

Міністерство освіти і науки України  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»  
Навчально-науковий механіко-машинобудівний інститут  
Кафедра конструювання машин

# АДИТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ У ВИРОБНИЦТВІ ПРОТЕЗІВ СЕРТИФІКАТНА ПРОГРАМА

для другого (магістерського) рівня вищої освіти  
за освітньою програмою «Конструювання машин»  
спеціальності G9 Прикладна механіка

*Ухвалено Методичною радою  
КПІ ім. Ігоря Сікорського  
від 18.09.2025 р., протокол № X*

*Введено в дію наказом  
від XX.XX.2025 р., № XXX/XXX/2025*

Розробники сертифікатної програми:

Пасічник Віталій Анатолійович, професор кафедри конструювання машин, д.т.н., проф.  
Данильченко Юрій Михайлович, завідувач кафедри конструювання машин, д.т.н., проф.  
Саленко Олександр Федорович, професор кафедри конструювання машин, д.т.н., проф.  
Вовк Вячеслав Володимирович, доцент кафедри конструювання машин, к.т.н., доц.  
Джулій Дмитро Юрійович, доцент кафедри конструювання машин, к.т.н., доц.  
Івановський Олексій Анатолійович, доцент кафедри конструювання машин, к.т.н., доц.  
Кравець Олександр Михайлович, доцент кафедри конструювання машин, к.т.н., доц.  
Красновид Дмитро Олександрович, доцент кафедри конструювання машин, к.т.н., доц.  
Парненко Валерія Сергіївна, доцент кафедри конструювання машин, к.т.н., доц.  
Слободянюк Іванна Валентинівна, доцент кафедри конструювання машин, к.т.н., доц.

## **ЗМІСТ**

1. Опис сертифікатної програми
2. Описи освітніх компонентів сертифікатної програми
3. Силабуси освітніх компонентів сертифікатної програми

# 1. ОПИС СЕРТИФІКАТНОЇ ПРОГРАМИ

| 1. Загальна інформація  |   |
|---|---|
| Назва сертифікатної програми  | Адитивні технології у виробництві протезів  |
| Рівень вищої освіти   | другий (магістерський)  |
| Галузь знань  | G Інженерія, виробництво та будівництво   |
| Спеціальність   | G9 Прикладна механіка   |
| Освітня програма  | Конструювання машин   |
| Факультет / НН інститут   | Навчально-науковий механіко-машинобудівний інститут   |
| Кафедра   | Конструювання машин   |
| Обсяг сертифікатної програми  | 23 кредити ЄКТС   |
| Мова викладання   | Українська  |
| Документ про опанування сертифікатної програми  | Сертифікат встановленого зразка КПІ ім. Ігоря Сікорського   |
| Термін дії сертифікатної програми   | Безстроково   |
| Інтернет-адреса постійного розміщення сертифікатної програми  | <a href="https://km.kpi.ua/navchannya/np_rnp_opp_mag_kdm/">https://km.kpi.ua/navchannya/np_rnp_opp_mag_kdm/</a> |
| 2. Мета сертифікатної програми  |   |
| <p><b>Метою</b> сертифікатної програми є поглиблене вивчення та створення інноваційних біомеханічних систем, процесів конструювання, виготовлення, дослідження та експлуатації персоналізованих протезно-ортопедичних виробів із застосуванням адитивних технологій та оброблення на верстатах з ЧПК, забезпечення експлуатаційних характеристик та технічної підтримки працездатності протягом життєвого циклу.</p>  |   |
| 3. Особливості участі слухачів сертифікатної програми   |   |
| <p>Сертифікатна програма розрахована на здобувачів вищої освіти та їх підготовку за денною або дуальною формою навчання.</p> <p>Запис на програму відбувається в період реалізації студентами права на вільний вибір навчальних дисциплін на наступний навчальний рік/семестр.</p> <p>Передумовами опанування сертифікатної програми є володіння базовими знаннями з дисциплін «Інформаційні системи і технології в машинобудуванні», «Дизайн для адитивного виробництва», «Основи інженерії та технології сталого розвитку», «Дослідження, динаміка та надійність обладнання і машин», «Оцінка відповідності продукції машинобудування та системи управління якістю», «Комп'ютерно-інтегровані системи підтримки життєвого циклу виробів».</p>   |   |
| 4. Компетентності та очікувані результати навчання  |   |
| <p>Сертифікатну програму запроваджено як профілізаційну складову освітньої програми, для задоволення освітніх потреб здобувачів – формування ними індивідуальної траєкторії здобуття вищої освіти.</p> <p>Сертифікатна програма передбачає підвищення рівня сформованості загальних і спеціальних (фахових) компетентностей за спеціальністю, посилення професійної підготовки за освітньою програмою.</p> <p>Сертифікатна програма спрямована на засвоєння слухачами новітніх цифровізованих технологій проектування, дослідження, виробництва протезно-ортопедичної продукції.</p> <p>Вона наповнена унікальним контентом та авторськими курсами, які характеризуються практичністю та актуальністю інформації, що дозволяє отримати додаткові знання та навички, розширити коло кар'єрних можливостей в сфері індустрії виготовлення протезів, ортезів та накладок на протези.</p> |   |
| Компетентності  | ЗК1. Здатність виявляти, ставити та вирішувати інженерно-технічні та науково-прикладні проблеми                 |

|                               |   |
|-------------------------------|---|
|                               | <p>ЗК2. Здатність використовувати інформаційні та комунікаційні технології</p> <p>ЗК3. Здатність генерувати нові ідеї (креативність).</p> <p>ЗК6. Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями</p> <p>ФК1. Здатність застосовувати відповідні методи і ресурси сучасної інженерії для знаходження оптимальних рішень широкого кола інженерних задач із застосуванням сучасних підходів, методів прогнозування, інформаційних технологій та з урахуванням наявних обмежень за умов неповної інформації та суперечливих вимог.</p> <p>ФК2. Здатність описати, класифікувати та змодельовати широке коло технічних об'єктів та процесів, що ґрунтується на глибокому знанні та розумінні теорій та практик механічної інженерії, а також знаннях суміжних наук.</p> <p>ФК5. Здатність застосувати сучасні інформаційні технології підтримки життєвого циклу виробів машинобудування на основі ефективного поєднання передових CAD / CAM / CAE / PDM / PLM рішень та електронного обміну даними.</p> <p>ФК6. Здатність розробляти компоненти програмних комплексів при створенні електронних баз даних та “цифрових двійників” об'єктів і процесів машинобудування, використовуючи сучасні інструментальні засоби та технології програмування.</p> <p>ФК7. Здатність застосовувати сучасні інформаційні технології підтримки життєвого циклу виробів машинобудування при розробці компонент програмних комплексів об'єктів і процесів машинобудування при вирішенні індивідуальних завдань або як частини комплексного завдання.</p> <p>ФК8. Здатність розробляти програми і методики досліджень та випробувань машинобудівних виробів, засобів технічного оснащення, автоматизації та управління, розробляти фізичні та математичні моделі досліджуваних машин, приводів, систем, процесів, виконувати заходи щодо вибору випробувального обладнання та організовувати проведення експериментів з аналізом їх результатів.</p> <p>ФК11. Здатність створювати елементи інженерних конструкцій, орієнтованих на застосування адитивних процесів, обирати обладнання, матеріали та призначати режими виготовлення деталей..</p> |
| Очікувані результати навчання | <p>РН1 Застосовувати спеціалізовані концептуальні знання новітніх методів та методик проектування, аналізу і дослідження конструкцій, машин та/або процесів в галузі машинобудування та суміжних галузях знань.</p> <p>РН2 Розробляти і ставити на виробництво нові види продукції, зокрема виконувати дослідно-конструкторські роботи та/або розробляти технологічне забезпечення процесу їх виготовлення.</p> <p>РН3 Застосовувати системи автоматизації для виконання досліджень, проектно-конструкторських робіт, технологічної підготовки та інженерного аналізу в машинобудуванні.</p> <p>РН4 Використовувати сучасні методи оптимізації параметрів технічних систем засобами системного аналізу, математичного та комп'ютерного моделювання, зокрема за умов неповної та суперечливої інформації.</p> <p>РН5 Самостійно ставити та розв'язувати задачі інноваційного характеру, аргументувати і захищати отримані результати та</p>  |

прийняті рішення.

PH11 Розробляти управлінські та/або технологічні рішення за невизначених умов та вимог, оцінювати і порівнювати альтернативи, аналізувати ризики, прогнозувати можливі наслідки.

PH13 Застосовувати сучасні інструментальні засоби та технології програмування при створенні електронних баз даних та “цифрових двійників” об'єктів і процесів машинобудування.

PH15 Застосовувати методи досліджень складних технічних систем, володіти навичками самостійного проведення досліджень та випробувань машин з використанням сучасного контрольно-вимірювального обладнання та програмної обробки експериментальних даних.

PH17 Використовувати спеціальне програмне забезпечення при проектуванні виробів і підготовці керуючих програм для адитивних машин, їх налагодження та управління процесом.

PH18 Застосувати адитивні процеси для виготовлення елементів інженерних конструкцій зі спеціальними властивостями.

PH19 Спроможність виконувати технологічну підготовку виготовлення виробу засобами адитивних технологій; обирати матеріали, призначати режими, оцінювати досягну точність виробу та очікувані фізико-механічні характеристики.

#### 5. Перелік освітніх компонентів

| Освітні компоненти сертифікатної програми   | Кількість кредитів ЄКТС | Форма підсумкового контролю | Семестр вивчення |
|---|-------------------------|-----------------------------|------------------|
| Наукові дослідження біомеханічних систем протезування                                     | 5                       | екзамен                     | 2                |
| Передові процеси і технології виробництва протезів  | 5                       | екзамен                     | 2                |
| Комп'ютерне проектування та дослідження біомеханічних систем протезування                 | 5                       | екзамен                     | 2                |
| Комп'ютерне моделювання об'єктів і процесів формоутворення елементів біомеханічних систем | 4                       | залік                       | 2                |
| Технологічність конструкції біомеханічних систем протезування                             | 4                       | залік                       | 2                |
| <b>Загальний обсяг кредитів ЄКТС</b>  | <b>23</b>               |                             |                  |

#### 6. Викладання та оцінювання

|                        |  |
|------------------------|--|
| Викладання та навчання | Лекції, практичні, семінарські, лабораторні заняття  |
| Оцінювання             | Види контролю результатів навчання: поточний, календарний, семестровий.<br>Контроль проводиться згідно з <a href="#">Положення про поточний, календарний та семестровий контроль результатів навчання в КПІ ім. Ігоря Сікорського</a><br>Оцінювання результатів навчання здійснюється за рейтинговими системами, визначеними у силабусах навчальних дисциплін.<br>Рейтингові системи оцінювання складені згідно з вимогами <a href="#">Положення про систему оцінювання результатів навчання в КПІ ім. Ігоря Сікорського</a> |

#### 7. Ресурсне забезпечення реалізації програми

|                      |   |
|----------------------|---|
| Кадрове забезпечення | Пасічник Віталій Анатолійович, доктор технічних наук, професор, автор понад 100 наукових праць, підручників та навчальних посібників, має авторські курси з системної інженерії та управління |
|----------------------|---|

|  |   |
|--|---|
|  | <p>проектами високотехнологічного машинобудування.</p> <p>Саленко Олександр Федорович, доктор технічних наук, професор, автор понад 100 наукових праць, підручників та навчальних посібників, має авторські курси з проектування складних технічних систем, застосування передових технологій виробництва</p> <p>Данильченко Юрій Михайлович, доктор технічних наук, професор, автор понад 100 наукових праць, підручників та навчальних посібників, має авторські курси з проектування та комп'ютерного моделювання складних технічних систем.</p> <p>Вовк Вячеслав Володимирович, кандидат технічних наук, доцент, автор більш як 30 наукових праць, монографії та декількох навчальних посібників, має авторські курси з формоутворення складних поверхонь.</p> <p>Джулій Дмитро Юрійович, кандидат технічних наук, доцент, автор більш як 30 наукових праць, монографії та декількох навчальних посібників, має авторські курси з адитивних технологій.</p> <p>Івановський Олексій Анатолійович, кандидат технічних наук, доцент, автор більш як 25 наукових праць, має авторські курси з програмування та застосування штучного інтелекту в проектуванні.</p> <p>Кравець Олександр Михайлович, кандидат технічних наук, доцент, автор більш як 50 наукових праць, монографії та декількох навчальних посібників, має авторські курси з комп'ютерного моделювання механічних систем.</p> <p>Красновид Дмитро Олександрович, кандидат технічних наук, доцент, автор більш як 30 наукових праць та навчальних посібників, має авторські курси з комп'ютерного проектування та оптимізації конструкцій механічних систем.</p> <p>Парненко Валерія Сергіївна, кандидат технічних наук, доцент, автор більш як 25 наукових праць, має авторські курси з дизайну технічних систем та технологічності їх конструкцій.</p> <p>Слободянюк Іванна Валентинівна, кандидат технічних наук, доцент, автор більш як 30 наукових праць, монографії та декількох навчальних посібників, має авторські курси з передових технологій.</p> |
| Матеріально-технічне забезпечення                | <p>Дисципліни сертифікатної програми спираються на використання аудиторій та лабораторій кафедри конструювання машин, зокрема, клас комп'ютерного проектування, лабораторія технічних засобів вимірювання. Суттєвою особливістю реалізації сертифікатної освітньої програми є використання матеріальної бази "Наукового парку адитивних технологій Сікорські Челендж" (<a href="https://www.amsp.com.ua/">https://www.amsp.com.ua/</a>), який оснащений широким спектром сучасного обладнання та програмного забезпечення для проектування протезно-ортопедичної продукції, її виготовлення із застосування передових адитивних технологій.</p> <p>Всі приміщення, які плануються під забезпечення сертифікатної освітньої програм забезпечують інклюзію.</p>   |
| Інформаційне та навчально-методичне забезпечення | <p>Викладання освітніх компонентів сертифікатної програми забезпечено використанням пакетів прикладних програм StatGraphics, SciLab, Autodesk Inventor, Autodesk Fusion 360, WinMachine, Python пакетами індивідуальних завдань, авторськими підручниками, навчальними посібниками, методичними вказівками, віртуальними лабораторними роботами, які представлені на сайті кафедри (<a href="https://km.kpi.ua/">https://km.kpi.ua/</a>).</p>   |

