

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Галунин Сергей Александрович  
Должность: Директор департамента образования  
Дата подписания: 02.06.2021 16:00:46  
Уникальный программный ключ:  
1cb4f9edcd6d31e931c556ddefa3b376a443365a5419cb3e3965cc688ec8658b



**СПбГЭТУ «ЛЭТИ»**  
ПЕРВЫЙ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ

МИНОБРАЗОВАНИЯ РОССИИ

федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
**«Санкт-Петербургский государственный Электротехнический университет  
«ЛЭТИ» им. В.И.Ульянова (Ленина)»**  
(СПбГЭТУ «ЛЭТИ»)



**УТВЕРЖДАЮ**

Директор департамента образования

С.А. Галунин

« 02.06.2021 » 2020 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА**

дисциплины

**«СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МАНИПУЛЯТОРНЫМИ РОБОТАМИ»**

для подготовки бакалавров

по направлению

**15.03.06 «МЕХАТРОНИКА И РОБОТОТЕХНИКА»**

по профилю

**«Мехатроника»**

Санкт-Петербург

2020

## ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

Разработчик

доцент, к.т.н.



Д.М. Филатов

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры САУ  
29.09.2020, протокол № 2-09/2020

Заведующий кафедрой САУ

д.т.н., доцент



В.Н. Шелудько

Рабочая программа рассмотрена и одобрена учебно-методической комиссией  
ФЭА, 30.09.2020, протокол № 2

Председатель УМК ФЭА

декан, к.т.н.



Ю.В. Сентябрьев

**Согласовано:**

Начальник ОМОЛА



О.В. Загороднюк

## 1 СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Обеспечивающий факультет	ФЭА
Обеспечивающая кафедра	САУ
Общая трудоемкость (ЗЕТ)	2
Курс	4
Семестр	8
<b>Виды занятий</b>	
Лекции (академ. часов)	20
Лабораторные занятия (академ. часов)	20
Практические занятия (академ. часов)	10
Иная контактная работа (академ. часов)	1
Все контактные часы (академ. часов)	51
Самостоятельная работа, включая часы на контроль (академ. часов)	21
Всего (академ. часов)	72
<b>Вид промежуточной аттестации</b>	
Дифф. зачет (курс)	4

## **2 АННОТАЦИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **«СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МАНИПУЛЯТОРНЫМИ РОБОТАМИ»**

Дисциплина включает изложение основ теории манипуляционных роботов и методов управления ими. Рассматриваются основные сведения о динамике манипуляционных механизмов, математические модели движения и методика их анализа. Подробно рассматриваются способы и алгоритмы кинематического управления манипуляторами.

Дисциплина поддерживается большим числом практических и лабораторных занятий, а также самостоятельной работой студентов по основным разделам программы.

### **SUBJECT SUMMARY**

#### **«THE CONTROL SYSTEM OF MANIPULATOR ROBOTS»**

The discipline includes a statement of the basic manipulation robots theory and methods of management. The basic information about the dynamics of manipulation mechanisms, mathematical models of motion and methods of their analysis are discussed. In detail the methods and algorithms of kinematic control of manipulators are discussed. Discipline is supported by a large number of practical and laboratory classes and independent work of students on the basic sections of the program.

## **3 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ**

### **3.1 Цели и задачи дисциплины**

1. Изучение основ теории манипуляционных роботов и методов управления ими. Овладение: знаниями об основных кинематических соотношениях; умениями формулировать прямую и обратную задачи позиционные задачи и прямую и обратную задачи о скорости звеньев манипулятора; навыками построения алгоритма управления манипулятором.

2. Формирование общего представления о динамике манипуляционных механизмов, математических моделях движения и методиках их анализа. Овладение: знаниями о показателях динамических свойств манипулятора; умениями составлять алгоритм вычисления сил и моментов реакции звеньев манипулятора; навыками составления дифференциальных уравнений движения манипулятора относительно обобщенных координат.

3. Освоение навыков практических методов исследования и расчетов исполнительной системы манипуляционного робота. Овладение: знаниями о средствах автоматизированного синтеза мехатронных систем; умениями разрабатывать системы управления для мехатронных и роботизированных технологических комплексов; навыками моделирования мехатронных и роботизированных технологических комплексов.

