

Міністерство освіти і науки України
Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»

Кафедра теоретичної механіки, машинознавства та роботомеханічних систем
(№ 202)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Керівник проектної групи


(підпис)

Н.В. Руденко
(ініціали та прізвище)

«30» 08 2021 р.

**РОБОЧА ПРОГРАМА ВИБІРКОВОЇ
НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ**

Прикладна механіка
(назва навчальної дисципліни)

Галузь знань: **13 «Механічна інженерія»**
(шифр і найменування галузі знань)

Спеціальність: **131 «Прикладна механіка»**
(код та найменування спеціальності)

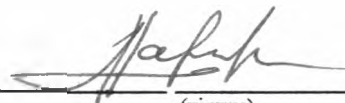
Освітня програма: **«Роботомеханічні системи та логістичні комплекси»**
(найменування освітньої програми)

Форма навчання: денна

Рівень вищої освіти: перший (бакалаврський)

Харків 2021 рік

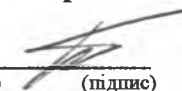
Розробник: Нарижний О.Г., доцент, к.т.н., доцент
(прізвище та ініціали, посада, науковий ступінь та вчене звання)


(підпис)

Робочу програму розглянуто на засіданні кафедри теоретичної механіки,
машинознавства та роботомеханічних систем _____
(назва кафедри)

Протокол № 11 від « 30 » 06 2021 р.

Завідувач кафедри докт. техн. наук, проф.
(науковий ступінь та вчене звання)


(підпис)

О.О. Баранов
(ініціали та прізвище)

1. Опис навчальної дисципліни

Найменування показників	Галузь знань, спеціальність, освітня програма, рівень вищої освіти	Характеристика навчальної дисципліни (денна форма навчання)
Кількість кредитів – 4,5	Галузь знань <u>13 «Механічна інженерія»</u> (шифр та найменування) Спеціальність <u>131 «Прикладна механіка»</u> (код та найменування) Освітня програма <u>«Роботомеханічні системи і логістичні комплекси»</u> (найменування) Рівень вищої освіти: перший (бакалаврський)	Вибіркова
Кількість модулів – 1		Навчальний рік
Кількість змістовних модулів – 2		2021/2022
Індивідуальне завдання РР «Кінематика та динаміка маніпулятора» (назва)		Семестр
Загальна кількість годин – 64/135		5-й
Кількість тижневих годин для денної форми навчання: аудиторних – 4 самостійної роботи студента – 4,4		Лекції ¹⁾
		32 години
		Практичні, семінарські ¹⁾
		32 години
		Лабораторні ¹⁾
	___ годин	
	Самостійна робота	
	71 година	
	Вид контролю	
	іспит	

Співвідношення кількості годин аудиторних занять до самостійної роботи становить: 64/71

¹⁾ Аудиторне навантаження може бути зменшене або збільшене на одну годину в залежності від розкладу занять.

2. Мета та завдання навчальної дисципліни

Мета:

- ознайомлення з особливостями структури маніпуляторів, методами дослідження маніпуляторів та розрахунками основних їх геометричних характеристик, загальними положеннями та принципами проектування та конструювання механізмів та їх вузлів.

Завдання:

- вивчення основних кінематичних співвідношень, які дозволяють вирішити задачі положення та керування маніпуляторами; вивчення основних положень стосовно динаміки маніпуляційних механізмів, математичних моделей руху та методик їх аналізу; будування моделей механічних систем роботів та моделей, пов'язаних з рішенням задач керування роботами за допомогою сучасних методів проектування.

Згідно з вимогами освітньо-професійної програми студенти повинні досягти таких компетентностей:

Загальні компетентності спеціальності (ЗК)

- ЗК1. Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу.
- ЗК2. Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності.
- ЗК3. Вміння виявляти, ставити та вирішувати проблеми.
- ЗК4. Вміння застосовувати знання у практичних ситуаціях.
- ЗК6. Визначеність і наполегливість щодо поставлених завдань і взятих обов'язків.
- ЗК7. Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями.
- ЗК13. Здатність оцінювати та забезпечувати якість виконуваних робіт.

