



# МАНІПУЛЯТОРИ РОБОТИЗОВАНИХ КОМПЛЕКСІВ

## Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

| 1. Реквізити навчальної дисципліни          |                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|---------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Рівень вищої освіти                         | Другий (магістерський)                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Галузь знань                                | G Механічна інженерія                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Спеціальність                               | G9 Прикладна механіка                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Освітня програма                            | Автоматизовані та роботизовані механічні системи                                                                                                                                                                                                                           |
| Статус дисципліни                           | Вибіркова                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Форма навчання                              | Очна (денна)                                                                                                                                                                                                                                                               |
| Рік підготовки, семестр                     | 1 курс, другий семестр                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Обсяг дисципліни                            | 5 кредитів ЄКТС                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Семестровий контроль/ контрольні заходи     | Екзамен / практичні роботи (комп'ютерні практикуми), лабораторні роботи, МКР.                                                                                                                                                                                              |
| Розклад занять                              | Лекції 30 годин, лабораторні 14 годин, практичні 16 годин (2 години лекції та 2 години лаб.р. / прак.р. на тиждень), СРС 90 годин, <a href="http://rozklad.kpi.ua/Schedules/">http://rozklad.kpi.ua/Schedules/</a>                                                         |
| Мова викладання                             | Українська                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Інформація про керівника курсу / викладачів | Лекції: докт. наук, доцент, Струтинський, Сергій, Васильович, <a href="mailto:strutynskiy@gmail.com">strutynskiy@gmail.com</a> ,<br>Практичні: докт. наук, доцент, Струтинський, Сергій, Васильович.<br>Лабораторні: докт. наук, доцент, Струтинський, Сергій, Васильович. |
| Розміщення курсу                            | <a href="https://pgm.kpi.ua/silabus/">https://pgm.kpi.ua/silabus/</a>                                                                                                                                                                                                      |

## 2. Програма навчальної дисципліни

### 1. Опис навчальної дисципліни, її мета, предмет вивчення та результати навчання

Навчальна дисципліна «Маніпулятори роботизованих комплексів» має на меті вивчення особливостей конструкції та основ проектування обладнання, що застосовується для переміщення та позиціонування об'єктів на виробництві. Маніпулятори оснащені приводами, що забезпечують рух об'єктів у просторі які дозволяють надати тілу точне лінійне та кутове положення, а для його утримання використовуються різноманітні конструкції захватних пристроїв. Сучасне обладнання, що забезпечує маніпулювання об'єктами має певні особливості, що повинні бути враховані на етапі конструювання. До проєктованих систем висуваються достатньо високі вимоги по точності та швидкодії. Також розробник має забезпечити високу надійність та довговічність обладнання. **Метою** викладання дисципліни є формування у студентів здатностей розв'язувати складні технічні задачі щодо розрахунку, моделювання та конструювання маніпуляторів роботизованих комплексів, застосовувати широко вживані методів проектування, проектувати систем маніпулювання традиційної конструкції та інноваційні пристрої, що забезпечують високу динаміку або мікропереміщення вихідної ланки. Особлива увага приділяється вивченню нових та нетрадиційних технічних рішень. **Предмет вивчення дисципліни:** Сучасні методики проектування маніпуляторів роботизованих комплексів, що використовуються для взаємодії із об'єктами різних типів. Використання на практиці новітніх підходів та концепцій проектування маніпуляторів. Особлива увага приділена розробленню комплексних адаптивних систем, обладнаних мехатронною системою керування. Такі системи у повній мірі

враховують сучасні підходи до проектування комплексних систем маніпулювання, а також технічні та технологічні аспекти їх реалізації. Отримані **компетентності** дозволять: розробляти та виконувати моделювання систем приводів та захватних пристроїв маніпуляторів; вирішувати задачі із розрахунку та моделювання складних механічних систем. Використання комплексного підходу при проектуванні дозволяє вирішувати складні задачі по моделюванню роботи та дослідженню інноваційних конструкцій маніпуляторів, а використання новітніх засобів та методик дає можливість проектувати маніпулятори, обладнані мехатронною системою керування, що дозволяє у повній мірі використати потенціал наявної елементної бази.

**Компетенції, що посилюються дисципліною:**

Згідно з вимогами програми навчальної дисципліни студенти після засвоєння дисципліни мають продемонструвати такі результати навчання:

ЗК 1. Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу;

ЗК 3. Вміння виявляти, ставити та вирішувати проблеми;

ФК 2. Здатність робити оцінки параметрів працездатності матеріалів, конструкцій і машин в експлуатаційних умовах та знаходити відповідні рішення для забезпечення заданого рівня надійності конструкцій і процесів, в тому числі і за наявності деякої невизначеності;

ФК 8. Здатність до просторового мислення і відтворення просторових об'єктів, конструкцій та механізмів у вигляді проєкційних креслень та тривимірних геометричних моделей;

ФК 10. 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;

РН 1. Вибирати та застосовувати для розв'язання задач прикладної механіки придатні математичні методи;

РН 6. Створювати і теоретично обґрунтовувати конструкції машин, механізмів та їх елементів на основі методів прикладної механіки, загальних принципів конструювання, теорії взаємозамінності, стандартних методик розрахунку деталей.