### **3.2 Место дисциплины в структуре ОПОП**

Дисциплина изучается на основе ранее освоенных дисциплин учебного плана:

1. «Теоретическая механика»
2. «Теория автоматического управления»

и обеспечивает подготовку выпускной квалификационной работы.

### 3.3 Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

В результате освоения образовательной программы обучающийся должен достичь следующие результаты обучения по дисциплине:

<b>Код компетенции/ индикатора компетенции</b>	<b>Наименование компетенции/индикатора компетенции</b>
ПК-1	Способен составлять математические модели мехатронных и робототехнических систем, их подсистем и отдельных элементов и модулей, включая информационные, электромеханические, гидравлические, электрогидравлические, электронные устройства и средства вычислительной техники
<i>ПК-1.1</i>	<i>Составляет математические модели динамических систем, их подсистем и отдельных элементов и модулей с последующей реализацией моделей средствами вычислительной техники</i>
ПК-2	Способен разрабатывать программное обеспечение, необходимое для обработки информации и управления в мехатронных и робототехнических системах, а также для их проектирования
<i>ПК-2.3</i>	<i>Применяет датчики различных типов для получения информации в мехатронных и робототехнических системах</i>
<i>ПК-2.4</i>	<i>Разрабатывает программное обеспечение для микроконтроллерного управления исполнительными механизмами, применяемыми в робототехнике и мехатронике</i>
ПК-6	Готов участвовать в подготовке технико-экономического обоснования проектов создания мехатронных и робототехнических систем, их подсистем и отдельных модулей
<i>ПК-6.2</i>	<i>Использует электронные устройства при создании экспериментальных макетов мехатронных и робототехнических систем</i>
ПК-7	Способен производить расчеты и проектирование отдельных устройств и подсистем мехатронных и робототехнических систем с использованием стандартных исполнительных и управляющих устройств, средств автоматики, измерительной и вычислительной техники в соответствии с техническим заданием
<i>ПК-7.4</i>	<i>Производит расчёт исполнительной системы манипуляционного робота и синтез систем управления для мехатронных и роботизированных технологических комплексов</i>
СПК-1	Способен осуществлять настройку мехатронных и робототехнических систем различного назначения
<i>СПК-1.1</i>	<i>Знает принципы работы мехатронных устройств и робототехнических систем</i>

## 4 СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 4.1 Содержание разделов дисциплины

#### 4.1.1 Наименование тем и часы на все виды нагрузки

№ п/п	Наименование темы дисциплины	Лек, ач	Пр, ач	Лаб, ач	ИКР, ач	СР, ач
1	Введение	1				1
2	Тема 1. Основные кинематические соотношения	2				2
3	Тема 2. Положение манипулятора в рабочем пространстве	2	2			2
4	Тема 3. Скорости и ускорения звеньев манипулятора	2	1			2
5	Тема 4. Кинематическое управление манипулятором	2	2			3
6	Тема 5. Уравнение кинестатики манипулятора	2	1			2
7	Тема 6. Система управления исполнительного уровня	2	2	20		2
8	Тема 7. Методы динамического управления манипуляторами	3	2			3
9	Тема 8. Логическое управление сложной робототехнической системой	3				3
10	Заключение	1			1	1
	Итого, ач	20	10	20	1	21
	Из них ач на контроль	0	0	0	0	0
	Общая трудоемкость освоения, ач/зе	72/2				

#### 4.1.2 Содержание

№ п/п	Наименование темы дисциплины	Содержание
1	Введение	Предмет дисциплины и ее задачи. Структура и содержание дисциплины, ее связь с другими дисциплинами учебного плана.
2	Тема 1. Основные кинематические соотношения	Манипулятор как механическая система. Преобразования координат, однородные координаты и преобразования. Определение положения и ориентации звеньев манипулятора, специальные системы координат.
3	Тема 2. Положение манипулятора в рабочем пространстве	Прямая и обратная позиционные задачи. Геометрия рабочего пространства манипулятора.