Фахові компетентності спеціальності (ФК)

- ФК1. Здатність аналізу матеріалів, конструкцій та процесів на основі законів, теорій та методів математики, природничих наук і прикладної механіки.
- ФК2. Здатність робити оцінки параметрів працездатності матеріалів, конструкцій і машин в експлуатаційних умовах та знаходити відповідні рішення для забезпечення заданого рівня надійності конструкції і процесів, в тому числі за наявності деякої невизначеності.
- ФК5. Здатність використовувати аналітичні та чисельні математичні методи для вирішення задач прикладної механіки, зокрема здійснювати розрахунки на міцність, витривалість, стійкість, довговічність, жорсткість в процесі статичного та динамічного навантаження з метою оцінки надійності деталей та конструкцій машин.
- ФК6. Здатність виконувати технічні вимірювання, одержувати, аналізувати та критично оцінювати результати вимірювань.
- ФК7. Здатність використовувати комп'ютеризовані системи проектування (CAD), виробництва (CAM), інженерних досліджень (CAE) та спеціалізоване прикладне програмне забезпечення для вирішення інженерних завдань з прикладної механіки.
- ФК10. Здатність описувати та класифікувати широке коло технічних об'єктів та процесів, що ґрунтується на глибокому знанні та розумінні основних механічних теорій та практик, а також базових знаннях суміжних наук.

Програмні результати навчання. В результаті засвоєння курсу "Прикладна механіка" студент повинен бути здатний:

- РН1) вибирати та застосовувати для розв'язання задач прикладної механіки придатні математичні методи;
- РН8) знати і розуміти основи інформаційних технологій, програмування, практично використовувати прикладне програмне забезпечення для виконання інженерних розрахунків, обробки інформації та результатів експериментальних досліджень;
- РН10) знати конструкції, методики вибору і розрахунку, основи обслуговування і експлуатації приводів верстатів і робото технічного обладнання;

– PH12) навички практичного використання комп'ютеризованих систем проектування (CAD), виробництва (CAM), інженерних досліджень (CAE).

Міждисциплінарні зв'язки: вивчення курсу «Прикладна механіка» базується на загальних знаннях з таких дисциплін таких як «Механіка матеріалів та конструкцій», «Теорія механізмів та машин», «Теорія механізмів та машин (КП)» та є базою для написання дипломної роботи бакалавра.

3. Програма навчальної дисципліни

Модуль 1.

Змістовий модуль 1. Кінематика маніпуляторів.

Тема 1. Вступ до дисципліни.

Зміст та структура дисципліни. Предмет та метод дисципліни. Основні поняття. Зв'язок з іншими науковими та учбовими дисциплінами. Історична довідка. Основні задачі дисципліни. Довідки з алгебри матриць.

Тема 2. Кінематика маніпуляторів.

Пряма задача кінематики. Матриці елементарного повороту. Матриці складного повороту. Матриця повороту відносно довільної осі. Представлення матриць за допомогою кутів Ейлера. Геометричний сенс матриці повороту.

Тема 3. Однорідні координати та матриці перетворення.

Геометричний сенс однорідної матриці перетворень. Однорідна матриця послідовності перетворень. Обертання однієї матриці.

Тема 4. Підхід Денавіта-Хартенберга.

Ланки, кінематичні пари, їх параметри. Метод визначення систем координат за Денавітом-Хартенбергом. Класифікація маніпуляторів. Алгоритм побудови систем локальних координат.

Тема 5. Рівняння кінематики.

Рівняння кінематики та матриця маніпулятора. Опис орієнтації хвату за допомогою кутів Ейлера та кутів крену, тангажу та рискання.

Тема 6. Зворотня задача кінематики.

Сутність зворотної задачі. Метод подібних перетворень. Варіанта методу. Приклади. Геометричний підхід.

Модульний контроль.

Змістовний модуль №2. Динаміка та планування траєкторій

Тема 7. Динаміка маніпуляторів.

Метод Лагранжа-Ейлера. Швидкість довільної точки маніпулятора. Кінетична енергія маніпулятора. Потенційна енергія маніпулятора. Рівняння руху маніпулятора.

Тема 8. Рівняння руху маніпулятора з обертальними ланками.