## 2. ОПИСИ ОСВІТНІХ КОМПОНЕНТІВ

### Освітній компонент 1 Ф-каталогу

| НАУКОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ БІОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ ПРОТЕЗУВАННЯ               |  |
|---|--|
| Кафедра яка забезпечує викладання                                   | Конструювання машин  |
| Рівень ВО   | другий (магістерський)   |
| Курс, семестр   | 1 курс, весняний семестр   |
| Обсяг дисципліни та розподіл годин аудиторної та самостійної роботи | 5 кредитів ЄКТС/ 150 год. (аудит. – 60 год., СРС – 90 год.)  |
| Мова викладання   | Українська   |
| Викладачі, які забезпечують викладання дисципліни                   | Саленко Олександр Федорович, Пасічник Віталій Анатолійович, Данильченко Юрій Михайлович  |
| Вимоги до початку вивчення  | Базується на засвоєнні нормативних дисциплін:<br>Інформаційні системи і технології в машинобудуванні; Оцінка відповідності продукції машинобудування та системи управління якістю; Основи інженерії та технології сталого розвитку;<br>Дослідження, динаміка та надійність обладнання і машин  |
| Що буде вивчатися   | Основні принципи та підходи до наукових досліджень біомеханічних систем: Загальні визначення складних біомеханічних систем. Біомеханіка опорно-рухового апарату. Фази та просторово-часові характеристики. Протези, ортези та інші засоби, що використовуються для відновлення рухомості кінцівок людини. Основи математичного опису складних біомеханічних систем. Принципи системного підходу. Енергетичний баланс рухомості людини. Вплив елементів біомеханічних систем на рухомість кінцівок. Постановка задач моделювання кінцівки для визначення статичних та динамічних навантажень протезу. Опис задач динаміки на основі найпростіших моделей (дво- та три-масових). Реологічні властивості імплантів та тканини людини. Опис механічних явищ із застосуванням випадкових параметрів. Використання спеціальних програмних продуктів для моделювання поведінки біомеханічних систем. Математичні методи аналізу систем. Створення імітаційних моделей для симуляції поведінки складних систем. Системне моделювання. Побудова моделей складних біомеханічних систем. Дослідження складних біомеханічних систем на основі створених математичних та імітаційних моделей. Ознайомлення із програмою обробки статистичних даних StatGraphics. Методи описової статистики StatGraphics Centurion. Ознайомлення із основними можливостями щодо моделювання програми SciLab. Біодинаміка рухових дій пацієнта. Опір середовища рухові тіла. Залучення сторонніх елементів у біомеханічну систему та їх вплив на точність та відтворюваність рухів. Складні біомеханічні системи з точки зору їх невизначеності. Застосування алгоритмів неявної логіки для аналізу систем. Поведінка адитованих матеріалів, використовуваних для імплантів, протезів та ортезів. Проблеми дослідження складних технічних систем в умовах невизначеності. Засоби планування експерименту та вилучення шумових впливів. |

|                                     |   |
|-------------------------------------|---|
|                                     | <p>Статистична перевірка масивів даних, засоби автоматичного зняття даних на основі сучасних технологій. Дисперсійний та регресійний аналізи засобами StatGraphics Centurion. Прийняття рішень при аналізі складних систем. Принципи постановки оптимізаційних досліджень. Планування та аналіз повнофакторного експерименту засобами StatGraphics. Лінійне програмування та симплекс-метод для розв'язку задач оптимізації. Формування експлуатаційних показників готового біомеханічного виробу засобами адитивного виробництва.</p> <p>Застосування методів наукового дослідження в аналізі біомеханічних систем: Логіко-ймовірнісна теорія та її використання при дослідженні біомеханічних систем. Кінцівка з суглобом як складна біомеханічна систем з багатьма ступенями вільності. Методи параметричної оптимізації структурно-складних технічних систем. Поняття про оптимізацію за певними критеріями. Опис заданих технічних рішень математичними співвідношенням. Дослідження складних біомеханічних систем за відсутності доступної інформації щодо структури і зв'язків. Розв'язок задач оптимізації програмними пакетами Ms Office. Використання SciLab для вирішення задач моделювання складних біомеханічних систем на практиці. Задачі із нечіткими параметрами. Використання SciLab для вирішення задач моделювання у системах із нечітким визначенням параметрів.</p> |
| <p>Чому це цікаво/треба вивчати</p> | <p>Сучасні методи, підходи та процедури щодо різних аспектів дослідження технічних біомеханічних систем, використовуваних у протезуванні, прогнозування їх поведінки у різних несталіх умовах зовнішнього середовища, відмінностей стану пацієнтів, їх фізичної активності, оцінки надійності функціонування протезів, керування процесами їх виготовлення адитивними засобами в умовах активної дії збурюючих впливів є надійною науково-технічною основою вирішення задач динаміки, міцності, оптимізації, ресурсу, надійності та безпеки конструкцій біомеханічних систем, використовуваних при протезуванні, отриманих у тому числі, адитивним виробництвом, створення на цій основі передових інженерно-технологічних рішень в області проектування і виробництва протезно-ортопедичної продукції.</p>   |
| <p>Чому можна навчитися</p>         | <p>Застосовувати спеціалізовані концептуальні знання новітніх методів та методик проектування, аналізу і дослідження конструкцій, машин та/або процесів в галузі машинобудування та суміжних галузях знань.</p> <p>Застосовувати системи автоматизації для виконання досліджень, проектно- конструкторських робіт, технологічної підготовки та інженерного аналізу в машинобудуванні.</p> <p>Використовувати сучасні методи оптимізації параметрів технічних систем засобами системного аналізу, математичного та комп'ютерного моделювання, зокрема за умов неповної та суперечливої інформації.</p> <p>Застосовувати сучасні інструментальні засоби та технології програмування при створенні електронних баз даних та "цифрових двійників" об'єктів і процесів машинобудування.</p> <p>Застосовувати методи досліджень складних технічних систем, володіти навичками самостійного проведення досліджень та випробувань машин з використанням сучасного контрольно вимірювального обладнання та програмної обробки</p>  |



|   |   |
|---|---|
|   | експериментальних даних.  |
| Як можна користуватися набутими знаннями і уміннями | <p>Виявляти, ставити та вирішувати інженерно-технічні та науково-прикладні проблеми. Використовувати інформаційні та комунікаційні технології.</p> <p>Застосовувати відповідні методи і ресурси сучасної інженерії для знаходження оптимальних рішень широкого кола інженерних задач із застосуванням сучасних підходів, методів прогнозування, інформаційних технологій та з урахуванням наявних обмежень за умов неповної інформації та суперечливих вимог.</p> <p>Описувати, класифікувати та змодельовувати широке коло технічних об'єктів та процесів, що ґрунтується на глибокому знанні та розумінні теорій та практик механічної інженерії, а також знаннях суміжних наук.</p> <p>Розробляти компоненти програмних комплексів при створенні електронних баз даних та "цифрових двійників" об'єктів і процесів машинобудування, використовуючи сучасні інструментальні засоби та технології програмування.</p> <p>Розробляти програми і методики досліджень та випробувань машинобудівних виробів, засобів технічного оснащення, автоматизації та управління, розробляти фізичні та математичні моделі досліджуваних машин, приводів, систем, процесів, виконувати заходи щодо вибору випробувального обладнання та організувати проведення експериментів з аналізом їх результатів.</p> |
| Заняття   | Лекції, практичні та лабораторні заняття  |
| Інформаційне забезпечення                           | Силабус дисципліни, навчальні посібники, відео лекцій, Google Classroom тощо  |
| Індивідуальні семестрові завдання                   | Не передбачені  |
| Поточний контроль                                   | Модульна контрольна робота, відповіді на практичних заняттях, експрес-контролі тощо   |
| Семестровий контроль                                | Екзамен   |

## Освітній компонент 2 Ф-каталогу

| ПЕРЕДОВІ ПРОЦЕСИ І ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА ПРОТЕЗІВ                  |  |
|---|--|
| Кафедра яка забезпечує викладання                                   | Конструювання машин  |
| Рівень ВО   | другий (магістерський)   |
| Курс, семестр   | 1 курс, весняний семестр   |
| Обсяг дисципліни та розподіл годин аудиторної та самостійної роботи | 5 кредитів ЄКТС/ 150 год. (аудит. – 60 год., СРС – 90 год.)  |
| Мова викладання   | Українська   |
| Викладачі, які забезпечують викладання дисципліни                   | Джулій Дмитро Юрійович, Пасічник Віталій Анатолійович, Слободянюк Іванна Валентинівна  |
| Вимоги до початку вивчення  | Базується на засвоєнні нормативних дисциплін: Інформаційні системи і технології в машинобудуванні; Оцінка відповідності продукції машинобудування та системи управління якістю; Основи інженерії та технології сталого розвитку; Дизайн для адитивного виробництва   |
| Що буде вивчатися   | Класифікація передових процесів і технологій для виготовлення елементів протезів. Конвенційні технології. Оброблення на верстатах з ЧПК елементів протезів. Проектування технологічних операцій з застосування верстатів з ЧПК. Інструментальне оснащення механічного оброблення на верстатах з ЧПК. Проектування технологічних операцій оброблення плоских деталей на верстатах з ЧПК. Проектування технологічних операцій оброблення деталей на токарних верстатах з ЧПК. Фрезерне та багатоосьове оброблення на верстатах з ЧПК та роботизовані технологічні комплекси. Адитивне виробництво елементів протезів. Класифікація технологій, особливості застосування. Адитивне виробництво полімерних деталей та прототипів: FDM, SLA, SLS, SLM. Адитивне виробництво металевих деталей: ультразвукове адитивне виробництво, SLS, SLM, DED. Технології виготовлення композитних деталей, процеси ламінування. Технології лиття полімерів при виготовленні елементів протезів. Спеціальні технології оброблення елементів протезів. Ультразвукове оброблення, абразивно-струминне оброблення, гідроструменеве оброблення. Гідроабразивне оброблення. Електрохімічні способи оброблення. Електроерозійне оброблення. Променеві технології оброблення: електронне, лазерне, плазмове, іонне. Абразивні та хімічні технології фінішного оброблення елементів протезів. Технології нанесення захисних та декоративних покриттів. |
| Чому це цікаво/треба вивчати  | Ця дисципліна поєднує практичні знання про сучасні технології оброблення та адитивного виробництва з їх практичним застосуванням у проектуванні та виготовлення протезно-ортопедичної продукції. Студенти здобувають знання про ЧПК, 3D-друк, композити й спеціальні процеси, що створює технологічне підґрунтя для інновацій з фокусом на біомедичну інженерію.   |
| Чому можна навчитися  | Розробляти і ставити на виробництво нові види продукції, зокрема виконувати дослідно-конструкторські роботи та/або розробляти технологічне забезпечення процесу їх виготовлення. Самостійно ставити та розв'язувати задачі інноваційного   |

|   |  |
|---|--|
|   | <p>характеру, аргументувати і захищати отримані результати та прийняті рішення.</p> <p>Розробляти управлінські та/або технологічні рішення за невизначених умов та вимог, оцінювати і порівнювати альтернативи, аналізувати ризики, прогнозувати можливі наслідки.</p> <p>Використовувати спеціальне програмне забезпечення при проектуванні виробів і підготовці керуючих програм для адитивних машин, їх налагодження та управління процесом.</p> <p>Застосувати адитивні процеси для виготовлення елементів інженерних конструкцій зі спеціальними властивостями.</p> <p>Спроможність виконувати технологічну підготовку виготовлення виробу засобами адитивних технологій; обирати матеріали, призначати режими, оцінювати досяжну точність виробу та очікувані фізико-механічні характеристики.</p>   |
| Як можна користуватися набутими знаннями і уміннями | <p>Виявляти, ставити та вирішувати інженерно-технічні та науково-прикладні проблеми у сфері проектування та виготовлення протезно-ортопедичної продукції. Застосовувати відповідні методи і ресурси сучасної інженерії для знаходження оптимальних рішень широкого кола інженерних задач із застосуванням сучасних підходів, методів прогнозування, інформаційних технологій та з урахуванням наявних обмежень за умов неповної інформації та суперечливих вимог.</p> <p>Описувати, класифікувати та змодельовувати широке коло технічних об'єктів та процесів, що ґрунтується на глибокому знанні та розумінні теорій та практик механічної інженерії, а також знаннях суміжних наук. створювати елементи інженерних конструкцій, орієнтованих на застосування адитивних процесів, обирати обладнання, матеріали та призначати режими виготовлення деталей.</p> |
| Заняття   | Лекції , комп'ютерні практикуми / практичні заняття.   |
| Інформаційне забезпечення                           | Силабус дисципліни, навчальні посібники, відео лекцій, Google Classroom тощо   |
| Індивідуальні семестрові завдання                   | Не передбачені   |
| Поточний контроль                                   | Модульна контрольна робота, звіти з робіт комп'ютерного практикуму, експрес-контролі тощо  |
| Семестровий контроль                                | Екзамен  |