**2. Пререквізити та постреквізити дисципліни (місце в структурно-логічній схемі навчання за відповідною освітньою програмою)**

Необхідне попереднє успішне оволодіння знаннями та вміннями, набутими при вивченні дисциплін «Математика», «Фізика», «Теоретична механіка», «Опір матеріалів», «Теорія механізмів і машин», «Деталі машин». Результати вивчення дисципліни «Маніпулятори роботизованих комплексів» є необхідними для подальшого вивчення дисципліни: «Методологія науково-дослідної діяльності».

**3. Зміст навчальної дисципліни**

Тема 1. Застосування маніпуляторів роботизованих комплексів на виробництві.

Тема 2. Схемні рішення маніпуляторів з послідовним з'єднанням ланок та паралельної структури, області застосування рішень різних типів.

Тема 3. Конструктивні рішення маніпуляторів, особливості розроблення маніпуляторів паралельної структури.

Тема 4. Елементна база маніпуляторів: шарніри, двигуни, сервоприводи та захватні пристрої.

Тема 5. Системи автоматичного керування приводів маніпуляторів.

Тема 6. Математичне моделювання роботи серводвигунів маніпуляторів.

Тема 7. Визначення характеристик маніпуляторів, особливості їх розрахунку. Проектні розрахунки робочого простору та геометричних параметрів маніпуляторів.

Тема 8. Визначення статичних характеристики та вантажопідйомності маніпуляторів.

Тема 9. Дослідження напружено-деформованого стану елементної бази маніпулятора, оптимізація конструкції та масогабаритних характеристик.

Тема 10. Інерційні властивості та динаміка систем приводів маніпуляторів.

Тема 11. Застосування регульованих демпферних пристроїв у складі маніпуляторів для покращення характеристик систем приводів.

Тема 12. Визначення надійності маніпуляторів та їх складових. Способи підвищення надійності.

Тема 13. Застосування адитивних технологій для виготовлення компонентів та систем приводів маніпуляторів.

Тема 14. Пружно-деформовані шарніри та приводи, особливості їх використання у складі маніпуляторів.

Тема 15. Механізми паралельної структури побудовані на основі правильних багатогранників.

#### 4. Навчальні матеріали та ресурси

*Основна література (підручники, навчальні посібники)*

1. Струтинський С.В. Просторові системи приводів: Монографія / ав. Струтинський С.В., Гуржій А.А. – К.: Педагогічна думка, 2013. – 492 с.
2. Павленко, І. І. Захватні пристрої роботів : монографія / І. І. Павленко, М. О. Годунко; [за ред. І. І. Павленка] . - Кропивницький : ТОВ «КОД», 2020. - 386 с.
3. Струтинський С.В., Кропивна А. Аналіз процесів технологічних систем. Навчальний посібник. – Кіровоград: «КОД», 2010. – 428 с. - ISBN 978-966-1508-48-3.
4. Функціональне проектування верстатів та машин в Autodesk Inventor. Частина I: навч. посіб. Навчальне електронне видання. [для студ. вищ. навч.закл.] / В.М. Гейчук. - Київ: НТУУ "КПІ", 2017. – 394 с.
5. Киричок П.О., Струтинський С.В., Олійник В.Г. Спеціальні методи наукових досліджень: підручник. – К.: Вид. дім «Артек», 2016. – 594 с. ISBN 978-617-7264-28-5.

*Додаткова література (монографії, статті, документи, електронні ресурси)*

1. Деталі машин. Основи теорії та розрахунків : навчальний посібник для студентів машинобудівних спеціальностей усіх форм навчання / А. В. Гайдамака. – Харків : НТУ «ХПІ», 2020. – 275 с
2. Крижанівський В. А., Кузнєцов Ю. М., Валявський І. А., Склярів Р. А. Технологічне обладнання з паралельною кінематикою: Навчальний посібник для ВНЗ. Під ред.. Ю. М. Кузнєцова. – Кіровоград, 2004. – 449 с.
3. Ловейкін В.С. Динамічна оптимізація механізму підйому вантажу мостових кранів. Монографія / В.С. Ловейкін, Ю.О. Ромасевич. – К.: ЦП „КОМПРИНТ”, 2015. – 197 с.
4. Струтинський С.В., Гуржій А.А. Визначення стохастичних динамічних навантажень, які виникають на особливих ділянках траєкторії руху виконавчого органу просторової системи приводів / Вісник НТУУ «Київський політехнічний інститут», серія Машинобудування. – No 66. Т. 1. – Київ, 2012.– С.38-45.
5. Гідроавтоматика та робототехніка: лабораторний практикум [Електронний ресурс] : навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавра за освітньою програмою «Автоматизовані та роботизовані механічні системи» спеціальності 131 Прикладна механіка / Луговський О. Ф., Струтинський С. В., Гришко І. А., Семінська Н. В., Ночніченко І. В., Зілінький А. І. ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 5,05 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 61 с. - Назва з екрана. <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/48909>

рекомендації та роз'яснення:

- Всі базові літературні джерела є в бібліотеці КПІ ім. Ігоря Сікорського та в методичному кабінеті кафедри;
- Жодне джерело, як і всі перелічені літературні джерела разом, не є достатнім для опанування дисципліни без виконання комплексу самостійних робіт та самостійного розв'язання типових задач проектування маніпуляторів роботизованих комплексів.

