

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ им. В.Г.ШУХОВА»
(БГТУ им. В. Г. Шухова)

УТВЕРЖДАЮ

Директор института энергетики, информационных
технологий и управляющих систем

канд. техн. наук, доцент  А. В. Белоусов

« 20 » _____ 2021 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

дисциплины

МЕХАТРОННЫЕ СИСТЕМЫ

направление подготовки

13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

профиль подготовки

Электропривод и автоматика

Квалификация

бакалавр

Форма обучения

очная

Институт энергетики, информационных технологий и управляющих систем

Кафедра электроэнергетики и автоматике

Белгород – 2021

Рабочая программа составлена на основании требований:

- Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» (уровень бакалавриата), утвержденного приказом Министерства образования и науки Российской Федерации № 144 от 28 февраля 2018 г.;
- плана учебного процесса БГТУ им. В. Г. Шухова, введенного в действие в 2021 году.

Составитель: канд. техн. наук, доцент  О. Ю. Приходько

Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры электроэнергетики и автоматике

« 15 » мая 2021 г., протокол № 18

Заведующий кафедрой: канд. техн. наук, доцент  А. В. Белоусов

Рабочая программа согласована с выпускающей кафедрой электроэнергетики и автоматике

Заведующий кафедрой: канд. техн. наук, доцент  А. В. Белоусов

« 15 » мая 2021 г.

Рабочая программа одобрена методической комиссией института энергетики, информационных технологий и управляющих систем

« 20 » мая 2021 г., протокол № 9

Председатель: канд. техн. наук, доцент  А. Н. Семернин

1. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Категория (группа) компетенций	Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Наименование показателя оценивания результата обучения по дисциплине
профессиональная	ПК-2. Способен разрабатывать простые узлы и блоки системы электропривода с применением современного программного обеспечения	ПК-2.2. Рассчитывает и разрабатывает простые узлы и блоки мехатронных и робототехнических систем с применением специализированного программного обеспечения	<p>Знания принципов действия и математического описания составных частей мехатронных и робототехнических систем (информационных, электромеханических, электрогидравлических, электронных элементов и средств вычислительной техники)</p> <p>Умения применять необходимые для построения моделей знания принципов действия и математического описания составных частей мехатронных и робототехнических систем (информационных, электромеханических, электрогидравлических, электронных элементов и средств вычислительной техники); проводить кинематические, прочностные расчеты, оценки точности механических узлов.</p> <p>Навыки проведения аналитических, имитационных и экспериментальных исследований для целей проектирования, производства и эксплуатации мехатронных и робототехнических средств и систем.</p>

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

1. Компетенция ПК-2. Способен разрабатывать простые узлы и блоки системы электропривода с применением современного программного обеспечения

Данная компетенция формируется следующими дисциплинами.

Стадия	Наименования дисциплины
1	Электрический привод
2	Мехатронные системы
3	Системы управления электроприводов
4	Электропривод в современных технологиях
5	Микроконтроллеры в электроприводе
6	Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы

3. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 зач. единиц, 180 часов.

Дисциплина реализуется в рамках практической подготовки: 2 зач.единицы.

Форма промежуточной аттестации экзамен (6 семестр)

Вид учебной работы	Всего часов	Семестр № 6
Общая трудоемкость дисциплины, час	180	180
Контактная работа (аудиторные занятия), в т.ч.:	73	73
лекции	34	34
лабораторные	17	17
практические	17	17
групповые консультации в период теоретического обучения и промежуточной аттестации	5	5
Самостоятельная работа студентов, включая индивидуальные и групповые консультации, в том числе:	71	71
Курсовой проект	-	-
Курсовая работа	-	-
Расчетно-графическое задание	18	18
Индивидуальное домашнее задание		
Самостоятельная работа на подготовку к аудиторным занятиям (лекции, практические занятия, лабораторные занятия)	53	53
Экзамен	36	36

4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

4.1 Наименование тем, их содержание и объем

Курс 3 Семестр 6

№ п/п	Наименование раздела (краткое содержание)	Объем на тематический раздел по видам учебной нагрузки, час			
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия	Самостоятельная работа
1. Введение. Основные термины и определения					
1	Этапы развития мехатроники. Классификация мехатронных объектов. Структура и принципы интеграции мехатронных модулей и машин. История развития робототехники. Классификация роботов.	2			1
2. Кинематика манипулятора					
1	Основные задачи кинематики манипулятора. Прямая зада-	2		3	4

№ п/п	Наименование раздела (краткое содержание)	Объем на тематический раздел по видам учебной нагрузки, час			
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия	Самостоятельная работа
	ча кинематики. Матрицы сложных поворотов.				
2	Матрица поворота вокруг произвольной оси. Представление матриц поворота через углы Эйлера.	2	2		4
3	Геометрический смысл матриц поворота. Свойства матриц поворота. Однородные координаты и матрицы преобразований.	2	2		4
4	Звенья, сочленения и их параметры. Представление Дена-вита-Хартенберга. Алгоритм формирования систем координат звеньев.	2			4
5	Уравнения кинематики манипулятора. Классификация манипуляторов. Обратная задача кинематики. Метод обратных преобразований.	4	2	3	4
6	Геометрический подход. Определение различных конфигураций манипулятора. Решение обратной задачи кинематики для первых трех сочленений, Решение для первого сочленения. Решение для второго сочленения.	4	2	3	4
7	Решение для третьего сочленения. Решение обратной задачи кинематики для последних трех сочленений. Решение для четвертого сочленения. Решение для пятого сочленения. Решение для шестого сочленения.	4	2		4
3. Кинематика движения					
1	Вращающиеся системы координат.	2	2		4
2	Подвижные системы координат. Кинематика звеньев.	2	2	4	4
3	Рекуррентные уравнения динамики манипулятора	2	2	4	4
4. Планирование траекторий манипулятора					
1	Типы управления манипулятором	2			4
2	Сглаженные траектории в пространстве присоединенных переменных. Расчет 4-3-4- траектории	2	1		4
3	Граничные условия для 4-3-4- траектории	2			4
ИТОГО:		34	17	17	53

4.2. Содержание практических (семинарских) занятий

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Тема практического (семинарского) занятия	К-во часов	Самостоятельная работа на подготовку к аудиторным занятиям
1	Кинематика манипулятора	Матрицы элементарных поворотов	2	2
		Матрицы сложных поворотов	2	2
		Матрицы поворота через углы Эйлера	2	2

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Тема практического (семинарского) занятия	К-во часов	Самостоятельная работа на подготовку к аудиторным занятиям
		ра. Три системы углов Эйлера.		
		Решения для первого - третьего сочленений	2	2
		Решения для четвертого - шестого сочленений	2	2
2	Кинематика движения	Соотношение, определяющее связь между скоростями одной и той же точки во вращающейся и неподвижной системах координат	2	2
		Положение точки в подвижной системе координат $Ox^*Y^*Z^*$, которая совершает вращательное и поступательное движения относительно инерциальной системы координат $OXYZ$.	2	2
		Рекуррентные уравнения динамики манипулятора	2	2
3	Планирование траекторий манипулятора	Расчет 4-3-4- траектории	1	1
ВСЕГО:			17	17

4.3. Содержание лабораторных занятий

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Тема лабораторного занятия	К-во часов	К-во часов СРС
1	Кинематика манипулятора	Модель маятника. Управление однозвенным механизмом	3	3
		Моделирование многозвенных механизмов	3	3
		Моделирование контактного взаимодействия	3	3
2	Кинематика движения	Моделирование составных элементов	4	4
		Комплексное моделирование мехатронных систем	4	4
ВСЕГО:			17	17

4.4. Содержание курсового проекта/работы

Курсовая работа учебным планом не предусмотрена.

