

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Воронежский государственный технический университет»

УТВЕРЖДАЮ

Директор строительного-политехнического  
колледжа

\_\_\_\_\_ / А.В. Облиенко /

\_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА**

**Междисциплинарного курса**

МДК.03.02 Моделирование мехатронных систем

*код по учебному плану*

*наименование дисциплины*

**Специальность:** 15.02.10 Мехатроника и мобильная робототехника (по отраслям),

**Квалификация выпускника:** техник-мехатроник

**Нормативный срок обучения:** 3г 10м

**Форма обучения:** очная

Автор программы к.т.н., доцент, Трубецкой В.А.

Программа обсуждена на заседании методического совета СПК

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ года Протокол № \_\_\_\_\_

Председатель методического совета СПК \_\_\_\_\_

**Воронеж 2019**

Программа дисциплины разработана на основе Федерального государственного образовательного стандарта (далее – ФГОС) по специальности среднего профессионального образования (далее – СПО) 15.02.10 Мехатроника и мобильная робототехника (по отраслям), утвержденного приказом Министерства образования и науки РФ от 9 декабря 2016 г. № 1550.

Организация-разработчик: ВГТУ

Разработчик:

Трубецкой В.А., к.т.н., доцент  
Ф.И.О., ученая степень, звание, должность

# 1 ПАСПОРТ ПРОГРАММЫ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

## Моделирование мехатронных систем

### 1.1 Область применения программы

Программа учебной дисциплины является частью основной профессиональной образовательной программы в соответствии с ФГОС по специальности СПО 15.02.10 Мехатроника и мобильная робототехника

код

наименование специальности

Программа учебной дисциплины может быть использована Рабочая программа дисциплины может быть использована в дополнительном профессиональном образовании (в программах повышения квалификации и переподготовки) по профессиям рабочих:

18494 Слесарь по контрольно-измерительным приборам и автоматике

### 1.2 Место учебной дисциплины в структуре основной профессиональной образовательной программы:

Дисциплина «Моделирование мехатронных систем» относится к \_\_\_\_\_ части профессионального цикла учебного плана.

### 1.3. Цели и задачи междисциплинарного курса - требования к результатам освоения междисциплинарного курса

В результате освоения учебной дисциплины обучающийся должен уметь:

- составлять кинематические и динамические модели по технической документации и в результате опытных исследований объектов;
- использовать математические модели для отработки типовых режимов физических объектов.
- составлять расчетные схемы простых мехатронных систем в соответствии с целями и задачами исследования;
- определять параметры мехатронных систем путем анализа технической документации и проведения экспериментальных исследований.

В результате освоения учебной дисциплины обучающийся должен знать:

- основные методы составления моделей мехатронных систем;
- перечень показателей, характеризующих работу мехатронных систем и варианты математических моделей, предназначенных для исследования этих показателей;
- геометрический метод составления кинематических моделей различных вариантов манипуляционных устройств.

#### 1.4 Рекомендуемое количество часов на освоение программы учебной дисциплины:

максимальной учебной нагрузки обучающегося 306 часов, в том числе:  
обязательной аудиторной учебной нагрузки обучающегося 264 часов;  
консультации 8 часа;  
самостоятельной работы обучающегося 12 часа.

### 2. РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Результатом освоения дисциплины является овладение обучающимися знаниями и умениями, входящими в сферу общей и профессиональной компетенций:

Код	Наименование результата обучения
ПК 3.1	Составлять схемы простых мехатронных систем в соответствии с техническим заданием.
ПК 3.3	Оптимизировать работу компонентов и модулей мехатронных систем в соответствии с технической документацией.

