

Белорусский государственный университет

УТВЕРЖАЮ

Проректор по учебной работе
и образовательным инновациям

 О.И. Прохоренко

«05» июля 2023 г.

Регистрационный № УД – 12181/уч.

Динамика роботов и манипуляторов. Программирование роботов

**Учебная программа учреждения высшего образования
по учебной дисциплине для специальности:**

1-31 03 02 Механика и математическое моделирование

2023 г.

Учебная программа составлена на основе ОСВО 1-31 03 02-2021, типового учебного плана № G31-1-025/пр-тип. от 30.06.2021 г., учебных планов БГУ: №G31-1-029/уч. от 30.06.2021г., №G31-1-029/уч.- СИБД от 30.06.2021г.

СОСТАВИТЕЛИ:

Н.А. Докукова, доцент кафедры теоретической и прикладной механики механико-математического факультета Белорусского государственного университета, кандидат физико-математических наук, доцент;

А.В. Богданович, профессор кафедры теоретической и прикладной механики механико-математического факультета Белорусского государственного университета, доктор технических наук, профессор;

Е.В. Авдейчик, ассистент кафедры теоретической и прикладной механики механико-математического факультета Белорусского государственного университета

РЕЦЕНЗЕНТ:

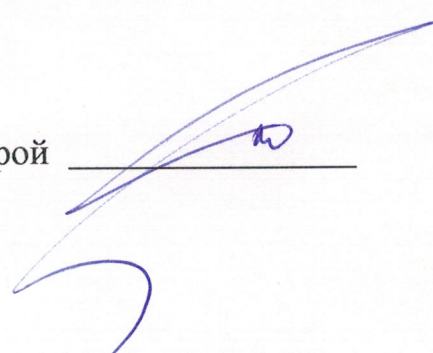
Еловой О.М., заместитель генерального директора ГНУ «Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси» по научной работе и инновационной деятельности, кандидат технических наук.

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой теоретической и прикладной механики механико-математического факультета Белорусского государственного университета (протокол № 12 от 17.05.2023)

Учебно-методической комиссией механико-математического факультета Белорусского государственного университета (протокол № 7 от 30.05.2023)

Заведующий кафедрой _____



М.А. Журавков

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Дисциплина специализации «Динамика роботов и манипуляторов. Программирование роботов» является изложением части прикладной науки, включающей в себя проектирование, программирование и разработку роботизированных устройств. Учебные программы робототехники объединяют математику, физику, механику, логику, программирование. При изучении ее студенты знакомятся с математическими описаниями динамики исполнительных устройств роботов для двух основных моделей - манипулятора с жёсткими и упругими связями звеньев, с принципами построения роботов, программным обеспечением роботов.

Цели и задачи учебной дисциплины

Цель учебной дисциплины «Динамика роботов и манипуляторов. Программирование роботов» – формирование у студентов знаний по моделированию, расчёту динамики исполнительных устройств роботов и программированию робототехнических комплексов.

Задачи учебной дисциплины:

- 1) ознакомление студентов с современным состоянием и перспективными направлениями развития робототехники;
- 2) ознакомление студентов с основными терминами, понятиями и закономерностями в исследованиях динамики управляемых манипуляторов;
- 3) ознакомление студентов с моделированием и решением задач динамики манипуляторов с упругими и жёсткими связями;
- 4) ознакомление студентов с основами программирования робототехники, управления робототехническими комплексами, динамике роботов и манипуляторов;
- 5) обучение студентов навыками решения практических задач по управлению робототехническими комплексами, динамике роботов и манипуляторов.

Место учебной дисциплины. В системе подготовки специалиста с высшим образованием учебная дисциплина относится к **дисциплинам специализации** компонента учреждения высшего образования.

Учебная программа составлена с учетом межпредметных **связей** и программ по дисциплинам: «Теоретическая механика», «Основы робототехники. Механика роботов и манипуляторов».

