

БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

УТВЕРЖДАЮ

Ректор Белорусского
государственного университета

А.Д.Король

23 декабря 2024 г.

Регистрационный №УД-13425/уч.



ДИНАМИКА РОБОТОВ И МАНИПУЛЯТОРОВ. ПРОГРАММИРОВАНИЕ РОБОТОВ

Учебная программа учреждения образования
по учебной дисциплине для специальности:

1-31 03 02 Механика и математическое моделирование

2024 г.

Учебная программа составлена на основе ОСВО 1-31 03 02-2021, учебных планов БГУ: №G31-1-209/уч. от 22.03.2022, №G31-1-209/уч.-СИБД от 22.03.2022.

СОСТАВИТЕЛИ:

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:

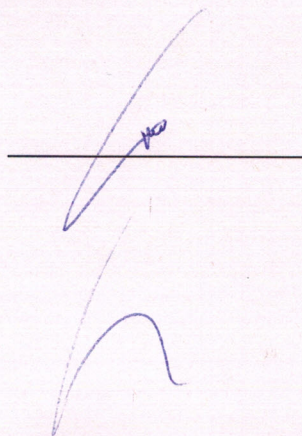
Еловый О.М., заместитель генерального директора ГНУ «Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси» по научной работе и инновационной деятельности, кандидат технических наук.

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой теоретической и прикладной механики БГУ
(протокол № 5 от 05.12.2024)

Научно-методическим советом БГУ
(протокол № 5 от 19.12.2024)

Заведующий кафедрой



М.А. Журавков

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

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:

Владеть основами исследовательской деятельности, осуществлять поиск, анализ и синтез информации;

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

Работать в команде, толерантно воспринимать социальные, этнические, конфессиональные, культурные и иные различия;

Быть способным к саморазвитию и совершенствованию в профессиональной деятельности;

Проявлять инициативу и адаптироваться к изменениям в профессиональной деятельности;

базовые профессиональные компетенции:

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

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

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

Применять теоретические знания и навыки в самостоятельной исследовательской деятельности;

специализированные компетенции:

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 решать задачи механики роботов, расчёта полученных математических моделей, управления современными роботами.

Структура учебной дисциплины

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

– для очной формы получения высшего образования: 132 часа, в том числе 86 аудиторных часов, из них: лекции – 18 часов, лабораторные занятия – 64 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. 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

Уравнения движения манипулятора с упругими связями относительно заданной номинальной траектории. Условия минимизации колебаний при движении.

Раздел 2. Программирование роботов

Тема 2.1. Введение. Промышленный робот PULSE 75 и его API

Введение. Промышленный робот PULSE 75 и особенности его API.

Тема 2.2. Безопасность

Безопасность при работе промышленного робота на примере PULSE 75.

Тема 2.3. Структура роботов. Цифровые выходы

75. Структура роботов. Цифровые выходы. Рассмотрение на примере PULSE

Тема 2.4. Цифровые входы

Цифровые входы промышленного робота PULSE 75.

Тема 2.5. Система Pick&Place

Система Pick&Place и ее применение в PULSE 75.

Тема 2.6. Паллетизация

Паллетизация и ее программирование на PULSE 75.

Тема 2.7. Сборка

Программирование PULSE 75 на сборке.

Тема 2.8. Управление движением

Управление движением, способы и задания и программирования на примере PULSE 75.

Тема 2.9. Моделирование РТК

Моделирование РТК на примере PULSE 75.

Тема 2.10. Программа RoboDK

Программа RoboDK.

Тема 2.11. Захватные механизмы

Захватные механизмы: специальные и вакуумные.

Тема 2.12. Трекинг конвейера

Трекинг конвейера и его применение в PULSE 75.

Тема 2.13. Техническое зрение

Техническое зрение и его применение в PULSE 75.

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 УСР	Формы контроля
		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			2			отчет по лабораторной работе
1.2	Матричный алгоритм вычисления функции Лагранжа для манипулятора. Аналитические вычисления функции Лагранжа для манипулятора	2			10			отчет по лабораторной работе
1.3	Приведение, сопоставление и идентификация механических параметров манипулятора. Уравнения движения манипулятора с жёсткими связями	2			8		2	отчет по лабораторной работе; доклад
1.4	Математическая модель динамики манипулятора с упругими связями. Колебания около положения	2			6			отчет по лабораторной работе

	равновесия. Статическая ошибка манипулятора с упругими связями							
1.5	Движение манипулятора с упругими связями относительно заданной номинальной траектории	2			4			отчет по лабораторной работе, контрольная работа по темам 1.1-1.4
	Раздел 2. Программирование роботов							
2.1	Введение. Промышленный робот PULSE 75 и его API	2			2			отчет по лабораторной работе
2.2	Безопасность				4			отчет по лабораторной работе
2.3	Структура роботов. Цифровые выходы	2			2			отчет по лабораторной работе
2.4	Цифровые входы				2			отчет по лабораторной работе
2.5	Система Pick&Place				2			отчет по лабораторной работе
2.6	Паллетизация				2			отчет по лабораторной работе
2.7	Сборка				2			отчет по лабораторной работе
2.8	Управление движением	2			2			отчет по лабораторной работе
2.9	Моделирование РТК				2			отчет по лабораторной работе
2.10	Программа RoboDK				2			контрольная работа по темам 2.1-2.9
2.11	Захватные механизмы				4		2	отчет по лабораторной работе, реферат

2.12	Трекинг конвейера				2			отчет по лабораторной работе
2.13	Техническое зрение	2			6			отчет по лабораторной работе
	Итого	18			64		4	