## Освітній компонент 3 Ф-каталогу

| КОМП'ЮТЕРНЕ ПРОЕКТУВАННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ БІОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ ПРОТЕЗУВАННЯ |  |
|---|--|
| Кафедра яка забезпечує викладання   | Конструювання машин  |
| Рівень ВО   | другий (магістерський)   |
| Курс, семестр   | 1 курс, весняний семестр   |
| Обсяг дисципліни та розподіл годин аудиторної та самостійної роботи       | 5 кредитів ЄКТС/ 150 год. (аудит. – 60 год., СРС – 90 год.)  |
| Мова викладання   | Українська   |
| Викладачі, які забезпечують викладання дисципліни                         | Кравець Олександр Михайлович, Данильченко Юрій Михайлович, Івановський Олексій Анатолійович  |
| Вимоги до початку вивчення  | Базується на засвоєнні попередніх дисциплін: Інформаційні системи і технології в машинобудуванні; Оцінка відповідності продукції машинобудування та системи управління якістю; Комп'ютерно-інтегровані системи підтримки життєвого циклу виробів; Дослідження, динаміка та надійність обладнання і машин.  |
| Що буде вивчатися   | Призначення, структуру і основні принципи створення САПР біомеханічних систем протезування; Методи функціонального проектування вузлів біомеханічних систем протезування; Методи створення моделей вузлів та деталей верстатів і машин за допомогою інструментів функціонального проектування; Методи застосування інструментів сучасних САПР для аналізу безперервності та кривизни поверхонь, ухилів; Методи аналізу напружено-деформованого стану деталей та вузлів засобами САПР; Використання майстрів проектування та калькуляторів при конструюванні деталей та вузлів біомеханічних систем протезування; Розрахунки напружено-деформованого стану деталей при конструюванні деталей біомеханічних систем протезування та прийняття конструкторських рішень для забезпечення їх міцності; Застосування інструментів безперервності та кривизни поверхонь, ухилів для аналізу технологічності деталей. |
| Чому це цікаво/треба вивчати  | В умовах невеликих підприємств малого й середнього бізнесу не має можливості мати великої кількості фахівців різної спеціалізації. Конструктор створює економічно та технологічно доцільне обладнання, що в значній мірі задовольняє вимогам та можливостям конкретного виробничого процесу. Він модернізує існуюче обладнання та грамотно експлуатує і те, і інше.  |
| Чому можна навчитися  | Методам створення моделей вузлів та деталей біомеханічних систем протезування за допомогою інструментів функціонального проектування; Методам застосування інструментів сучасних САПР для аналізу безперервності та кривизни поверхонь, ухилів; Методам аналізу напружено-деформованого стану деталей та вузлів засобами САПР; Використанню майстрів проектування та калькуляторів при конструюванні деталей та вузлів біомеханічних систем протезування; Розраховувати напружено-деформований стан деталей при конструюванні деталей біомеханічних систем протезування і приймати конструкторські рішення для   |

|   |   |
|---|---|
|   | забезпечення їх міцності.   |
| Як можна користуватися набутими знаннями і вміннями | Застосовувати відповідні методи і ресурси сучасної інженерії для знаходження оптимальних рішень широкого кола інженерних задач із застосуванням сучасних підходів, методів прогнозування, інформаційних технологій та з урахуванням наявних обмежень за умов неповної інформації та суперечливих вимог.<br>Використовувати досягнення науки та передових технологій у галузі сучасних технологічних машин і обладнання, процесів їх проектування та виробництва, підвищення їх якості, автоматизації технологічних процесів; застосування комп'ютерних технологій.<br>Застосовувати відповідні математичні, наукові і технічні методи, інформаційні технології та прикладне комп'ютерне програмне забезпечення для вирішення інженерних і наукових завдань з прикладної механіки. |
| Заняття   | Лекції , комп'ютерні практикуми / практичні заняття.  |
| Інформаційне забезпечення                           | Силабус навчальної дисципліни, навчальні посібники, відео лекції, Google Classroom  |
| Індивідуальні семестрові завдання                   | Не передбачені  |
| Поточний контроль                                   | Модульна контрольна робота, звіти з робіт комп'ютерного практикуму, експрес-контролі тощо   |
| Семестровий контроль                                | Екзамен   |

## Освітній компонент 4 Ф-каталогу

| КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ОБ'ЄКТІВ І ПРОЦЕСІВ ФОРМОУТВОРЕННЯ ЕЛЕМЕНТІВ БІОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ |  |
|---|--|
| Кафедра яка забезпечує викладання   | Конструювання машин  |
| Рівень ВО   | другий (магістерський)   |
| Курс, семестр   | 1 курс, весняний семестр   |
| Обсяг дисципліни та розподіл годин аудиторної та самостійної роботи                       | 4 кредити ЄКТС/ 120 год. (аудит. – 44 год., СРС – 76 год.)   |
| Мова викладання   | Українська   |
| Викладачі, які забезпечують викладання дисципліни   | Івановський Олексій Анатолійович, Вовк Вячеслав Володимирович, Красновид Дмитро Олександрович  |
| Вимоги до початку вивчення  | Попереднє засвоєння нормативних дисциплін: Інформаційні системи і технології в машинобудуванні, Дизайн для адитивного виробництва, Оцінка відповідності продукції машинобудування та системи управління якістю   |
| Що буде вивчатися   | <p>Основи комп'ютерного моделювання у біомеханіці: Основні принципи побудови цифрових моделей: геометричне та параметричне моделювання. Інструменти моделювання: поверхневі, твердотільні та сіткові моделі. Динаміка та кінематика біомеханічних об'єктів у цифровому середовищі.</p> <p>3D-моделювання процесів формоутворення: Принципи цифрової побудови біомеханічних компонентів та елементів. Методи візуалізації та режими представлення геометричних об'єктів у CAD/CAE-системах. Методи проектування та симуляції процесів формоутворення в біомеханіці.</p> <p>Алгоритмізація та автоматизація моделювання: Об'єкт як перелік атрибутів: концепція параметризації у CAD/CAE. Типи атрибутів, використання скриптів, API та макросів у САПР для автоматизації. Полігональне моделювання, застосування машинного навчання та нейронних мереж для оптимізації процесів формоутворення.</p> |
| Чому це цікаво/треба вивчати  | <p>У сфері біомеханічних систем, де поєднуються складні геометричні форми, багатоконпонентні матеріали та специфічні умови експлуатації, застосування CAD/CAE/CAM-технологій є невід'ємною частиною інженерної практики. Використання цифрових моделей дозволяє значно зменшити обсяг фізичного експерименту, скоротити витрати на створення прототипів, підвищити точність розрахунків і оптимізувати параметри конструкцій.</p> <p>Дисципліна формує у студентів комплексне розуміння методів комп'ютерного моделювання процесів формоутворення, орієнтованих на створення і вдосконалення елементів біомеханічних систем — від віртуальної моделі до інтеграції результатів у виробничі технології.</p>   |
| Чому можна навчитися  | <p>Застосовувати спеціалізовані концептуальні знання новітніх методів та методик проектування, аналізу і дослідження конструкцій, машин та/або процесів в галузі машинобудування та суміжних галузях знань.</p> <p>Використовувати сучасні методи оптимізації параметрів технічних систем засобами системного аналізу, математичного та комп'ютерного моделювання, зокрема за умов неповної та</p>   |

|   |   |
|---|---|
|   | <p>суперечливої інформації.</p> <p>Самостійно ставити та розв'язувати задачі інноваційного характеру, аргументувати і захищати отримані результати та прийняті рішення</p> <p>Зрозуміло і недвозначно презентувати результати досліджень та проектів, доносити власні висновки, аргументи та пояснення державною та іноземною мовами усно і письмово колегам, здобувачам освіти та представникам інших професійних груп різного рівня</p> <p>Застосовувати фундаментальні та прикладні знання та вміння в галузі інноваційних технологій машинобудування.</p> <p>Оптимізувати технічні рішення на етапі проектування та експлуатації виробів та обладнання за допомогою сучасних розрахункових алгоритмів та спеціалізованих програмних комплексів.</p>   |
| Як можна користуватися набутими знаннями і вміннями | <p>Застосовувати відповідні методи і ресурси сучасної інженерії для знаходження оптимальних рішень широкого кола інженерних задач із застосуванням сучасних підходів, методів прогнозування, інформаційних технологій та з урахуванням наявних обмежень за умов неповної інформації та суперечливих вимог.</p> <p>Планувати і виконувати експериментальні й теоретичні дослідження з прикладної механіки та дотичних міждисциплінарних проблем, опрацьовувати і узагальнювати результати досліджень.</p> <p>Використовувати досягнення науки та передових технологій у галузі сучасних технологічних машин і обладнання, процесів їх проектування та виробництва, підвищення їх якості, автоматизації технологічних процесів; застосування комп'ютерних технологій.</p> <p>Застосовувати фундаментальні та прикладні знання та вміння в галузі інноваційних технологій машинобудування.</p> <p>Застосовувати відповідні математичні, наукові і технічні методи, інформаційні технології та прикладне комп'ютерне програмне забезпечення для вирішення інженерних і наукових завдань з прикладної механіки.</p> <p>Аналізувати і прогнозувати параметри працездатності нових та існуючих механічних конструкцій, машин, матеріалів і виробничих процесів машинобудування на основі знання та використання сучасних аналітичних та/або комп'ютеризованих методів і методик.</p> |
| Заняття   | Лекції , комп'ютерні практикуми / практичні заняття.  |
| Інформаційне забезпечення                           | Силабус навчальної дисципліни, навчальні посібники, відео лекції, Google Classroom тощо   |
| Індивідуальні семестрові завдання                   | Не передбачені  |
| Поточний контроль                                   | Модульна контрольна робота, відповіді на практичних заняттях, експрес-контролі тощо   |
| Семестровий контроль                                | Залік   |

## Освітній компонент 5 Ф-каталогу

| ТЕХНОЛОГІЧНІСТЬ КОНСТРУКЦІЇ БІОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ ПРОТЕЗУВАННЯ       |   |
|---|---|
| Кафедра яка забезпечує викладання                                   | Конструювання машин   |
| Рівень ВО   | другий (магістерський)  |
| Курс, семестр   | 1 курс, весняний семестр  |
| Обсяг дисципліни та розподіл годин аудиторної та самостійної роботи | 4 кредити ЕКТС/ 120 год. (аудит. – 44 год., СРС – 76 год.)  |
| Мова викладання   | Українська  |
| Викладачі, які забезпечують викладання дисципліни                   | Парненко Валерія Сергіївна, Пасічник Віталій Анатолійович, Красновид Дмитро Олександрович   |
| Вимоги до початку вивчення  | Попереднє вивчення нормативних дисциплін: Інформаційні системи і технології в машинобудуванні; Дизайн для адитивного виробництва; Оцінка відповідності продукції машинобудування та системи управління якістю; Комп'ютерно-інтегровані системи підтримки життєвого циклу виробів  |
| Що буде вивчатися   | <p>Основи проектування технологічних процесів виробництва протезно-ортопедичної продукції: основні етапи життєвого циклу протезно-ортопедичної продукції; матеріали та системи технології виробництва протезно-ортопедичної продукції; основи побудови технологічних процесів виробництва протезно-ортопедичної продукції.</p> <p>Технологічність конструкцій біомеханічних систем протезування: оцінка технологічності конструкцій; забезпечення технологічності конструкцій; виготовлення деталей на верстатах з числовим програмним забезпеченням та їх технологічність; процеси виготовлення деталей з полімерів, композитів та біосумісних матеріалів їх технологічність; процеси виготовлення деталей з гуми та їх технологічність.</p> <p>Ергономіка конструкцій біомеханічних систем протезування: загальні положення ергономіки у протезуванні; антропометричні та біомеханічні основи; ергономічні вимоги до конструкцій протезів; конструктивні рішення для підвищення ергономічності; методи оцінки ергономічності протезів; перспективи розвитку ергономічних біомеханічних систем;</p> <p>Конструювання біомеханічних систем протезування для складання: способи з'єднання систем протезування (різьбові, штифтові, клеєві, модульні); припасування, регулювання та контроль співвісності вузлів; оцінка конструктивних рішень та принципи покращення технологічності складання; використання модульних систем для спрощення складання; інтеграція електронних і сенсорних елементів у конструкцію; тенденції розвитку інтелектуальних біомеханічних систем</p> |
| Чому це цікаво/треба вивчати  | Знання, уміння і практичних навичок щодо принципів технологічності конструкцій у машинобудуванні та їх адаптації до специфіки біомеханічних систем протезування, сучасні матеріали для виготовлення протезів, технологічних процесів виготовлення, ергономічних вимог, методів складання та сучасних інноваційних рішенням у галузі протезобудування є запорукою створення інноваційних рішень в галузі протезування.   |
| Чому можна навчитися  | Застосовувати спеціалізовані концептуальні знання новітніх  |



|   |   |
|---|---|
|   | <p>методів та методик проектування, аналізу і дослідження конструкцій, машин та/або процесів в галузі машинобудування та суміжних галузях знань.</p> <p>Розробляти і ставити на виробництво нові види продукції, зокрема виконувати дослідно-конструкторські роботи та/або розробляти технологічне забезпечення процесу їх виготовлення.</p>  |
| Як можна користуватися набутими знаннями і уміннями | <p>Виявляти, ставити та вирішувати інженерно-технічні та науково-прикладні проблеми.</p> <p>Генерувати нові ідеї (креативність).</p> <p>Вчитися і оволодівати сучасними знаннями.</p> <p>Застосовувати відповідні методи і ресурси сучасної інженерії для знаходження оптимальних рішень широкого кола інженерних задач із застосуванням сучасних підходів, методів прогнозування, інформаційних технологій та з урахуванням наявних обмежень за умов неповної інформації та суперечливих вимог.</p> <p>Використовувати досягнення науки та передових технологій у галузі сучасних технологічних машин і обладнання, процесів їх проектування та виробництва, підвищення їх якості, автоматизації технологічних процесів; застосування комп'ютерних технологій.</p> |
| Заняття   | Лекції , комп'ютерні практикуми / практичні заняття.  |
| Інформаційне забезпечення                           | Силабус навчальної дисципліни, навчальні посібники, відео лекції, Google Classroom тощо   |
| Індивідуальні семестрові завдання                   | Не передбачені  |
| Поточний контроль                                   | Модульна контрольна робота, відповіді на практичних заняттях, експрес-контролі тощо   |
| Семестровий контроль                                | Залік   |