Требования к компетенциям

Освоение учебной дисциплины «Динамика роботов и манипуляторов. Программирование роботов» должно обеспечить формирование следующих компетенций:

универсальные компетенции:

УК-1. Владеть основами исследовательской деятельности, осуществлять поиск, анализ и синтез информации;

УК-2. Решать стандартные задачи профессиональной деятельности на основе применения информационно-коммуникационных технологий;

УК-4. Работать в команде, толерантно воспринимать социальные, этнические, конфессиональные, культурные и иные различия;

УК-5. Быть способным к саморазвитию и совершенствованию в профессиональной деятельности;

УК-6. Проявлять инициативу и адаптироваться к изменениям в профессиональной деятельности;

базовые профессиональные компетенции:

БПК-1. Применять основные законы и методы естественнонаучных дисциплин для решения теоретических и практических задач в профессиональной деятельности;

БПК-8. Использовать основные аналитические и численные методы теоретической механики, механики сплошных сред, сопротивления материалов к исследованию механических процессов;

БПК-9. Применять основные алгебраические и геометрические понятия, конструкции и методы для решения теоретических и прикладных задач механики и математики;

БПК-10. Применять теоретические знания и навыки в самостоятельной исследовательской деятельности;

специализированные компетенции:

СК-5. Применять методы и законы механики к исследованию робототехнических систем и решению прикладных задач механики.

В результате освоения учебной дисциплины студент должен:

знать: основные динамические модели манипуляторов; методы и приёмы описания динамики роботов; методы решения систем дифференциальных уравнений; способы приведения, сопоставления и идентификации механических параметров манипуляторов; основы робототехники; методы построения программ; новейшие достижения в области программирования робототехнических устройств.

уметь: использовать полученные знания в практической деятельности, для работы с робототехническими комплексами.

владеть: эффективными методами и приёмами решения задач механики роботов, методами расчёта полученных математических моделей, основными методами управления современными роботами.

Структура учебной дисциплины

Дисциплина изучается в 6 семестре. Всего на изучение учебной дисциплины «Динамика роботов и манипуляторов. Программирование роботов» отведено:

– в очной форме получения высшего образования: 100 часов, в том числе 66 аудиторных часа, из них: лекции – 10 часов, лабораторные занятия – 52 часа, управляемая самостоятельная работа – 4 часа.

Трудоемкость учебной дисциплины составляет 3 зачетные единицы.

Форма промежуточной аттестации – экзамен.

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

Раздел 1. Динамика роботов и манипуляторов

Тема 1.1. Современное состояние и перспективные направления развития робототехники. Модели и задачи динамики манипуляторов.

Основные направления развития робототехники в отраслях промышленности: автомобилестроения, авиастроения, производства бытовой робототехники, беспилотных транспортных средств, электронных помощников, роботов-курьеров, медицинской робототехники.

Манипуляторы с жёсткими звеньями и связями. Учёт упругости передаточных механизмов.

Тема 1.2. Матричный алгоритм вычисления функции Лагранжа для манипулятора. Аналитические вычисления функции Лагранжа для манипулятора.

Уравнения Лагранжа II-го рода для манипуляторов. Кинетическая и потенциальная энергия манипуляторов. Обобщённые силы. Вывод уравнений движения в матричной форме. Постановка задач динамики манипуляторов. Алгоритмы решения задач динамики. Параметрическое представление уравнений движения.

Тема 1.3. Приведение, сопоставление и идентификация механических параметров манипулятора. Уравнения движения манипулятора с жёсткими связями.

Определение механических параметров динамической модели манипулятора с жёсткими связями. Вывод уравнений движения манипулятора с жёсткими связями.

Тема 1.4. Математическая модель динамики манипулятора с упругими связями. Колебания около положения равновесия. Статическая ошибка манипулятора с упругими связями.

Нахождение упругих и диссипативных физических коэффициентов для формирования математической модели динамики манипулятора с упругими связями. Уравнения колебаний звена с упругими узловыми связями, граничные и начальные условия. Собственные частоты. Нахождение статической ошибки манипулятора с упругими связями.

Тема 1.5. Движение манипулятора с упругими связями относительно заданной номинальной траектории. Программы оптимального движения манипулятора с упругими связями.

Описание движения манипулятора с упругими связями относительно заданной номинальной траектории.

В среде современных аналитических вычислений Wolfram Mathematica создание программного кода расчёта оптимального движения манипулятора с упругими связями.

Раздел 2. Программирование роботов

Тема 2.1. Введение. Система управления ARPS

Введение. Система управления ARPS: формат команд и директив, использование видеотерминала, определение точек.

Тема 2.2. Переменные и числовые константы

Переменные и числовые константы. Целочисленные переменные и константы. Угловые значения. Установка скорости.

Тема 2.3. Точечные переменные

Точечные переменные. Абсолютные и координатные точки. Комбинированные точки.

Тема 2.4. Мониторные директивы

Группы мониторных команд. Директивы для определения точек. Директивы для работы с магнитными дисками. Директивы получения листингов. Директивы выполнения программы. Директивы удаления. Директивы распечатки справочника. Директивы задания скорости движения «руки» робота. Специальные директивы.