4.5. Содержание расчетно-графического задания.

Расчетно-графическое задание выполняется по темам «Плоские механизмы» и «Пространственные механизмы» с индивидуальными заданиями для каждого студента.

Целью расчетно-графического задания (РГЗ) является проведение упрощенного процесса проектирования робототехнического устройства, закрепление и систематизация теоретических знаний по дисциплине “Мехатронные системы”, и получение практических навыков самостоятельной работы с использованием учебной и справочно-технической литературы.

РГЗ оформляется на 10–15 страницах машинописного текста, включающей графический материал. на листах формата А4 и включает:

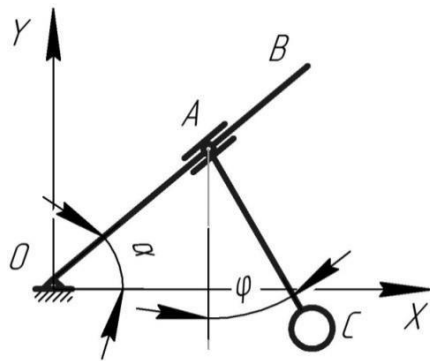
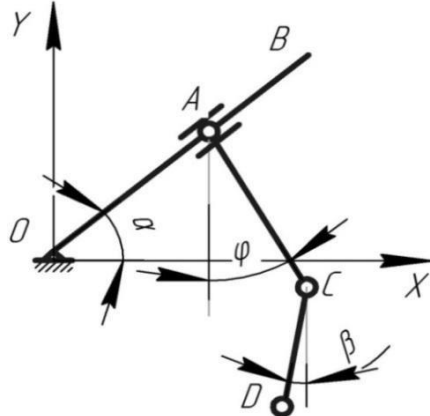
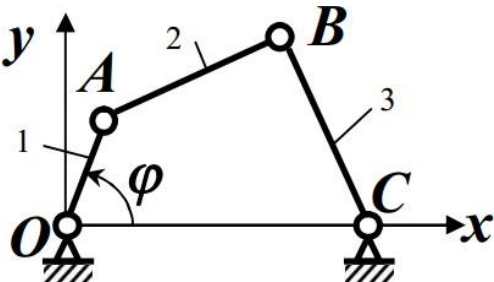
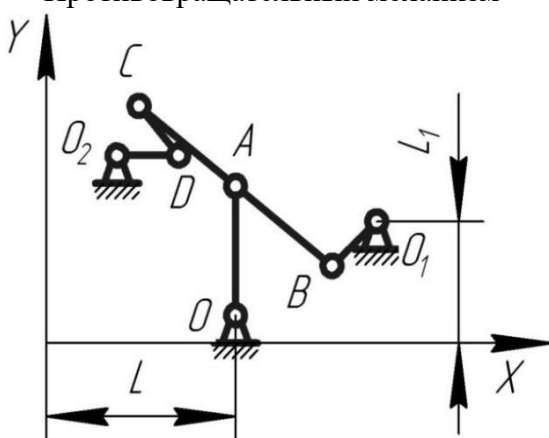
- титульный лист;
- задание;
- основные теоретические положения, расчётные формулы, расчёты, необходимые рисунки и характеристики;
- список используемой литературы.

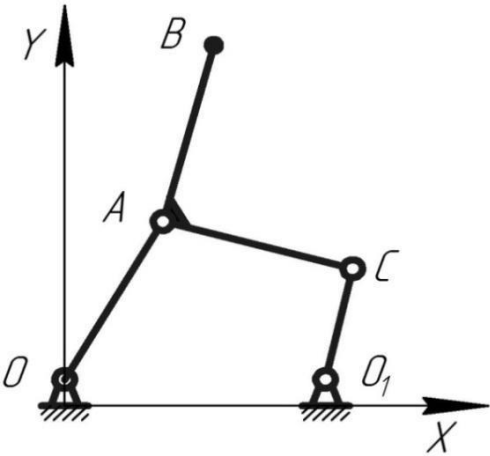
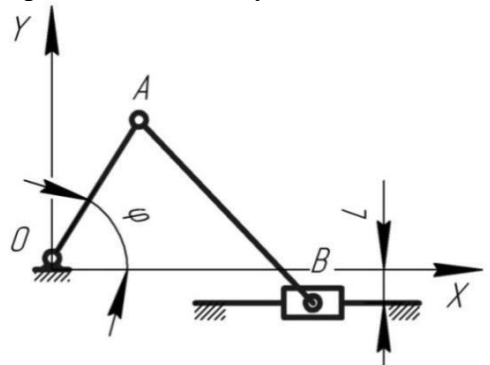
Пример расчетно – графического задания