### 3. Навчальний контент

#### 5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Методика опанування кожної теми складається з п'ятьох компонентів: теоретичні відомості за темою, методики їх застосування, приклади застосування методик та самостійного виконання практичних та лабораторних робіт за індивідуальними завданнями.

#### ЛЕКЦІЙНІ ЗАНЯТТЯ

|    | Назва теми лекції та перелік основних питань<br>(перелік дидактичних засобів, посилання на літературу та завдання на СРС)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|----|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. | <b>Тема 1. Застосування маніпуляторів роботизованих комплексів на виробництві.</b><br><b>Лекція 1. Застосування маніпуляторів роботизованих комплексів на виробництві.</b><br>Пристрої та системи, що використовуються для переміщення та маніпулювання об'єктами. Основні задачі, що вирішуються за допомогою маніпуляторів. Класифікація машин та обладнання, що входить до складу маніпулятора. Основні характеристики обладнання. Сучасні підходи до проектування маніпуляторів.<br>Література: основна 1,2; додаткова 1,2.<br><b>Завдання на СРС.</b> Робота з каталогами провідних виробників маніпуляторів та захватних пристроїв, підбір обладнання за онлайн-каталогами.                                                                                                                                                                       |
| 2. | <b>Тема 2. Схемні рішення маніпуляторів з послідовним з'єднанням ланок та паралельної структури, області застосування рішень різних типів.</b><br><b>Лекція 2. Схемні рішення маніпуляторів з послідовним з'єднанням ланок та паралельної структури, області застосування рішень різних типів.</b><br>Застосування схем компоновки систем маніпулювання послідовної та паралельної структури. Переваги та типові області застосування різних кінематичних схем. Використання блочно-модульного підходу при розробленні маніпуляторів та спорідненого обладнання. Особливості та переваги від використання захватних пристроїв різних типів.<br>Література: основна 1,2.<br><b>Завдання на СРС.</b> Особливості конструктивної реалізації шарнірів та приводів маніпуляторів паралельної структури, обмеження які накладаються на шарніри маніпуляторів. |
| 3. | <b>Тема 3. Конструктивні рішення маніпуляторів, особливості розроблення маніпуляторів паралельної структури.</b><br><b>Лекція 3. Конструктивні рішення маніпуляторів, особливості розроблення маніпуляторів паралельної структури.</b><br>Методика синтезу схемного та конструктивного рішення просторової системи приводів маніпуляторів. Особливості конструктивної реалізації схемного рішення. Вплив схемного рішення на технічні характеристики маніпулятора.<br>Проектування конструкції маніпулятора на основі вибраного схемного рішення. Застосування ітераційних алгоритмів для вибору оптимальної конструкції. Моделювання характеристик на основі розробленої твердотільної моделі.                                                                                                                                                         |