№ п/п	Наименование темы дисциплины	Содержание
4	Тема 3. Скорости и ускорения звеньев манипулятора	Вращение твердого тела. Скорости и ускорения звеньев манипулятора. Прямая и обратная задача о скорости. Кинематические свойства манипуляторов.
5	Тема 4. Кинематическое управление манипулятором	Планирование траекторий в пространстве обобщенных координат. Управление манипулятором в пространстве координат схвата.
6	Тема 5. Уравнение кинестатики манипулятора	Статика манипуляционных механизмов. Анализ рабочих сил и моментов. Показатели динамических свойств манипулятора.
7	Тема 6. Система управления исполнительного уровня	Математическая модель исполнительной системы, исследование линеаризованной модели. Автоматизированный синтез исполнительной системы.
8	Тема 7. Методы динамического управления манипуляторами	Методы, основанные на решении обратных задач динамики. Декомпозиция управления, силовая обратная связь и динамическое планирование.
9	Тема 8. Логическое управление сложной робототехнической системой	Понятие сложной системы, построение моделей подсистем, сетевой автомат, сеть автоматов. Метод управления сложной робототехнической системой.
10	Заключение	Перспективы развития мехатронных и робототехнических систем.

## 4.2 Перечень лабораторных работ

Наименование лабораторной работы	Количество ауд. часов
1. Ознакомление с устройством мобильного робота, со средой программирования MPLAB X и работа с дискретными портами ввода-вывода общего назначения	4
2. Работа с аналоговыми датчиками, размещенными на мобильном роботе	4
3. Использование прерываний при разработке программного обеспечения для системы управления мобильным роботом	4
4. Управление приводами гусениц робота	4
5. Создание программы, осуществляющей управление движением робота по траектории, заданной черной линией на белом фоне	4
Итого	20

## 4.3 Перечень практических занятий

Наименование практических занятий	Количество ауд. часов
1. Определение положения и ориентации звеньев манипулятора	1
2. Прямая и обратная позиционные задачи	1
3. Прямая и обратная задача о скорости	1
4. Кинематическое управление манипулятором	2

<b>Наименование практических занятий</b>	<b>Количество ауд. часов</b>
5. Уравнение кинетостатистики	1
6. Исследование линеаризованной модели исполнительной системы	2
7. Силовая обратная связь и динамическое планирование	2
Итого	10

#### **4.4 Курсовое проектирование**

Курсовая работа (проект) не предусмотрены.

#### **4.5 Реферат**

Реферат не предусмотрен.

#### **4.6 Индивидуальное домашнее задание**

Индивидуальное домашнее задание не предусмотрено.

#### **4.7 Доклад**

Доклад не предусмотрен.

#### **4.8 Кейс**

Кейс не предусмотрен.

#### **4.9 Организация и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы**

Изучение дисциплины сопровождается самостоятельной работой студентов с рекомендованными преподавателем литературными источниками и информационными ресурсами сети Интернет.

Планирование времени для изучения дисциплины осуществляется на весь период обучения, предусматривая при этом регулярное повторение пройденно-

го материала. Обучающимся, в рамках внеаудиторной самостоятельной работы, необходимо регулярно дополнять сведениями из литературных источников материал, законспектированный на лекциях. При этом на основе изучения рекомендованной литературы целесообразно составить конспект основных положений, терминов и определений, необходимых для освоения разделов учебной дисциплины.

Особое место уделяется консультированию, как одной из форм обучения и контроля самостоятельной работы. Консультирование предполагает особым образом организованное взаимодействие между преподавателем и студентами, при этом предполагается, что консультант либо знает готовое решение, которое он может предписать консультируемому, либо он владеет способами деятельности, которые указывают путь решения проблемы.

<b>Текущая СРС</b>	<b>Примерная трудоемкость, ач</b>
Работа с лекционным материалом, с учебной литературой	10
Опережающая самостоятельная работа (изучение нового материала до его изложения на занятиях)	0
Самостоятельное изучение разделов дисциплины	0
Выполнение домашних заданий, домашних контрольных работ	0
Подготовка к лабораторным работам, к практическим и семинарским занятиям	0
Подготовка к контрольным работам, коллоквиумам	11
Выполнение расчетно-графических работ	0
Выполнение курсового проекта или курсовой работы	0
Поиск, изучение и презентация информации по заданной проблеме, анализ научных публикаций по заданной теме	0
Работа над междисциплинарным проектом	0
Анализ данных по заданной теме, выполнение расчетов, составление схем и моделей, на основе собранных данных	0
Подготовка к зачету, дифференцированному зачету, экзамену	0
<b>ИТОГО СРС</b>	<b>21</b>

