

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
ДОНЕЦКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

УТВЕРЖДАЮ:

Первый проректор



(подпись)

Каракозов А. А.

03 20 23 года

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Б1.В.04. Моделирование механических систем

(код и наименование дисциплины согласно учебному плану)

Направление подготовки
(специальность):

15.04.02 Мехатроника и робототехника

(код и наименование направления подготовки / специальности)

Направленность (профиль)
(специализация)

Робототехника и гибкие производственные
системы

(наименование профиля / магистерской программы / специализации)

Программа:

магистратура

(бакалавриат, магистратура, специалитет)

Форма обучения:

очная, заочная

(очная, заочная, очно-заочная)

Форма обучения:	Очная	Заочная
Семестр(ы)	3	3
Общая трудоёмкость в з.е./часах	4/144	4/144
Контактная работа (час.), в том числе	53	16
лекции (час.)	17	4
лабораторные работы (час.)	34	6
практические (семинарские) занятия (час.)	—	—
Самостоятельная работа (час.), в том числе	91	128
курсовой проект (работа) (семестр/час.)	—	—
Контроль (экзамен, час./зачёт)	зачёт	зачёт

Донецк, 2023 г.

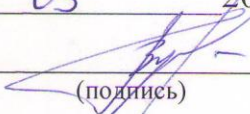
Рабочая программа дисциплины «Моделирование механических систем» составлена в соответствии с учебным планом по направлению подготовки (специальности) 15.04.06 «Мехатроника и робототехника» (направленность (профиль)/ специализация – «Робототехника и гибкие производственные системы») для 2023 года приёма по очной и заочной формам обучения.

Составитель: профессор кафедры мехатронных систем машиностроительного оборудования», доктор техн. наук, доцент

В.В. Полтавец Полтавец Валерий Васильевич
(подпись)

Рабочая программа **рассмотрена и принята** на заседании кафедры мехатронных систем машиностроительного оборудования.

Протокол от « 16 » 03 2023 года № 7

Заведующий кафедрой  Гусев В.В.
(подпись) (Ф.И.О.)

Рабочая программа **одобрена учебно-методической комиссией** ГОУВПО «ДОННТУ» по направлению подготовки 15.03.06 «Мехатроника и робототехника».

Протокол от « 16 » 03 2023 года № 4

Председатель  Гусев В.В.
(подпись) (Ф.И.О.)

Рабочая программа **продлена** для 20__ года приёма на заседании кафедры мехатронных систем машиностроительного оборудования.

Протокол от « ____ » _____ 20__ года № ____

Заведующий кафедрой _____
(подпись) (Ф.И.О.)

1 ОБЪЕКТ, ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Дисциплина рассматривает вопросы, связанные с построением моделей механизмов, механических, комбинированных и измерительных машин, математическим моделированием механических систем, физических и технологических процессов.

Цель дисциплины – подготовка специалиста, владеющего методологическими основами и практическими навыками построения и использования моделей механических и гибридных систем, рабочих процессов промышленного производства и технических объектов на основе применения программных средств преобразования физической структуры технических объектов, геометрических и кинематических отношений между их компонентами, в эквивалентные математические модели.

В результате освоения дисциплины студент должен:

знать:

- место моделирования в общей системе проектирования технических объектов и технологических процессов;
- методы постановки задач для анализа технических систем и технологических процессов математическими методами;
- специальные математические методы и программные средства моделирования для решения практических задач при принятии инженерных и управленческих решений в производственных условиях.

уметь:

- составлять математическое описание технических объектов различной физической природы;
- разрабатывать математические и имитационные модели механических и гибридных технических систем и процессов различной физической природы при наличии механических элементов;
- применять технологии построения и наглядного представления рабочих процессов промышленного производства и процессов функционирования технических систем на основе использования специализированных программных средств;
- применять специальные математические методы и специализированные программные средства для решения практических задач при принятии инженерных и управленческих решений в производственных условиях.