# 3. СИЛАБУСИ ОСВІТНІХ КОМПОНЕНТІВ СЕРТИФІКАТНОЇ ПРОГРАМИ



Національний технічний університет України  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»



Кафедра конструювання  
машин

## НАУКОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ БІОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ ПРОТЕЗУВАННЯ

### Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

#### Реквізити навчальної дисципліни

|  |  |
|--|--|
| Рівень вищої освіти                        | Другий (магістерський)   |
| Галузь знань                               | G Інженерія, виробництво та будівництво  |
| Спеціальність                              | G9 Прикладна механіка  |
| Освітня програма                           | Конструювання машин  |
| Статус дисципліни                          | Вибіркова  |
| Форма навчання                             | Очна (денна)   |
| Рік підготовки, семестр                    | 1 курс, весняний семестр   |
| Обсяг дисципліни                           | 5 кредити ЄКТС, 150 год., Лекції – 30 год., комп'ютерний практикум – 10 год., лабораторні – 20 год., СРС 90 год.   |
| Семестровий контроль/ контрольні заходи    | Екзамен, МКР   |
| Розклад занять                             | За розкладом на сайті університету.<br><a href="http://roz.kpi.ua/">http://roz.kpi.ua/</a>   |
| Мова викладання                            | Українська   |
| Інформація про керівника курсу/ викладачів | Лектори: д.т.н., проф. Саленко Олександр Федорович, д.т.н., проф. Пасічник Віталій Анатолійович, д.т.н., проф. Данильченко Юрій Михайлович<br>Комп'ютерний практикум / Практичні заняття: д.т.н., проф. Саленко Олександр Федорович, д.т.н., проф. Пасічник Віталій Анатолійович, д.т.н., проф. Данильченко Юрій Михайлович<br>Лабораторні роботи: д.т.н., проф. Саленко Олександр Федорович, д.т.н., проф. Данильченко Юрій Михайлович<br>Кафедра: Корпус КПІ 1, кімната 224<br>e-mail: salenko2006@ukr.net, тел. +380686594795 |
| Розміщення курсу                           | Ресурс «Електронний кампус», classroom google  |

#### Програма навчальної дисципліни

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

Дисципліна «НАУКОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ БІОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ ПРОТЕЗУВАННЯ» є вибірковою для підготовки магістрів за освітньою програмою «Конструювання машин».

**Метою дисципліни** є засвоєння основ сучасних методів, підходів та процедур щодо різних аспектів дослідження технічних біомеханічних систем, використовуваних у протезуванні, прогнозування їх поведінки у різних несталих умовах зовнішнього середовища, відмінностей стану пацієнтів, їх фізичної активності, оцінки надійності функціонування протезів, керування процесами їх виготовлення адитивними засобами в умовах активної дії збурюючих впливів.

Тож у студентів відповідно до освітньої програми «Конструювання машин» мають бути розширені компетентності щодо планування і проведення експериментальних досліджень,

аналізу даних щодо поведінки біомеханічної системи, отриманих під час моніторингу роботи такої системи, вміння скорочувати число дослідів, знаходити оптимум, прогнозувати зміни у роботі системи в умовах невизначеності, вміння отримувати кількісні оцінки впливу чинників та визначити похибки вимірів. Окрім того, студенти розширять свої компетенції у розробці моделей біомеханічних виробів, спираючись на теорію поведінки некомпактного адитованого матеріалу. Поєднання лекційних занять курсу із практичними та лабораторними роботами дозволяє сформулювати експериментальні навички: вміння проводити експерименти під наглядом наставника, описувати, аналізувати і критично оцінювати експериментальні дані, бути знайомим з найбільш важливими експериментальними методами. Використання засобів адитивних процесів вимагає володіння навичок створювати, оптимізувати та відтворювати різні біомеханічні засоби: імпланти, куксоприймачі, ортези і протези. Поряд із зазначеним студенти набудуть досвіду в питаннях формулювання складних проблеми оптимізації і прийняття рішень, а також інтерпретувати рішення у вихідних контекстах проблем. Вони також набудуть здатності досліджувати моделі технологічних систем для відтворення засобів протезування, що працюють в умовах невизначеності, для отримання оптимальних параметрів конструкції, технологічних режимів.

**Предмет навчальної дисципліни:** теоретичне, комп'ютерне та експериментальне дослідження сучасних науково-технічних проблем прикладної механіки і вирішення задач динаміки, міцності, оптимізації, ресурсу, надійності та безпеки конструкцій біомеханічних систем, використовуваних при протезуванні, отриманих у тому числі, адитивним виробництвом.

Дисципліна «НАУКОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ БІОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ ПРОТЕЗУВАННЯ» відноситься до вибіркової дисципліни циклу професійної підготовки, вона самостійно не формує компетентностей, проте здатна підсилювати компетентності та результати навчання, які забезпечують нормативні освітні компоненти.

**Вивчення дисципліни сприяє підсиленню наступних компетентностей:**

***Загальні компетентності***

- ЗК1. Здатність виявляти, ставити та вирішувати інженерно-технічні та науково-прикладні проблеми
- ЗК2. Здатність використовувати інформаційні та комунікаційні технології

***Фахові компетентності***

- ФК1. Здатність застосовувати відповідні методи і ресурси сучасної інженерії для знаходження оптимальних рішень широкого кола інженерних задач із застосуванням сучасних підходів, методів прогнозування, інформаційних технологій та з урахуванням наявних обмежень за умов неповної інформації та суперечливих вимог.
- ФК2. Здатність описати, класифікувати та змодельовати широке коло технічних об'єктів та процесів, що ґрунтується на глибокому знанні та розумінні теорій та практик механічної інженерії, а також знаннях суміжних наук.
- ФК6. Здатність розробляти компоненти програмних комплексів при створенні електронних баз даних та "цифрових двійників" об'єктів і процесів машинобудування, використовуючи сучасні інструментальні засоби та технології програмування
- ФК8. Здатність розробляти програми і методики досліджень та випробувань машинобудівних виробів, засобів технічного оснащення, автоматизації та управління, розробляти фізичні та математичні моделі досліджуваних машин, приводів, систем, процесів, виконувати заходи щодо вибору випробувального обладнання та організувати проведення експериментів з аналізом їх результатів.

**Завершитись навчання має наступними програмними результатами:**

- РН1. Застосовувати спеціалізовані концептуальні знання новітніх методів та методик проектування, аналізу і дослідження конструкцій, машин та/або процесів в галузі машинобудування та суміжних галузях знань

- PH3. Застосовувати системи автоматизації для виконання досліджень, проектно- конструкторських робіт, технологічної підготовки та інженерного аналізу в машинобудуванні
- PH4. Використовувати сучасні методи оптимізації параметрів технічних систем засобами системного аналізу, математичного та комп'ютерного моделювання, зокрема за умов неповної та суперечливої інформації
- PH13. Застосовувати сучасні інструментальні засоби та технології програмування при створенні електронних баз даних та "цифрових двійників" об'єктів і процесів машинобудування
- PH15. Застосовувати методи досліджень складних технічних систем, володіти навичками самостійного проведення досліджень та випробувань машин з використанням сучасного контрольно вимірального обладнання та програмної обробки експериментальних даних

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

Дисципліна «НАУКОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ БІОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ ПРОТЕЗУВАННЯ» базується на нормативних дисциплінах:

- Інформаційні системи і технології в машинобудуванні;
- Оцінка відповідності продукції машинобудування та системи управління якістю;
- Основи інженерії та технології сталого розвитку;
- Дослідження, динаміка та надійність обладнання і машин.

У свою чергу дисципліна «НАУКОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ БІОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ ПРОТЕЗУВАННЯ» може бути корисною для подальшої підготовки з дисциплін:

- Практика
- Виконання магістерської дисертації

## 3. Зміст навчальної дисципліни

| <b>Розділ 1. Основні принципи та підходи до наукових досліджень біомеханічних систем</b> |   |
|--|---|
| <i>Тема 1.1</i>  | Загальні визначення складних біомеханічних систем. Біомеханіка опорно-рухового апарату. Фази та просторово-часові характеристики. Протези, ортези та інші засоби, що використовуються для відновлення рухомості кінцівок людини |
| <i>Тема 1.2</i>  | Основи математичного опису складних біомеханічних систем. Принципи системного підходу. Енергетичний баланс рухомості людини. Вплив елементів біомеханічних систем на рухомість кінцівок   |
| <i>Тема 1.3</i>  | Постановка задач моделювання кінцівки для визначення статичних та динамічних навантажень протезу. Опис задач динаміки на основі найпростіших моделей (дво- та тримасових). Реологічні властивості імплантів та тканини людини   |
| <i>Тема 1.4</i>  | Системне моделювання. Побудова моделей складних біомеханічних систем. Дослідження складних біомеханічних систем на основі створених математичних та імітаційних моделей.  |
| <i>Тема 1.5</i>  | Математичні методи аналізу систем. Створення імітаційних моделей для симуляції поведінки складних систем  |
| <i>Тема 1.6</i>  | Біодинаміка рухових дій пацієнта. Опір середовища рухові тіла. Залучення сторонніх елементів у біомеханічну систему та їх вплив на точність та відтворюваність рухів  |
| <i>Тема 1.7</i>  | Складні біомеханічних системи з точки зору їх невизначеності. Застосування алгоритмів неявної логіки для аналізу систем. Поведінка адитованих   |

|  |  |
|--|--|
|  | матеріалів, використовуваних для імплантів, протезів та ортезів  |
| Тема 1.8   | Проблеми дослідження складних технічних систем в умовах невизначеності. Засоби планування експерименту та вилучення шумових впливів  |
| Тема 1.9   | Статистична перевірка масивів даних, засоби автоматичного зняття даних на основі сучасних технологій. Дисперсійний та регресійний аналізи засобами StatGraphics Centurion  |
| Тема 1.10  | Прийняття рішень при аналізі складних систем. Принципи постановки оптимізаційних досліджень. Планування та аналіз повнофакторного експерименту засобами StatGraphics.  |
| Тема 1.11  | Лінійне програмування та симплекс-метод для розв'язку задач оптимізації  |
| Тема 1.12  | Формування експлуатаційних показників готового біомеханічного виробу засобами адитивного виробництва   |
| <b>Розділ 2. Застосування методів наукового дослідження в аналізі біомеханічних систем</b> |  |
| Тема 2.1   | Логіко-ймовірнісна теорія та її використання при дослідженні біомеханічних систем. Кінцівка з суглобом як складна біомеханічна систем з багатьма ступенями вільності. Дослідження складних біомеханічних систем за відсутності доступної інформації щодо структури і зв'язків. |
| Тема 2.2   | Методи параметричної оптимізації структурно-складних технічних систем. Поняття про оптимізацію за певними критеріями. Опис заданих технічних рішень математичними співвідношенням.   |
| Тема 2.3   | Використання SciLab для вирішення задач моделювання у системах із нечітким визначенням параметрів  |

#### 4. Навчальні матеріали та ресурси

##### Основна література

1. Наукові дослідження складних технічних систем: навч. посібник. ч.1. для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка» / О.Ф. Саленко, С.В. Вакуленко; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 3,7 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 102 с <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/cc5eb08c-378a-49ea-85b4-e284ba2f0147/content>
2. Лук'янова В.В. Комп'ютерний аналіз даних: навч. посібник / В.В. Лук'янова. – Київ: Видавничий центр "Академія", 2003. – 344 с. <https://opac.library.cv.ua/bib/44437>
3. Біомеханіка: конспект лекцій для студентів закладів вищої освіти спеціальності 122 «Комп'ютерні науки», освітня програма «Комп'ютерні науки в медицині» / укл. С. В. Подлесний. – Краматорськ : ДДМА, 2019. – 104 с. [http://www.dgma.donetsk.ua/docs/kafedry/opm/metods/02\\_Biomekhanika\\_Konspekt.pdf](http://www.dgma.donetsk.ua/docs/kafedry/opm/metods/02_Biomekhanika_Konspekt.pdf)
4. Пальчевський Б.О. Дослідження технологічних систем (моделювання, проектування оптимізація): Навч. посібник/ Б.О. Пальчевський <https://polka-knig.com.ua/book.php?book=150>
5. Павленко П.М. Інформаційні системи і технології : навч. посіб. / П. М. Павленко, С. Ф. Філоненко, К. С. Бабіч та ін. – К. : НАУ, 2013. – 324 с. <https://utek.uz.ua/wp-content/uploads/2024/10/YT-redaktsyya-v4.pdf>

##### Додаткова література

1. O. Salenko, M. Kryshchuk, N. Havrushkevych, H. Habuzian, and D. Dzhulii, "Rheological models of trabecular structures joint implants obtained by additive processes", Mech. Adv. Technol., vol. 8, no. 2(101), pp. 182–194, Jun. 2024. [https://doi.org/10.20535/2521-1943.2024.8.2\(101\).301666](https://doi.org/10.20535/2521-1943.2024.8.2(101).301666)
2. Cherniak, V., Salenko, O., Orel, V., Karpenko, K., & Pryemskaya, V. (2024). SOUND METHODS OF DETECTING FRAGMENTS IN THE WOUND. SWorld-Ger Conference Proceedings, 1(gec34-00), 48–57. <https://doi.org/10.30890/2709-1783.2024-34-00-009>

3. Тимейчук О. Ю. Дослідження робочих процесів машин і методи оптимізації: навч. посібник/С. В. Кравець, О. П. Лук'янчук, О. Ю. Тимейчук. – Рівне : НУВГП, 2011. – 240 с.
4. Божанова, Т. А. Про узагальнені розв'язки однієї задачі векторної оптимізації на транспортних мережах [Електр. ресур] / Т. А. Божанова, П. І. // Динамические системы: зб. наук. праць. – 2010. – Вип. 28. – С. 48-62. – Режим доступа : [http://www.dynsys.crimea.edu/issue/28/dynsys\\_28\\_bozha\\_nova.pdf](http://www.dynsys.crimea.edu/issue/28/dynsys_28_bozha_nova.pdf)
5. D'Apice, C. Efficient Controls for Traffic Flow on Networks / C. D'Apice, P. I. Kogut, R. Manzo // Dynamical and Control Systems. – 16(2010). – No 3. – P. 407-437.
6. Jahn J. Vector Optimization: Theory, Applications and Extensions. – Berlin: Springer-Verlag, 2004. – 400 p.