## 5 Учебно-методическое обеспечение дисциплины

### 5.1 Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины

№ п/п	Название, библиографическое описание	К-во экз. в библи.
Основная литература		
1	Зенкевич, Станислав Леонидович. Основы управления манипуляционными роботами [Текст] : учеб. для вузов по специальности "Роботы и робототехн. системы" / С. Л. Зенкевич, А. С. Ющенко, 2004. -478, [1] с.	12
2	Системы управления промышленными роботами и манипуляторами [Текст] : учеб. пособие / [Е. И. Юревич [и др.] ; отв. ред. Е. И. Юревич, 1980. -181, [1] с.	49
3	Лукинов, Александр Павлович. Проектирование мехатронных и робототехнических устройств [Текст] : учеб. пособие / А. П. Лукинов, 2012. -605 с.	неогр.
4	Управление мобильными роботами [Электронный ресурс] : метод. указ. к лаб. работам по дисциплине "Основы мехатроники и робототехники" / Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет им. В.И. Ульянова (Ленина) "ЛЭТИ", 2015. -1 эл. опт. диск (CD-ROM)	неогр.
Дополнительная литература		
1	Прокопов, Анатолий Афанасьевич. Компьютерные технологии автоматизации [Текст] : Учеб. пособие / А.А.Прокопов, Н.И.Татаринцев, Л.А.Цирлин, 2001. -74 с.	131

### 5.2 Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», используемых при освоении дисциплины

№ п/п	Электронный адрес
1	ЭБС «Издательства Лань» <a href="http://www.e.lanbook.com">http://www.e.lanbook.com</a>
2	ЭБС «Юрайт». Режим доступа: <a href="https://urait.ru/">https://urait.ru/</a>

### 5.3 Адрес сайта курса

Адрес сайта курса: <https://vec.etu.ru/moodle/course/view.php?id=5930>

## 6 Критерии оценивания и оценочные материалы

### 6.1 Критерии оценивания

Для дисциплины «Системы управления манипуляторными роботами» формой промежуточной аттестации является зачет с оценкой.

#### Зачет с оценкой

<b>Оценка</b>	<b>Описание</b>
Неудовлетворительно	Курс не освоен. Студент испытывает серьезные трудности при ответе на ключевые вопросы дисциплины
Удовлетворительно	Студент в целом овладел курсом, но некоторые разделы освоены на уровне определений и формулировок теорем
Хорошо	Студент овладел курсом, но в отдельных вопросах испытывает затруднения. Умеет решать задачи
Отлично	Студент демонстрирует полное овладение курсом, способен применять полученные знания при решении конкретных задач.

## **Особенности допуска**

Для допуска к зачету с оценкой необходимо посещение не менее 80% лекций и практических занятий и выполнение 5 лабораторных работ

## **6.2 Оценочные материалы для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине**

### **Образцы задач (заданий) для контрольных (проверочных) работ**

Примерные вопросы к коллоквиуму:

1. Запишите уравнение статического равновесия трехзвенного манипулятора, содержащего только поступательные кинематические пары

2. Запишите уравнение статического равновесия трехзвенного манипулятора, содержащего только поступательные пары вращения

3. Запишите уравнение статического равновесия для шестизвенного манипулятора типа PUMA-560, у которого первые три пары вращательные, а три последующие – поступательные.

4. Напишите соотношение, определяющее силу реакции и момент реакции опоры манипулятора имеющего три вращательные пары.

5. Объясните, почему для вычисления сил и моментов, действующих на звенья манипулятора, целесообразно применять метод обратной рекурсии.

6. Составьте алгоритм вычисления сил и моментов реакции звеньев манипулятора, имеющего плоскую трехзвенную конструкцию с вращательными парами, если заданы значения обобщенных координат.

7. Составьте алгоритм вычисления эллипсов развиваемых сил для плоского двухзвенного манипулятора.

8. Поясните, для решения каких практических задач можно использовать эллипсоиды развиваемых манипулятором сил.

9. Что характеризуют главные оси эллипсоида сил: их величины или направления?