|    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    | <p>Література: основна 1,3; додаткова 2,3.</p> <p><b>Завдання на СРС.</b> Синтез нових схемних рішень просторових маніпуляторів за ітераційним алгоритмом.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| 4. | <p><b>Тема 4. Елементна база маніпуляторів: шарніри, двигуни, сервоприводи та захватні пристрої.</b></p> <p><b>Лекція 5. Елементна база маніпуляторів: шарніри, приводи та захватні пристрої.</b></p> <p>Двигуни, приводи, передачі та шарніри, що застосовуються у системах приводів маніпуляторів. Універсальна та спеціалізована елементна база. Застосування функціонально-орієнтованої елементної бази при проектуванні систем маніпулювання.</p> <p>Література: основна 1,3,4;5 додаткова 1,2.</p> <p><b>Завдання на СРС.</b> Механічні характеристики двигунів та особливості ШІМ-керування.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| 5. | <p><b>Тема 5. Системи автоматичного керування приводів маніпуляторів.</b></p> <p><b>Лекція 6. Системи автоматичного керування приводів маніпуляторів.</b></p> <p>Розімкнуті та замкнені системи автоматичного керування. Схемне рішення серводвигуна та елементна база, що використовується у його складі. Реалізація зворотного зв'язку у складі сервопривода. Застосування пропорційного та ПІД-керування.</p> <p>Література: основна 1,5.</p> <p><b>Завдання на СРС.</b> Механічні характеристики двигунів та особливості ШІМ-керування.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| 6. | <p><b>Тема 6. Математичне моделювання роботи серводвигунів маніпуляторів.</b></p> <p><b>Лекція 6. Математичне моделювання роботи серводвигунів маніпуляторів.</b></p> <p>Рівняння, що описують динаміку серводвигуна, що включає механічну передачу. Реалізація математичної моделі двигуна у середовищі MatLab. Математичне моделювання роботи серводвигуна, що керується за допомогою ПІД-регулятора, налаштування параметрів ПІД-регулятора. Врахування впливу похибок датчика зворотного зв'язку на функціонування системи.</p> <p>Література: основна 1,5 додаткова 5.</p> <p><b>Завдання на СРС.</b> Особливості роботи гідравлічного приводу, що керується за допомогою двокаскадного гідравлічного розподільника із пристроєм сопло-заслінка.</p>                                                                                                                                                                                                                      |
| 7. | <p><b>Тема 7. Визначення характеристик маніпуляторів, особливості їх розрахунку.</b></p> <p><b>Проектні розрахунки робочого простору та геометричних параметрів маніпуляторів.</b></p> <p><b>Лекція 7. Визначення характеристик маніпуляторів, особливості їх розрахунку.</b></p> <p><b>Проектні розрахунки робочого простору та геометричних параметрів маніпуляторів.</b></p> <p>Робочий простір систем приводів, призначених для маніпулювання об'єктами, точність та вантажопідйомність як основні параметри при проектних розрахунках. Визначення геометричних розмірів маніпулятора у залежності від робочого простору. Проектні розрахунки геометричних розмірів ланок механізму у залежності від вантажопідйомності.</p> <p>Література: основна 1,2,3,4. додаткова 1.</p> <p><b>Завдання на СРС.</b> Застосування геометричних методів та систем автоматизованого проектування при визначенні робочого простору обладнання, що забезпечує маніпулювання об'єктами.</p> |
| 8. | <p><b>Тема 8. Визначення статичних характеристики та вантажопідйомності маніпуляторів.</b></p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |

|     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|-----|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|     | <p><b>Лекція 8. Визначення статичних характеристики та вантажопідйомності маніпуляторів.</b></p> <p>Статичний розрахунок механізму маніпулятора, особливості врахування сил ваги та сил інерції, визначення характеристик механізмів паралельної структури. Визначення вантажопідйомності маніпулятора у прив'язці до робочого простору. Вибір форми та розрахунок площі поперечного перерізу ланок, у залежності від діючих навантажень. Література: основна 1,2; додаткова 1,2,3.</p> <p><b>Завдання на СРС.</b> Методи оптимізації конструкції механізму маніпулятора для забезпечення покращеної жорсткості та підвищення вантажопідйомності.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| 9.  | <p><b>Тема 9. Дослідження напружено-деформованого стану елементної бази маніпулятора, оптимізація конструкції та масогабаритних характеристик.</b></p> <p><b>Лекція 9. Дослідження напружено-деформованого стану елементної бази маніпулятора, оптимізація конструкції та масогабаритних характеристик.</b></p> <p>Міцнісні розрахунки ланок маніпулятора та конструктивних елементів захватних пристроїв. Визначення розмірів ланок маніпулятора по заданій вантажопідйомності. Розроблення твердотільних моделей та застосування методу кінцевих елементів для визначення міцності деталей маніпулятора. Література: основна 1,2,5.</p> <p><b>Завдання на СРС.</b> Оптимізація конструктивного рішення маніпулятора та зниження його масогабаритних характеристик.</p>                                                                                                                                                                                                                    |
| 10. | <p><b>Тема 10. Інерційні властивості та динаміка систем приводів маніпуляторів.</b></p> <p><b>Лекція 10. Інерційні властивості та динаміка систем приводів маніпуляторів.</b></p> <p>Інерційні характеристики ланок маніпулятора при складному просторовому русі. Момент інерції ланки відносно осі та тензор моменту інерції. Інерційні характеристики ланок змінної конфігурації. Застосування тензора моменту інерції при дослідженні динаміки просторової системи приводів маніпулятора. Спрощена планарна динамічна модель просторової системи приводів. Перехід від планарної моделі до динамічних підсистем. Визначення динамічних характеристик маніпулятора. Література: основна 1,3; додаткова 3,4.</p> <p><b>Завдання на СРС.</b> Визначення інерційних характеристик ланок за допомогою систем автоматизованого проектування. Математичне моделювання динаміки маніпулятора у середовищі MatLab.</p>                                                                            |
| 11. | <p><b>Тема 11. Застосування регульованих демпферних пристроїв у складі маніпуляторів для покращення характеристик систем приводів.</b></p> <p><b>Лекція 11. Застосування регульованих демпферних пристроїв у складі маніпуляторів для покращення характеристик систем приводів.</b></p> <p>Врахування динамічних впливів на точність відпрацювання траєкторії при виконанні маніпулятором технологічних операцій. Залежність точності від динамічних навантажень викликаних дією корисного навантаження. Виникаючі прискорення та діючі інерційні зусилля. Застосування мехатронної системи управління до складу якої входить динамічна модель маніпулятора для покращення його характеристик. Використання датчиків зворотного зв'язку для управління пристроями для демпфування коливань. Література: основна 1,3.</p> <p><b>Завдання на СРС.</b> Врахування динамічних процесів у мехатронних системах. Вплив швидкодії системи управління на динамічні характеристики маніпулятора.</p> |
| 12. | <p><b>Тема 12. Визначення надійності маніпуляторів та їх складових. Способи підвищення надійності.</b></p> <p><b>Лекція 12. Визначення надійності маніпуляторів та їх складових. Способи підвищення надійності.</b></p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |

|     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|-----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|     | <p>Визначення надійності та довговічності обладнання при дії циклічного навантаження. Розрахунок ресурсу деталей маніпулятора вірогіднісними методами. Визначення ресурсу обладнання із застосуванням методу кінцевих елементів. Способи підвищення надійності обладнання, застосування резервування.</p> <p>Література: основна 1,4; додаткова 1.</p> <p><b>Завдання на СРС.</b> Застосування датчиків вібропереміщень у складі мехатронної системи керування для підвищення надійності та довговічності обладнання.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| 13. | <p><b>Тема 13. Застосування адитивних технологій для виготовлення компонентів систем приводів та захватних пристроїв маніпуляторів.</b></p> <p><b>Лекція 13. Застосування адитивних технологій для виготовлення компонентів маніпуляторів.</b></p> <p>Твердотільне моделювання ланок та поворотних вузлів маніпулятора, застосування моделей для подальшого виготовлення деталей. Робота із тривимірними об'єктами у CAD, CAM та CAE системах. Виготовлення деталей із використанням адитивних технологій (зд-друк, лазерна різка, обробка заготовок на верстаті з ЧПК).</p> <p>Використання формату STL для експорту твердотільних моделей.</p> <p>Розробка технології виготовлення прототипу деталі із 3д друку. Підготовка програми управління для створення деталі у напіваавтоматичному режимі.</p> <p>Література: основна 1.</p> <p><b>Завдання на СРС.</b> Підготовка деталі до виготовлення за допомогою лазерної різки. Створення креслення на основі твердотільної моделі. Врахування особливостей процесу виготовлення.</p> |
| 14. | <p><b>Тема 14. Пружно-деформовані шарніри та приводи, особливості їх використання у складі маніпуляторів.</b></p> <p><b>Лекція 14. Пружно-деформовані шарніри та приводи, особливості їх використання у складі маніпуляторів.</b></p> <p>Конструкція, принцип роботи та область застосування пружно-деформованих шарнірів та приводів, пружно-деформовані механізми. Переваги та недоліки пружно-деформованих систем. Обмеження, що виникають при застосуванні пружно-деформованих шарнірів. Забезпечення високої точності позиціонування безшарнірних систем.</p> <p>Література: основна 1,5.</p> <p><b>Завдання на СРС.</b> Конструктивні рішення маніпуляторів, що використовують шлангові пневмодвигуни, їх переваги та недоліки.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| 15. | <p><b>Тема 15. Механізми паралельної структури побудовані на основі правильних багатогранників.</b></p> <p><b>Лекція 15. Механізми паралельної структури побудовані на основі правильних багатогранників.</b></p> <p>Механізми побудовані на основі правильних багатогранників, зокрема тетраедра, куба та октаедра, область їх застосування. Особливості схемних рішень та варіанти конструктивної реалізації механізмів. Математичне моделювання кінематичних та кінетостатичних характеристик. Механізми побудовані на основі правильних багатогранників.</p> <p>Література: основна 1,5.</p> <p><b>Завдання на СРС.</b> Особливості конструкції та принцип роботи торсіонних шарнірів, що забезпечують один та два ступені вільності.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                          |

### *ЛАБОРАТОРНІ РОБОТИ*

Метою проведення лабораторного практикуму з курсу «Маніпулятори роботизованих комплексів» є ознайомлення студентів з елементною базою, схемними та конструктивними

рішеннями маніпуляторів, опанування теоретичних та експериментальних методів дослідження їх характеристик, обробкою результатів експерименту.

| № з/п | Назва лабораторної роботи                                                                                                                                                                                                            | Кількість ауд. годин |
|-------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|
| 1.    | <b>Лабораторна робота 1.</b> Побудова кінематичної схеми, теоретичне та експериментальне визначення кінематичних та кінетостатичних характеристик передачі гвинт-гайка.                                                              | 2                    |
| 2.    | <b>Лабораторна робота 2.</b> Побудова кінематичної схеми, теоретичне та експериментальне визначення основних характеристик хвильової та циклоїдної передачі.                                                                         | 2                    |
| 3.    | <b>Лабораторна робота 3.</b> Вивчення конструкції та особливостей підключення крокового двигуна та серводвигуна, розробка та налаштування системи керування.                                                                         | 4                    |
| 4.    | <b>Лабораторна робота 4.</b> Вивчення конструктивного рішення трьохкоординатного механізму паралельної структури. Особливості збирання та керування. Побудова кінематичної схеми та експериментальна оцінка точності позиціонування. | 4                    |
| 5.    | <b>Лабораторна робота 5.</b> Вивчення конструктивного рішення шестикоординатного механізму паралельної структури. Побудова кінематичної схеми та експериментальне визначення сингулярних положень.                                   | 4                    |

