.

54. Теорема Барбашина-Красовского для системы первого приближения для автономной системы.

55. Лемма Ляпунова о разрешимости матричного уравнения относительно эрмитовой матрицы .
56. Теорема об устойчивости автономных систем по первому приближению.
57. Описание блока системы управления как математического объекта.
58. Последовательное соединение блоков.
59. Параллельное соединение блоков.
60. Соединение блоков типа обратной связи.
61. Стационарный блок.
62. Линейный блок.
63. Математическое описание линейного стационарного блока в форме системы ОДУ.
64. Математическое описание линейного стационарного блока в форме интегрального уравнения.
65. Передаточная функция линейного стационарного блока со скалярными входом и выходом.
66. Инвариантность передаточной функции линейного блока по отношению к линейному преобразованию пространства состояний блока.
67. Частотная характеристика линейного стационарного блока.
68. Синтез описания линейного блока по его передаточной функции.
69. Полная управляемость линейного блока.
70. Необходимые и достаточные условия полной управляемости линейного блока.
71. Полная наблюдаемость линейного блока.
72. Принцип двойственности Калмана.
73. Необходимые и достаточные условия полной наблюдаемости линейного блока.
74. Невырожденность передаточной функции линейного блока.
75. Необходимые и достаточные условия полной наблюдаемости и полной управляемости линейного блока.
76. Стабилизируемость линейного блока. Достаточное условие стабилизируемости.
77. Линейные системы с обратной связью. Проблема “управления” устойчивостью линейного блока с помощью обратной связи.
78. Лемма Шура.
79. Критерий Найквиста.
80. Нелинейные системы с обратной связью.
81. Условие сектора. Задача абсолютной устойчивости.
82. Теорема Барбашина-Красовского для нелинейной системы с условием сектора.
83. Сведение задачи об абсолютной устойчивости к решению матричного неравенства.
84. Частотная теорема Якубовича-Калмана.
85. Круговой критерий – критерий абсолютной устойчивости нелинейной системы с условием сектора.
86. Геометрическая интерпретация кругового критерия в случае положительных границ сектора
87. Геометрическая интерпретация кругового критерия в случае, когда границы сектора имеют разные знаки.
88. Геометрическая интерпретация кругового критерия в случае, когда одна из границ сектора равна нулю.
89. Критерий Попова для абсолютной устойчивости автономной нелинейной системы с условием сектора.

#### 7.4.2. Практические задания для проведения промежуточной аттестации обучающихся

1. Проверить гурвицевость полинома 4-ой степени.
2. Определить устойчивость или неустойчивость линейной системы ОДУ 3-го порядка.
3. Найти передаточную функцию линейной части нелинейной системы 3-го порядка с обратной связью.
4. Определить, является ли система с обратной связью управляемой и наблюдаемой.

7.4.3. Примерные темы курсовой работы (проекта) (при наличии)

Курсовые проекты (работы) учебным планом не предусмотрены.

7.5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта профессиональной деятельности, характеризующие этапы формирования компетенций

Процедура проведения промежуточной аттестации и текущего контроля успеваемости регламентируется локальным нормативным актом, определяющим порядок организации и проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся.

Процедура оценивания формирования компетенций при проведении текущего контроля приведена в п. 7.2.

Типовые контрольные задания или иные материалы текущего контроля приведены в п. 7.3.

Типовые контрольные задания или иные материалы текущего контроля приведены в соответствующем разделе ФОС.

Промежуточная аттестация по дисциплине проводится в форме зачета.

Зачет проводится в форме собеседования с использованием тестирования и решения задач.

7.6. Критерии оценивания сформированности компетенций при проведении промежуточной аттестации

Критерии оценивания	Уровень освоения и оценка			
	Оценка «неудовлетворительно»	Оценка «удовлетворительно»	Оценка «хорошо»	Оценка «отлично»
	«не зачтено»	«зачтено»		
	Уровень освоения компетенции «недостаточный». Компетенции не сформированы. Знания отсутствуют, умения и навыки не сформированы	Уровень освоения компетенции «пороговый». Компетенции сформированы. Сформированы базовые структуры знаний. Умения фрагментарны и носят репродуктивный характер. Демонстрируется низкий уровень самостоятельности практического навыка.	Уровень освоения компетенции «продвинутой». Компетенции сформированы. Знания обширные, системные. Умения носят репродуктивный характер, применяются к решению типовых заданий. Демонстрируется достаточный уровень самостоятельности устойчивого практического навыка.	Уровень освоения компетенции «высокий». Компетенции сформированы. Знания аргументированные, всесторонние. Умения успешно применяются к решению как типовых, так и нестандартных творческих заданий. Демонстрируется высокий уровень самостоятельности, высокая адаптивность практического навыка