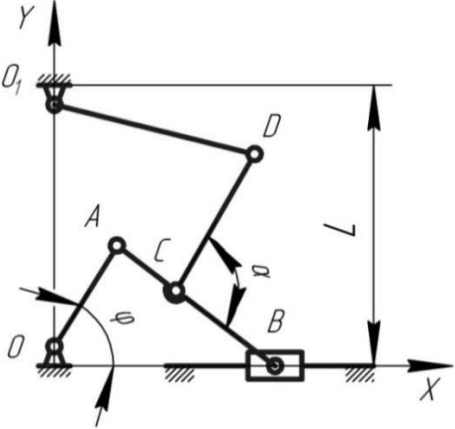
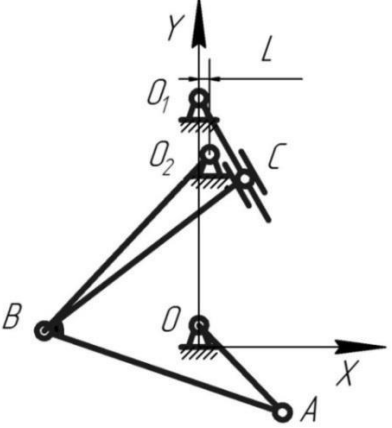
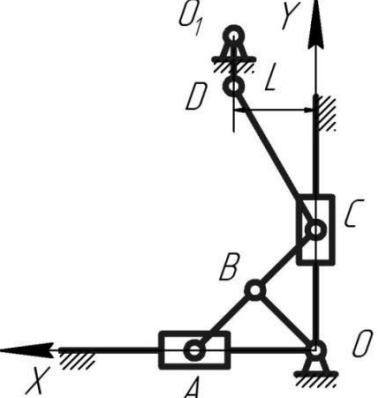
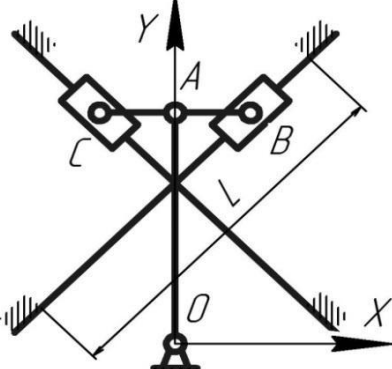
1. Задание №1. Плоские механизмы

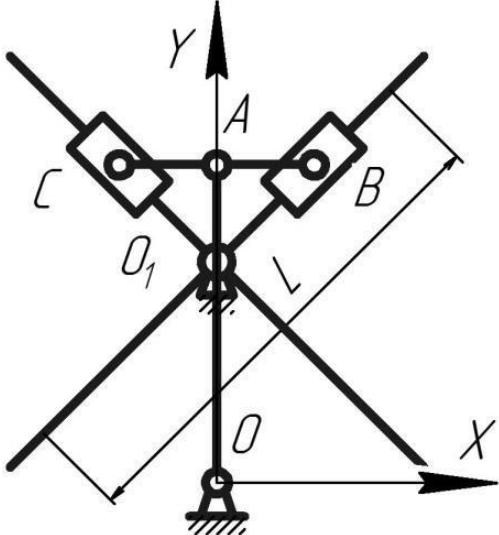
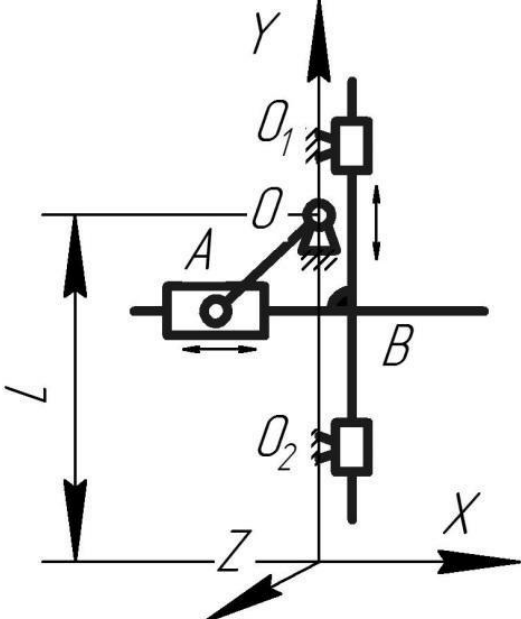
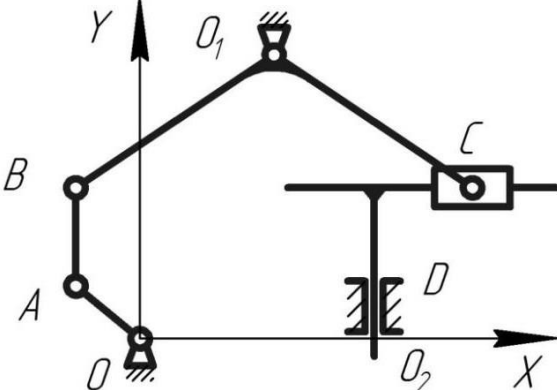
1. Провести кинематический анализ предложенного механизма.
2. Построить механизм, используя блоки SimMechanics и Simulink.
3. Создать управляющий файл.
4. Подключить кинематический привод к начальному звену или к другому элементу, по требованию преподавателя.
5. Исследовать движение механизма (подключить датчики, силы и др.), сделать вывод данных.
6. Подготовить отчёт.

№	Схема	Исходные данные
1	2	3
1	<p style="text-align: center;">Двойной маятник</p>	$L_{OC} = 0.5 \text{ (m)}$ $L_{CA} = 0.3 \text{ (m)}$ $\varphi = 50^\circ$ $\beta = 15^\circ$ Материал всех звеньев: алюминий АД ГОСТ 4784-97

2	<p>Маятник на наклонном основании</p> 	<p> $L_{OB} = 0.5 \text{ (m)}$ $L_{OA} = 0.35 \text{ (m)}, L_{AC} = 0.4 \text{ (m)}$ $\varphi = 30^\circ, \alpha = 40^\circ$ Материал всех звеньев: алюминий АД ГОСТ 4784-97 Двигатель подключён к поступательно-вращательному шарниру А, перемещает звено АС по всей длине ОВ со скоростью 200 об/мин. </p>
3	<p>Двойной маятник на наклонном основании</p> 	<p> $L_{OB} = 0.5 \text{ (m)}$ $L_{OA} = 0.35 \text{ (m)}$ $L_{AC} = 0.4 \text{ (m)}, L_{CD} = 0.2 \text{ (m)}$ $\alpha = 30^\circ, \varphi = 40^\circ, \beta = 25^\circ$ Материал всех звеньев: алюминий АД ГОСТ 4784-97 Двигатель подключён к поступательно-вращательному шарниру А, перемещает звено АС по всей длине ОВ со скоростью 400 об/мин. </p>
4	<p>Шарнирный четырёхзвенник</p> 	<p> $L_{OA} = 0.15 \text{ (m)}, L_{AB} = 0.4 \text{ (m)}$ $L_{BC} = 0.5 \text{ (m)}, L_{OC} = 0.7 \text{ (m)}$ $\varphi = 40^\circ$ Материал всех звеньев: алюминий АД ГОСТ 4784-97 Двигатель подключён к вращательному шарниру О, скорость 1000 об/мин. </p>
5	<p>Противовращательный механизм</p> 	<p> $L_{OA} = 0.1 \text{ (m)}, L_{AB} = 0.1 \text{ (m)}$ $L_{BC} = 0.2 \text{ (m)}, L_{CD} = 0.05 \text{ (m)}$ $L_{DO_2} = 0.05 \text{ (m)}, L_{BO_1} = 0.05 \text{ (m)}$ $L = 0.16 \text{ (m)}, L_1 = 0.095 \text{ (m)}$ Материал всех звеньев Сталь 25 ГОСТ 1050-88. Двигатель подключён к вращательному шарниру О₁, скорость 2000 об/мин. Вычислить угловые координаты, скорости и ускорения звеньев механизма, построить траектории движения шарниров С и D. </p>