### ПРАКТИЧНІ ЗАНЯТТЯ

Метою циклу практичних робіт з курсу «Маніпулятори роботизованих комплексів» є набуття практичних навичок із розрахунку систем приводів маніпуляторів, визначенню їх робочого простору, по створенню тривимірних моделей конструкцій систем маніпулювання, розробленню параметричних математичних моделей, що визначають кінематичні, статичні та динамічні характеристики систем у прив'язці до робочого простору; набуття навичок з розрахунку ключових деталей та вузлів із використанням спеціалізованих програмних рішень та сучасних методик та програмних засобів.

| № з/п | Назва практичного заняття (комп'ютерного практикуму)                                                                                                                                                                                                  | Кількість ауд. годин |
|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|
| 1.    | <b>Практичне заняття 1.</b> Побудова кінематичної схеми маніпулятора, усунення зайвих ступенів вільності та надлишкових зв'язків, вибір елементної бази.                                                                                              | 2                    |
| 2.    | <b>Практичне заняття 2.</b> Розробка твердотільної моделі механізму паралельної структури, що відповідає проєктному робочому простору механізму на основі заданих геометричних параметрів із використанням САД-систем.                                | 2                    |
| 3.    | <b>Практичне заняття 3.</b> Визначення робочого простору маніпулятора побудованого на базі механізму паралельної структури. Встановлення основних обмежень, що накладаються на його елементну базу.                                                   | 2                    |
| 4.    | <b>Практичне заняття 4.</b> Розроблення математичної моделі, що описує кінематику маніпулятора. Використання середовища MathCad для реалізації кінематичних залежностей. Моделювання робочого простору механізму із використанням методу Монте-Карло. | 4                    |

|    |                                                                                                                                                                                                     |   |
|----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|
| 5. | <b>Практичне заняття 5.</b> Розроблення кінетостатичної математичної моделі маніпулятора. Використання середовища MathCad для визначення вантажопідйомності маніпулятора та характеристик приводів. | 4 |
|----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|

## 6. Самостійна робота студента

$$150 - 30 - 30 = 90.$$

| № з/п | Вид самостійної роботи                     | Кількість годин СРС |
|-------|--------------------------------------------|---------------------|
| 1.    | Підготовка до лекцій                       | 15                  |
| 2.    | Підготовка до практичних занять            | 17                  |
| 3.    | Підготовка до лабораторних занять          | 24                  |
| 4.    | Виконання РГР <b>Не передбачено</b>        | -                   |
| 5.    | Виконання ДКР <b>Не передбачено</b>        | -                   |
| 6.    | Виконання МКР                              | 4                   |
| 7.    | Підготовка до заліку <b>Не передбачено</b> | -                   |
| 8.    | Підготовка до екзамену                     | 30                  |
|       | <b>Всього:</b>                             | <b>90</b>           |

Метою самостійної роботи є засвоєння наданих на лекціях теоретичних матеріалів для підготовки до виконання практичних та лабораторних робіт з дисципліни «Маніпулятори роботизованих комплексів» та закріплення студентами вмінь та навичок самостійного аналізу та використання розглянутих методик.

Мета модульної контрольної роботи (МКР) – отримання студентом умінь по використанню теоретичних знань, набутих під час вивчення лекційного матеріалу і тем самостійної роботи, необхідних для розв'язування задач із відповідних тем, здобуття навичок з вирішення практичних інженерних задач у рамках курсу «Маніпулятори роботизованих комплексів».

## 4. Політика та контроль

### 7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Система вимог, які викладач ставить перед студентом:

Основним засобом діагностики успішності навчання є виконання 5 практичних робіт (комп'ютерних практикумів) та 5 лабораторних робіт, що засвідчують компетенцію фахівця у галузі розрахунку, моделювання та проектування маніпуляторів та їх компонентів.