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Основная литература

1. Робототехника. Кинематика и динамика манипуляторов/ О.Н. Вярвильская и др. Под ред. Проф. Журавкова М.А. Учебн. пособие. Минск: БГУ, 2010.– 232 с.
2. PULSE Robotic ARM. API Reference Guide : Rozum Robotics, 2020. – 68 р.
3. Манипуляторы RC10, RC5, контроллер робота КР 3.6. Руководство по вводу в эксплуатацию : Roborgo by Rozum Robotics, 2024. – 62 с.
4. Гляков С.А., Громыко О.В., Журавков М.А., Медведев Д.Г. Программное обеспечение промышленных роботов. – Минск : БГУ, 2008.
5. Эл Свейгарт. Автоматизация рутинных задач с помощью PYTHON, Практическое руководство для начинающих. – М. : Изд-во «Триумф», 2021. – 180 с.

Дополнительная литература

6. Фу К., Гонсалес Р., Ли К. Робототехника. - М.: Мир, 1989. – 624 с.
7. Шахинпур М. Курс робототехники. - М.: Мир, 1990. – 527 с.
8. 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.
9. 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.
10. Лабораторный практикум по курсу «Системы управления промышленными роботами» для студентов специальности Т. 11.01.00 «Автоматическое управление в технических системах».- Мн.: БГУИР, 2000. – 51с.
11. Программа, методические указания и контрольные задания по курсу "Управление промышленными роботами". Составители Фурман Ф.В., Юркевич Ю.Л., МРТИ, 1993.
12. Пол Р. Моделирование, планирование траекторий и управление движением робота-манипулятора. – М.: Наука, 1976. – 104 с.
13. Робототехника и гибкие автоматизированные производства. В девяти книгах. – М.: Наука, 1986.
14. Справочник по промышленной робототехнике. В двух книгах. – М.: Машиностроение, 1989.
15. 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;
- реферат.

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 1.1-1.4, 2.1-2.9 учебной дисциплины. Перечень вопросов и заданий для подготовки к контрольной работе преподаватель заранее доводит до сведения студентов или размещает 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.

Для формирования итоговой отметки по учебной дисциплине используется модульно-рейтинговая система оценки знаний студента, дающая возможность проследить и оценить динамику процесса достижения целей обучения. Рейтинговая система предусматривает использование весовых коэффициентов для текущей и промежуточной аттестации студентов по учебной дисциплине.

Формирование итоговой отметки в ходе проведения контрольных мероприятий текущей аттестации (примерные весовые коэффициенты, определяющие вклад текущей аттестации в отметку при прохождении промежуточной аттестации):

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

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

Примерный перечень заданий для управляемой самостоятельной работы студентов

Тема 1.3. Приведение, сопоставление и идентификация механических параметров манипулятора. Уравнения движения манипулятора с жёсткими связями. (2 ч.)

Задание: Привести уравнение движения манипулятора к виду, содержащему минимальное количество механических параметров, которые представляют собой комбинации размерных и инерционных характеристик манипулятора, не зависящих от его конфигурации и движения.

Форма контроля – доклад.

Тема 2.11. Захватные механизмы. (2 ч)

Задание: Для заданного варианта (движения захвата робота) составить программу по захвату и перемещению изделия.

Форма контроля – реферат.

Описание инновационных подходов и методов к преподаванию учебной дисциплины

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

- освоение содержания 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 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. Алгоритм выбора систем координат звеньев и построения матриц перехода.
2. Матричный алгоритм вычисления функции Лагранжа манипулятора.
3. Алгоритм аналитического расчёта функции Лагранжа манипулятора.
4. Уравнения движения и задачи динамики жёсткой модели манипулятора.
5. Алгоритм выделения механических параметров манипулятора.
6. Алгоритм экспериментального определения механических параметров манипулятора при отсутствии трения в парах.
7. Алгоритм экспериментального определения механических параметров манипулятора при наличии трения в кинематических парах.
8. Уравнения движения упругого манипулятора.
9. Задачи динамики упругого манипулятора.
10. Статическая ошибка упругого манипулятора.
11. Колебания манипулятора около положения равновесия.
12. Алгоритм экспериментального определения коэффициентов жёсткости и диссипации упругого манипулятора.
13. Движение упругого манипулятора относительно заданной номинальной траектории.
14. Промышленный робот PULSE 75 и особенности его API.
15. Безопасность при работе промышленного робота на примере PULSE 75.
16. Структура роботов. Цифровые выходы. Рассмотрение на примере PULSE 75.
17. Цифровые входы промышленного робота PULSE 75.
18. Система Pick&Place и ее применение в PULSE 75.
19. Паллетизация и ее программирование на PULSE 75.
20. Программирование PULSE 75 на сборке.
21. Управление движением, способы и задания и программирования на примере PULSE 75.
22. Моделирование РТК на примере PULSE 75.
23. Программа RoboDK.
24. Захватные механизмы: специальные и вакуумные.
25. Трекинг конвейера и его применение в PULSE 75.
26. Техническое зрение и его применение в PULSE 75.

ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ УО

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)
Учебная дисциплина не требует согласования			

Заведующий кафедрой

М.А. Журавков

05.12.2024

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
 _____ (протокол № ____ от _____ 202_ г.)

 (название кафедры)

Заведующий кафедрой

 (ученая степень, ученое звание)

 (И.О.Фамилия)

УТВЕРЖДАЮ
 Декан факультета

 (ученая степень, ученое звание)

 (И.О.Фамилия)