

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ЛУГАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИМЕНИ ВЛАДИМИРА ДАЛЯ»

Факультет компьютерных систем и информационных технологий  
Кафедра информационных и управляющих систем

УТВЕРЖДАЮ

Декан факультета компьютерных  
систем и информационных технологий

Кочевский А.А.

« 19 »

2023 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

**«Математическое моделирование и оптимизация движения  
многозвенных систем»**

по направлению подготовки 15.04.06 Мехатроника и робототехника  
магистерская программа «Мехатронные и робототехнические системы»

Луганск – 2023

## Лист согласования РПУД

Рабочая программа учебной дисциплины «Математическое моделирование и оптимизация движения многозвенных систем» по направлению подготовки 15.04.06 Мехатроника и робототехника. – 13 с.

Рабочая программа учебной дисциплины «Математическое моделирование и оптимизация движения многозвенных систем» составлена на основе Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки 15.04.06 Мехатроника и робототехника, утвержденного приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 14 августа 2020 г. № 1023, зарегистрированным в Министерстве юстиции Российской Федерации от 28 августа 2020 года № 59548, учебного плана по направлению подготовки 15.04.06 Мехатроника и робототехника (магистерская программа «Мехатронные и робототехнические системы») и Положения о рабочей программе учебной дисциплины в ФГБОУ ВО «ЛГУ им. В. Даля».

### СОСТАВИТЕЛЬ:

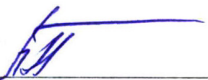
старший преподаватель кафедры информационных и управляющих систем  
Синепольский Д.О.

Рабочая программа дисциплины утверждена на заседании кафедры информационных и управляющих систем  
18 апреля 2023 года, протокол № 15.


Заведующий кафедрой  
информационных и управляющих систем \_\_\_\_\_  Горбунов А.И.

Переутверждена: « \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г., протокол № \_\_\_\_\_

### Согласована:

Декан факультета компьютерных систем и  
информационных технологий \_\_\_\_\_  Кочевский А. А.

Рекомендована на заседании учебно-методической комиссии факультета  
компьютерных систем и информационных технологий  
19 апреля 2023 года, протокол № 8.

Председатель учебно-методической комиссии факультета  
компьютерных систем и информационных технологий \_\_\_\_\_  Ветрова Н. Н.

## **Структура и содержание дисциплины**

### **1. Цели и задачи дисциплины, ее место в учебном процессе**

Цель дисциплины «Математическое моделирование и оптимизация движения многозвенных систем» – познакомить студента с методами исследования математических моделей многозвенных систем и сопутствующим математическим аппаратом, применяемыми при компьютерном моделировании робототехнических и мехатронных систем для исследования их движения, планирования и оптимизации траекторий рабочих органов.

Задачи изучения дисциплины: выработать навыки построения и анализа математических моделей мехатронных и робототехнических систем на разных уровнях моделирования.

### **2. Место дисциплины в структуре ОПОП ВО. Требования к результатам освоения содержания дисциплины**

Дисциплина «Математическое моделирование и оптимизация движения многозвенных систем» входит в обязательную часть учебного плана по направлению подготовки 15.04.06 Мехатроника и робототехника.

Содержание дисциплины является логическим продолжением содержания дисциплин «Дискретная математика», «Основы мехатроники и робототехники», «Алгоритмы управления подсистемами роботов» в объеме подготовки бакалавра по направлению 15.03.06, «Имитационное моделирование мехатронных и робототехнических систем» и служит основой для освоения дисциплины «мехатронные и робототехнические системы специального назначения».

### **3. Требования к результатам освоения содержания дисциплины**

**знать:**

- принципы построения математических моделей робототехнических систем;
- основные понятия и концепции математического моделирования многозвенных робототехнических и мехатронных систем
- порядок применения соответствующего теоретического аппарата;

**уметь:**

- формировать уравнений кинематики и динамики многозвенных механизмов;
- анализировать модели мехатронных и робототехнических систем на разных уровнях моделирования
- использовать методы вычислительной механики и математического моделирования в технических приложениях

**владеть:**

- навыками применения стандартных и специализированных математических пакетов и программных библиотек для моделирования электромеханических и гидравлических мехатронных модулей.