владеть:

- методиками выявления характера и особенностей движения различных элементов механизмов, машин и механических систем на основе применения законов механики и физики;
- методами математического описания связей между элементами механических и гибридных систем, а также соотношений между параметрами этих элементов с учётом имеющихся технических ограничений.
- навыками разработки моделей технических объектов и процессов различной физической природы с использованием специальных математических методов и специализированных программных средств.

Перечисленные результаты обучения являются основой для формирования следующих компетенций:

ПК-2 – способность составлять математические модели мехатронных и робототехнических систем, их подсистем, включая исполнительные, информационно-сенсорные и управляющие модули, с применением методов формальной логики, методов конечных автоматов, сетей Петри, методов искусственного интеллекта, искусственных нейронных сетей;

ПК-7 – способность внедрять эффективные технологии изготовления машиностроительных изделий, средства автоматизации и механизации технологических процессов.

2 МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В ОСНОВНОЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЕ

Дисциплина относится к части, формируемой участниками образовательных отношений.

Базируется на знаниях и умениях, которые студент приобрел при освоении предшествующих дисциплин: математики, физики, химии, теоретической механики, теории механизмов и машин, сопротивления материалов, методологии и методов научных исследований, математического моделирования станков, расчёта электромеханических систем промышленных роботов.

Знания и умения, приобретенные при освоении данной дисциплины, реализуются студентом при выполнении учебной практики: научно-исследовательской работы, прохождении производственных практик: научно-исследовательской и преддипломной, прохождении государственной итоговой аттестации.

3 СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

3.1 Распределение учебных часов по темам дисциплины и видам занятий

Наименование тем (содержательных модулей)	Количество часов (очная/заочная форма)				
	Всего	В том числе			
		Лек- ции	Лабор.	Практ. (се- мин.)	СР
<i>Тема 1. Основы векторного метода кинематического исследования механических систем</i>	18/16	2/0	4/1	0/0	12/15
<i>Тема 2. Основы структурного и компонентного моделирования</i>	14/14	2/0	4/0	0/0	8/14
<i>Тема 3. Классификация и описание элементов и блоков в библиотеках пакета SimMechanics</i>	17/17	1/1	4/0	0/0	12/16
<i>Тема 4. Моделирование низших кинематических пар в пакете SimMechanics</i>	18/16	2/1	4/1	0/0	12/14
<i>Тема 5. Моделирование высших кинематических пар в пакете SimMechanics</i>	18/19	3/1	4/2	0/0	11/16
<i>Тема 6. Описание движения механических систем на основе уравнений Лагранжа</i>	18/18	2/0	4/0	0/0	12/18
<i>Тема 7. Моделирование фрикционных взаимодействий в механических системах</i>	18/17	2/0	4/1	0/0	12/16
<i>Тема 8. Моделирование гибридных электромеханических систем с двигателем</i>	21/21	3/1	6/1	0/0	12/19
Контактная работа (дополнительная)	2/6				
Курсовая работа (проект)	0/0				
Итого по видам занятий		17/4	34/6	0/0	
Контроль	0/0				
Итого:	144/144	17/4	0/0	34/6	91/128

Формирование компетенций в результате освоения тем дисциплины

Компетенции	Темы дисциплины, нацеленные на формирование компетенции
ПК-2	Тема 1, 3, 4, 5, 6, 7, 8
ПК-7	Тема 5, 6, 7, 8

3.2 Лекции

Тема 1. Основы векторного метода кинематического исследования механических систем.

Содержание темы 1:

Векторное описание кинематических пар вращательного движения. Векторное описание кинематических пар поступательного движения. Задание физических параметров материальных тел.

Литература к теме 1: [[1](#), [2](#)].

Тема 2. Основы структурного и компонентного моделирования.

Содержание темы 2:

Принципы системного подхода в моделировании систем. Общая характеристика проблемы моделирования систем. Классификация видов моделирования механических и гибридных систем.

Представление структурных моделей с помощью графов. Математическое описание компонентных моделей. Возможности и эффективность моделирования механических систем.