Для належного засвоєння матеріалів дисципліни потрібно:

- правила відвідування занять: відповідно до Наказу 1-273 від 14.09.2020 р. заборонено оцінювати присутність або відсутність здобувача на аудиторному занятті, в тому числі нараховувати заохочувальні або штрафні бали. Відповідно до РСО даної дисципліни бали нараховують за відповідні види навчальної активності на заняттях.
- правила поведінки на заняттях передбачають активний діалог з викладачем, індивідуальну роботу та паралельну роботу в командах по розробленню математичних моделей та рішень, швидка підготовка результатів за наданими завданнями, використання стандартного обладнання та електронних каталогів фірм-виробників;
- засвідченням виконання практичної/лабораторної роботи є вірно виконаний розрахунок або математична модель, розроблена твердотільна модель, що виконана відповідно до завдання, коректне застосування методи для вирішення прикладної задачі;

- правила виконання та захисту практичних/лабораторних робіт полягають в представленні на протязі заняття результатів розрахунку та моделювання, та подальше використання отриманих даних згідно вказівок, наданих викладачем;
- правила призначення заохочувальних та штрафних балів: заохочувальні та штрафні бали не входять до основної шкали РСО, а їх сума не перевищує 10% стартової шкали;
- політика дедлайнів полягає в виконанні двох практичних робіт та трьох лабораторних робіт до початку сесії;
- політика щодо академічної доброчесності відповідає загальним положенням, прийнятим в «КПІ ім. Сікорського»;
- політика навчальної дисципліни спрямована на розвиток індивідуальних здібностей в напрямку набуття компетенцій у проектуванні маніпуляторів;
- при використанні цифрових засобів зв'язку з викладачем (мобільний зв'язок, електронна пошта, переписка на форумах та у соц. мережах тощо) необхідно дотримуватись загальноприйнятих етичних норм, зокрема бути ввічливим та обмежувати спілкування робочим часом викладача.

## 8. Види контролю та рейтингова система оцінювання результатів навчання (РСО)

Засобами діагностики успішності навчання є 5 практичних робіт та 5 лабораторних робіт із розрахунку, моделювання та проектування маніпуляторів та їх елементної бази, що виконуються за наданими завданнями та потребують захисту та екзамен. Умови допуску до семестрового контролю: мінімальний семестровий рейтинг більше 40 балів.

Рейтинг студента з дисципліни складається з балів, що він отримує за:

- виконання та захист 5 лабораторних робіт - максимум 26 балів:
  - 1) – захищена творча робота – 5,2 бала;
  - 2) – захищена робота – 4 бала;
  - 3) – активна творча робота – 2 бал;
  - 4) – плідна робота – 1 бал;
  - 5) – пасивна робота – 0 балів.
- виконання та захист 5 практичних робіт - 26 балів:
  - 1) – захищена творча робота – 5,2 бала;
  - 2) – захищена робота – 4 бала;
  - 3) – активна творча робота – 2 бал;
  - 4) – плідна робота – 1 бал;
  - 5) – пасивна робота – 0 балів.
- виконання модульної контрольної роботи - 8 балів;
- відповідь на екзамені - 40 балів.

## СИСТЕМА РЕЙТИНГОВИХ (ВАГОВИХ) БАЛІВ ТА КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ

### 8.1. Лабораторні роботи (r<sub>1</sub>)

Ваговий бал однієї лабораторної роботи становить 5,2 бала (табл.1). Максимальна кількість балів за всі практичні роботи:  $r_1 = 5 \text{ робіт} \times 5,2 \text{ балів} = 26 \text{ балів}$ .

Рейтингові бали за одну лабораторну роботу

Таблиця 1

| Бали | Критерій оцінювання                                                                                |
|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 5,2  | Зауважень до виконання роботи та до отриманих результатів немає, наявні відповіді на всі запитання |
| 4    | Зауважень до виконання роботи та до отриманих результатів немає                                    |

|   |                                                                                                    |
|---|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 3 | Лабораторна робота виконана відповідно до завдання, проте містить помилки та некоректні результати |
| 2 | Студент працював на лабораторному занятті, проте не отримав суттєвих результатів                   |
| 0 | Лабораторна робота не виконана, або не відповідає поставленому завданню                            |

### 8.2. Практичні роботи (комп'ютерні практикуми) (r<sub>2</sub>)

Ваговий бал однієї практичної роботи становить 5,2 бала (табл.2). Максимальна кількість балів за всі практичні роботи:  $r_1 = 5 \text{ робіт} \times 5,2 \text{ бали} = 26 \text{ балів}$ .

Рейтингові бали за одну практичну роботу

Таблиця 2

| Бали | Критерій оцінювання                                                                                |
|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 5,2  | Зауважень до виконання роботи та до отриманих результатів немає, наявні відповіді на всі запитання |
| 4    | Зауважень до виконання роботи та до отриманих результатів немає                                    |
| 3    | Практична робота виконана відповідно до завдання, проте містить помилки та некоректні результати   |
| 2    | Практична робота не виконана, або не відповідає поставленому завданню                              |

### 8.3. Модульна контрольна робота (МКР) (r<sub>3</sub>)

МКР «Застосування аналітичних методів для дослідження кінематики просторових маніпуляторів».

Ваговий бал модульної контрольної роботи становить 8 балів. Застосовується трирівнева система оцінювання (табл.3).