Перечисленные результаты образования являются основой для формирования следующих компетенций (в соответствии с ФГОС ВО и требованиями к результатам освоения основной образовательной программы (ОПОП ВО):

**общефессиональных:**

ОПК-11.1: Знать основные подходы, алгоритмы, методы расчетов и проектирования отдельных устройств и подсистем мехатронных и робототехнических систем с использованием стандартных исполнительных и управляющих устройств, средств автоматики, измерительной и вычислительной аппаратуры.

ОПК-11.2: Уметь разрабатывать цифровые алгоритмы и программы управления робототехническими системами.

ОПК-11.3: Владеть навыками организации разработки и применения алгоритмов, современных цифровых программных методов расчета и проектирования отдельных устройств и подсистем мехатронных и робототехнических систем с использованием стандартных исполнительных и управляющих устройств.

ОПК-13.1: Знать основные положения, законы и методы естественных наук и математики при формировании моделей и методов исследования мехатронных и робототехнических систем.

ОПК-13.2: Уметь формировать модели и методы исследования мехатронных и робототехнических систем с учетом законов естественных наук и математики.

ОПК-13.3: Владеть навыками использования основных положений, законов и методов естественных наук и математики при формировании моделей и методов исследования мехатронных и робототехнических систем.

**профессиональных:**

ПК-2.2: Уметь составлять математические модели объектов мехатроники, робототехники и комплексной автоматизации производственных процессов, проводить вычислительные эксперименты с использованием стандартных программных пакетов и программного обеспечения.

ПК-2.3: Владеть навыками физического, математического и цифрового моделирования, вычислительного эксперимента, анализа и обработки результатов эксперимента, организации научно-исследовательской деятельности в области создания объектов робототехники и автоматизированных систем машиностроительного производства.

## 4. Структура и содержание дисциплины

### 4.1. Объем учебной дисциплины и виды учебной работы

Вид учебной работы	Объем часов (з.е.)		
	Очная форма	Очно-заочная форма	Заочная форма
Объем учебной дисциплины (всего)	180 (5 з.е.)	-	180 (5 з.е.)
Обязательная аудиторная учебная нагрузка дисциплины (всего) в том числе:	56	-	14
Лекции	28	-	6
Семинарские занятия	-	-	-
Практические занятия	-	-	-
Лабораторные работы	28	-	8
Курсовая работа (курсовой проект)	-	-	-
Индивидуальное задание	-	-	-
Самостоятельная работа студента (всего)	88	-	157
Форма аттестации	экзамен	-	экзамен

### 4.2. Содержание разделов дисциплины

#### Тема 1. Моделирование динамики мехатронной системы

(Мехатронная система как объект проектирования. Модели динамики мехатронных систем и формы их представления. Постановка задачи автоматизация моделирования динамики мехатронной системы. Сравнительный анализ методов получения уравнений динамики)

#### Тема 2. Метод связанных графов

(Теоретические основы. Моделирование динамики систем. КПД одноступенчатого редуктора. Уравнение динамики манипулятора. Уравнение динамики электромеханического привода)

#### Тема 3. Автоматизация моделирования динамики с использованием метода связанных графов

(Порядок построения математической модели. Проблемы моделирования многосвязных механизмов)

#### Тема 4. Уравнения динамики исполнительных механизмов

(Несвободная механическая система. Реакции связей. Уравнения динамики голономной системы с сосредоточенными массами. Уравнения динамики голономной системы с распределенными массами)

#### Тема 5. Уравнения динамики манипуляторов

(Уравнения динамики манипулятора в обобщенных координатах. Уравнения динамики голономной системы с наличием замкнутых

кинематических контуров. Уравнения динамики механизма с качающимся цилиндром)

**Тема 6. Неголономные системы**

(Уравнения динамики системы с линейными неголономными связями. Действие системы сил)