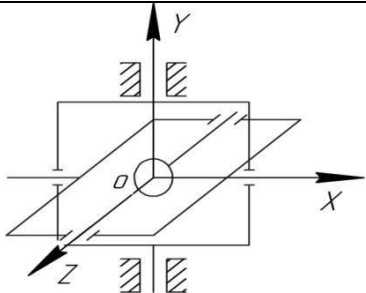
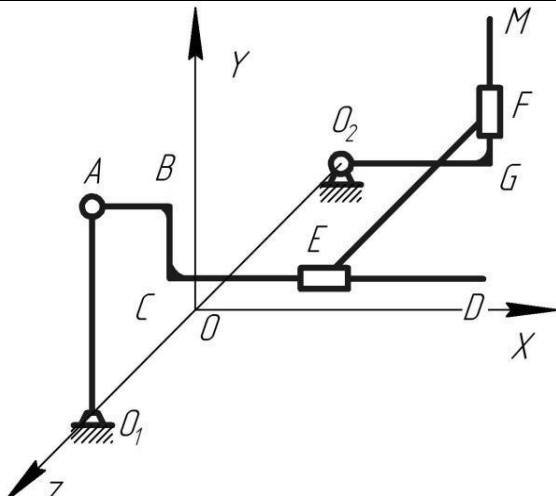
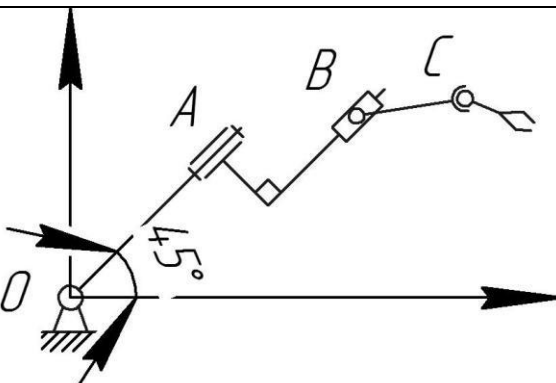
6	<p>Приближенное прямилlo</p> 	<p> $L_{OA} = 0.15 \text{ (m)}, L_{AB} = 0.15 \text{ (m)}$ $L_{AC} = 0.15 \text{ (m)}, \angle BAC = 90^\circ$ $L_{CO_1} = 0.09 [0.05, 0.02] \text{ (m)}$ </p> <p>Материал всех звеньев: Сталь 25 ГОСТ 1050-88.</p> <p>Двигатель подключён к вращательному шарниру O_1, скорость 1500 об/мин. Вычислить угловые координаты, скорости и ускорения звеньев механизма, построить траектории движения шарнира В при различной величине звена CO_1, сравнить результаты.</p>
7	<p>Кривошипно-ползунный механизм</p> 	<p> $L_{OA} = 0.2 \text{ (m)}, L_{AB} = 0.5 \text{ (m)}$ $L = 0.1 \text{ (m)}, \varphi = 25^\circ$ </p> <p>Материал всех звеньев: Сталь 25 ГОСТ 1050-88</p> <p>Двигатель подключён к вращательному шарниру O, скорость 1500 об/мин. Вычислить угловые координаты, скорости и ускорения звеньев механизма, сравнить данные с результатом работы модели из примера №2.</p>

1	2	3
8	<p>Кривошипно-ползунный механизм</p> 	<p> $L_{OA} = 0.13$ (m), $L_{AB} = 0.2$ (m) $L_{AC} = 0.08$ (m), $L_{CD} = 0.175$ (m) $L_{DO_1} = 0.23$ (m), $L = 0.3$ (m) </p> <p> $\varphi = 58^\circ$, $\alpha = 97^\circ$ </p> <p> Материал всех звеньев: Сталь 25 ГОСТ 1050-88 Двигатель подключён к вращательному шарниру O, скорость 1000 об/мин. Вычислить угловые координаты, скорости и ускорения звеньев механизма. </p>
9		<p> $L_{OA} = 0.045$ (m), $L_{AB} = 0.085$ (m) $L_{BC} = 0.085$ (m), $L_{BO_2} = 0.085$ (m) $L = 0.01$ (m) </p> <p> Материал всех звеньев: Сталь 25 ГОСТ 1050-88 Двигатель подключён к вращательному шарниру O, скорость 1000 об/мин. Вычислить угловые координаты, скорости и ускорения звеньев механизма. </p>
10		<p> $L_{OB} = 0.04$ (m), $L_{AC} = 0.08$ (m) $L_{CD} = 0.1$ (m), $L_{DO_1} = 0.025$ (m) </p> <p> $L = 0.01$ (m), $\angle BOC = 45^\circ$ </p> <p> Материал всех звеньев: Сталь 25 ГОСТ 1050-88 Двигатель подключён к вращательному шарниру O1, скорость 1000 об/мин. Вычислить угловые координаты, скорости и ускорения звеньев механизма. </p>
11		<p> $L_{OA} = 0.035$ (m), $L_{BC} = 0.06$ (m) $L = 0.15$ (m) </p> <p> Материал всех звеньев: Сталь 45 ГОСТ 1050-88 Направляющие ползунов расположены под углом 45°. Двигатель подключён к вращательному шарниру O, скорость 1500 об/мин. Вычислить угловые координаты, скорости и ускорения поступательных пар механизма. </p>