Загальні рівняння руху маніпулятора. Рівняння руху маніпулятора з обертальними парами. Вектор сил інерції. Приклад: двох ланковий маніпулятор.

Тема 9. Планування траєкторій маніпуляторів.

Загальна задача планування траєкторій. Згладжені траєкторії у просторі приєднаних змінних. Опис траєкторій кубічними сплайнами.

Тема 10. Планування траєкторій в декартових координатах.

Планування траєкторій в декартових координатах. Метод, що використовує однорідну матрицю перетворень

Тема 11. Спряження між двома частинами траєкторії.

Спряження між двома частинами траєкторії. Планування траєкторій з використанням кватерніонів. Приклади.

Тема 12. Метод планування траєкторій в декартових координатах.

Планування траєкторій в декартових координатах. Алгоритм формування траєкторій з обмеженими відхиленнями.

Тема 13. Опис траєкторій за допомогою кубічних сплайнів.

Опис траєкторій за допомогою кубічних сплайнів з обмеженнями моментів. Обмеження за швидкістю. Обмеження за прискоренням. Обмеження за швидкістю зміни прискорення. Заключний огляд питань курсу.

Модульний контроль.

4. Структура навчальної дисципліни

Назви змістовних модулів і тем	Кількість годин				
	Усього	У тому числі			
		л	п	лаб.	с. р.
1	2	3	4	5	6
Модуль 1					
Змістовний модуль 1. . Кінематика маніпуляторів					
Тема 1. Вступ до дисципліни	8	2	2		4
Тема 2 Кінематика маніпуляторів	8	2	2		4
Тема 3. Однорідні координати та матриці перетворення.	8	2	2		4
Тема 4 Підхід Денавіта- Хартенберга	9	4	2		3
Тема 5. Рівняння кінематики	8	2	2		4
Тема 6. Зворотна задача кінематики.	10	2	4		4
Модульний контроль	2		2		
Разом за змістовним модулем 1	53	14	16		23
Змістовний модуль 2. Динаміка та планування траєкторій					
Тема 7. Динаміка маніпуляторів	8	2	2		4
Тема 8. Рівняння руху маніпулятора з обертальними ланками.	10	4	2		4
Тема 9. Планування траєкторій маніпуляторів	8	2	2		4
Тема 10. Планування траєкторій в декартових координатах.	8	2	2		4
Тема 11. Спряження між двома частинами траєкторії.	8	2	2		4
Тема 12. Метод планування траєкторій в декартових координатах.	8	2	2		4
Тема 13. Опис траєкторій за допомогою кубічних сплайнів.	10	4	2		4
Модульний контроль	2		2		
Разом за змістовним модулем 2	62	18	16		28
Усього годин	115	32	32		51
Індивідуальне завдання	20				
Контрольний захід	2				
Усього годин	135	32	32		71

5. Теми семінарських занять

Семінарських занять немає.

6. Теми практичних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Основи програмування та рішення задач в системі MathCAD	2
2	Матрична алгебра	2
3	Рішення задач кінематики. Будування матриць обертання.	2
4	Побудова однорідних матриць послідовності перетворень	2
5	Метод Денавіта- Хартенберга на прикладі маніпулятора ПУМА	4
6	Рішення варіанту домашнього завдання	4
7	Динаміка маніпулятора. Метод Лагранжа-Ейлера	2
8	Загальні рівняння руху маніпулятора	2
9	Планування траєкторій	2
10	Планування траєкторій в декартових координатах	2
11	Планування траєкторій з використанням кватерніонів	2
12	Використання кубічних сплайнів з обмеженнями моментів	2
13	Модульний контроль	4
	Разом	32

7. Теми лабораторних занять

Лабораторних занять немає

8. Самостійна робота

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Алгебра матриць	4
2	Кінематика маніпуляторів	4
3	Однорідні координати та матриці перетворення.	4
4	Підхід Денавіта- Хартенберга.	3
5	Рівняння кінематики маніпулятора	4
6	Зворотна задача кінематики.	4
7	Динаміка маніпуляторів	4
8	Рівняння руху маніпулятора з обертальними ланками.	4
9	Планування траєкторій маніпуляторів	4
10	Планування траєкторій в декартових координатах	4
11	Спряження між двома частинами траєкторії	4
12	Метод планування траєкторій в декартових координатах.	4
13	Опис траєкторій за допомогою кубічних сплайнів	4
	Разом	51

9. Індивідуальні завдання

Індивідуальних завдань за темою «Кінематика та динаміка маніпулятора»

10. Методи навчання

Проведення аудиторних лекцій, практичних занять, індивідуальні консультації, самостійна робота студентів за матеріалами, опублікованими кафедрою (методичні посібники).