Литература к теме 2: [[1](#), [2](#), [3](#)].

Тема 3. Классификация и описание элементов и блоков в библиотеках пакета SimMechanics.

Содержание темы 3:

Классификация связей в механических системах. Определение количества степеней свободы системы материальных точек. Структура описания элементов и блоков механической системы в библиотеках пакета SimMechanics.

Литература к теме 3: [[1](#)].

Тема 4. Моделирование низших кинематических пар в пакете SimMechanics.

Содержание темы 4:

Классификация низших кинематических пар. Количество степеней свободы плоского механизма. Физические и имитационные модели плоских механизмов.

Литература к теме 4: [[1](#)].

Тема 5. Моделирование высших кинематических пар в пакете SimMechanics.

Содержание темы 5:

Классификация высших кинематических пар. Количество степеней свободы пространственного механизма. Закономерности движения звеньев пространственного механизма. Физические и имитационные модели пространственных механизмов.

Литература к теме 5: [1].

Тема 6. Описание движения механических систем на основе уравнений Лагранжа.

Содержание темы 6:

Решение задач динамики механических систем с помощью уравнений Лагранжа. Обобщенные силы и обобщенные координаты. Определение кинетической энергии механической системы. Методы составления функции Лагранжа.

Литература к теме 6: [1, 2].

Тема 7. Моделирование фрикционных взаимодействий в механических системах.

Содержание темы 7:

Фрикционное взаимодействие твердых тел. Статические модели трения. Динамическое подобие фрикционной подсистемы. Разрешение противоречий, возникающих при составлении физической модели фрикционного контакта. Физическое подобие модели фрикционного контакта.

Литература к теме 7: [1, 2].

Тема 8. Моделирование гибридных электромеханических систем с двигателем.

Содержание темы 8:

Структурные и компонентные модели гибридных электромеханических систем с двигателем. Имитация работы двигателя. Моделирование асинхронных и синхронных двигателей.

Литература к теме 8: [1, 3].

3.3 Практические занятия

Практические занятия по дисциплине в учебном плане не запланированы.

3.4 Лабораторные работы

№ п/п	Тема работы	Объем, час. (очн/заочн)	Литература
1	Моделирование математического маятника	4/1	[1, 4, 5]
2	Моделирование кривошипно-ползунного механизма	4/1	[1, 4, 5]
3	Моделирование двухступенчатого зубчатого зацепления	4/0	[1, 5]
4	Моделирование механизма двухпараметрической антенны	4/1	[1, 5]
5	Моделирование манипулятора с простейшим захватным механизмом	4/1	[1, 4, 5]
5	Моделирование механизма для полировки оптических стёкол методом свободного притира	4/0	[1, 5]

7	Моделирование узла статического трения	4/1	[1, 2, 5]
8	Моделирование кривошипно-коромыслового механизма с асинхронным двигателем	6/1	[1, 5]
Итого:		34/6	

3.5 Самостоятельная работа студента

№ п/п	Виды самостоятельной работы студента	Объем, час. (очн/заочн)
1	Изучение лекционного материала (не менее 50% от объема лекций)	40/60
2	Подготовка к лабораторным работам (не менее 50% от объема аудиторных лабораторных занятий)	51/68
3	Подготовка к практическим занятиям (не менее 50% от объема аудиторных практических занятий)	0/0
4	Выполнение курсового проекта (36 часов)	—/—
5	Выполнение курсовой работы (27 часов)	—/—
Итого:		91/128

3.6 Курсовой проект (работа), индивидуальное задание

Курсовой проект (работа) по дисциплине «Моделирование механических систем» учебным планом не предусмотрен.