### 3 СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

#### 3.1 Объем учебной дисциплины и виды учебной работы

Вид учебной работы	Объем часов
<b>Общая нагрузка (всего)</b>	<b>306</b>
<b>Взаимодействие с преподавателем (всего)</b>	<b>264</b>
в том числе:	
лекции	96
практические занятия	82
лабораторные работы	58
курсовое проектирование	28
<b>Промежуточная аттестация</b>	<b>22</b>
<b>Самостоятельная работа (всего)</b>	<b>12</b>
в том числе:	
работа с конспектом лекций;	6
повторная работа над учебным материалом	6
<b>Консультации</b>	<b>8</b>
Итоговая аттестация в форме <i>экзамен</i>	

### 3.2 Тематический план и содержание учебной дисциплины

Наименование разделов и тем	Содержание учебного материала, лабораторные работы и практические занятия, самостоятельная работа обучающихся, курсовая работа (проект)	Объем часов	Уровень освоения	
<b>МДК02.01</b> <b>«Моделирование мехатронных систем»</b>				
	<b>5 семестр</b>			
<b>Тема 1.</b> Введение. Основные понятия и определения. Виды моделей технических систем.	<b>Содержание</b>		2	
	1 Понятие физической, аналоговой, математической и имитационной моделей. Преимущества и недостатки.	2		
	2 Виды математических моделей. Выбор варианта математических моделей, соответствующих целям и задачам исследования.	2		
	3 Перечень выходных показателей мехатронных систем. Понятие полной модели, кинематической, динамической, экономической.	2		
	4 Понятие модели «черный ящик», «состава», «структуры» и «структурной схемы».	2		
	<b>Самостоятельная работа</b>			
	работа с конспектом лекций	0,5		
<b>Тема 2.</b> Модели мехатронных систем.	<b>Содержание</b>		2	
	5 Функциональные и структурные модели мехатронных систем. Особенности функциональной модели. Вертикальный и горизонтальный уровни моделирования. Модель «структурная схема».	2		
	6 Принципиальные схемы мехатронных устройств. Условные обозначения элементов и узлов принципиальных схем. ГОСТы.	2		
	7 Функциональная схема и схема соединений. Условные обозначения элементов. Чтение чертежей. ГОСТы.	2		
	<b>Практическое занятие</b>			
	1 Изучение на конкретных примерах методики составления моделей мехатронных систем.	2		
	2 «Полная» модель системы в примерах и задачах.	2		
	<b>Самостоятельная работа</b>			
		работа с конспектом лекций		0,5
	<b>Тема 3.</b> Кинематическая модель мехатронных устройств	<b>Содержание</b>		
8 Определение кинематической модели. Состав кинематической модели. Упрощения, принятые при составлении кинематических моделей.		2		
9 Виды и типы кинематических пар, их условное обозначение на схемах. Расчетная кинематическая модель манипуляционных устройств.		2		

	Понятие транспортных (переносных) и ориентирующих степеней подвижности.	
10	Кинематические модели типовых вариантов манипуляционных устройств.	2
11	Геометрический метод составления уравнений кинематики манипуляционных устройств с учетом только переносных степеней подвижности.	2
12	Составление кинематических моделей для роботов с цилиндрической системой координат.	2
13	Составление кинематических моделей для роботов с сферической системой координат.	2
14	Составление кинематических моделей для роботов с угловой системой координат.	2
<b>Практическое занятие</b>		
3	Составление расчетной кинематической модели по технической документации.	2
4	Определение параметров кинематической модели и ограничения на обобщенные координаты манипуляционного устройства по техническому описанию объекта.	2
5	Изучение графических обозначений элементов мехатронных устройств для различных вариантов объектов.	2
6	Составление кинематической модели робота с угловой системой координат методов геометрических проекций.	2
7	Составление кинематической модели робота с цилиндрической системой координат методов геометрических проекций.	2
8	Составление кинематической модели робота со сферической системой координат методов геометрических проекций.	2
<b>Лабораторные работы</b>		
1	Составление кинематической модели манипуляционного устройства для заданного варианта робота путем экспериментальных исследований с использованием измерительных устройств.	2
2	Расчет геометрических характеристик робота с использованием расчетных кинематических моделей. Сопоставление полученных результатов с экспериментальными исследованиями.	2
3	Экспериментальное определение коэффициентов и углов сервиса для роботов с угловой системой координат.	2
4	Решение обратной задачи кинематики с использованием полученных кинематических моделей и сравнение результатов моделирования с экспериментальными исследованиями.	2
<b>Самостоятельная работа</b>		
	работа с конспектом лекций	2