11. Методи контролю

Проведення поточного контролю, письмового модульного контролю, фінальний контроль у

вигляді іспитів.

12. Критерії оцінювання та розподіл балів, які отримують студенти

12.1. Розподіл балів, які отримують студенти (кількісні критерії оцінювання)

Складові навчальної роботи	Бали за одне заняття (завдання)	Кількість занять (завдань)	Сумарна кількість балів
Змістовний модуль 1			
Робота на лекціях	0... 1	7	0... 7
Робота на практичних заняттях	0...2	7	0...14
Модульний контроль	0... 18	1	0... 18
Змістовний модуль 2			
Робота на лекціях	0... 1	9	0... 9
Робота на практичних заняттях	0...2	7	0...14
Модульний контроль	0... 18	1	0... 18
Виконання та захист РГР			20
Всього за семестр			0...100

Семестровий контроль (іспит) проводиться у разі відмови студента від балів поточного тестування та за наявності допуску до іспиту. При складанні семестрового іспиту студент має можливість отримати максимум 100 балів.

Білет для іспиту складається з двох теоретичних питань та однієї задачі. Максимальна кількість балів за одне теоретичне питання –20, за задачу –60. Загальна максимальна кількість балів дорівнює 100 балів

12.2. Якісні критерії оцінювання

Необхідний обсяг знань для одержання позитивної оцінки:

1. Предмет та метод дисципліни.
2. Основні поняття. Зв'язок з іншими науковими та учбовими дисциплінами.
3. Основні задачі дисципліни.
4. Довідки з алгебри матриць.
5. Пряма задача кінематики.
6. Матриці елементарного повороту.
7. Матриці складного повороту.
8. Матриця повороту відносно довільної осі.
9. Представлення матриць за допомогою кутів Ейлера.
10. Геометричний сенс матриці повороту.
11. Геометричний сенс однорідної матриці перетворень.
12. Однорідна матриця послідовності перетворень.
13. Обертання однорідної матриці
14. Ланки, кінематичні пари, їх параметри.
15. Метод визначення систем координат за Денавітом-Хартенбергом.
16. Класифікація маніпуляторів.
17. Алгоритм побудови систем локальних координат.
18. Рівняння кінематики та матриця маніпулятора.
19. Опис орієнтації хвату за допомогою кутів Ейлера.
20. Опис орієнтації хвату за допомогою кутів крену, тангажу та рискання.

21. Метод Лагранжа-Ейлера.
22. Швидкість довільної точки маніпулятора.
23. Кінетична енергія маніпулятора.
24. Потенційна енергія маніпулятора.
25. Рівняння руху маніпулятора.
26. Загальні рівняння руху маніпулятора.
27. Рівняння руху маніпулятора з обертальними парами.
28. Вектор сил інерції.
29. Приклад: двох ланковий маніпулятор.
30. Загальна задача планування траєкторій.
31. Згладжені траєкторії у просторі приєднаних змінних.
32. Опис траєкторій кубічними сплайнами.
33. Планування траєкторій в декартових координатах. Метод, що використовує однорідну матрицю перетворень
34. Спряження між двома частинами траєкторії.
35. Планування траєкторій з використанням кватерніонів. Приклади.
36. Планування траєкторій в декартових координатах. Алгоритм формування траєкторій з обмеженими відхиленнями.
37. Опис траєкторій за допомогою кубічних сплайнів з обмеженнями моментів.
38. Опис траєкторій за допомогою кубічних сплайнів з обмеженням за швидкістю.
39. Опис траєкторій за допомогою кубічних сплайнів з обмеженням за прискоренням.
40. Опис траєкторій за допомогою кубічних сплайнів з обмеженням за швидкістю зміни прискорення.