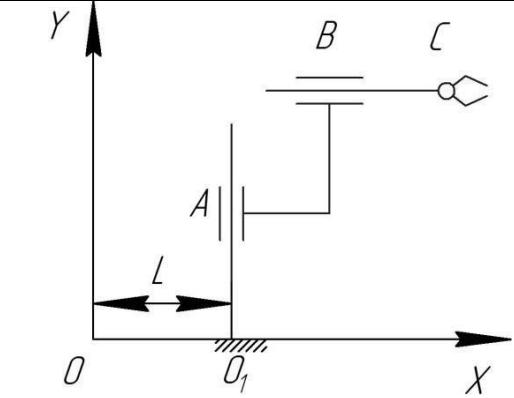
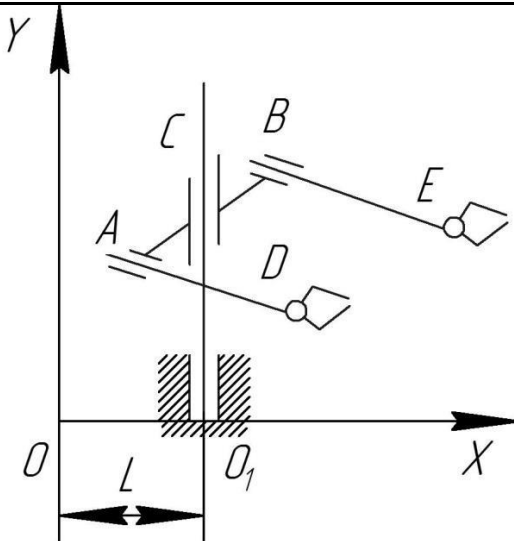
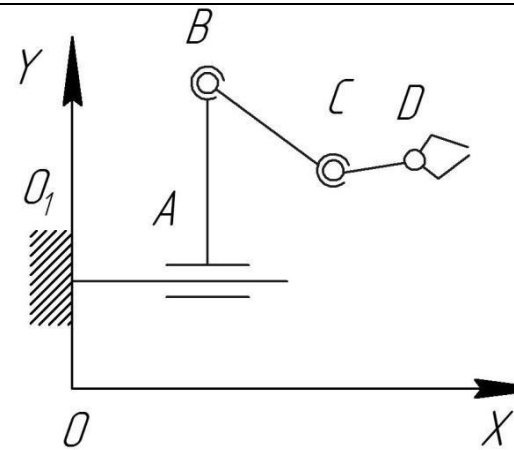
1	2	3
12		<p> $L_{OA} = 0.035 \text{ (m)}, L_{BC} = 0.06 \text{ (m)}$ $L = 0.15 \text{ (m)}$ </p> <p> Материал всех звеньев: Сталь 25 ГОСТ 1050-88 Направляющие ползунов расположены под углом 45°. Двигатель подключён к вращательному шарниру O, скорость 1500 об/мин. Вычислить угловые координаты, скорости и ускорения поступательных пар механизма и скорость вращения шарнира O_1. </p>
13		<p> $L_{OA} = 0.04 \text{ (m)}, L_{BC} = 0.06 \text{ (m)}$ $L = 0.15 \text{ (m)}$ </p> <p> Материал всех звеньев: Сталь 35 ГОСТ 1050-88 Двигатель подключён к вращательному шарниру O, скорость 1500 об/мин. Вычислить угловые координаты, скорости и ускорения поступательных пар механизма и скорость вращения шарнира O_1. </p>
14		<p> $L_{OA} = 0.5 \text{ (m)}, L_{AB} = 0.6 \text{ (m)}$ $L_{BO_1} = 1.7 \text{ (m)}, L_{O_2C} = 1.7 \text{ (m)}$ $L_C = 2.1 \text{ (m)}$ </p> <p> Материал всех звеньев: Сталь 45 ГОСТ 1050-88 Двигатель подключён к вращательному шарниру O, скорость 10 об/мин. Вычислить угловые координаты, скорости и ускорения пар C, B, построить их траектории движения. </p>

Задание №2. Пространственные механизмы

1. Провести кинематический анализ предложенного механизма
2. Построить механизм, используя блоки SimMechanics и Simulink.
3. Создать управляющий файл.
4. Подключить простейший двигатель к начальному звену или другому элементу, по требованию преподавателя.
5. Исследовать движение механизма (подключить датчики, силы и др.), сделать вывод данных.
6. Подготовить отчёт.

№	Схема	Исходные данные
1	2	3
1		<p>Создать модель гироскопа. Провести анализ изменения угловой скорости и ускорения системы относительно трёх угловых координат φ, ϕ, γ.</p>
2		<p> $L_{OA} = 0.1(\text{m})$, $L_{AB} = 0.035(\text{m})$ $L_{BC} = 0.04(\text{m})$, $L_{CD} = 0.09(\text{m})$, $L_{EF} = L_{OO} = 0.09(\text{m})$, $L_{OG} = 0.07(\text{m})$, $L_{GM} = 0.18(\text{m})$, Материал всех звеньев: Сталь 35 ГОСТ 1050-88 Двигатель подключён к вращательному шарниру А, скорость 1500 обор/мин. Вычислить угловые координаты, скорости и ускорения поступательных звеньев механизма. </p>
3		<p> Создать модель манипулятора. Материал всех звеньев: Сталь 25 ГОСТ 1050-88 Ведущий двигатель подключён к вращательному шарниру О, скорость 1500 обор/мин. Параметры системы подобрать самостоятельно. Подключить подыгрывающие двигатели к каждому звену. </p>

1	2	3
4		<p>Создать модель манипулятора. Материал всех звеньев: Сталь 25 ГОСТ 1050-88</p> <p>Ведущий двигатель подключён к вращательному шарниру А, скорость 1000 обор/мин. Параметры системы подобрать самостоятельно. Подключить подыгрывающие двигатели к каждому звену, таким образом, чтобы движение рабочего звена имело составляющую относительно трёх координат.</p>
5		<p>Создать модель манипулятора. Материал всех звеньев: Сталь 25 ГОСТ 1050-88</p> <p>Ведущий двигатель подключён к вращательному шарниру А, скорость 1500 обор/мин. Параметры системы подобрать самостоятельно. Подключить подыгрывающие двигатели к каждому звену, таким образом, чтобы движение рабочего звена имело составляющую относительно трёх координат.</p>
6		<p>Создать модель манипулятора. Материал всех звеньев: Сталь 25 ГОСТ 1050-88</p> <p>Ведущий двигатель подключён к направляющей А, скорость 500 обор/мин. Параметры системы подобрать самостоятельно. Подключить подыгрывающие двигатели к каждому звену, таким образом, чтобы движение рабочего звена имело составляющую относительно трёх координат.</p>

1	2	3
7		<p>$L=200$ (мм).</p> <p>Создать модель манипулятора. Материал всех звеньев: Сталь 25 ГОСТ 1050-88</p> <p>Ведущий двигатель подключён к направляющей А, скорость 500 обор/мин. Параметры системы подобрать самостоятельно. Подключить подыгрывающие двигатели к каждому звену.</p>
8		<p>$L=120$ (мм).</p> <p>Создать модель манипулятора. Материал всех звеньев: Сталь 25 ГОСТ 1050-88</p> <p>Ведущий двигатель подключён к направляющей O_1, скорость 400 обор/мин. Параметры системы подобрать самостоятельно. Подключить подыгрывающие двигатели к каждому звену.</p>
9		<p>Создать модель манипулятора. Материал всех звеньев: Сталь 25 ГОСТ 1050-88</p> <p>Ведущий двигатель подключён к направляющей O_1, скорость 1000 обор/мин. Параметры системы подобрать самостоятельно. Подключить подыгрывающие двигатели к каждому звену.</p>

10		<p>Создать модель робота-паука. Плоскость $A_1A_2A_3$ является стойкой. Плоскость $C_1C_2C_3$ должна быть параллельна плоскости $A_1A_2A_3$. Материал всех звеньев: Сталь 25 ГОСТ 1050-88</p> <p>Ведущие двигатели подключены к шарнирам А и шарниру Е. Положение осей неподвижной системы координат определить самостоятельно. Скорость перемещения точки Е должна быть не менее 5 м/с</p>
----	---	--

5. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

5.1. Реализация компетенций

1 Компетенция ПК-2. Способен разрабатывать простые узлы и блоки системы электропривода с применением современного программного обеспечения

Наименование индикатора достижения компетенции	Используемые средства оценивания
ПК-2.2. Рассчитывает и разрабатывает простые узлы и блоки мехатронных и робототехнических систем с применением специализированного программного обеспечения	Экзамен, защита РГЗ, защита лабораторных работ, собеседование

5.2. Типовые контрольные задания для промежуточной аттестации

Промежуточная аттестация осуществляется после завершения изучения дисциплины в конце **шестого семестра** в форме экзамена.