<b>Тема 4.</b> Динамическая модель мехатронных устройств.	<b>Содержание</b>		3	
	15	Понятие динамической модели. Перечень методов составления динамических моделей. Метод Лагранжа.		2
	16	Кинетическая и потенциальная энергии звеньев манипуляционных устройств. Понятие материальной точки, тонкого однородного стержня. Методика определения полной кинетической и потенциальной энергии мехатронных систем с учетом всех возможных перемещений их элементов.		2
	<b>Лабораторные работы</b>			
	5	Определение динамических параметров мехатронных устройств путем экспериментальных исследований.		2
	6	Экспериментальное определение момента инерции механизма методом свободного выбега.		2
	7	Экспериментальное определение механической постоянной времени исполнительного двигателя степени подвижности робота		2
	8	Экспериментальное определение электромагнитной постоянной времени исполнительного двигателя степени подвижности робота		2
	<b>Самостоятельная работа</b>			
		работа с конспектом лекций		1
<b>6 семестр</b>				
<b>Тема 5.</b> Сущность геометрического метода проецирования. Расчетная кинематическая модель. Варианты кинематических моделей типовых компоновок манипуляционных устройств.	<b>Содержание</b>		2	
	17	Математические основы метода геометрического проецирования. Функции прямоугольного треугольника. Теорема косинусов.		2
	18	Расчетная кинематическая модель робота с прямоугольной и цилиндрической системой координат.		2
	19	Расчетная кинематическая модель робота со сферической системой координат.		2
	20	Расчетная кинематическая модель робота с угловой системой координат.		2
	<b>Практическое занятие</b>			
	9	Получение уравнений кинематики для робота с цилиндрической системой координат. Примеры использования расчетно-кинематической модели при решении задач робототехники.		2
	10	Получение уравнений кинематики для робота со сферической системой координат. Примеры использования расчетно-кинематической модели при решении задач робототехники.		2
	11	Получение уравнений кинематики для робота с угловой системой координат. Примеры использования расчетно-кинематической модели при решении задач робототехники.		2
	<b>Лабораторные работы</b>			
	9	Моделирование электромеханических преобразователей энергии.		2

	10	Исследование модели электромеханических преобразователей энергии.	2	
	<b>Самостоятельная работа</b>			
		работа с конспектом лекций	2	
<b>Тема 6.</b> Использование кинематических моделей для расчета характеристик робота.	<b>Содержание</b>			
	21	Прямая и обратная задачи кинематики. Варианты постановки задач.	2	2
	22	Использование кинематических моделей для расчета сервисных характеристик, формы и размеров зон обслуживания.	2	
	23	Решение обратной задачи кинематики для робота с цилиндрической системой координат. Определение обобщенных координат манипуляционного устройства по заданным ортогональным координатам рабочего органа.	2	
	24	Решение обратной задачи кинематики для робота со сферической системой координат. Определение обобщенных координат манипуляционного устройства по заданным ортогональным координатам рабочего органа	2	
	25	Решение обратной задачи кинематики для робота с угловой системой координат. Определение обобщенных координат манипуляционного устройства по заданным ортогональным координатам рабочего органа	2	
	26	Методика расчета кинематических погрешностей в роботах агрегатно-модульного типа.	2	
	<b>Практическое занятие</b>			
	12	Расчет законов изменения обобщенных координат манипуляционного устройства для робота с цилиндрической системой координат по заданной траектории перемещения рабочего органа.	2	
	13	Расчет законов изменения обобщенных координат манипуляционного устройства для робота со сферической системой координат по заданной траектории перемещения рабочего органа.	2	
	14	Расчет законов изменения обобщенных координат манипуляционного устройства для робота с угловой системой координат по заданной траектории перемещения рабочего органа.	2	
	<b>Лабораторные работы</b>			
	11	Исследование кинематики манипуляторов с цилиндрической системой координат	2	
	12	Исследование кинематики манипуляторов с угловой системой координат	2	
<b>Самостоятельная работа</b>				
		работа с конспектом лекций	2	
<b>Тема 7.</b> Расчетная динамическая модель манипуляционного устройства.	27	Расчет кинетических и потенциальных энергий для элементов манипуляционного устройства и полной энергии всей системы с учетом возможных перемещений звеньев манипулятора для робота с цилиндрической системой координат.	2	3