**Тема 7. Алгоритмы формирования уравнений динамики и кинематики**

(Общий алгоритм формирования уравнений динамики механической системы. Алгоритм формирования уравнений кинематики. Рычажный механизм с 6-ю степенями свободы)

**Тема 8. Системы с сосредоточенными массами**

(Алгоритмы формирования уравнений динамики системы с сосредоточенными массами. Вычислительная эффективность алгоритмов динамики)

**Тема 9. Моделирование динамики исполнительного привода**

(Автоматизация моделирования динамики привода мехатронной системы. Модель динамики электропривода на основе двигателя постоянного тока независимого возбуждения. Уравнения динамики мехатронного модуля)

**Тема 10. Модель динамики гидропривода с гидроцилиндром двухстороннего действия**

(Общие характеристики гидропривода. Разработка математической модели гидропривода)

**4.3. Лекции**

№ п/п	Название темы	Объем часов		
		Очная форма	Очно-заочная форма	Заочная форма
1	Моделирование динамики мехатронной системы	2	-	1
2	Метод связанных графов	2	-	0,5
3	Автоматизация моделирования динамики с использованием метода связанных графов	2	-	0,5
4	Уравнения динамики исполнительных механизмов	4	-	0,5
5	Уравнения динамики манипуляторов	4	-	0,5
6	Неголономные системы	2	-	1
7	Алгоритмы формирования уравнений динамики и кинематики	2	-	0,5
8	Системы с сосредоточенными массами	2	-	1
9	Моделирование динамики исполнительного привода	4	-	0,5
10	Модель динамики гидропривода с гидроцилиндром двухстороннего действия	4	-	-

№ п/п	Название темы	Объем часов		
		Очная форма	Очно-заочная форма	Заочная форма
Итого:		28	-	6

#### 4.4. Практические (семинарские) занятия

Не предусмотрены

#### 4.5. Лабораторные работы

№ п/п	Название темы	Объем часов		
		Очная форма	Очно-заочная форма	Заочная форма
1	Исследование кинематической структуры пространственных механизмов	4	-	1
2	Исследование кинематических характеристик мехатронных модулей движения	4	-	1
3	Исследование мехатронного модуля с вращательной кинематической парой и электрогидравлическим приводом поступательного действия	4	-	1
4	Исследование динамических свойства мехатронного модуля движения при движении по заданной диаграмме скоростей	2	-	1
5	Исследование электрогидравлического мехатронного модуля движения	2	-	1
6	Изучение основных способов управления пневматическими приводами по скорости и положению	4	-	1
7	Проектирование многозвенных механических систем в SimMechanics	4	-	1
8	Моделирование рабочих движений многозвенных систем	4	-	1
Итого:		28	-	8

#### 4.6. Самостоятельная работа студентов

№ п/п	Название темы	Вид СРС	Объем часов		
			Очная форма	Очно-заочная форма	Заочная форма
1	Моделирование динамики мехатронной системы	работа с литературой	8	-	15
2	Метод связанных графов	работа с литературой, выполнение расчетов, подготовка отчетов	8	-	15
3	Автоматизация моделирования динамики	с работа с литературой, выполнение расчетов, подготовка отчетов	9	-	15

№ п/п	Название темы	Вид СРС	Объем часов		
			Очная форма	Очно-заочная форма	Заочная форма
	использованием метода связанных графов				
4	Уравнения динамики исполнительных механизмов	работа с литературой, выполнение расчетов, подготовка отчетов	9	-	16
5	Уравнения динамики манипуляторов	работа с литературой, выполнение расчетов, подготовка отчетов	9	-	16
6	Неголономные системы	работа с литературой, выполнение расчетов, подготовка отчетов	9	-	16
7	Алгоритмы формирования уравнений динамики и кинематики	работа с литературой, выполнение расчетов, подготовка отчетов	9	-	16
8	Системы с сосредоточенными массами	работа с литературой, выполнение расчетов, подготовка отчетов	9	-	16
9	Моделирование динамики исполнительного привода	работа с литературой, выполнение расчетов, подготовка отчетов	9	-	16
10	Модель динамики гидропривода с гидроцилиндром двухстороннего действия	работа с литературой, выполнение расчетов, подготовка отчетов	9	-	16
Итого:			88	-	157