Тема 2.5. Пуск робота

Пуск робота. Включение питания и инициализация. Калибровка. Перемещение манипулятора из положения READY.

Тема 2.6. Выключение питания в разных режимах

Выключение питания в разных режимах. Обучение точкам. Команда и директива HERE. Директива LTEACH.

Тема 2.7. Программные команды

Программные команды. Использование программных команд в ручном режиме.

Тема 2.8. Работа с пультом управления

Работа с пультом управления. Режимы WOLD, JOINT, TOOL.

Тема 2.9. Редактирование

Редактирование. Общие положения, запись редактора. Команды редактирования.

Тема 2.10. Составление программ на языке ARPS

Составление программ на языке ARPS. Распечатка программ.

Тема 2.11. Применение команды TEACH

Особенности и порядок действия при осуществлении команды TEACH.

Тема 2.12. Прерывание работы робота по программе и последующий запуск

Прерывание работы робота по программе и последующий запуск. Работа с накопителем на гибком магнитном диске.

Тема 2.13. Специальные операции

Автоматический пуск. Режим контурного движения. Сдвиг системы координат инструмента. Использование ЗУ. Специальные программы входов и выходов.

Тема 2.14. Типовые программы

Типовые программы (запуска и манипулирования деталями).

Тема 2.15. Сообщения об ошибках.

Сообщения об ошибках. Версии языка программирования ARPS.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Очная форма получения высшего образования с применением дистанционных образовательных технологий (ДОТ)

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов					Количество часов УСП	Формы контроля знаний
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Иное		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Раздел 1. Динамика роботов и манипуляторов							
1.1	Современное состояние и перспективные направления развития робототехники. Модели и задачи динамики манипуляторов.	2			4			отчет по лабораторной работе
1.2	Матричный алгоритм вычисления функции Лагранжа для манипулятора. Аналитические вычисления функции Лагранжа для манипулятора.	2			4			отчет по лабораторной работе
1.3	Приведение, сопоставление и идентификация механических параметров манипулятора. Уравнения движения манипулятора с жёсткими связями.	2			4			отчет по лабораторной работе
1.4	Математическая модель динамики манипулятора с упругими связями.	2			4		2	отчет по лабораторной работе; доклад

	Колебания около положения равновесия. Статическая ошибка манипулятора с упругими связями.							
1.5	Движение манипулятора с упругими связями относительно заданной номинальной траектории. Программы оптимального движения манипулятора с упругими связями.	2			4			отчет по лабораторной работе
	Раздел 2. Программирование роботов							
2.1	Введение. Система управления ARPS				2			отчет по лабораторной работе
2.2	Переменные и числовые константы				2			отчет по лабораторной работе
2.3	Точечные переменные				2			отчет по лабораторной работе
2.4	Мониторные директивы				2			отчет по лабораторной работе
2.5	Пуск робота				2			отчет по лабораторной работе
2.6	Выключение питания в разных режимах				2			отчет по лабораторной работе
2.7	Программные команды				2			отчет по лабораторной работе
2.8	Работа с пультом управления				2			отчет по лабораторной работе
2.9	Редактирование				2			отчет по лабораторной работе

2.10	Составление программ на языке ARPS				4		2	контрольная работа по темам 1.1-1.5, 2.1-2.9; доклад
2.11	Применение команды TEACH				2			отчет по лабораторной работе
2.12	Прерывание работы робота по программе и последующий запуск				2			отчет по лабораторной работе
2.13	Специальные операции				2			отчет по лабораторной работе
2.14	Типовые программы				2			отчет по лабораторной работе
2.15	Сообщения об ошибках				2			отчет по лабораторной работе
	Итого	10			52		4	

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Перечень основной литературы

1. Робототехника. Кинематика и динамика манипуляторов/ О.Н. Вярвьильская и др. Под ред. Проф. Журавкова М.А. Учебн. пособие. Минск: БГУ, 2010.– 232 с.
2. Романов В.В. Основы программирования и эксплуатации промышленного робота РМ-01 модели «PUMA-560» с УЧПУ модели «СВЕРА 36». – Кострома, КТГУ, 1999.
3. Гляков С.А., Громыко О.В., Журавков М.А., Медведев Д.Г. Программное обеспечение промышленных роботов. – Минск : БГУ, 2008.
4. Эл Свейгарт. Автоматизация рутинных задач с помощью PYTHON, Практическое руководство для начинающих. – М. : Изд-во «Триумф», 2021. – 180 с.
5. Фу К., Гонсалес Р., Ли К. Робототехника. - М.: Мир, 1989. – 624 с.
6. Шахинпур М. Курс робототехники. - М.: Мир, 1990. – 527 с.