	28	Расчет кинетических и потенциальных энергий для элементов манипуляционного устройства и полной энергии всей системы с учетом возможных перемещений звеньев манипулятора для робота со сферической системой координат.	2	
	29	Расчет кинетических и потенциальных энергий для элементов манипуляционного устройства и полной энергии всей системы с учетом возможных перемещений звеньев манипулятора для робота с угловой системой координат.	2	
	<b>Практическое занятие</b>			
	15	Расчет суммарной кинематической ошибки робота с различными вариантами компоновки.	2	
	16	Обоснование выбора варианта компоновки манипуляционного устройства по условию обеспечения минимальной погрешности.	2	
	<b>Лабораторные работы</b>			
	13	Исследование динамики манипуляторов с цилиндрической системой координат.	2	
	14	Исследование динамики манипуляторов со сферической системой координат.	2	
	15	Моделирование импульсного оптического датчика положения.	2	
	16	Исследование модели импульсного оптического датчика положения.	2	
	<b>Самостоятельная работа</b>			
		работа с конспектом лекций	1	
	<b>7 семестр</b>			
<b>Тема 7.</b> Функциональные и структурные модели мехатронных систем. Горизонтальный и вертикальный уровни моделирования.	30	Понятие геометрической модели элементов мехатронных систем. Геометрическая компоновка.	2	3
	31	Варианты геометрических компоновок мехатронных систем. Преимущества и недостатки.	2	
	32	Методика расчета геометрической компоновки РТС. Расчетные модели элементов мехатронных систем. Понятие базовой и подвижной системы координат.	2	
	33	Понятие карты технологического процесса. Основные элементы карты технологического процесса и условные их обозначения.	2	
	34	Технико-экономическое обоснование применения промышленных роботов в составе роботизированного производства. Определение узких мест.	2	
	35	Понятие индивидуального программирования и диспетчеризации	2	
	36	Расчет циклограммы функционирования робота в составе РТС.	2	
	37	Варианты типовых воздействий при отработке режимов работы робота в составе РТС.	2	
	38	Расчет параметров программного движения при трапецеидальном законе отработки скорости.	2	

39	Расчет параметров программного движения при треугольном законе отработки скорости.	2
40	Понятие ритмичности производства. Варианты парциальной и одновременной работы степеней подвижности робота в составе РТС. Минимизация времени рабочего цикла.	2
<b>Практическое занятие</b>		
17	Решение задач на разработку вариантов схем геометрической компоновки роботизированного участка. Изучение условных изображений элементов РТС и нормативов, используемых при расчете компоновок.	2
18	Расчет варианта линейной компоновки элементов технологического оборудования в составе мехатронной системы.	2
19	Расчет варианта круговой компоновки элементов технологического оборудования в составе мехатронной системы.	2
20	Расчет циклограммы функционирования роботизированного технологического комплекса.	2
21	Автоматизация загрузки, транспортирования и складирования в условиях автоматизированного производства. Пример расчета.	2
22	Расчет параметров программного движения робота при отработке треугольного закона задания скорости.	2
23	Расчет параметров программного движения робота при отработке трапецеидального закона задания скорости.	2
24	Расчет нагрузочной диаграммы привода при отработке треугольного закона задания скорости.	2
25	Расчет нагрузочной диаграммы привода при отработке трапецеидального закона задания скорости.	2
<b>Лабораторные работы</b>		
17	Моделирование исполнительной системы робота: модель исполнительного двигателя	2
18	Моделирование исполнительной системы робота: модель манипуляционного устройства	2
19	Моделирование геометрической компоновки участка механообработки	2
20	Моделирование геометрической компоновки участка механообработки	2
21	Моделирование управляемого движения робота.	2
22	Моделирование управляемого движения робота (продолжение).	2
23	Моделирование прямой и обратной задач кинематики	2
24	Моделирование прямой и обратной задач кинематики (продолжение).	2
25	Моделирование прямой и обратной задач динамики	2
26	Моделирование прямой и обратной задач динамики (продолжение).	2
<b>Самостоятельная работа</b>		
	работа с конспектом лекций	1