## Навчальний контент

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

#### Лекційні заняття (30 год)

На лекціях подається теоретичний матеріал та наводяться приклади розв'язування основних тематичних задач. Під час лекційних занять розглядаються наступні питання:

- Складна технічна система як об'єкт дослідження. Ієрархічність складних технічних систем. Особливості взаємозв'язку компонентів у складних технічних системах. Забезпечення їх надійності. (2 год.)
- Основні проблеми теорії систем. Рангування систем, використовувані методи. Задачі розподілу ресурсів у системах. Прийоми моделювання систем. Декомпозиція системи. (2 год.)
- Основні принципи та прийоми декомпозиції. Інформаційний аспект вивчення складних технічних систем. Точність математичних та імітаційних описів. Проблеми збору інформації. (2 год.)
- Загальні визначення складних біомеханічних систем. Біомеханіка опорно-рухового апарату. Фази та просторово-часові характеристики. Протези, ортези та інші засоби, що використовуються для відновлення рухомості кінцівок людини. (2 год.)
- Основи математичного опису складних біомеханічних систем. Принципи системного підходу. Методи вивчення структури систем. Застосування теорії нечітких множин для розв'язку певного кола задач складних технічних систем Енергетичний баланс рухомості людини. (2 год.)
- Вплив елементів біомеханічних систем на рухомість кінцівок Огляд системного підходу та основні засади. Парадигма системного підходу. Використання системного підходу до питань опису складних технічних систем. Уявлення процесів, машин і агрегатів у вигляді складних технічних систем. (2 год.)
- Постановка задач моделювання кінцівки для визначення статичних та динамічних навантажень протезу. Опис задач динаміки на основі найпростіших моделей (дво- та тримасових). Реологічні властивості імплантів та тканини людини. (2 год.)
- Біодинаміка рухових дій пацієнта. Опір середовища рухові тіла. Залучення сторонніх елементів у біомеханічну систему та їх вплив на точність та відтворюваність рухів Математичний опис систем та їх властивостей. (2 год.)
- Складні біомеханічних системи з точки зору їх невизначеності. Застосування алгоритмів неявної логіки для аналізу систем. Поведінка адитованих матеріалів, використовуваних для імплантів, протезів та ортезів. (2 год.)
- Модель «чорної скрині» та опис поведінки передавальними функціями. Перетворення передавальних функцій, отримання законів поведінки складних технічних систем. (2 год.)

- Параметрична оптимізація складної системи. Монотонні та немонотонні логічні функції. Алгоритми ортогоналізації. Рекурентний алгоритм. Алгоритм нарощування шляхів. (2 год.)
- Статистична перевірка масивів даних, засоби автоматичного зняття даних на основі сучасних технологій. Дисперсійний та регресійний аналізи засобами StatGraphics Centurion. (2 год.)
- Методи параметричної оптимізації структурно-складних технічних систем Проблеми дослідження складних технічних систем в умовах невизначеності. Засоби планування експерименту та вилучення шумових впливів. (2 год.)
- Поняття про оптимізацію за певними критеріями. Опис заданих технічних рішень математичними співвідношенням. (2 год.)
- Логіко-ймовірнісна теорія та її використання при дослідженні біомеханічних систем. Кінцівка з суглобом як складна біомеханічна систем з багатьма ступенями вільності. Дослідження складних біомеханічних систем за відсутності доступної інформації щодо структури і зв'язків. (2 год.)

Основними завданнями циклу **практичних занять (комп'ютерних практикумів)** є поглиблення теоретичних знань, набуття навичок роботи з нормативно-технічною та довідниковою літературою та вирішення практичних задач наукового дослідження біомеханічних систем пацієнта, враховуючи отримання моделей, закономірностей, рівнянь обумовленості

#### **Основні теми практичних занять та перелік основних питань (10 год):**

- Методи описової статистики у пакеті STATGRAPHICS (2 год.)
- Використання відомих програмних пакетів для опису біомеханічних систем. Використання засобів SciLab, моделювання із елементами неявної логіки (2 год.)
- Однофакторний ранговий та дисперсійний аналіз у статистичному пакеті STATGRAPHICS (2 год.)
- Планування експериментів (модельних і натурних) та статистична обробка отриманих даних (2 год.)
- Scilab в моделюванні багатокомпонентних технічних системах (2 год.)

#### **Лабораторні роботи (20 год)**

На лабораторних роботах студенти опановують методики проведення досліджень біомеханічних систем у вигляді куксоприймачів, ортезів, протезів кінцівок і суглобів людини. Лабораторні роботи, розроблені та запропоновані студентам, мають індивідуальний, дослідницький характер. При цьому студенти набувають компетенцій у підготовці дослідних зразків, проведенні експериментів щодо оптимізації технологій виготовлення подібних засобів, випробування на міцність, деформівність; визначення щільності структури та точності відтворення заданих структур імплантів та протезів, а також їх метрологічного опрацювання.

#### **Теми лабораторних робіт.**

- Дослідження точності та структури надрукованої моделі імпланту або протезу. Відтворення моделі лабораторними засобами (потрібен мікроскоп, вимірювальна машина) - 2 год
- Порівняння механічних характеристик виробів, отриманих різними адитивними процесами та з різних матеріалів (розривна машина) – 4 год
- Відтворення трабекулярних структур біомеханічних систем, дослідження точності відтворення - 4 год
- Зняття зарактеристик статичного та динамічного навантаження біомеханічних компонентів в процесі експлуатації (засоби тензометричного або фотопружного типу) – 2 год.

- Реінженіринг у задачах ургентного протезування або стабілізації. Відтворення елементів біомеханічних систем за допомогою 3-д сканування – 4 год.
- Задачі динаміки на основі найпростіших біомеханічних моделей (дво- та тримасових). Опис явищ із застосуванням випадкових параметрів. Кінцівка людини з точки зору динаміки. (компютерна техніка) – 2 год
- Реалізація математичної моделі багатомасової динамічної моделі із зовнішнім впливом в системі Simulink. Порівняння модельних результатів із натурними дослідженнями. Ідентифікація динамічних моделей біомеханічних систем – 2 год

## 6. Самостійна робота студента (90 год)

Години, відведені на самостійну роботу студента, призначені для опанування навчальної дисципліни, зокрема, підготовка до виконання робіт на практичних заняттях; підготовка до лекцій та лабораторних робіт, а також підготовка до модульної контрольної роботи та екзамену.

Тематика задач для самостійної роботи:

- Типи складних біомеханічних систем; людина, її рухові можливості в середовищі, відновлення функціонування після травм;
- Системний підхід до розгляду задач дослідження біомеханічних систем;
- Інформаційні технології, що використовуються для аналізу складних технічних систем;
- Методи і прийоми рангування факторів і систем;
- Сучасні моделі дослідження біомеханічних систем;
- Інформаційна технологія обробка даних;
- Статистичні прийоми відсіювання недостовірних даних та інформаційних викидів (похибок)
- Однокритеріальні та багатокритеріальні задачі вибору;
- Застосування методів пошуку раціональних рішень у певних класах задач;
- Розв'язок задач із теорією нечітких множин; типи логіко-ймовірнісних моделей;
- Застосування немонотонних функцій для опису задач досліджень;
- Застосування алгоритмів переводу функцій алгебри логіки у ймовірнісні функції;
- Використання ймовірнісних функцій в інженерній практиці
- Теорія автоматичного регулювання та її використання при вирішенні задач із обмеженою інформацією;
- Застосування прийомів імітаційного моделювання в інженерній практиці при створенні біомеханічних засобів

## Політика та контроль

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

#### Відвідування занять

Відвідування лекцій чи відсутність на них, не оцінюється. Проте, студентам рекомендується відвідувати заняття, оскільки на них викладається теоретичний матеріал та розвиваються навички, необхідні для виконання семестрового індивідуального завдання.

Відвідування лабораторних робіт є обов'язковим. У разі відсутності студента на лабораторній роботі, у тому числі і за станом здоров'я, йому необхідно пропущену роботу відпрацювати. На одному занятті (2 год.) можна відпрацювати лише одну пропущену лабораторну роботу. Звіт з лабораторних робіт захищається на останньому лабораторному занятті до початку заліку.

Відвідування практичних занять є вельми бажаним, оскільки на цих заняттях вирішуються типові інженерні задачі. Також студенти мають можливість проконсультуватися з викладачем по всіх питаннях з дисципліни. Як правило, на останньому практичному занятті захищаються звіти з практичних робіт.



Відвідування модульної контрольної роботи є обов'язковим. Якщо студент пропустив МКР з поважних причин, наприклад, за станом здоров'я, то за наявності підтверджуючого документа (довідки) він може протягом тижня написати пропущену контрольну роботу. В іншому випадку МКР не оцінюється. Перескладання модульної контрольної роботи на вищу оцінку не передбачено.

### Процедура оскарження результатів контрольних заходів

Студенти мають можливість підняти будь-яке питання, яке стосується процедури контрольних заходів та очікувати, що воно буде розглянуто згідно із наперед визначеними процедурами. Студенти мають право оскаржити результати контрольних заходів, але обов'язково аргументовано пояснивши з яким критерієм не погоджуються відповідно до оціночного листа та/або зауважень. Детальніше: НАКАЗ №НОН/228/2022 ВІД 21.07.2022 "Про затвердження нової редакції положення про апеляції в КПІ ім. Ігоря Сікорського", [https://document.kpi.ua/2022\\_НОН-228](https://document.kpi.ua/2022_НОН-228)

### Академічна доброчесність

Політика та принципи академічної доброчесності визначені у розділі 3 Кодексу честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». Детальніше: <https://kpi.ua/code>

### Норми етичної поведінки

Норми етичної поведінки студентів і працівників визначені у розділі 2 Кодексу честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». Детальніше: <https://kpi.ua/code>

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

**Поточний контроль:** лабораторні роботи, практичні роботи (комп'ютерні практикуми), модульна контрольна робота.

**Календарний контроль:** провадиться 2 раз на семестр за встановленим графіком як моніторинг поточного стану виконання вимог силабусу.

**Семестровий контроль:** екзамен.

Рейтингова оцінка  $R$  студента з дисципліни складається з балів, які він отримує за:

- виконання лабораторних робіт  $r_1$ ;
- звіт з практичних робіт  $r_2$ ;
- модульну контрольну роботу  $r_3$ ;
- екзамен  $r_4$ .

Додатково PCO передбачає можливість нарахування заохочувальних балів.

### Лабораторні роботи ( $r_1$ )

Ваговий бал однієї лабораторної роботи – 5 балів. Мінімальна кількість балів, яка повинна бути набраною, щоб лабораторна робота вважалась зарахованою складає 3 бали, тобто 60% від максимальної кількості за одну роботу (табл. 1).

Таблиця 1

Рейтингові бали за одну лабораторну роботу

| Бали | Критерії оцінювання  |
|------|--|
| 5,0  | Робота виконана повністю, зауважень немає, є відповіді на всі запитання.         |
| 4,5  | Робота виконана з несуттєвими зауваженнями, у відповідях трапляються неточності. |
| 4,0  | Робота виконана з зауваженнями, є відповіді на більшість запитань .              |
| 3,5  | Робота виконана з помилками, є відповіді лише на частину запитань.               |
| 3,0  | Робота виконана із значними помилками, є відповіді лише на окремі питання.       |
| 0,0  | Робота не виконана, звіт не представлений.                                       |

Мінімальна кількість балів за всі лабораторні роботи:

$$r1_{min} = 3 \text{ бали} \times 7 = 21 \text{ балів.}$$

Максимальна кількість балів за всі лабораторні роботи:

$$r1 = 5 \text{ балів} \times 7 = 35 \text{ балів.}$$

Звіт з лабораторних робіт захищається на останньому лабораторному занятті.

### Звіт з практичних робіт (r2)

Звіт з практичних робіт вміщує усі завдання, видані викладачем. Максимальна кількість балів за завдання нараховується за його правильне та своєчасне виконання. Терміни виконання завдань встановлюються викладачем на практичних заняттях. Оцінювання звіту здійснюється відповідно до таблиці 2.