Перечень дополнительной литературы

1. Корендясев А.И., Саламандра Б.Л., Тывес Л.И. Теоретические основы робототехники. В 2-х кн. Отв. Ред. С.М. Каплунов. Ин-т машиноведения им. А.А. Благонравова РАН. – М. : Наука, 2006. Кн. 1. – 383 с.
2. Корендясев А.И., Саламандра Б.Л., Тывес Л.И. Теоретические основы робототехники. В 2-х кн. Отв. Ред. С.М. Каплунов. Ин-т машиноведения им. А.А. Благонравова РАН. – М. : Наука, 2006. Кн. 2. – 376 с.
3. Лабораторный практикум по курсу «Системы управления промышленными роботами» для студентов специальности Т. 11.01.00 «Автоматическое управление в технических системах».- Мн.: БГУИР, 2000. – 51с.
4. Программа, методические указания и контрольные задания по курсу "Управление промышленными роботами". Составители Фурман Ф.В., Юркевич Ю.Л., МРТИ, 1993.
5. Пол Р. Моделирование, планирование траекторий и управление движением робота-манипулятора. – М.: Наука, 1976. – 104 с.
6. Робототехника и гибкие автоматизированные производства. В девяти книгах. – М.: Наука, 1986.
7. Справочник по промышленной робототехнике. В двух книгах. – М.: Машиностроение, 1989.
8. Бурдаков С.Ф., Дьяченко В.А., Тимофеев А.Н. Проектирование манипуляторов, промышленных роботов и роботизированных комплексов. Учебное пособие. – М.: Высш. школа, 1986. – 264 с.

Перечень рекомендуемых средств диагностики и методика формирования итоговой отметки

Диагностика результатов учебной деятельности по дисциплине «Динамика роботов и манипуляторов. Программирование роботов» проводится, как правило, во время аудиторных занятий. Для диагностики используются:

- проверка отчетов по лабораторным работам;
- контрольная работа;
- доклад.

Отметка за ответы на лекциях (опрос) и выполнение отчетов по лабораторным работам включает в себя полноту ответа, наличие аргументов, примеров из практики. Контрольные мероприятия проводятся в соответствии с учебно-методической картой дисциплины.

Контрольная работа выполняется по изученным темам 1.1-1.5, 2.1-2.9 учебной дисциплины. Перечень вопросов и заданий для подготовки к контрольной работе преподаватель размещает заранее на образовательном портале факультета в Moodle.

Формой промежуточной аттестации по дисциплине «Динамика роботов и манипуляторов. Программирование роботов» учебным планом предусмотрен **экзамен**.

Для студентов, пропустивших контрольные мероприятия или получивших неудовлетворительную отметку, решение о повторном проведении контрольного мероприятия выносится в соответствии с положением о рейтинговой системе оценки знаний обучающихся по учебной дисциплине в Белорусском государственном университете.

При формировании итоговой отметки используется рейтинговая система оценки знаний студента, дающая возможность проследить и оценить динамику процесса достижения целей обучения. Рейтинговая система предусматривает использование весовых коэффициентов в ходе проведения контрольных мероприятий текущей аттестации.

Примерные весовые коэффициенты, определяющие вклад текущей аттестации в отметку при прохождении промежуточной аттестации:

Формирование отметки за текущую аттестацию:

- отчеты по лабораторным работам – 50 %;
- контрольная работа – 50%.

Итоговая отметка по дисциплине рассчитывается на основе отметки текущей аттестации (рейтинговой системы оценки знаний) – 40 % и экзаменационной отметки – 60 %.

Примерный перечень заданий для управляемой самостоятельной работы студентов

Тема 1.4. Математическая модель динамики манипулятора с упругими связями. Колебания около положения равновесия. Статическая ошибка манипулятора с упругими связями. (2 ч.)

Задание: для представленной динамической схемы робота-манипулятора с упругими связями получить её математическую модель, записать колебательные процессы около положения равновесия, определить статическую ошибку манипулятора.

Форма контроля – доклад.

Тема 2.10. Составление программ на языке ARPS. (2 ч)

Задание: Для заданного варианта (движения захвата робота) составить программу на языке ARPS.

Форма контроля – доклад.

Примерная тематика лабораторных занятий

Занятие № 1. Нахождение матриц перехода от систем координат звеньев манипулятора к полевой системе. Вычисление функции Лагранжа манипулятора по матричному алгоритму.