#### **4.7. Курсовые работы/проекты**

Не предусмотрены

#### **5. Образовательные технологии**

Преподавание дисциплины ведется с применением следующих видов образовательных технологий:

– традиционные объяснительно-иллюстративные технологии, которые обеспечивают доступность учебного материала для большинства студентов, системность, отработанность организационных форм и привычных методов, относительно малые затраты времени;

– технологии проблемного обучения, направленные на развитие познавательной активности, творческой самостоятельности студентов и предполагающие последовательное и целенаправленное выдвижение перед студентом познавательных задач, разрешение которых позволяет студентам активно усваивать знания (используются поисковые методы; постановка познавательных задач);



– технологии развивающего обучения, позволяющие ориентировать учебный процесс на потенциальные возможности студентов, их реализацию и развитие;

– технологии концентрированного обучения, суть которых состоит в создании максимально близкой к естественным психологическим особенностям человеческого восприятия структуры учебного процесса и которые дают возможность глубокого и системного изучения содержания учебных дисциплин за счет объединения занятий в тематические блоки;

– технологии модульного обучения, дающие возможность обеспечения гибкости процесса обучения, адаптации его к индивидуальным потребностям и особенностям обучающихся (применяются, как правило, при самостоятельном обучении студентов по индивидуальному учебному плану);

– технологии дифференцированного обучения, обеспечивающие возможность создания оптимальных условий для развития интересов и способностей студентов, в том числе и студентов с особыми образовательными потребностями, что позволяет реализовать в культурно-образовательном пространстве университета идею создания равных возможностей для получения образования

– технологии активного (контекстного) обучения, с помощью которых осуществляется моделирование предметного, проблемного и социального содержания будущей профессиональной деятельности студентов (используются активные и интерактивные методы обучения) и т.д.

Максимальная эффективность педагогического процесса достигается путем конструирования оптимального комплекса педагогических технологий и (или) их элементов на личностно-ориентированной, деятельностной, диалогической основе и использования необходимых современных средств обучения.

## **6. Формы контроля освоения дисциплины**

Текущая аттестация студентов производится в дискретные временные интервалы лектором и преподавателем, ведущим практические занятия в следующих формах:

- лабораторные работы;
- защита результатов лабораторных работ (устная форма).

Фонды оценочных средств, включающие типовые задания и методы контроля, позволяющие оценить результаты промежуточной аттестации обучающихся по данной дисциплине, помещаются в приложении к рабочей программе в соответствии с «Положением о фонде оценочных средств».

Промежуточный контроль по результатам освоения дисциплины проходит в форме экзамена, который включает в себя ответ на теоретические вопросы.

Студенты, выполнившие 75% текущих и контрольных мероприятий на «отлично», а остальные 25 % на «хорошо», имеют право на получение итоговой отличной оценки.

В экзаменационную ведомость и зачетную книжку выставляются оценки по шкале, приведенной в таблице.

Шкала оценивания	Характеристика знания предмета и ответов
отлично (5)	Студент глубоко и в полном объеме владеет программным материалом. Грамотно, исчерпывающе и логично его излагает в устной или письменной форме. При этом знает рекомендованную литературу, проявляет творческий подход в ответах на вопросы и правильно обосновывает принятые решения, хорошо владеет умениями и навыками при выполнении практических задач.
хорошо (4)	Студент знает программный материал, грамотно и по сути излагает его в устной или письменной форме, допуская незначительные неточности в утверждениях, трактовках, определениях и категориях или незначительное количество ошибок. При этом владеет необходимыми умениями и навыками при выполнении практических задач.
удовлетворительно (3)	Студент знает только основной программный материал, допускает неточности, недостаточно четкие формулировки, непоследовательность в ответах, излагаемых в устной или письменной форме. При этом недостаточно владеет умениями и навыками при выполнении практических задач. Допускает до 30% ошибок в излагаемых ответах.
неудовлетворительно (2)	Студент не знает значительной части программного материала. При этом допускает принципиальные ошибки в доказательствах, в трактовке понятий и категорий, проявляет низкую культуру знаний, не владеет основными умениями и навыками при выполнении практических задач. Студент отказывается от ответов на дополнительные вопросы.