Таблиця 2

#### Рейтингові бали за звіт з практичних робіт

| Бали | Критерій оцінювання  |
|------|--|
| 15,0 | Завдання виконані, зауважень немає, є відповіді на всі запитання.                  |
| 13,5 | Завдання виконані з несуттєвими зауваженнями, у відповідях трапляються неточності. |
| 12,0 | Завдання виконані з зауваженнями, є відповіді на більшість запитань.               |
| 10,5 | Завдання виконані з помилками, є відповіді лише на частину запитань.               |
| 9,0  | Завдання виконані із значними помилками, є відповіді лише на окремі питання.       |
| 0,0  | Завдання не виконані, звіт не представлений.                                       |

Максимальна кількість балів становить:

$$r2 = 15 \text{ балів.}$$

Мінімальна кількість балів за звіт з практичних робіт складає не менше 60% від максимальної кількості:

$$r2_{min} = 0,6 \times 15 = 9 \text{ балів.}$$

### Модульна контрольна робота

Робочим навчальним планом передбачено проведення однієї модульної контрольної роботи (МКР) в обсязі 2 год. МКР відбувається у вигляді двох контрольних робіт по 1 годині кожна. Контрольна робота-1 виконується за розділом 1. Контрольна робота-2 виконується за розділом 2.

Одна контрольна робота складається з кількох завдань. Завдання оновлюються кожного семестру. Ваговий бал однієї контрольної роботи – 5 балів.

Оцінювання модульної контрольної роботи здійснюється відповідно до таблиці 3.

Таблиця 3

#### Рейтингові бали за одну контрольну роботу

| Бали | Критерій оцінювання  |
|------|--|
| 5,0  | Вірна відповідь більш, ніж на 95 % питань                          |
| 4,5  | Вірна відповідь більш, ніж на 85 % питань                          |
| 4,0  | Вірна відповідь більш, ніж на 75 % питань                          |
| 3,5  | Вірна відповідь більш, ніж на 65 % питань                          |
| 3,0  | Вірна відповідь більш, ніж на 60 % питань                          |
| 0    | Вірна відповідь менш, ніж на 60 % питань або студент був відсутній |

Максимальна кількість балів за дві контрольні роботи відповідно складає:

$$r3 = 5 \text{ балів} \times 2 = 10 \text{ балів}$$

### Заохочувальні бали

Загальний рейтинг з дисципліни заохочувальні бали, які додаються до суми вагових балів усіх контрольних заходів.

Заохочувальні бали можуть нараховуватися за виконання творчих робіт: робота у наукових гуртках з підготовкою матеріалів доповідей або статей для публікації, участь у наукових і науково-практичних конференціях і семінарах, олімпіадах з дисципліни, конкурсах робіт, рефератів та оглядів наукових праць, аналіз сучасної нормативно-правової бази з дисципліни у країні та її відповідність вимогам міжнародних стандартів тощо. Кількість нарахованих балів залежить від отриманих результатів.

Загальна сума заохочувальних балів не може перевищувати 10% від рейтингової шкали, тобто  $100 \times 0,1 = 10$  балів.

### Умови календарного контролю

Календарний контроль з навчальної дисципліни (освітнього компонента) проводиться, як правило, на 7 та 13 тижнях кожного семестру. Умовою отримання позитивної оцінки з календарного контролю з навчальної дисципліни є значення поточного рейтингу здобувача не менше, ніж 50 % від максимально можливого на час проведення такого контролю. Результати календарного контролю заносяться у модуль «Календарний контроль» Електронного кампусу.

### Критерії семестрового оцінювання

Рейтингова система оцінювання складається з балів, отриманих здобувачем за результатами заходів поточного контролю та заохочувальних балів. Рейтингова оцінка доводиться до здобувачів на останньому занятті з дисципліни в семестрі.

Необхідною умовою допуску до екзамену є виконання та захист всіх лабораторних та практичних робіт (комп'ютерних практикумів) і рейтинг не менше 30 балів.

Екзамен відбувається за розкладом екзаменаційної сесії, затвердженим директором інституту. Час написання екзамену складає не менше 60 хвилин. Екзаменаційне завдання складається з двох питань. Питання максимально оцінюється у відповідно 20 балів. Максимальна кількість балів отриманих за екзамен складає 40 балів:

$$r_{4\max} = 40 \text{ балів.}$$

Критерій екзаменаційного оцінювання визначається як сума якості відповідей на кожне завдання білета за табл. 4.

Таблиця 4

Кількість балів за одне завдання білета

| Бали | Критерій оцінювання   |
|------|---|
| 20   | Відмінна відповідь (не менше 95% інформації), можливі несуттєві зауваження та неточності                                |
| 18   | Дуже добра відповідь (не менше 85% інформації), помилок немає, відповідь на переважну більшість питань, творче мислення |
| 16   | Добра відповідь (не менше 75% інформації), помилок немає, відповідь на більшість питань, окремі недоліки                |
| 14   | Задовільна відповідь (не менше 65% інформації) є зауваження, відповідь на частину питань                                |
| 12   | Достатня відповідь (не менше 60% інформації), суттєві помилки, відповідь на окремі питання.                             |
| 0    | Відповідь невірна або менше 60% інформації, або вона відсутня   |

### Розрахунок шкали рейтингу з дисципліни

$$R = r_1 + r_2 + r_3 + r_4 = 35 + 15 + 10 + 40 = 100 \text{ балів}$$

Для отримання відповідної оцінки з дисципліни студент має набрати певну кількість балів, згідно з таблицею перерахунку (табл. 5).

Таблиця 5

**Таблиця перерахунку рейтингових балів в оцінки**

| Рейтингова оцінка здобувача                        | Університетська шкала оцінок рівня здобутих компетентностей |
|--|---|
| 95 ... 100   | Відмінно  |
| 85 ... 94  | Дуже добре  |
| 75 ... 84  | Добре   |
| 65 ... 74  | Задовільно  |
| 60 ... 64  | Достатньо   |
| Менше 60 балів                                     | Незадовільно  |
| Не виконані умови допуску до семестрового контролю | Не допущено   |

**Робочу програму навчальної дисципліни (силабус) склав:**

Професор кафедри конструювання машин, доктор технічних наук, професор

Олександр САЛЕНКО

Професор кафедри конструювання машин, доктор технічних наук, професор

Віталій Пасічник

Професор кафедри конструювання машин, доктор технічних наук, професор

Юрій Данильченко

**Ухвалено** кафедрою конструювання машин

(Протокол №14 від 16.04.2025 р.)

**Погоджено** методичною комісією

навчально-наукового механіко-машинобудівного інституту

(Протокол №9 від 25.04.2025 р.)



# Передові процеси і технології виробництва протезів

## Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

| Реквізити навчальної дисципліни             |   |
|---|---|
| Рівень вищої освіти                         | <i>Другий (магістерський)</i>   |
| Галузь знань                                | <i>G Інженерія, виробництво та будівництво</i>  |
| Спеціальність                               | <i>G9 Прикладна механіка</i>  |
| Освітня програма                            | <i>Конструювання машин</i>  |
| Статус дисципліни                           | <i>Вибіркова</i>  |
| Форма навчання                              | <i>Очна (денна)</i>   |
| Рік підготовки, семестр                     | <i>1 курс, весняний семестр</i>   |
| Обсяг дисципліни                            | <i>5 кредитів ЄКТС, 150 год., Лекції – 30 год., комп'ютерні практикуми / практичні – 30 год., СРС 90 год.</i>   |
| Семестровий контроль/ контрольні заходи     | <i>Екзамен, МКР</i>   |
| Розклад занять                              | <i>За розкладом на сайті університету</i>   |
| Мова викладання                             | <i>Українська</i>   |
| Інформація про керівника курсу / викладачів | <i>Лектор: д.т.н., проф. Пасічник Віталій Анатолійович, к.т.н., доц. Джулій Дмитро Юрійович, к.т.н., доц. Слободянюк Іванна Валентинівна<br/>Кафедра: Корпус 22, кімната 109, тел. (044) 204-82-55<br/>e-mail: vitaliy.pasichnyk@gmail.com<br/>e-mail: dzhulii.dmytro@iit.kpi.ua<br/>e-mail: slobodianiuk.ivanna@iit.kpi.ua<br/>Комп'ютерні практикуми / практичні: к.т.н., доц. Джулій Дмитро Юрійович, к.т.н., доц. Слободянюк Іванна Валентинівна<br/>e-mail: dzhulii.dmytro@iit.kpi.ua<br/>e-mail: slobodianiuk.ivanna@iit.kpi.ua</i> |
| Розміщення курсу                            | <i>classroom</i>  |

### Програма навчальної дисципліни

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

Дисципліна "Передові процеси і технології виробництва протезів" розглядає основні технології та обладнання сучасного виготовлення елементів протезів та їх застосування для виготовлення таких деталей та виробів, які мають високі вимогами до якості та експлуатаційних властивостей. Передові процеси і технології – це сучасні підходи до виготовлення складних виробів, в тому числі і з конструкційних матеріалів, що мають спеціальні властивості та задовольняють високим вимогам експлуатації.

**Метою дисципліни** є набуття знань про використання передових технологій та процесів в виробництві протезів, навчитись проектувати технологічні процеси в умовах автоматизованого виробництва та керувати ними.

**Предмет навчальної дисципліни** – передові процеси і технології виробництва протезів.

Дисципліна "Передові процеси і технології виробництва протезів" відноситься до вибіркового освітніх компонентів, і вона самостійно не формує компетентностей, проте здатна підсилювати компетентності та результати навчання, які забезпечують нормативні освітні компоненти.

**Вивчення дисципліни сприяє підсиленню наступних компетентностей:**

### **Загальні компетентності**

ЗК1. Здатність виявляти, ставити та вирішувати інженерно-технічні та науково-прикладні проблеми.

ЗК6. Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями.

### **Фахові компетентності**

ФК1. Здатність застосовувати відповідні методи і ресурси сучасної інженерії для знаходження оптимальних рішень широкого кола інженерних задач із застосуванням сучасних підходів, методів прогнозування, інформаційних технологій та з урахуванням наявних обмежень за умов неповної інформації та суперечливих вимог.

ФК2. Здатність описати, класифікувати та змодельовувати широке коло технічних об'єктів та процесів, що ґрунтується на глибокому знанні та розумінні теорій та практик механічної інженерії, а також знаннях суміжних наук.

ФК11. Здатність створювати елементи інженерних конструкцій, орієнтованих на застосування адитивних процесів, обирати обладнання, матеріали та призначати режими виготовлення деталей.

### **Завершитись навчання має наступними програмними результатами:**

ПРН2. Розробляти і ставити на виробництво нові види продукції, зокрема виконувати дослідно-конструкторські роботи та/або розробляти технологічне забезпечення процесу їх виготовлення.

ПРН5. Самостійно ставити та розв'язувати задачі інноваційного характеру, аргументувати і захищати отримані результати та прийняті рішення.

ПРН11. Розробляти управлінські та/або технологічні рішення за невизначених умов та вимог, оцінювати і порівнювати альтернативи, аналізувати ризики, прогнозувати можливі наслідки.

ПРН17. Використовувати спеціальне програмне забезпечення при проектуванні виробів і підготовці керуючих програм для адитивних машин, їх налагодження та управління процесом.

ПРН18. Застосувати адитивні процеси для виготовлення елементів інженерних конструкцій зі спеціальними властивостями.

ПРН19. Спроможність виконувати технологічну підготовку виготовлення виробу засобами адитивних технологій; обирати матеріали, призначати режими, оцінювати досягну точність виробу та очікувані фізико-механічні характеристики.

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

Дисципліна " Передові процеси і технології виробництва протезів " базується на нормативних дисциплінах:

- Інформаційні системи і технології в машинобудуванні
- Оцінка відповідності продукції машинобудування та системи управління якістю
- Основи інженерії та технології сталого розвитку
- Дизайн для адитивного виробництва

У свою чергу дисципліна "Передові процеси і технології виробництва протезів " може бути корисною для подальшої підготовки з дисциплін:

- Практика
- Виконання магістерської дисертації

### 3. Зміст навчальної дисципліни

- |         |  |
|---------|--|
| Тема 1  | Класифікація передових процесів і технологій для виготовлення елементів протезів. Конвенційні технології.  |
| Тема 2  | Оброблення на верстатах з ЧПК елементів протезів. Проектування технологічних операцій з застосування верстатів з ЧПК. Інструментальне оснащення механічного оброблення на верстатах з ЧПК. |
| Тема 3  | Проектування технологічних операцій оброблення плоских деталей на верстатах з ЧПК.   |
| Тема 4  | Проектування технологічних операцій оброблення деталей на токарних верстатах з ЧПК.  |
| Тема 5  | Фрезерне та багатоосьове оброблення на верстатах з ЧПК та роботизовані технологічні комплекси.   |
| Тема 6  | Адитивне виробництво елементів протезів. Класифікація технологій, особливості застосування.  |
| Тема 7  | Адитивне виробництво полімерних деталей та прототипів: FDM, SLA, SLS, SLM.   |
| Тема 8  | Адитивне виробництво металевих деталей: ультразвукове адитивне виробництво, SLS, SLM, DED.   |
| Тема 9  | Технології виготовлення композитних деталей, процеси ламінування.  |
| Тема 10 | Технології лиття полімерів при виготовленні елементів протезів.  |
| Тема 11 | Спеціальні технології оброблення елементів протезів. Ультразвукове оброблення, абразивно-струминне оброблення, гідроструменеве оброблення. Гідроабразивне оброблення.                      |
| Тема 12 | Електрохімічні способи оброблення. Електроерозійне оброблення.   |
| Тема 13 | Променеві технології оброблення: електронне, лазерне, плазмове, іонне.   |
| Тема 14 | Абразивні та хімічні технології фінішного оброблення елементів протезів.   |
| Тема 15 | Технології нанесення захисних та декоративних покриттів.   |