Занятие № 2. Вычисление функции Лагранжа манипулятора в аналитическом виде. Вывод уравнений движения жёсткой модели манипулятора.

Занятие № 3. Приведение, сопоставление и идентификация механических параметров манипулятора.

Занятие № 4. Решение задач динамики манипулятора с упругими связями. Нахождение статической ошибки манипулятора. Определение колебания около положения равновесия манипулятора с упругими связями.

Занятие № 5. Определение движения манипулятора с упругими связями относительно заданной номинальной траектории. Построение программ оптимального движения манипулятора.

Занятие № 6. Работа с системой управления ARPS.

Занятие № 7. Переменные и числовые константы.

Занятие № 8. Точечные переменные.

Занятие № 9. Работа с мониторными директивами.

Занятие № 10. Пуск робота.

Занятие № 11. Выключение питания в разных режимах.

Занятие № 12. Работа с программными командами.

Занятие № 13. Работа с пультом управления.

Занятие № 14. Редактирование.

Занятие № 15. Составление программ на языке ARPS.

Занятие № 16. Применение команды TEACH.

Занятие № 17. Прерывание работы робота по программе и последующий запуск.

Занятие № 18. Специальные операции.

Занятие № 19. Типовые программы.

Описание инновационных подходов и методов к преподаванию учебной дисциплины

При организации образовательного процесса используется *практико-ориентированный подход*, который предполагает:

- освоение содержание образования через решения практических задач;
- приобретение навыков эффективного выполнения разных видов профессиональной деятельности;
- использование процедур, способов оценивания, фиксирующих формирование профессиональных компетенций.

Методические рекомендации по организации самостоятельной работы обучающихся

При изучении дисциплины организация самостоятельной работы студентов должна представлять единство трех взаимосвязанных форм:

- 1) внеаудиторная самостоятельная работа;
- 2) аудиторная самостоятельная работа, которая осуществляется под непосредственным руководством преподавателя;
- 3) творческая, в том числе научно-исследовательская работа.

На лабораторных занятиях по дисциплине «Динамика роботов и манипуляторов. Программирование роботов» рекомендуется применять вариативные индивидуальные, в том числе исследовательские, задания для студентов для приобретения навыков самостоятельного решения практических задач.

В силу различного уровня готовности студентов к восприятию новых понятий на лабораторных занятиях по дисциплине рекомендуется проводить регулярные самостоятельные работы и при необходимости проводить дополнительные консультации для объяснения и закрепления сложного материала.

Условия для самостоятельной работы студентов, в частности, для развития навыков самоконтроля, способствующих интенсификации учебного процесса, обеспечиваются наличием и полной доступностью электронных (и бумажных) вариантов курсов лекций, учебно-методических пособий и сборников задач по основным разделам дисциплины.

Примерный перечень вопросов к экзамену

1. Система управления ARPS: формат команд и директив, использование видеотерминала, определение точек.

2. Переменные и числовые константы. Целочисленные переменные и константы. Угловые значения. Установка скорости.
3. Точечные переменные. Абсолютные и координатные точки. Комбинированные точки.
4. Мониторные директивы.
5. Пуск робота. Включение питания и инициализация. Калибровка. Перемещение манипулятора из положения READY.
6. Выключение питания в разных режимах.
7. Обучение точкам. Команда и директива HERE. Директива LTEACH
8. Программные команды.
9. Работа с пультом управления. Режимы WOLD, JOINT, TOOL.
10. Использование программных команд в ручном режиме.
11. Редактирование. Общие положения, запись редактора. Команды редактирования.
12. Составление программ на языке ARPS.
13. Распечатка программ.
14. Применение команды TEACH.
15. Работа с накопителем на гибком магнитном диске.
16. Прерывание работы робота по программе и последующий запуск.
17. Специальные операции.
18. Типовые программы (запуска и манипулирования деталями).
19. Сообщения об ошибках.
20. Версии языка программирования ARPS.

ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ УВО

Название учебной дисциплины, с которой требуется согласование	Название кафедры	Предложения об изменениях в содержании учебной программы учреждения высшего образования по учебной дисциплине	Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола)

**ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ К УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЕ ПО
ИЗУЧАЕМОЙ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ**

на ____ / ____ учебный год

№ п/п	Дополнения и изменения	Основание

Учебная программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры теоретической и прикладной механики (протокол № ____ от _____ 202_ г.)

Заведующий кафедрой
доктор ф/м наук профессор _____

М.А.Журавков

УТВЕРЖДАЮ
Декан факультета
доктор ф/м наук профессор _____

С.М.Босяков