4 ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

4.1 Критерии и шкалы для интегрированной оценки уровня сформированности компетенций

Составляющая компетенции – полнота знаний

- нулевой уровень: неверные, не аргументированные, с множеством грубых ошибок ответы на вопросы / ответы на два вопроса из трех полностью отсутствуют. Уровень знаний ниже минимальных требований;
- минимальный уровень: даны не полные, не точные и аргументированные ответы на вопросы. Уровень знаний ниже минимальных требований. Допущено много грубых ошибок;
- пороговый уровень: даны недостаточно полные, точные и аргументированные ответы на вопросы. Плохо знает термины, определения и понятия; основные закономерности, соотношения, принципы. Допущено много негрубых ошибок;
- средний уровень: Даны достаточно полные, точные и аргументированные ответы на вопросы. В целом знает термины, определения и понятия; основные закономерности, соотношения, принципы. Допущено несколько негрубых ошибок;

- продвинутый уровень: даны полные, точные и аргументированные ответы на вопросы. Знает термины, определения и понятия; основные закономерности, соотношения, принципы. Допущено несколько негрубых ошибок;
- высокий уровень: даны полные, точные и аргументированные ответы на вопросы. Знает термины, определения и понятия; основные закономерности, соотношения, принципы. Допущено несколько неточностей.

Составляющая компетенции – умения

- нулевой уровень: полное отсутствие понимания сути методики решения задачи, допущено множество грубейших ошибок / задания не выполнены вообще;
- минимальный уровень: слабое понимание сути методики решения задачи, допущены грубые ошибки. Решения не обоснованы. Не умеет использовать нормативно-техническую литературу. Не ориентируется в специальной научной литературе, нормативно-правовых актах;
- пороговый уровень: достаточное понимание сути методики решения задачи, допущены ошибки. Решения не всегда обоснованы. Умеет использовать нормативно-техническую литературу. Слабо ориентируется в специальной научной литературе, нормативно-правовых актах;
- средний уровень: в целом понимает суть методики решения задачи, допущены ошибки. Решения не всегда обоснованы. Умеет использовать нормативно-техническую и специальную научную литературу, нормативно-правовые акты;
- продвинутый уровень: в целом понимает суть методики решения задачи, допущены неточности. Способен обосновать решения. Умеет использовать нормативно-техническую и специальную научную литературу, нормативно-правовые акты;
- высокий уровень: Понимает суть методики решения задачи. Способен обосновать решения. Умеет использовать нормативно-техническую и специальную научную литературу, передовой зарубежный опыт, нормативно-правовые акты.

Составляющая компетенции – владение навыками

- нулевой уровень: не продемонстрировал навыки выполнения профессиональных задач. Испытывает существенные трудности при выполнении отдельных заданий;
- минимальный уровень: не продемонстрировал навыки выполнения профессиональных задач. Испытывает существенные трудности при выполнении отдельных заданий;
- пороговый уровень: владеет опытом готовности к профессиональной деятельности и профессиональному самосовершенствованию на пороговом уровне. Трудовые действия выполняет медленно и некачественно;
- средний уровень: владеет средним опытом готовности к профессиональной деятельности и профессиональному самосовершенствованию. Трудовые действия выполняет на среднем уровне по скорости и качеству;
- продвинутый уровень: владеет опытом и достаточно выраженной личностной готовности к профессиональной деятельности и профессиональному самосовершенствованию. Быстро и качественно выполняет трудовые действия;

- высокий уровень: владеет опытом и выраженностью личностной готовности к профессиональной деятельности и профессиональному самосовершенствованию. Быстро и качественно выполняет трудовые действия.

Обобщенная оценка сформированности компетенций

- нулевой уровень: компетенции не сформированы;
- минимальный уровень: значительное количество компетенций не сформировано;
- пороговый уровень: все компетенции сформированы, но большинство на пороговом уровне;
- средний уровень: все компетенции сформированы на среднем уровне;
- продвинутый уровень: все компетенции сформированы на среднем или высоком уровне;
- высокий уровень: все компетенции сформированы на высоком уровне.

4.2 Вопросы к экзамену и пример экзаменационного билета

Учебным планом экзамен не запланирован.