<b>Тема 8.</b> Модели захватных устройств роботов. Кинематический и силовой расчет захватных устройств.	41	Варианты захватных устройств по принципу действия: механические, вакуумные и магнитные.	2	3		
	42	Механические захватные устройства: уравнения для расчета удерживающего усилия при различных вариантах захватывания и удержания объекта манипулирования.	2			
	43	Расчет удерживающего усилия для вакуумных захватных устройств. Преимущества и недостатки вакуумных захватных устройств.	2			
	44	Электромагнитные захватные устройства: математические модели и физические принципы функционирования. Уравнения для расчета удерживающего усилия.	2			
	<b>Практическое занятие</b>					
	26	Расчет удерживающего усилия для расчетной схемы №1.	2			
	27	Расчет удерживающего усилия для расчетной схемы №2.	2			
	28	Расчет удерживающего усилия для расчетной схемы №3.	2			
	29	Расчет удерживающего усилия для вакуумных захватных устройств.	2			
	30	Расчет удерживающего усилия для электромагнитных захватных устройств.	2			
	31	Расчетная схема захватного устройства с рычажно-шарнирным передаточным механизмом.	2			
	32	Силовой расчет захватных устройств.	2			
	33	Расчет параметров взаимодействия схвата с объектом.	2			
	34	Кинематический анализ захватного устройства.	2			
	<b>Лабораторные работы</b>					
	27	Моделирование кинематики захватного устройства механического типа	2			
	<b>Самостоятельная работа</b>					
		работа с конспектом лекций	1			
	<b>Тема 9.</b> Алгоритмы работы мехатронных устройств.	45	Схема алгоритмов мехатронных устройств. Элементы схем. Условно-графические обозначения элементов.		2	3
		46	Схема алгоритмов функционирования робота в составе РТС при работе с несколькими элементами технологического оборудования.		2	
47		Схема алгоритма работы промышленного робота в составе роботизированного технологического комплекса.	2			
48		Методика построения циклограмм функционирования роботизированного технологического комплекса.	2			
<b>Практическое занятие</b>						
35		Построение алгоритма расчета исполнительной системы.	2			
36		Построение алгоритма расчета информационной системы.	2			
34		Построение алгоритма расчета системы управления.	2			
38		Построение алгоритма выбора кинематической модели по условиям минимальной кинематической погрешности	2			

39	Построение алгоритма выбора кинематической модели по условиям быстрогодействия	2	
40	Построение алгоритма моделирования кинематических компоновок манипуляционных устройств	2	
41	Построение алгоритма функционирования робота в составе РТК механообработки	2	
<b>Лабораторные работы</b>			
27	Проектирование геометрической компоновки РТК	2	
29	Проектирование геометрической компоновки РТК (продолжение)	2	
<b>Самостоятельная работа</b>			
	работа с конспектом лекций	1	
<b>Самостоятельная работа при изучении дисциплины</b>		12	
<b>Примерная тематика внеаудиторной самостоятельной работы</b>			
1. Имитационное моделирование.			
<b>Примерная тематика курсовой работы</b>			
Тематика курсовых проектов в общем случае должна быть направлена на моделирование элементов мехатронных систем.			
<b>Обязательная аудиторная учебная нагрузка по курсовой работе</b>		28	