### 4. Навчальні матеріали та ресурси

#### Основна література

1. Онофрейчук Н. В. Основи обробки та програмування на верстатах з числовим програмним керуванням : підруч. / Н.В.Онофрейчук. — Львів : Світ, 2019. — 352 с. - Режим доступу: [https://lib.imzo.gov.ua/wa-data/public/site/books2/pidrucnyky-posibnykyprofosvita/Onofreychuck\\_%D1%81%D0%B0%D0%B9%D1%82\\_%D0%BE%D1%81%D1%82.pdf](https://lib.imzo.gov.ua/wa-data/public/site/books2/pidrucnyky-posibnykyprofosvita/Onofreychuck_%D1%81%D0%B0%D0%B9%D1%82_%D0%BE%D1%81%D1%82.pdf)
2. Сучасні адитивні технології 3D друку. Особливості практичного застосування : навчальний посібник / О. Д. Манжілевський, Р. Д. Іскович-Лотоцький. — Вінниця : ВНТУ, 2021. — 105 с. <https://press.vntu.edu.ua/index.php/vntu/catalog/download/619/1122/2283-1?inline=1>
3. Інтегровані технології обробки матеріалів: підручник / Е.С. Геворкян, Л.А. Тимофеева, В.П. Нерубацький, О.М. Мельник. — Харків: УкрДУЗТ, 2016. — 238 с. <http://lib.kart.edu.ua/bitstream/123456789/2402/1/%D0%9F%D1%96%D0%B4%D1%80%D1%83%D1%87%D0%BD%D0%B8%D0%BA.pdf>

4. Робочі процеси високих технологій у машинобудуванні: підручник / А.І. Грабченко, М.В. Везуб, Ю.М. Внуков, П.П. Мельничук, Г.М. Виговський. – Житомир: ЖДТУ, 2011. – 507 с. [http://library.kpi.kharkov.ua/files/new\\_postupleniya/roprvt.pdf](http://library.kpi.kharkov.ua/files/new_postupleniya/roprvt.pdf)

#### **Додаткова література**

1. Gibson I. Additive Manufacturing Technologies 3D Printing, Rapid Prototyping, and Direct Digital Manufacturing / I. Gibson, D. Rosen, B. Stucker., 2015. – 498 с. – (Second Edition).
2. Badiru B. A. Additive Manufacturing Handbook: Product Development for the Defense Industry / B. A. Badiru, V. V. Valencia, D. Liu., 2017. – 948 с. – (1st Edition).
3. Davim, J. Paulo. Introduction to Mechanical Engineering, 2018.
4. Vijay K. Jain. Advanced machining processes, 2007.
5. J. Paulo Davim Metal Cutting Technologies, 2016.
6. Hassan El-Hofy. Advanced machining processes: nontraditional and hybrid machining processes, 2005.
7. Michael Ashby, Hugh Shercliff and David Cebon Materials Engineering, Science, Processing and Design, 2007.
8. Mikell P. Groover Fundamentals of modern manufacturing: materials, processes and systems, 2010.

### **Навчальний контент**

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

##### **Лекційні заняття**

На лекціях подається теоретичний матеріал та наводяться приклади використання передових процесів та технологій у виготовленні елементів протезів. Під час лекційних занять розглядаються наступні питання:

- Адитивні процеси;
- Оброблення на верстатах з ЧПК;
- Спеціальні технології оброблення;
- Виготовлення композитних деталей;
- Фінішні методи оброблення;
- Оздоблювальні методи оброблення.

##### **Комп'ютерні практикуми / практичні заняття**

На практичних заняттях студенти опановують методики адитивного та субтрактивного виготовлення деталей з ЧПК, фінішного оброблення деталей, оброблення листового матеріалу та створення керуючих програм. Практичні роботи, розроблені та запропоновані студентам, мають індивідуальний, дослідницький характер.

Теми практичних робіт діляться на групи:

- Оброблення на верстатах з ЧПК, розроблення керуючих програм в САМ системах (розкрій, фрезерування, точіння, багатоосьове оброблення);
  - Адитивне виготовлення;
  - Лиття та виготовлення композитів;
  - Зворотне проектування;
  - Вплив фінішних методів оброблення на шорсткість поверхонь та фізико-механічні властивості деталей.



## 6. Самостійна робота студента

Години, відведені на самостійну роботу студента, призначені для опанування навчальної дисципліни, зокрема, підготовка до лекцій та практичних робіт, а також підготовка до модульної контрольної роботи та екзамену. Також до самостійної роботи відноситься опрацювання літературних джерел для розширення знань лекційного матеріалу.

## Політика та контроль

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

#### Відвідування занять

Відвідування лекцій чи відсутність на них, не оцінюється. Проте, студентам рекомендується відвідувати заняття, оскільки на них викладається теоретичний матеріал та розвиваються навички, необхідні для виконання семестрового індивідуального завдання.

Відвідування практичних робіт є обов'язковим. У разі відсутності студента на практичній роботі, у тому числі і за станом здоров'я, йому необхідно пропущену роботу відпрацювати.

Відвідування модульних контрольних робіт є обов'язковим. Якщо студент пропустив МКР з поважних причин, наприклад, за станом здоров'я, то за наявності підтверджуючого документа (довідки) він може протягом тижня написати пропущену контрольну роботу. В іншому випадку МКР не оцінюється. Перескладання модульної контрольної роботи на вищу оцінку не передбачено.

#### Процедура оскарження результатів контрольних заходів

Студенти мають можливість підняти будь-яке питання, яке стосується процедури контрольних заходів та очікувати, що воно буде розглянуто згідно із наперед визначеними процедурами. Студенти мають право оскаржити результати контрольних заходів, але обов'язково аргументовано пояснивши з яким критерієм не погоджуються відповідно до оціночного листа та/або зауважень. Детальніше: НАКАЗ №НОН/228/2022 ВІД 21.07.2022 "Про затвердження нової редакції положення про апеляції в КПІ ім. Ігоря Сікорського", [https://document.kpi.ua/2022\\_НОН-228](https://document.kpi.ua/2022_НОН-228).

#### Академічна доброчесність

Політика та принципи академічної доброчесності визначені у розділі 3 Кодексу честі Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського". Детальніше: <https://kpi.ua/code>.

#### Норми етичної поведінки

Норми етичної поведінки студентів і працівників визначені у розділі 2 Кодексу честі Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського". Детальніше: <https://kpi.ua/code>.

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

**Поточний контроль:** практичні роботи, модульна контрольна робота.

**Календарний контроль:** провадиться 2 раз на семестр за встановленим графіком як моніторинг поточного стану виконання вимог силабусу.

**Семестровий контроль:** екзамен.

Рейтингова оцінка  $R$  студента з дисципліни складається з балів, які він отримує за:

- виконання практичних робіт (комп'ютерних практикумів)  $r1$ ;
- модульну контрольну роботу  $r2$ ;
- екзамен  $r3$ .

Додатково РСО передбачає можливість нарахування заохочувальних балів.

### Практичні роботи (комп'ютерні практикуми) (r1) (Комплексні).

Ваговий бал практичних робіт – 3 бали. Мінімальна кількість балів, яка повинна бути набраною, щоб практична робота вважалась зарахованою складає 1,8 балу, тобто 60% від максимальної кількості за одну роботу (табл. 1).

Таблиця 1

#### Рейтингові бали за одну практичну роботу

| Бали | Критерії оцінювання  |
|------|--|
| 3,0  | Робота виконана повністю, зауважень немає, є відповіді на всі запитання.         |
| 2,7  | Робота виконана з несуттєвими зауваженнями, у відповідях трапляються неточності. |
| 2,4  | Робота виконана з зауваженнями, є відповіді на більшість запитань.               |
| 2,1  | Робота виконана з помилками, є відповіді лише на частину запитань.               |
| 1,8  | Робота виконана із значними помилками, є відповіді лише на окремі питання.       |
| 0,0  | Робота не виконана, звіт не представлений.                                       |

Мінімальна кількість балів за всі практичні роботи:

$$r1_{min} = 1,8 \times 15 = 27 \text{ балів.}$$

Максимальна кількість балів за всі практичні роботи:

$$r1_{max} = 3 \times 15 = 45 \text{ балів.}$$

Практичні роботи захищаються на наступних парах у визначені терміни.

### Модульна контрольна робота

Робочим навчальним планом передбачено проведення однієї модульної контрольної роботи (МКР) в обсязі 2 год. МКР відбувається у вигляді двох контрольних робіт по 1 годині кожна. Контрольна робота-1 виконується за темами 1 – 8. Контрольна робота-2 виконується за темами 9 – 15.

Одна контрольна робота складається з кількох завдань. Завдання оновлюються кожного семестру. Ваговий бал однієї 1 контрольної роботи – 10 балів, другої – 5 балів.

Оцінювання контрольної роботи здійснюється відповідно до таблиці 2.

Таблиця 2

#### Рейтингові бали за одну контрольну роботу

| Бали       | Критерій оцінювання  |
|------------|--|
| 10,0 / 5,0 | Вірна відповідь більш, ніж на 95 % питань                          |
| 9,0 / 4,5  | Вірна відповідь більш, ніж на 85 % питань                          |
| 8,0 / 4,0  | Вірна відповідь більш, ніж на 75 % питань                          |
| 7,0 / 3,5  | Вірна відповідь більш, ніж на 65 % питань                          |
| 6,0 / 3,0  | Вірна відповідь більш, ніж на 60 % питань                          |
| 0,0        | Вірна відповідь менш, ніж на 60 % питань або студент був відсутній |

Максимальна кількість балів за дві контрольні роботи відповідно складає:

$$r2_{max} = 10 + 5 = 15 \text{ балів}$$

### Заохочувальні бали

Загальний рейтинг з дисципліни включає заохочувальні бали, які додаються до суми вагових балів усіх контрольних заходів.

Заохочувальні бали можуть нараховуватися за виконання творчих робіт: робота у наукових гуртках з підготовкою матеріалів доповідей або статей для публікації, участь у наукових і науково-практичних конференціях і семінарах, олімпіадах з дисципліни, конкурсах робіт, рефератів та оглядів наукових праць, аналіз сучасної нормативно-правової бази з дисципліни у країні та її відповідність вимогам міжнародних стандартів тощо. Кількість нарахованих балів залежить від отриманих результатів.

Загальна сума заохочувальних балів не може перевищувати 10% від рейтингової шкали, тобто  $100 \times 0,1 = 10$  балів.

### Умови календарного контролю

Календарний контроль з навчальної дисципліни (освітнього компонента) проводиться, як правило, на 7 та 13 тижнях кожного семестру. Умовою отримання позитивної оцінки з календарного контролю з навчальної дисципліни є значення поточного рейтингу здобувача не менше, ніж 50 % від максимально можливого на час проведення такого контролю. Результати календарного контролю заносяться у модуль "Календарний контроль" Електронного кампусу.

### Критерії семестрового оцінювання

Рейтингова система оцінювання складається з балів, отриманих здобувачем за результатами заходів поточного контролю та заохочувальних балів. Рейтингова оцінка доводиться до здобувачів на останньому занятті з дисципліни в семестрі.

Друга складова – це екзаменаційна оцінка, призначена для оцінювання окремих завдань на екзамені.

**Умови допуску до екзамену** – відсутність заборгованостей з практичних робіт (комп'ютерних практикумів) і рейтинг не менше 30 балів.

Екзамен відбувається за розкладом екзаменаційної сесії, затвердженим директором інституту. Екзамен проводиться в письмовій формі. Час написання екзамену складає не менше 60 хвилин. Екзаменаційне завдання складається з двох питань. Питання максимально оцінюється у відповідно 20 балів. Максимальна кількість балів отриманих за екзамен складає 40 балів:

$$r_{3_{\max}} = 40 \text{ балів.}$$

Критерій екзаменаційного оцінювання визначається як сума якості відповідей на кожне завдання білета за табл. 3.

Таблиця 3

Кількість балів за одне завдання білета

| Бали | Критерій оцінювання   |
|------|---|
| 20,0 | Відмінна відповідь (не менше 95% інформації), можливі несуттєві зауваження та неточності                                |
| 18,0 | Дуже добра відповідь (не менше 85% інформації), помилок немає, відповідь на переважну більшість питань, творче мислення |
| 16,0 | Добра відповідь (не менше 75% інформації), помилок немає, відповідь на більшість питань, окремі недоліки                |
| 14,0 | Задовільна відповідь (не менше 65% інформації) є зауваження, відповідь на частину питань                                |
| 12,0 | Достатня відповідь (не менше 60% інформації), суттєві помилки, відповідь на окремі питання.                             |
| 0,0  | Відповідь невірна або менше 60% інформації, або вона відсутня   |

### Розрахунок шкали рейтингу з дисципліни

За результатами заходів поточного контролю з дисципліни, заохочувальних балів та екзамена:

$$R = r_1 + r_2 + r_3 = 45 + 15 + 40 = 100 \text{ балів}$$

Для отримання відповідної оцінки з дисципліни студент має набрати певну кількість балів, згідно з таблицею перерахунку (табл. 4).