Вопросы для подготовки к экзамену

Экзамен включает две части: теоретическую (2 вопроса) и практическую (решение задачи). Для подготовки письменного ответа на вопросы билета и решение задачи, которые студент выбирает случайным образом, отводится 50 минут. После проверки ответов преподаватель проводит со студентом собеседование с целью определения уровня освоения студентом изученного материала и может задать дополнительные вопросы.

Распределение вопросов и заданий по билетам находится в закрытом для студентов доступе. Ежегодно по дисциплине на заседании кафедры утверждается комплект билетов для проведения экзамена. Экзамен является наиболее значимым оценочным средством и решающим в итоговой отметке учебных достижений студента.

Перечень тем и вопросов для подготовки к теоретической части экзамена

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание вопросов (типовых заданий)
1	Введение. Основные термины и определения	1. Мехатроника, основные понятия и определения 2. Этапы развития мехатроники. 3. Классификация мехатронных объектов. 4. Структура и принципы интеграции мехатронных модулей и машин. 5. История развития робототехники. 6. Классификация роботов.
2	Кинематика манипулятора.	1. Основные задачи кинематики манипулятора. 2. Прямая задача кинематики. 3. Матрицы сложных поворотов. 4. Матрица поворота вокруг произвольной оси. 5. Представление матриц поворота через углы Эйлера. 6. Геометрический смысл матриц поворота.

		7. Свойства матриц поворота. 8. Однородные координаты и матрицы преобразований. 9. Звенья, сочленения и их параметры. 10. Представление Денавита-Хартенберга. 11. Алгоритм формирования систем координат звеньев 12. Уравнения кинематики манипулятора. 13. Классификация манипуляторов. 14. Обратная задача кинематики. 15. Метод обратных преобразований. 16. Геометрический подход. 17. Определение различных конфигураций манипулятора. 18. Решение обратной задачи кинематики для первых трех сочленений, 19. Решение для первого сочленения. 20. Решение для второго сочленения. 21. Решение для третьего сочленения. 22. Решение обратной задачи кинематики для последних трех сочленений. 23. Решение для четвертого сочленения. 24. Решение для пятого сочленения. 25. Решение для шестого сочленения.
3	Кинематика движения	1. Вращающиеся системы координат. 2. Подвижные системы координат. 3. Кинематика звеньев. 4. Рекуррентные уравнения динамики манипулятора
4	Планирование траекторий манипулятора	1. Типы управления манипулятором. 2. Сглаженные траектории в пространстве присоединенных переменных. 3. Расчет 4-3-4- траектории. 4. Граничные условия для 4-3-4- траектории

Перечень типовых задач для практической части экзамена

Задача

Получить матрицу элементарных поворотов для вращающейся системы координат $R_{x,\alpha}$,

Задача

Получить матрицу элементарных поворотов для вращающейся системы координат $R_{y,\varphi}$

Задача

Получить матрицу элементарных поворотов для вращающейся системы координат $R_{z,\theta}$

Задача

Найти матрицу поворота, являющегося результатом последовательного выполнения поворотов сначала на угол φ , вокруг оси OY , затем на угол θ вокруг оси OW на угол α вокруг оси OU .

Задача

Найти матрицу поворота, являющегося результатом последовательного выполнения поворотов сначала на угол φ , вокруг оси OY , затем на угол θ вокруг оси OZ , на угол α вокруг оси OX .

Задача

Найти матрицу поворота, являющегося результатом последовательного выполнения поворотов сначала на угол α вокруг оси OX , затем на угол θ вокруг оси OZ на угол φ вокруг оси OY .

Задача

Изобразить графически и объяснить первую систему углов Эйлера

Задача

Изобразить графически и объяснить вторую систему углов Эйлера

Задача

Сформировать однородную матрицу преобразования, задающую преобразование поворота и имеющую размерность 4×4

Задача

Зная трехмерную матрицу поворота и учитывая равенство, представляющее собой выражение этой матрицы через углы Эйлера определить соответствующие значения углов φ , θ и ψ

Задача

Графически изобразить и объяснить решение для первого сочленения

Задача

Графически изобразить и объяснить решение для второго сочленения

Задача

Графически изобразить и объяснить решение для третьего сочленения

Задача

Графически изобразить и объяснить решение для четвертого сочленения

Задача

Графически изобразить и объяснить решение для пятого сочленения

Задача

Графически изобразить и объяснить решение для шестого сочленения

Задача

Получить соотношение, определяющее связь между скоростями одной и той же точки во вращающейся и неподвижной системах координат.

Задача

Графически изобразить и объяснить положение точки в подвижной системе координат $Ox^*Y^*Z^*$, которая совершает вращательное и поступательное движения относительно инерциальной системы координат $OXYZ$.

Задача

Вывести уравнения, основывающиеся на соотношениях для подвижной системы координат и описывающие кинематику звеньев манипулятора в базовой системе координат.

Перечень контрольных материалов для защиты курсового проекта/ курсовой работы “Не предусмотрено учебным планом”

5.3. Типовые контрольные задания (материалы) для текущего контроля в семестре

Текущий контроль осуществляется в течение 6 семестра - в форме защиты лабораторных работ и выполнения, и защиты расчетно-графического задания.

Примеры типовых вопросов для защиты РГЗ

Вопросы к заданию №1

1. Какие связи называются двухсторонними?
2. Какие связи называются односторонними?
3. Какие связи называются голономные?
4. Какие связи называются неголономные?
5. Что такое число степеней свободы системы материальных точек?
6. В чем отличие между низшими и высшими кинематическими парами?
7. Описать структурную модель SimMechanics математического маятника
8. Описать структурную модель SimMechanics последовательного зубчатого соединения.