10. Сформулируйте первую и вторую задачи динамики применительно к манипуляционному механизму.

Весь комплект контрольно-измерительных материалов для проверки сформированности компетенции (индикатора компетенции) размещен в закрытой части по адресу, указанному в п. 5.3

### 6.3 График текущего контроля успеваемости

Неделя	Темы занятий	Вид контроля
1	Тема 4. Кинематическое управление манипулятором	
2		
3		
4		
5		Коллоквиум
6	Заключение	
7		
8		
9		
10		Коллоквиум

### 6.4 Методика текущего контроля

**Методика текущего контроля на лекционных и практических занятиях.**

Текущий контроль включает в себя контроль посещаемости (не менее 80% занятий).

#### **Методика текущего контроля на лабораторных занятиях.**

Порядок выполнения лабораторных работ, подготовки отчетов и их защиты. В процессе обучения по дисциплине студент обязан выполнить 5 лабораторных работ. Под выполнением лабораторных работ подразумевается подготовка к работе, проведение экспериментальных исследований, подготовка отчета и его защита на коллоквиуме.

Выполнение лабораторных работ студентами осуществляется индивидуально (или в бригадах по два человека). Оформление отчета студентами осуществляется индивидуально или в количестве одного отчета на бригаду в соответствии с принятыми в СПбГЭТУ правилами оформления студенческих работ. Отчет оформляется после выполнения экспериментальных исследований и представляется преподавателю на проверку. После проверки отчет либо возвращается (при наличии замечаний) на доработку, либо подписывается к защите.

В конце семестра предусматривается проведение коллоквиума, на которых осуществляется защита лабораторных работ. Лабораторные работы защищаются студентами индивидуально. Каждый студент получает вопрос по теоретической части, или по процедуре проведения экспериментальных исследований, или по последующей обработке результатов, после чего ему предоставляется время для подготовки ответа. При обсуждении ответа преподаватель может задать несколько уточняющих вопросов. В случае если студент демонстрирует достаточное знание вопроса, работа считается защищенной.

На защите лабораторной работы студент должен показать: понимание методики исследования и знание особенностей её применения, понимание и умение объяснять особенности применяемых методов, возможные области их применения и т.д., умение давать качественную и количественную оценку полученных экспериментальных результатов и прогнозировать реакции исследуемого объекта на различные воздействия, навыки и умения, приобретенные при выполнении лабораторной работы. Примеры контрольных вопросов приведены в методических указаниях по выполнению лабораторных работ.

В середине семестра проводится промежуточный коллоквиум, на котором осуществляет проверка знаний, полученный студентом за истекший период.

Текущий контроль включает в себя выполнение, сдачу в срок отчетов и их защиту по всем лабораторным работам.

## 7 Описание информационных технологий и материально-технической базы

Тип занятий	Тип помещения	Требования к помещению	Требования к программному обеспечению
Лекция	Лекционная аудитория	Количество посадочных мест – в соответствии с контингентом, рабочее место преподавателя, ПК или ноутбук, экран, проектор	1) Windows XP и выше; 2) Microsoft Office 2007 и выше
Лабораторные работы	Лаборатория	Количество посадочных мест – в соответствии с контингентом, ПК, мобильные гусеничные роботы	1) ОС Windows XP и выше; 2) MPLAB X; 3) MatLab 2020 и выше
Практические занятия	Аудитория	Количество посадочных мест – в соответствии с контингентом, меловая или маркерная доска	нет
Самостоятельная работа	Помещение для самостоятельной работы	Оснащено компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду университета.	1) Windows XP и выше; 2) Microsoft Office 2007 и выше

## **8 Адаптация рабочей программы для лиц с ОВЗ**

Адаптированная программа разрабатывается при наличии заявления со стороны обучающегося (родителей, законных представителей) и медицинских показаний (рекомендациями психолого-медико-педагогической комиссии). Для инвалидов адаптированная образовательная программа разрабатывается в соответствии с индивидуальной программой реабилитации.

## ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ

<b>№ п/п</b>	<b>Дата</b>	<b>Изменение</b>	<b>Дата и номер протокола заседания УМК</b>	<b>Автор</b>	<b>Начальник ОМОЛА</b>