Необхідний обсяг умінь для одержання позитивної оцінки:

1. Основи програмування та рішення задач в системі MathCAD.
2. Операції матричної алгебри.
3. Побудова елементарних матриць обертання
4. Побудова матриць послідовностей обертання
5. Рішення прямої задачі кінематики.
6. Рішення зворотної задачі кінематики.
7. Побудова елементарних однорідних матриць перетворень
8. Побудова однорідних матриць послідовності перетворень
9. Метод Денавіта-Хартенберга на прикладі маніпулятора ПУМА
10. Побудова рівнянь руху маніпулятора
11. Рішення задачі динаміка маніпулятора за методом Лагранжа-Ейлера
12. Рішення задачі динаміка маніпулятора за методом кінетостатики
13. Планування траєкторій в декартових координатах
14. Планування траєкторій з використанням кватерніонів
15. Використання кубічних сплайнів з обмеженнями моментів

12.3 Критерії оцінювання роботи студента протягом семестру

Задовільно (60-74). Мати мінімум знань та умінь. Знати основні поняття та закони кінематики і динаміки маніпуляторів. Виконати та захистити домашнє завдання. Вміти самостійно формулювати однорідні матриці простих та складних перетворень, розраховувати елементи матриць за допомогою MathCAD. Вміти за допомогою викладача формулювати пряму та зворотню задачі кінематики та динаміки маніпулятору. Вміти формулювати задачу планування траєкторії.

Добре (75 - 89). Знати закони кінематики та динаміки маніпуляторів та їх теоретичне обґрунтування. Виконати та захистити домашнє завдання. Вміти самостійно формулювати та за допомогою викладача вирішувати прямі та зворотні задачі кінематики, динаміки та

планування траєкторій, а також пояснювати результати, отримані в результаті вирішення задач.

Відмінно (90 - 100). Повно знати основний матеріал курсу. Виконати та відмінно захистити домашнє завдання. Вміти самостійно:

- розшукувати та усвідомлювати теоретичний матеріал з літературних джерел;
- формулювати та вирішувати задачі кінематики, динаміки та планування траєкторій маніпуляторів за допомогою MathCAD;
- аналізувати та пояснювати отримані результати рішення задач.

Шкала оцінювання: бальна і традиційна

Сума балів	Оцінка за традиційною шкалою
	Іспит, диференційований залік
90 – 100	Відмінно
75 – 89	Добре
60 – 74	Задовільно
0 – 59	Незадовільно

13. Методичне забезпечення

1. Меньшиков В.О. Динаміка механізмів: навч. посіб. Харків: Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського "Харк. авіац. ін-т", 2016. 91 с.
http://library.khai.edu/library/fulltexts/metod/Menshukov_Dunamika_Mehanizmov.pdf
2. Усік В.В. Курс теорії механізмів і машин: навч. посіб.- Харків: Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського "Харк. авіац. ін-т", 2019. 86 с.
http://library.khai.edu/library/fulltexts/Kniqi/Usik_Kurs_Teoriyi.pdf

14. Рекомендована література

Базова

1. Елементи робототехнічних пристроїв і модулі ГВС: Підручник /За заг. ред. Л.С.Ямпольського. – К.: Вища шк., 1992. – 431 с.
2. Основи робототехніки. Навчальний посібник/ Н.В. Морзе, Л.О. Варченко_Троценко, М.А. Гладун.- Кам'янець-Подільський ПП Буйницький О.А., 2016.- 184 с. ISBN -617-608-063-3
3. Робототехніка та мехатроніка: навч. посіб. / Л.І. Цвіркун, Г. Грулер; під заг. ред. Л.І. Цвіркуна; М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т. 3-тє вид., переробл. і доповн. – Дніпро: НГУ, 2017. – 224 с.

Допоміжна

1. Fu K.S., Gonzalez R.C., Lee C.S.G. Robotics: control, sensing, vision and intelligence.- McGraw-Hill, 1987.-594 p/

16. Інформаційні ресурси

<https://education.khai.edu/department/202>
<https://k202.tilda.ws/>