Рейтингові бали за одну МКР

Таблиця 3

| Бали | Критерій оцінювання                                         |
|------|-------------------------------------------------------------|
| 8    | Зауважень до виконання роботи немає                         |
| 4    | Робота містить помилки та некоректні результати             |
| 0    | Робота не виконана, або не відповідає поставленому завданню |

### 8.4. Штрафні та заохочувальні бали

Загальний рейтинг з дисципліни включає штрафні та заохочувальні бали (табл.5). Загальна сума штрафних балів не може перевищувати 5 балів. Загальна сума заохочувальних балів не може перевищувати 5 балів.

Таблиця 5

| Дія                                                             | Бали         |
|-----------------------------------------------------------------|--------------|
| Оригінальне рішення за завданням практичної лабораторної роботи | плюс 1 бал   |
| Запозичення чужих розрахунків та рішень                         | мінус 1 бали |

### 8.5. Календарний контроль

На 8-й тиждень навчання (перша атестація) графіком передбачено виконання та захист мінімально 2 практичних робіт та 2 лабораторних робіт, виконання модульної контрольної роботи: 20,8 балів;

Таким чином для отримання оцінки "задовільно" з першої рубіжної атестації студент повинен мати не менше ніж  $20,8 \times 0,5 = 10,4$  балів.

На 14-й тиждень навчання (друга атестація) графіком передбачено виконання та захист мінімально 4 практичних робіт та 4 лабораторних робіт, виконання модульної контрольної роботи: 41,6 бали;

Таким чином для отримання "задовільно" з другої рубіжної атестації студент повинен мати не менше ніж  $41,6 \times 0,5 = 20,8$  балів.

### 8.6. Критерії оцінювання екзаменаційної роботи.

Екзамен складається з трьох теоретичних питань, вага кожного питання 13,3 бали, Максимальна кількість балів екзамену становить  $13,3 \times 3 = 40$  балів. (таблиця 6).

Критерій оцінювання екзаменаційної роботи визначається як сума якості відповідей на кожне запитання білета за таблицями 3 і 4.

**Кількість балів за одне теоретичне завдання білета екзамену**

**Таблиця 6**

| <b>Бали</b> | <b>Критерій оцінювання</b>                                                                                                 |
|-------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 13,3        | Відмінна відповідь (не менше 95% інформації), можливі несуттєві зауваження до графічної частини та неточності у відповідях |
| 10,0        | Дуже добра відповідь (не менше 85% інформації), помилок немає, відповідь на переважну більшість питань, творче мислення    |
| 5,0         | Добра відповідь (не менше 75% інформації), помилок немає, вірна відповідь на всі принципові питання, окремі недоліки       |
| 0,0         | Відповідь не вірна або менше 60% інформації, або відсутня                                                                  |

### 8.7. Розрахунок шкали рейтингу з дисципліни ( $r_d$ ):

Сума вагових балів контрольних заходів протягом семестру складає:  $R_c = \sum_i r_i$   
де  $r$  - рейтингові або вагові бали за кожний вид робіт з дисципліни (табл. 1 - 5).

$R_c = 60$  балів.

Екзаменаційна складова  $R_E$  шкали дорівнює:  $R_E = 40$  балів.

Таким чином, рейтингова шкала з дисципліни складає  $R_D = R_c + R_E = 60 + 40 = 100$  балів.

**Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою:**

**Таблиця 7**

| <i>Кількість балів</i>    | <i>Оцінка</i> |
|---------------------------|---------------|
| 100-95                    | Відмінно      |
| 94-85                     | Дуже добре    |
| 84-75                     | Добре         |
| 74-65                     | Задовільно    |
| 64-60                     | Достатньо     |
| Менше 60                  | Незадовільно  |
| Не виконані умови допуску | Не допущено   |

Необхідною умовою допуску до екзамену є виконання та захист 100% лабораторних робіт, передбачених програмою, а також стартовий рейтинг  $R_c$  не менше 50% від  $\sum_i r_i$ , тобто не менш ніж 60 балів.

Студенти, які набрали протягом семестру рейтинг з дисципліни більше  $0,5 \times R_c = 30$  балів, допускаються до екзамену.

Студенти, які набрали протягом семестру рейтинг з дисципліни менше  $0,5 \times R_c = 30$  балів, зобов'язані до початку сесії підвищити його, інакше вони не отримають допуск до екзамену з цієї дисципліни і матимуть академічну заборгованість.

## **9. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)**

### **● *Приклад питань екзаменаційної контрольної роботи***

1. Застосування методу Монте-Карло для визначення робочого простору механізму на основі розробленої кінематичної моделі.
2. Статичний розрахунок механізму маніпулятора та визначення його вантажопідйомності.

**Робочу програму навчальної дисципліни (сілабус): Маніпулятори роботизованих комплексів**

### **Складено:**

професором кафедри ПГМ, доктором технічних наук, Струтинським Сергієм Васильовичем

**Ухвалено** кафедрою ПГМ (протокол № 17 від 25.06.2025)

**Погоджено** Методичною комісією інституту (протокол № 11 від 27 червня 2025 року).