знания	<p>Обучающийся демонстрирует:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-существенные пробелы в знаниях учебного материала;</li> <li>-допускаются принципиальные ошибки при ответе на основные вопросы билета, отсутствует знание и понимание основных понятий и категорий;</li> <li>-непонимание сущности дополнительных вопросов в рамках заданий билета.</li> </ul>	<p>Обучающийся демонстрирует:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-знания теоретического материала;</li> <li>-неполные ответы на основные вопросы, ошибки в ответе, недостаточное понимание сущности излагаемых вопросов;</li> <li>-неуверенные и неточные ответы на дополнительные вопросы.</li> </ul>	<p>Обучающийся демонстрирует:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-знание и понимание основных вопросов контролируемого объема программного материала;</li> <li>- знания теоретического материала</li> <li>-способность устанавливать и объяснять связь практики и теории, выявлять противоречия, проблемы и тенденции развития;</li> <li>-правильные и конкретные, без грубых ошибок, ответы на поставленные вопросы.</li> </ul>	<p>Обучающийся демонстрирует:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-глубокие, всесторонние и аргументированные знания программного материала;</li> <li>-полное понимание сущности и взаимосвязи рассматриваемых процессов и явлений, точное знание основных понятий, в рамках обсуждаемых заданий;</li> <li>-способность устанавливать и объяснять связь практики и теории,</li> <li>-логически последовательные, содержательные, конкретные и исчерпывающие ответы на все задания билета, а также дополнительные вопросы экзаменатора.</li> </ul>
умения	<p>При выполнении практического задания билета обучающийся продемонстрировал недостаточный уровень умений. Практические задания не выполнены. Обучающийся не отвечает на вопросы билета при дополнительных наводящих вопросах преподавателя.</p>	<p>Обучающийся выполнил практическое задание билета с существенными неточностями. Допускаются ошибки в содержании ответа и решении практических заданий. При ответах на дополнительные вопросы было допущено много неточностей.</p>	<p>Обучающийся выполнил практическое задание билета с небольшими неточностями. Показал хорошие умения в рамках освоенного учебного материала. Предложенные практические задания решены с небольшими неточностями. Ответил на большинство дополнительных вопросов.</p>	<p>Обучающийся правильно выполнил практическое задание билета. Показал отличные умения в рамках освоенного учебного материала. Решает предложенные практические задания без ошибок. Ответил на все дополнительные вопросы.</p>

владение навыками	Не может выбрать методику выполнения заданий. Допускает грубые ошибки при выполнении заданий, нарушающие логику решения задач. Делает некорректные выводы. Не может обосновать алгоритм выполнения заданий.	Испытывает затруднения по выбору методики выполнения заданий. Допускает ошибки при выполнении заданий, нарушения логики решения задач. Испытывает затруднения с формулированием корректных выводов. Испытывает затруднения при обосновании алгоритма выполнения заданий.	Без затруднений выбирает стандартную методику выполнения заданий. Допускает ошибки при выполнении заданий, не нарушающие логику решения задач. Делает корректные выводы по результатам решения задачи. Обосновывает ход решения задач без затруднений.	Применяет теоретические знания для выбора методики выполнения заданий. Не допускает ошибок при выполнении заданий. Самостоятельно анализирует результаты выполнения заданий. Грамотно обосновывает ход решения задач.
-------------------	---	--	--	---

Оценка по дисциплине зависит от уровня сформированности компетенций, закрепленных за дисциплиной, и представляет собой среднее арифметическое от выставленных оценок по отдельным результатам обучения (знания, умения, владение навыками).

Оценка «отлично»/«зачтено» выставляется, если среднее арифметическое находится в интервале от 4,5 до 5,0.

Оценка «хорошо»/«зачтено» выставляется, если среднее арифметическое находится в интервале от 3,5 до 4,4.

Оценка «удовлетворительно»/«зачтено» выставляется, если среднее арифметическое находится в интервале от 2,5 до 3,4.

Оценка «неудовлетворительно»/«не зачтено» выставляется, если среднее арифметическое находится в интервале от 0 до 2,4.