## 7. Учебно-методическое и программно-информационное обеспечение дисциплины:

### а) основная литература

1. Павлов В.П., Автоматизация моделирования мехатронных систем транспортно-технологических машин : учеб. пособие / Павлов В.П. - Красноярск : СФУ, 2016. - 144 с. - ISBN 978-5-7638-3405-5 - Текст : электронный // ЭБС "Консультант студента" : [сайт]. - URL : <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785763834055.html> (дата обращения: 07.03.2023). - Режим доступа : по подписке.
2. Атапин В.Г., Механика. Теоретическая механика : учебное пособие / Атапин В.Г. - Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2017. - 108 с. - ISBN 978-5-7782-3229-7 - Текст : электронный // ЭБС "Консультант студента" : [сайт]. - URL : <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785778232297.html> (дата обращения: 07.03.2023). - Режим доступа : по подписке.
3. Лапшин В.В., Механика и управление движением шагающих машин / В.В. Лапшин - М. : Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2012. - 199 с. - ISBN 978-5-7038-3586-9 - Текст : электронный // ЭБС "Консультант студента" : [сайт]. - URL :

<http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785703835869.html> (дата обращения: 07.03.2023). - Режим доступа : по подписке.

#### **б) дополнительная литература**

1. Панасенко Л.П., Механика : учебн.-метод. пособие / Панасенко Л.П. - Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2011. - 116 с. - ISBN 978-5-7782-1826-0 - Текст : электронный // ЭБС "Консультант студента" : [сайт]. - URL : <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785778218260.html> (дата обращения: 07.03.2023). - Режим доступа : по подписке.
2. Богомаз И.В., Механика / И.В. Богомаз - Красноярск : СФУ, 2012. - 346 с. - ISBN 978-5-7638-2178-9 - Текст : электронный // ЭБС "Консультант студента" : [сайт]. - URL : <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785763821789.html> (дата обращения: 07.03.2023). - Режим доступа : по подписке.
3. Подураев Ю.В., Мехатроника: основы, методы, применение : учеб. пособие для студентов вузов / Подураев Ю.В. - М.: Машиностроение, 2006. - 256 с. - ISBN 5-217-03355-X - Текст : электронный // ЭБС "Консультант студента" : [сайт]. - URL : <http://www.studentlibrary.ru/book/521703355X.html> (дата обращения: 07.03.2023). - Режим доступа : по подписке.
4. Жмудь В.А., Динамика мехатронных систем : учеб. пособие / Жмудь В.А. - Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2014. - 176 с. - ISBN 978-5-7782-2415-5 - Текст : электронный // ЭБС "Консультант студента" : [сайт]. - URL : <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785778224155.html> (дата обращения: 07.03.2023). - Режим доступа : по подписке.
5. Крамаренко Н.В., Алгоритмы управления движениями точки и робота-манипулятора : учебное пособие / Крамаренко Н.В. - Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2016. - 87 с. - ISBN 978-5-7782-2977-8 - Текст : электронный // ЭБС "Консультант студента" : [сайт]. - URL : <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785778229778.html> (дата обращения: 07.03.2023). - Режим доступа : по подписке.
6. Котов Е.А., Исследование динамики манипуляционных систем: метод. указания к лабораторному практикуму по курсу "Моделирование и исследование робототехнических систем" / Е.А. Котов, А.В. Назарова, Т.П. Рыжова; под ред. А.В. Назаровой. - М. : Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2013. - 53 с. - ISBN 978-5-7038-3651-4 - Текст : электронный // ЭБС "Консультант студента" : [сайт]. - URL : <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785703836514.html> (дата обращения: 07.03.2023). - Режим доступа : по подписке.
7. Павлов Б. И. Вычислительный эксперимент в динамике машин и механизмов [Текст] : монография / Б. И. Павлов, В. Д. Очиров ; отв. ред. Н. В. Умнов. - М. : Наука, 1991. - 144 с. - ISBN 5-02-006837-3
8. Вукобратович М. Неадаптивное и адаптивное управление манипуляционными роботами [Текст] / М. Вукобратович, Д. Стокич, Н.