Вопросы к заданию №2

1. Чему равно число степеней свободы W пространственного механизма ?
2. Каков рекомендуемый алгоритм решения задачи?
3. Описать кинематическую схему двухпараметрической антенны.
4. Описать структурную модель SimMechanics двухпараметрической антенны.
5. Описать кинематическую схему робота-манипулятора с захватом.
6. Описать структурную модель SimMechanics робота-манипулятора с захватом.

Защита лабораторных работ

В лабораторном практикуме по дисциплине представлен перечень лабораторных работ, обозначены цель и задачи, необходимые теоретические и методические указания к работе, приведен порядок выполнения работы, содержание отчета и перечень контрольных вопросов.

Защита лабораторных работ возможна после проверки правильности выполнения работы и оформления отчета. Защита проводится в форме собеседования преподавателя со студентом по теме лабораторной работы. Примерный перечень контрольных вопросов для защиты лабораторных работ представлен в таблице.

№	Тема лабораторной работы	Контрольные вопросы
1.	Модель маятника. Управление однозвенным механизмом	<ol style="list-style-type: none">1. Что собой представляет схема моделируемого звена2. Опишите модель вращающегося маятника3. Опишите полученные графики вращающегося маятника4. Опишите рабочую модель вращающегося маятника5. Как выполняется управление по сигналу положения?6. Как выполняется управление по сигналу момента?
7.	Моделирование многозвенных механизмов	<ol style="list-style-type: none">1. В чем состоит задача структурного анализа механизма?2. Опишите алгоритм кинематического анализа лямбда механизма Чебышёва.3. Как построить график траектории перемещения точки F4. Опишите блок-схему механизма Чебышева5. Объясните вид полученных графиков сил реакции в кинематических парах и момента на входном звене.
8.	Моделирование контактного взаимодействия	<ol style="list-style-type: none">1. Приведите примеры контактного взаимодействия в мехатронных системах.2. Объясните диаграмму контактного взаимодействия двух тел.3. Опишите блок-схему массы на пружине в Simulink4. Опишите блок расчёта силы взаимодействия по нормали.5. Опишите блок-схему системы тело-пружина в Simscape6. Что такое механический импеданс?7. Опишите блок-схему модели 2R робота, испытывающего динамическое взаимодействие со стеной
9.	Моделирование составных элементов	<ol style="list-style-type: none">1. Опишите имитационную модель двигателя постоянного тока.2. Приведите алгоритм создания модели двигателя постоянного тока.3. Опишите блок-схему имитационной модели со шкивами, катушкой, гибкими ремнём и тросом4. Приведите алгоритм создания модели со шкивами, катушкой, гибкими ремнём и тросом
10.	Комплексное моделирование мехатронных систем	<ol style="list-style-type: none">1. Какие знаете виды захватных устройств?2. Перечислите задачи имитационного моделирования.3. Опишите блок-схему имитационной модели захватного устройства.4. Опишите блок-схему имитационной модели пальца захвата5. Сравните переходные процессы системы в полноприводном режиме и в неполноприводном режиме

5.4 Описание критериев оценивания компетенций и шкалы оценивания

При промежуточной аттестации в форме экзамена (6 семестр) используется следующая шкала оценивания: 2 – неудовлетворительно, 3 – удовлетворительно, 4 – хорошо, 5 – отлично.

Оценка преподавателем выставляется интегрально с учётом всех показателей и критериев оценивания.

При промежуточной аттестации в форме экзамена:

Оценка сформированности компетенций по показателю *Знания*.

Критерий	Уровень освоения и оценка			
	2	3	4	5
Знание терминов, определений, понятий	Не знает терминов и определений, используемых при изучении мехатронных систем	Знает термины и определения мехатронных систем, но допускает неточности формулировок	Знает технические термины и определения мехатронных систем	Знает термины и определения мехатронных систем, может корректно сформулировать их самостоятельно
Знание основных закономерностей, соотношений, принципов	Не знает принципов действия и математического описания составных частей мехатронных и робототехнических систем.	Знает принципы действия и математическое описание составных частей мехатронных и робототехнических систем, но допускает ошибки.	Знает принципы действия и математическое описание составных частей мехатронных и робототехнических систем	Знает принципы действия и математическое описание составных частей мехатронных и робототехнических систем; может самостоятельно оперировать знаниями
Объем освоенного материала	Не знает значительной части материала дисциплины	Имеет поверхностные знания основного материала дисциплины, не усвоив его детали	Знает материал дисциплины в полном объеме	Обладает твердыми и полными знаниями материала дисциплины, владеет дополнительными знаниями
Полнота ответов на вопросы	Не дает ответы на большинство задаваемых вопросов	Дает неполные ответы на большинство вопросов	Дает полные ответы на большую часть заданных вопросов	Дает полные, развернутые ответы на все поставленные вопросы
Четкость изложения и интерпретации знаний	Излагает знания без логической последовательности	Излагает знания с нарушениями в логической последовательности	Излагает знания без нарушений в логической последовательности	Излагает знания в логической последовательности, самостоятельно их интерпретируя и анализируя
	Не иллюстрирует изложение поясняющими формулами, графиками, рисунками и примерами	Выполняет поясняющие формулы, графики и рисунки небрежно и с ошибками	Выполняет поясняющие формулы, рисунки и схемы корректно и правильно	Выполняет поясняющие рисунки и схемы точно и аккуратно, раскрывая полноту усвоенных знаний
	Не излагает или	Допускает неточ-	Грамотно и по	Грамотно и точно

	неверно излагает и интерпретирует знания	ности в изложении и интерпретации знаний	существу излагает знания	излагает знания, делает самостоятельные выводы
--	--	--	--------------------------	--

Оценка сформированности компетенций по показателю Умения.

Критерий	Уровень освоения и оценка			
	2	3	4	5
Полнота ответа на вопросы экзаменационного билета	Ответы на вопросы экз. билета даны не верно	Ответы даны не в полном объеме	Ответы на вопросы билета раскрыты полностью	Ответы выполнены полностью, рациональным способом
Качество ответа на вопросы экзаменационного билета	Имеются существенные ошибки при ответе на вопросы билета	Ответы выполнены с существенными неточностями, не носящими принципиальный характер	Ответы выполнены с небольшими неточностями	Ответы выполнены без ошибок
Самостоятельность подготовки ответа на вопросы экзаменационного билета	Не может подготовить ответы, в том числе и с дополнительной помощью	Может выполнить задание только с дополнительной помощью	Выполняет задание в основном самостоятельно	Самостоятельно выполняет задание
Умение сравнивать, сопоставлять и обобщать и делать выводы	Не умеет сравнивать, сопоставлять и обобщать, а также делать выводы при ответе на вопросы билета	Допускает ошибки при сопоставлении, обобщении и при формулировании выводов на заданные вопросы	Умеет сравнивать, сопоставлять и обобщать, но допускает небольшие неточности при формулировании выводов	Умеет сравнивать, сопоставлять и обобщать, а также делает верные выводы на задаваемые вопросы
Качество оформления ответа на вопросы экзаменационного билета	Ответы оформлены настолько неряшливо, что не поддаются проверке	Ответы оформлены неаккуратно, отсутствуют необходимые пояснения в виде графиков, схем и формул	Ответы оформлены аккуратно, с необходимыми пояснениями	Ответы оформлены аккуратно, с необходимыми пояснениями и ссылками на используемые источники
Правильность применения теоретического материала	При объяснении теоретического материала допускаются грубые ошибки в технических терминах	Объясняя теоретический материал, допускает ошибки, не носящие принципиальный характер	Теоретический материал применен и интерпретирован в целом правильно, но с несущественными неточностями	Теоретический материал применен и интерпретирован правильно

Оценка сформированности компетенций по показателю Навыки.