## 8. Учебно-методическое и материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

### 8.1. Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)

№ п/п	Автор, название, место издания, издательство, год издания учебной и учебно-методической литературы	Количество экземпляров/электронный адрес ЭБС
<b><u>Основная литература</u></b>		
1	Юревич Е. И., Теория автоматического управления, СПб.: БХВ- Петербург, 2016	ЭБС
2	Гайдук А. Р., Беляев В. Е., Пьявченко Т. А., Теория автоматического управления в примерах и задачах с решениями в MATLAB, Санкт-Петербург: Лань, 2019	ЭБС
3	Кудинов Ю. И., Пащенко Ф. Ф., Келина А. Ю., Теория автоматического управления (с использованием MATLAB — SIMULINK). Практикум, Санкт-Петербург: Лань, 2020	ЭБС
4	Коновалов Б. И., Лебедев Ю. М., Теория автоматического управления, Санкт-Петербург: Лань, 2020	ЭБС

5	Гаврилов А. Н., Барметов Ю. П., Хвостов А. А., Тихомиров С. Г., Теория автоматического управления технологическими объектами (линейные системы), Воронеж: Воронежский государственный университет инженерных технологий, 2016	<a href="http://www.iprbookshop.ru/50645.html">http://www.iprbookshop.ru/50645.html</a>
6	Балашова Е. А., Барметов Ю. П., Битюков В. К., Хромых Е. А., Битюков В. К., Оптимальное управление в технических системах. Практикум, Воронеж: Воронежский государственный университет инженерных технологий, 2017	<a href="http://www.iprbookshop.ru/74014.html">http://www.iprbookshop.ru/74014.html</a>
<b><u>Дополнительная литература</u></b>		
1	Болтянский В. Г., Оптимальное управление дискретными системами, М.: Наука, 1973	ЭБС
2	Пантелеев А. В., Бортаковский А. С., Летова Т. А., Оптимальное управление в примерах и задачах, М.: Изд-во МАИ, 1996	ЭБС
3	Барметов Ю. П., Балашова Е. А., Битюков В. К., Битюков В. К., Теория автоматического управления. Лабораторный практикум, Воронеж: Воронежский государственный университет инженерных технологий, 2017	<a href="http://www.iprbookshop.ru/74020.html">http://www.iprbookshop.ru/74020.html</a>
4	Певзнер Л. Д., Теория автоматического управления. Задачи и решения, Б. м.: Лань, 2016	ЭБС
5	Леонов Г. А., Смирнова В. Б., Математические проблемы теории фазовой синхронизации, СПб.: Наука, 2000	ЭБС
6	Болодурина И. П., Огурцова Т. А., Арапова О. С., Иванова Ю. П., Теория оптимального управления, Оренбург: Оренбургский государственный университет, ЭБС АСВ, 2016	<a href="http://www.iprbookshop.ru/69954.html">http://www.iprbookshop.ru/69954.html</a>
7	Понтрягин Л. С., Понтрягин Л. С., Благодатских В. И., Асеев С. М., Ледяев Ю. С., Мищенко Е. Ф., Оптимальное управление и дифференциальные игры, М.: Наука, 1988	ЭБС
8	Ванько В. И., Ермошина О. В., Кувыркин Г. Н., Вариационное исчисление и оптимальное управление, Москва: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006	ЭБС
9	Болтянский В. Г., Математические методы оптимального управления, М.: Наука, 1969	ЭБС
1	Коновалов Б. И., Лебедев Ю. М., Теория автоматического управления, Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2010	<a href="http://www.iprbookshop.ru/13869.html">http://www.iprbookshop.ru/13869.html</a>

Обучающиеся из числа инвалидов и лиц с ОВЗ обеспечиваются печатными и (или) электронными образовательными ресурсами в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья.

8.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины (модуля)

Наименование ресурса сети «Интернет»	Электронный адрес ресурса
Электронный учебник "Теория управления"	<a href="https://moodle.spbgasu.ru/course/view.php?id=1668">https://moodle.spbgasu.ru/course/view.php?id=1668</a>
Методы оптимизации и теории управления [Электронный ресурс]: методические указания к самостоятельной работе по дисциплинам «Методы оптимизации», «Математические методы теории управления». — Электрон. текстовые данные. — Липецк: Липецкий государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2013. — 18 с. — Режим доступа:	<a href="http://www.iprbookshop.ru/22891.html">http://www.iprbookshop.ru/22891.html</a>