Кирчански ; пер. с англ: А. В. Назаровой, С. Л. Зенкевича; под ред.: Е. П. Попова, А. С. Ющенко. - М. : Мир, 1989. - 376 с. - ISBN 5-03-000540-4 (русс.). - ISBN 3-540-13073-X (англ.) и другие издания.

9. Коловский М. З. Основы динамики промышленных роботов [Текст] / М. З. Коловский, А. В. Слоущ. - М. : Наука, 1988. - 240 с. - (Науч. основы робототехники). - ISBN 5-02-013893-2

#### **в) методические указания**

1. Конспект лекций по дисциплине «Математическое моделирование и оптимизация движения многозвенных систем» для студентов по направлению подготовки «Мехатроника и робототехника» (электронное издание) / Составители: Д.О. Синепольский, В.В. Макогон – Луганск: изд-во ЛГУ им. В. Даля, 2023. – 76 с
2. Методические указания к лабораторным работам по дисциплине «Математическое моделирование и оптимизация движения многозвенных систем» Часть 1 для студентов по направлению подготовки «Мехатроника и робототехника» (электронное издание) / Составители: Д.О. Синепольский, В.В. Макогон – Луганск: изд-во ЛГУ им. В. Даля, 2023. – 39 с.
3. Методические указания к лабораторным работам по дисциплине «Математическое моделирование и оптимизация движения многозвенных систем» (Часть 2) для студентов по направлению подготовки «Мехатроника и робототехника» (электронное издание) / Составители: А.В. Балалаечников, В.В. Макогон – Луганск: изд-во ЛНУ им. В. Даля, 2019. – 68 с.

#### **г) Интернет-ресурсы:**

##### **Электронные библиотечные системы и ресурсы**

Электронно-библиотечная система «Консультант студента» – <http://www.studentlibrary.ru/cgi-bin/mb4x>

**Информационный ресурс библиотеки образовательной организации**

Научная библиотека имени А. Н. Коняева – <http://biblio.dahluniver.ru/>

#### **8. Материально-техническое обеспечение дисциплины**

Освоение дисциплины предполагает использование академических аудиторий, соответствующих действующим санитарным и противопожарным правилам и нормам.

Прочее: рабочее место преподавателя, оснащенное компьютером с доступом в Интернет.

Программное обеспечение:

<b>Функциональное назначение</b>	<b>Бесплатное программное обеспечение</b>	<b>Ссылки</b>
Операционная система	UBUNTU 19.04	<a href="https://ubuntu.com/">https://ubuntu.com/</a> <a href="https://ru.wikipedia.org/wiki/Ubuntu">https://ru.wikipedia.org/wiki/Ubuntu</a>
Система программирования на языке высокого уровня C++	Code::Blocks (GNU C++ 4.x)	<a href="http://www.codeblocks.org/downloads">http://www.codeblocks.org/downloads</a>
Система программирования на языке высокого уровня Pascal	Free Pascal IDE	<a href="https://www.freepascal.org/download.var">https://www.freepascal.org/download.var</a>
Офисный пакет	Libre Office 6.3.1	<a href="https://www.libreoffice.org/">https://www.libreoffice.org/</a> <a href="https://ru.wikipedia.org/wiki/LibreOffice">https://ru.wikipedia.org/wiki/LibreOffice</a>
Отображение файлов в формате PDF	Foxit Reader	<a href="https://www.foxitsoftware.com/downloads/">https://www.foxitsoftware.com/downloads/</a> (Free Download)
Браузер	Firefox Mozilla	<a href="http://www.mozilla.org/ru/firefox/fx">http://www.mozilla.org/ru/firefox/fx</a>