4.3 Критерии оценивания

Оценивание уровня освоения студентом учебного материала дисциплины «Моделирование механических систем» производится по результатам текущего контроля. **Текущий контроль** знаний студентов очной и заочной формы обучения осуществляется по результатам выполнения лабораторных работ. Распределение баллов текущего контроля работы студента на протяжении семестра приведено в таблице 1.

Таблица 1 – Распределение баллов текущего контроля

Форма контроля	Максимальное количество баллов	Примечание
Для студентов очной формы обучения		
Отчёт по лабораторной работе	11	Задание выполнено правильно, приведен анализ полученного результата
	9	Задание выполнено в целом правильно, возникли трудности в объяснении полученных результатов
	7	Задание выполнено, но имеются замечания по сути и по оформлению работы, возникли трудности в объяснении полученных результатов
	88	Всего из расчёта 8 лабораторных работ для очной формы обучения и 6 лабораторных работ для заочной формы обучения. Оценивается каждая работа

Форма контроля	Максимальное количество баллов	Примечание
	12	Проведены самостоятельные исследования механической системы
ИТОГО	100	Максимально возможное

Полученная оценка по 100-балльной шкале определяет оценку по государственной шкале и шкале ECTS (таблица 2).

Таблица 2 – Шкала оценивания

Сумма баллов по 100-балльной шкале	Оценка по шкале ECTS	Оценка по государственной шкале
90-100	A	Отлично
80-89	B	Хорошо
75-79	C	
70-74	D	Удовлетворительно
60-69	E	
35-59	FX	Неудовлетворительно
0-34	F*	

* – с обязательным повторным изучением дисциплины.

4.4 Пример текущего опроса на лабораторных занятиях

На примере темы «Моделирование низших кинематических пар в пакете SimMechanics».

1. Выполнить кинематический анализ предложенного механизма.
2. Построить структурную модель предложенного механизма, используя блоки SimMechanics Simulink.
3. Создать управляющий файл в пакете SimMechanics.
4. Подключить кинематический привод к начальному звену или другому элементу предложенного механизма.
5. Анимировать и исследовать движение механизма (с подключением сил и датчиков).

4.5 Курсовое проектирование

Курсовой проект (работа) по дисциплине «Моделирование механических систем» учебным планом не предусмотрен.

5 РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1 Основная литература

1. Моделирование мехатронных систем в среде MATLAB (Simulink / SimMechanics) [Электронный ресурс]: учебное пособие для вузов / В.М. Мусалимов, Г.Б. Заморуев, И.И. Калапышина [и др.]; С.-Пб. нац. исслед. ун-т инф-ц. технологий, механики и оптики. – 4 Мб. – Санкт-Петербург: ИТМО, 2013. – 1

файл. – Систем. требования: Acrobat Reader.

2. Шаповалов, В.В. Моделирование механических транспортных систем: учебно-методическое пособие для выполнения практических занятий контрольных и курсовых работ / В.В. Шаповалов, А.Л. Озябкин, В.В. Рубан; ФГБОУ ВО «Ростовский государственный университет путей сообщения». – Ростов н/Д: ФГБОУ ВО РГУПС, 2017. – 236 с. – 1 файл. – Систем. требования: Acrobat Reader.

II Дополнительная литература

3. Лимановская, О.В. Имитационное моделирование в AnyLogic 7. В 2 частях. Ч. 1: учебное пособие / О.В. Лимановская; под редакцией И.Н. Обабкова. – Екатеринбург: Издательство Уральского университета, 2017. – 152 с. – ISBN 978-5-7996-2029-5 (ч.1), 978-5-7996-1995-4. – Текст: электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART: [сайт]. – URL: <https://www.iprbookshop.ru/106371.html>.

4. Лимановская, О.В. Имитационное моделирование в AnyLogic 7. В 2 частях. Ч. 2: лабораторный практикум / О.В. Лимановская; под редакцией И.Н. Обабкова. – Екатеринбург: Издательство Уральского университета, 2017. – 104 с. – ISBN 978-5-7996-1996-1 (ч.2), 978-5-7996-1995-4. – Текст: электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART: [сайт]. – URL: <https://www.iprbookshop.ru/106372.html>.