## **4. УСЛОВИЯ РЕАЛИЗАЦИИ МЕЖДИСЦИПЛИНАРНОГО КУРСА**

### **4.1. Требования к минимальному материально-техническому обеспечению**

Реализация междисциплинарного курса предполагает наличие учебных кабинетов:

- лаборатория робототехнических систем;
- лаборатория управления робототехнических комплексов;
- лаборатория электроники, электротехники и электропривода.

### **Оборудование учебного кабинета и рабочих мест кабинета**

#### **Конструирования и производства радиоаппаратуры:**

стенды для исследования элементов систем управления и исполнительных систем роботов

### **4.2. Информационное обеспечение обучения**

#### **Перечень рекомендуемых учебных изданий, Интернет-ресурсов, дополнительной литературы**

Основные источники:

1. Юревич Е. И. Основы робототехники : учеб. пособие 2-е изд. - СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 416 с.
2. Проектирование исполнительных систем роботов: учеб. пособие / [Электронный ресурс]. – Электрон. текстовые и граф. данные ( 795 Кб) / В.А. Трубецкой, В.А. Медведев, С.С. Ревнёв. - Воронеж: ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», 2018.
3. Келим Ю.М. Электромеханические и магнитные элементы систем автоматики: Учеб. пособие для средн. проф. учеб. заведений / Ю.М.Келим. – 2-е инд., исправл. и доп. – М.: Высш. шк., 2004. – 352 с.

Дополнительные источники:

1. Муконин А.К. Электрический привод: учеб. пособие [Электронный ресурс]. – Электрон. текстовые и граф. данные (Мб) / А. К. Муконин, А. В. Романов, В. А. Трубецкой. - Воронеж: ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», 2019. - 1 электрон. опт. диск (CD-ROM)

## 5. КОНТРОЛЬ И ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ ОСВОЕНИЯ МЕЖДИСЦИПЛИНАРНОГО КУРСА (ВИДА ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ)

Результаты (освоенные профессиональные компетенции)	Основные показатели оценки результата	Формы и методы контроля и оценки
ПК 3.1 Составлять схемы простых мехатронных систем в соответствии с техническим заданием.	<ul style="list-style-type: none"> <li>– умение составлять расчетные схемы простых мехатронных систем в соответствии с целями и задачами исследования;</li> <li>- умение определять по технической документации вариант кинематической модели и ее параметры;</li> <li>- умение решать прямую и обратную задачи кинематики, используя расчетные кинематические схемы.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Наблюдение на практических занятиях</li> <li>Отчет по лабораторным работам</li> <li>Оценка на экзамене</li> </ul>
ПК 3.3 Оптимизировать работу компонентов и модулей мехатронных систем в соответствии с технической документацией.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- умение оптимизировать работу компонентов и модулей мехатронных систем в;</li> <li>- знание перечня показателей, характеризующих работу мехатронных систем</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Наблюдение на практических занятиях</li> <li>Отчет по лабораторным работам</li> <li>Оценка на экзамене</li> </ul>

### Разработчики:

ФГБОУ ВО «ВГТУ»

*(место работы)*

доцент

*(занимаемая должность)*

*(подпись)*

В.А.Трубецкой

*(инициалы, фамилия)*

### Руководитель образовательной программы

\_\_\_\_\_  
*(должность)*

\_\_\_\_\_  
*(подпись)*

\_\_\_\_\_  
*(ФИО)*

### Эксперт

\_\_\_\_\_  
*(место работы)*

\_\_\_\_\_  
*(занимаемая должность)*

\_\_\_\_\_  
*(подпись) (инициалы, фамилия)*

М П  
организации