Громов Ю. Ю. Специальные разделы теории управления. Оптимальное управление динамическими системами [Электронный ресурс]: учебное пособие / Ю. Ю. Громов [и др.]. — Электрон. текстовые данные. — Тамбов: Тамбовский государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2012. — 108 с.	<a href="http://www.iprbookshop.ru/64581.html">http://www.iprbookshop.ru/64581.html</a>
Балдин К. В. Математическое программирование [Электронный ресурс]: учебник / К. В. Балдин, Н. А. Брызгалов, А. В. Руосуев. — Электрон. текстовые данные. — М.: Дашков и К, 2016. — 218 с.	<a href="http://www.iprbookshop.ru/60446.html">http://www.iprbookshop.ru/60446.html</a>
Черняк А. А. Математическое программирование. Алгоритмический подход [Электронный ресурс]: учебное пособие / А. А. Черняк, Ж. А. Черняк, Ю. М. Метельский. — Электрон. текстовые данные. — Минск: Вышэйшая школа, 2006. — 352 с.	<a href="http://www.iprbookshop.ru/21744.html">http://www.iprbookshop.ru/21744.html</a>

### 8.3. Перечень современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем

Наименование	Электронный адрес ресурса
Образовательные интернет-ресурсы СПбГАСУ	<a href="https://www.spbgasu.ru/Univer_sitet/Biblioteka/Obrazovatelnye_internet-resursy/">https://www.spbgasu.ru/Univer_sitet/Biblioteka/Obrazovatelnye_internet-resursy/</a>
Библиотека по Естественным наукам Российской Академии наук (РАН)	<a href="http://www.ras.ru">www.ras.ru</a>
Тех.Лит.Ру - техническая литература	<a href="http://www.tehlit.ru/">http://www.tehlit.ru/</a>
Единый электронный ресурс учебно-методической литературы СПбГАСУ	<a href="http://www.spbgasu.ru">www.spbgasu.ru</a>
Российская государственная библиотека	<a href="http://www.rsl.ru">www.rsl.ru</a>
Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU	Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU
Электронно-библиотечная система издательства "IPRbooks"	<a href="http://www.iprbookshop.ru/">http://www.iprbookshop.ru/</a>
Электронно-библиотечная система издательства "Лань"	<a href="https://e.lanbook.com/">https://e.lanbook.com/</a>
Электронная библиотека Ирбис 64	<a href="http://ntb.spbgasu.ru/irbis64r_plus/">http://ntb.spbgasu.ru/irbis64r_plus/</a>
Система дистанционного обучения СПбГАСУ Moodle	<a href="https://moodle.spbgasu.ru/">https://moodle.spbgasu.ru/</a>

### 8.4. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень лицензионного и свободно распространяемого программного обеспечения

Наименование	Способ распространения (лицензионное или свободно распространяемое)
Microsoft Windows 10 Pro	Договор № Д32009689201 от 18.12.2020г Программные продукты Майкрософт, договор № Д32009689201 от 18.12.2020 с АО "СофтЛайн Трейд": Windows 10, Project Professional 2016, Visio Professional 2016, Office 2016.

Microsoft Office 2016	Договор № Д32009689201 от 18.12.2020г Программные продукты Майкрософт, договор № Д32009689201 от 18.12.2020 с АО "СофтЛайн Трейд": Windows 10, Project Professional 2016, Visio Professional 2016, Office 2016.
Matlab версия R2019a	MATLAB договор №Д31908369487 от 01.11.2019 с ООО "Софтлайн Проекты"
MathCad версия 15	Mathcad сублицензионное соглашение на использование продуктов "РТС" с ООО"Софт Лоджистик" договор №20716/SPB9 2010 г.

#### 8.5. Материально-техническое обеспечение дисциплины

##### Сведения об оснащённости учебных аудиторий и помещений для самостоятельной работы

Наименование учебных аудиторий и помещений для самостоятельной работы	Оснащённость оборудованием и техническими средствами обучения
07. Помещения для самостоятельной работы	Помещение для самостоятельной работы (читальный зал библиотеки, ауд. 217): ПК-23 шт., в т.ч. 1 шт.- ПК для лиц с ОВЗ (системный блок, монитор, клавиатура, мышь) с подключением к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду СПбГАСУ. ПО Microsoft Windows 10, Microsoft Office 2016
07. Учебные аудитории для проведения практических занятий, курсового проектирования (выполнения курсовых работ), групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации	Комплект мультимедийного оборудования (персональный компьютер, мультимедийный проектор, экран, аудио-система), доска, комплект учебной мебели, подключение к компьютерной сети СПбГАСУ, выход в Интернет
07. Учебные аудитории для проведения лекционных занятий	Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа, комплект мультимедийного оборудования (персональный компьютер, мультимедийный проектор, экран, аудио-система), доска, экран, комплект учебной мебели, подключение к компьютерной сети СПбГАСУ, выход в Интернет

Для инвалидов и лиц с ОВЗ обеспечиваются специальные условия для получения образования в соответствии с требованиями нормативно-правовых документов.