6 УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Учебно-методические издания, разработанные в ДонНТУ:

5. Методические указания к проведению лабораторных работ по дисциплине «Моделирование механических систем» [Электронный ресурс] / сост. В.В. Полтавец. – Донецк: ДОННТУ, 2019. – 1 файл. – Системные требования: Acrobat Reader. (доступ через личный кабинет студента).

6. Методические указания к самостоятельной работе по дисциплине «Моделирование механических систем» для студентов всех форм обучения направления подготовки 15.04.02 «Технологические машины и оборудование» / сост.: сост. В.В. Полтавец. [Электронный ресурс]. – Донецк: ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет», 2021. – 1 файл. – Системные требования: Acrobat Reader. (доступ через личный кабинет студента).

7. Методические указания к выполнению индивидуального задания по дисциплине «Моделирование механических систем» для студентов всех форм обучения направления подготовки 15.04.02 «Технологические машины и оборудование» / сост.: сост. В.В. Полтавец. [Электронный ресурс]. – Донецк: ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет», 2021. – 1 файл. – Системные требования: Acrobat Reader. (доступ через личный кабинет студента).

Электронно-информационные ресурсы

ЭБС ДОННТУ – <http://donntu.ru/library>

ЭБС IPR SMART – <http://www.iprbookshop.ru>

7 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

7.1 Лекционные занятия:

учебная аудитория № 6.202а учебный корпус 6 для проведения занятий лекционного типа: (мультимедийное оборудование: ноутбук Операционная система Microsoft Windows XP Libreoffice 5.3.4.(2017), проектор м/мед .EPSON-X5 XGA 2200 Ansi, экран; учебно-наглядные пособия: стенды, специализированная мебель: доска аудиторная, парты.).

7.2 Лабораторные работы:

учебная аудитория № 6.211 учебный корпус 6 для проведения лабораторных занятий, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации: (мультимедийное оборудование: ноутбук, Операционная система Linux Ubuntu 18.04 (2018), LibreOffice 5.3.4 (2017), мультимедийный проектор, экран; 7 ПК – IntelCore 2Duo E8200 2.66/2Gb/320Gb/монитор 22", Операционная система Linux Ubuntu 18.04 (2018), LibreOffice 5.3.4 (2017), arduino (Лицензия GNU LGPL v2.1), GPSS World Student (Лицензия GNU LGPL v3), PascalABC.NET (Лицензия GNU LGPL v3), T-FLEX72 (ЛицензияGNU LGPL v3), AnyLogic (Лицензия GNU LGPL v3), Smath Studio (Лицензия GNU LGPL v3), V-Rep (Лицензия GNU LGPL v3), SciLab (ЛицензияGNU LGPL v2), LibroOffice 4.3.0 (Лицензия GNU LGPL v3), Ultimaker Cura (Лицензия GNU LGPL v3), MozillaFirefox (лицензия MPL2.0), Manjari 17 (Лицензия GNU LGPL v3); специализированная мебель: доска аудиторная, парты, планшеты с иллюстративными материалами).

7.3 Самостоятельная работа:

Помещения для самостоятельной работы с возможностью подключения к сети Интернет и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду организации: читальные залы, учебные корпуса 2, 3 (Компьютерная техника с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду (ЭИОС ДОННТУ) и электронно-библиотечную систему (ЭБС IPRbooks), а также возможностью индивидуального неограниченного доступа обучающихся в ЭБС и ЭИОС посредством Wi-Fi с персональных мобильных устройств. ОС- Microsoft Windows 7, OpenOffice 2.0.3 – общественная лицензия MPL 2.0, Grub loader for ALT Linux - лицензия GNU LGPL v3, Mozilla Firefox - лицензия MPL2.0, Moodle (Modular Object-Oriented Dynamic Learning Environment) - лицензия GNU GPL).