Критерий	Уровень освоения и оценка			
	2	3	4	5
Выбор методики формирования ответов на вопросы билета	Неверно выбрана методика подготовки ответов	Методика формирования ответов выбрана в целом верно, но имеются незначительные неточности при описании расчетных зависимостей	Методика выполнения ответов выбрана верно, но имеются недочеты, не относящиеся к основным расчетным зависимостям и гра-	Выбрана верная или наиболее рациональная методика формирования ответов с применением графического и ана-

		и графического материала	фическому материалу	литического методов
Анализ результатов решения задачи	Не произведен анализ результатов решения задачи	Анализ результатов, полученных при решении задачи, выполняется только при помощи преподавателя	Допускаются незначительные неточности в ходе анализа результатов решения задачи	Произведен анализ результатов решения задачи и сделаны исчерпывающие выводы
Обоснование полученных результатов	Представляемые результаты не обоснованы	Имеются замечания к полученным результатам, отсутствует в достаточной степени их обоснование	Представляемые результаты обоснованы и в целом аргументированы, имеются ссылки на учебно-методическую литературу	Представляемые результаты обоснованы, четко аргументированы с указанием ссылок на нормативные, справочные и учебно-методические источники

6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

6.1 Материально-техническое обеспечение

№	Наименование специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Оснащенность специальных помещений и помещений для самостоятельной работы
1	Учебная аудитория для проведения лекционных занятий	Специализированная мебель; мультимедийный проектор, переносной экран, ноутбук
2	Учебная аудитория для проведения практических занятий, лабораторных работ, консультаций, текущего контроля, промежуточной аттестации	Специализированная мебель. Переносные лабораторные стенды: изучение магнито-стрикционного эффекта; исследование влияния температуры на сопротивление проводников и полупроводников; исследование влияния материала сердечника катушки индуктивности на характеристики колебательного контура; исследование свойств магнитных материалов. Специализированное оборудование: осциллографы Instek GOS - 620, цифровые мультиметры DT-890+, M-890D, генераторы ГЗ-112/1,
3	Мастерская для проведения лабораторной работы по изучению пайки электротехнических материалов	Специализированная мебель. Специализированное оборудование: паяльной станцией Lukey 852D ⁺ . Расходные материалы: проволока (медная, алюминиевая); флюсы (канифоль, активный флюс); припой (ПОС-61, сплав Вуда).
4	Читальный зал библиотеки для самостоятельной работы	Специализированная мебель; компьютерная техника, подключенная к сети «Интернет», имеющая доступ в электронную информационно-образовательную среду

6.2. Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение

№	Перечень лицензионного программного обеспечения.	Реквизиты подтверждающего документа
1	Microsoft Windows 10 Корпоративная	Соглашение Microsoft Open Value Subscription V6328633. Соглашение действительно с 02.10.2017 по 31.10.2023). Договор поставки ПО 0326100004117000038-0003147-01 от 06.10.2017
2	Microsoft Office Professional Plus 2016	Соглашение Microsoft Open Value Subscription V6328633. Соглашение действительно с 02.10.2017 по 31.10.2023
3	Kaspersky Endpoint Security «Стандартный Russian Edition»	Сублицензионный договор № 102 от 24.05.2018. Срок действия лицензии до 19.08.2020 Гражданско-правовой Договор (Контракт) № 27782 «Поставка продления права пользования (лицензии) Kaspersky Endpoint Security от 03.06.2020. Срок действия лицензии 19.08.2022г.
4	Google Chrome	Свободно распространяемое ПО согласно условиям лицензионного соглашения
5	Mozilla Firefox	Свободно распространяемое ПО согласно условиям лицензионного соглашения

6.3 Перечень учебных изданий и учебно-методических материалов

1. Kopytenko Yu., Sergushin P., Petrishchev M., Levanenko V., Perechesova A. The device for manufacturing torsion bars with helical anisotropy UISAT-1 // Key Engineering Materials Vol. 437 (2010). – Trans Tech Publications, Switzerland, 2010. P. 625–628.

2. Артоболевский, И. И. Теория механизмов и машин : учебник для вузов / И. И. Артоболевский . – 6-е изд., стер., перепеч. с изд. 1988 г. – М.: Альянс, 2011 . – 640 с. - ISBN 978-5-91872-001-1.

3. Кинематические схемы роботов, их описание и анализ [Электронный ресурс]: официальный сайт МГТУ им. Баумана кафедра РК-2, Учебно-методический комплекс по теории машин и механизмов 2005 — Режим доступа: http://tmm-umk.bmstu.ru/lectures/lect_20.htm, свободный. 4. Лазарев Ю.Ф. Моделирование процессов и систем в MATLAB. Учебный курс. – СПб.: Питер; Киев: Издательская группа ВHV, 2005. – 512 с.: ил.

4. Механизмы П.Л. Чебышева [Электронный ресурс]: официальный сайт Фонд «Математические этюды» 2009-2013 — Режим доступа: <http://www.tcheb.ru/> свободный.

5. Борисов И.И., Колюбин С.А., Имитационное моделирование мехатронных систем — СПб: Университет ИТМО, 2020. — 103 с.
<https://books.ifmo.ru/file/pdf/2628.pdf>

6. Мусалимов В.М., Г.Б. Заморуев, И.И. Калапышина, А.Д. Перечесова, К.А. Нуждин. Моделирование мехатронных систем в среде MATLAB (Simulink /

SimMechanics): учебное пособие для высших учебных заведений. – СПб: НИУ ИТМО, 2013. – 114 с. <https://books.ifmo.ru/file/pdf/1374.pdf>

6.4 Перечень интернет ресурсов, профессиональных баз данных, информационно-справочных систем

1. Лаборатория робототехники и искусственного интеллекта Политехнического музея - railab.ru
2. Каталог сайтов по робототехнике. - imobot.ru
3. Роботы, робототехника, микроконтроллеры. - myROBOT.ru