Таблиця 4

**Таблиця перерахунку рейтингових балів в оцінки**

| Рейтингова оцінка здобувача                        | Університетська шкала оцінок рівня здобутих компетентностей |
|--|---|
| 95 – 100   | Відмінно  |
| 85 – 94  | Дуже добре  |
| 75 – 84  | Добре   |
| 65 – 74  | Задовільно  |
| 60 – 64  | Достатньо   |
| Менше 60 балів                                     | Незадовільно  |
| Не виконані умови допуску до семестрового контролю | Не допущено   |

**Робочу програму навчальної дисципліни (силабус) склав:**

Професор кафедри конструювання машин, доктор  
технічних наук

Віталій ПАСІЧНИК

Доцент кафедри конструювання машин, кандидат  
технічних наук

Дмитро ДЖУЛІЙ

Доцент кафедри конструювання машин, кандидат  
технічних наук

Іванна СЛОБОДЯНЮК

**Ухвалено** кафедрою конструювання машин (Протокол №14 від 16.04.2025 р.)

**Погоджено** методичною комісією навчально-наукового механіко-машинобудівного інституту (Протокол №9 від 25.04.2025 р.).



# КОМП'ЮТЕРНЕ ПРОЄКТУВАННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ БІОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ ПРОТЕЗУВАННЯ

## Силабус

### Робоча програма навчальної дисципліни (освітнього компонента)

#### Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти *Другий (магістерський)*

|   |   |
|---|---|
| Галузь знань                                      | G Інженерія, виробництво та будівництво   |
| Спеціальність                                     | G9 Прикладна механіка   |
| Освітня програма                                  | Конструювання машин   |
| Статус дисципліни                                 | вибіркова   |
| Форма навчання                                    | очна(денна)   |
| Рік підготовки,<br>семестр                        | 1 курс, весняний семестр  |
| Обсяг дисципліни                                  | 5 кредитів ЄКТС / 150 годин<br>(Лекції – 30 годин, комп'ютерні практикуми – 30 годин,<br>СРС – 90 годин)  |
| Семестровий<br>контроль/<br>контрольні заходи     | <i>екзамен, МКР</i>   |
| Розклад занять                                    | <a href="https://schedule.kpi.ua/">https://schedule.kpi.ua/</a>   |
| Мова викладання                                   | <i>Українська</i>   |
| Інформація про<br>керівника курсу /<br>викладачів | <i>Лектори: к.т.н., доц. Кравець О.М.(096 3785048, e-mail<br/><a href="mailto:om.kravets_mmi@ill.kpi.ua">om.kravets_mmi@ill.kpi.ua</a>), д.т.н., проф. Данильченко Ю.М.,<br/>к.т.н., доц. Івановський О.А.<br/>Комп'ютерні практикуми: к.т.н., доц. Кравець О.М., д.т.н., проф.<br/>Данильченко Ю.М., к.т.н., доц. Івановський О.А.</i> |
| Розміщення курсу                                  | <i>«Електронний кампус», Google – клас «Комп'ютерне<br/>проєктування та дослідження біомеханічних систем<br/>протезування»</i>  |

#### Програма навчальної дисципліни

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

В дисципліні розглядають засоби систем автоматизованого проєктування що дозволяють виконувати моделювання та проводити динамічний аналіз компонентів та спряжень біомеханічних вузлів з аналізом отриманих результатів.

**Предмет навчальної дисципліни** – системи автоматизованого проєктування і розрахунку компонентів та спряжень біомеханічних вузлів (CAD/CAE).

**Метою** навчальної дисципліни є формування у студентів **компетентностей**:

ЗК 01 Здатність виявляти, ставити та вирішувати інженерно-технічні та науково-прикладні проблеми.

ЗК 02 Здатність використовувати інформаційні та комунікаційні технології.

ФК 01. Здатність застосовувати відповідні методи і ресурси сучасної інженерії для знаходження оптимальних рішень широкого кола інженерних задач із застосуванням сучасних підходів, методів прогнозування, інформаційних технологій та з урахуванням наявних обмежень за умов неповної інформації та суперечливих вимог;

ФК 02 Здатність описати, класифікувати та змодельовати широке коло технічних об'єктів та процесів, що ґрунтується на глибокому знанні та розумінні теорій та практик механічної інженерії, а також знаннях суміжних наук;

ФК 06 Здатність розробляти компоненти програмних комплексів при створенні електронних баз даних та “цифрових двійників” об'єктів і процесів машинобудування, використовуючи сучасні інструментальні засоби та технології програмування;

ФК 07 Здатність застосовувати сучасні інформаційні технології підтримки життєвого циклу виробів машинобудування при розробці компонент програмних комплексів об'єктів і процесів машинобудування при вирішенні індивідуальних завдань або як частини комплексного завдання.

Завершитись навчання має наступними **програмними результатами:**

РН 01. Здатність застосовувати спеціалізовані концептуальні знання новітніх методів та методик проектування, аналізу і дослідження конструкцій, машин та/або процесів в галузі машинобудування та суміжних галузях знань.

РН 04. Використовувати сучасні методи оптимізації параметрів технічних систем засобами системного аналізу, математичного та комп'ютерного моделювання, зокрема за умов неповної та суперечливої інформації

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

Дисципліна «КОМП'ЮТЕРНЕ ПРОЄКТУВАННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ БІОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ ПРОТЕЗУВАННЯ» базується на нормативних дисциплінах:

- Інформаційні системи і технології в машинобудуванні;
- Оцінка відповідності продукції машинобудування та системи управління якістю;
- Комп'ютерно-інтегровані системи підтримки життєвого циклу виробів;
- Дослідження, динаміка та надійність обладнання і машин.

У свою чергу дисципліна «КОМП'ЮТЕРНЕ ПРОЄКТУВАННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ БІОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ ПРОТЕЗУВАННЯ» може бути корисною для подальшої підготовки з дисциплін:

- Практика
- Виконання магістерської дисертації

## **3.Зміст навчальної дисципліни**

### **Розділ 1.Огляд засобів аналізу кінематики, динаміки та напружено-деформованого стану механізмів в сучасних CAD/CAE системах.**

Основні поняття та визначення. Предмет та задачі курсу. Засоби синтезу та аналізу механізмів в сучасних CAD/CAE системах. Засоби синтезу та аналізу механізмів в SolidWorks, Inventor, WinMachine.

### **Розділ 2. Методологія проектування біомеханічних систем протезування в САПР машинобудівного напрямку.**

Рівні автоматизації проектування біомеханічних систем протезування. Параметри об'єкта проектування. Структура біомеханічної системи протезування, як об'єкта проектування. Блоково-ієрархічний підхід до проектування. Процедурна модель проектування.

### **Розділ 3. Створення САПР біомеханічних систем протезування .**

Особливості біомеханічних систем протезування, як об'єктів проектування. Особливості архітектури САПР біомеханічних систем протезування, його математичного та методологічного забезпечення. Створення САПР біомеханічних систем протезування на базі машинобудівних CAD/CAE систем.

#### **Розділ 4. Функціональне проектування біомеханічних систем протезування.**

Функціональний підхід до проектування. Використання майстрів проектування генератори деталей, вузлів та з'єднань; калькулятори; бази знань.

#### **Розділ 5. Аналіз напружено-деформованого стану деталей та вузлів біомеханічних систем протезування засобами САПР (CAD/CAE систем).**

Основні відомості про метод скінченних елементів. Застосування методу скінченних елементів для аналізу напружено-деформованого стану деталей та вузлів. Модуль аналізу напружень в Autodesk Inventor. Аналіз моделі деталі. Аналіз результатів моделювання.

#### **Розділ 6. Застосування інструментів аналізу динаміки CAD/CAE - систем для оптимізації вузлів біомеханічних систем протезування.**

Оптимізація вузлів з мінімальними витратами матеріалів. Зменшення концентрації напружень, уникнення небажаних вібрацій. Вивчення поведінки рухомих деталей для поліпшення експлуатаційних характеристик. Балансування обертових компонент. Передача результатів динамічного аналізу в модуль розрахунку напружено-деформованого стану.

#### **Розділ 7. Аналіз напружено-деформованого стану вузлів біомеханічних систем протезування з застосуванням результатів аналізу динаміки.**

Напруження і деформації при пікових навантаженнях. Адаптивні і локалізовані алгоритми розрахунку. Розрахунок статички. Розрахунки методом нормальних хвиль. Параметричні розрахунки. Оптимізаційні розрахунки. Трасування точок.

#### **Розділ 8. Оптимізація конструкцій деталей та вузлів біомеханічних систем протезування на основі результатів аналізу динаміки та напружено-деформованого стану.**

Аналіз конструкцій деталей та вузлів при підготовці до аналізу. Створення моделювання та підготовка моделі до аналізу: створення структурних залежностей та навантажень, контактів. Виконання попереднього моделювання та аналіз результатів. Вибір цільової функції. Створення конфігурації параметрів. Виконання параметричного дослідження. Аналіз результатів, вибір значень змінних оптимізації, розробка конструкторських рішень. Оптимізація запасу міцності.

### **4. Навчальні матеріали та ресурси**

#### **Базова література:**

1. Гейчук, В. М. Оптимізація вузлів і деталей верстатів та машин за допомогою модуля «Аналіз напружений» Autodesk Inventor [Електронний ресурс] : навчальний посібник для студентів, які навчаються за спеціальністю «Прикладна механіка» / В. М. Гейчук, К. М. Рудаков ; НТУУ «КПІ» ; відп. ред. О. О. Боронко. – Електронні текстові дані (1 файл: 6,72 Мбайт). – Київ : НТУУ «КПІ», 2018. – 176 с. – Бібліогр.: с. 162-164. – Назва з екрана. – Доступ: <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/15414>.
2. Біомеханічні основи протезування та ортезування : навчальний посібник / А. Д. Салєєва та ін. – Харків : ХНУРЕ, 2022. 352 с. (<https://openarchive.nure.ua/bitstreams/a4e270fc-c53f-420c-8155-c5f4c4b7d875/download>)
3. Конструювання та технології виготовлення ортезів на верхні кінцівки: навч. посіб. / А.Д. Салєєва, О.Г. Аврунін, М.В. Зайцев, О.М. Литвиненко, В.О. Кузін, І.В. Карпенко, О.Г. Скрипка, Л.О. Бєлевцова, К.Г. Селіванова. - Харків: ХНУРЕ, 2023. - 131 с. (<https://openarchive.nure.ua/server/api/core/bitstreams/c11cbf8b-2671-4f0e-b4dd-f5c7c03f3c35/content>)
4. Гейчук, В.М. Динамічне моделювання механізмів верстатів та машин в Autodesk Inventor [Електронний ресурс]: навчальний посібник для студентів, які навчаються за спеціальністю «Прикладна механіка» / В.М. Гейчук, С.В. Вакулєнко ; НТУУ «КПІ» ; ред. Ю. М. Данильченко. – Електронні текстові дані (1 файл: 9,76 Мбайт). – Київ : НТУУ «КПІ», 2015. – 167 с. – Бібліогр.: с. 162. – Назва з екрана. – Доступ: <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/15411>.

#### **Додаткова література:**

1. Гейчук, В. М. Функціональне проектування верстатів, роботів та машин в Autodesk Inventor. Частина I [Електронний ресурс] : навчальний посібник для студентів, які навчаються за спеціальністю «Галузеве машинобудування» / В. М. Гейчук ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1

файл: 13,39 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. – 394 с. – Назва з екрана. – Доступ: <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/19859>

2. Онищенко О. Г. Структура, кінематика та динаміка механізмів: навч. посіб. [для студ. вищ. навч. закл.] / О.Г. Онищенко, Б.О. Коробко, К.М. Ващенко. – Полтава: ПолтНТУ, 2010. – 274 с.

3. ДСТУ 3008–95 Державний стандарт України. Документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення. – Чинний від 1996-01-01. – К.: Держстандарт України, 1995. – 37 с.

4. ДСТУ ГОСТ 7.1:2006. Національний стандарт України. Система стандартів з інформації, бібліотечної та видавничої справи. Бібліографічний запис. Бібліографічний опис. Загальні вимоги та правила складання (ГОСТ 7.1–2003, IDT). – К. : Держспоживстандарт України, 2007. – 48 с.

5. Українсько-англійський словник ілюстрованих термінів та визначень з машинознавства для студентів машинобудівних спеціальностей [Електронний ресурс] / НТУУ «КПІ» ; уклад. А. К. Скуратовський, В. М. Гейчук, І. М. Литовченко. - Електронні текстові дані (1 файл: 4,96 Мбайт). – Київ : НТУУ «КПІ», 2011. - Назва з екрана. – Доступ: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/768>

#### **Інформаційні ресурси мережі Інтернет:**

<http://help.autodesk.com/view/INVNTOR/2012/RUS>.

<http://help.autodesk.com/view/INVNTOR/2018/RUS>.

Наведена література знаходиться в бібліотеці КПІ ім. Ігоря Сікорського (<https://ela.kpi.ua/>) та в мережі Internet.

## *Навчальний контент*

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

#### **Лекційні заняття**

Під час лекційних занять розглядаються наступні питання:

- огляд засобів аналізу кінематики, динаміки та напружено-деформованого стану механізмів в сучасних CAD/CAE системах. Основні поняття та визначення. Предмет та задачі курсу;
- засоби синтезу та аналізу механізмів в сучасних CAD/CAE системах. Засоби синтезу та аналізу механізмів та вузлів машин в SolidWorks, WinMachine;
- методологія проектування біомеханічних систем протезування в САПР машинобудівного напрямку. Рівні автоматизації проектування біомеханічних систем протезування;
- параметри об'єкта проектування. Структура біомеханічних систем протезування, як об'єкта проектування;
- блоково-ієрархічний підхід до проектування. Процедурна модель проектування;
- створення САПР біомеханічних систем протезування. Особливості біомеханічних систем протезування, як об'єктів проектування;
- особливості архітектури САПР біомеханічних систем протезування, його математичного та методологічного забезпечення;
- створення САПР біомеханічних систем протезування на базі машинобудівних CAD/CAE систем;
- функціональне проектування біомеханічних систем протезування. Функціональний підхід до проектування;
- використання майстрів проектування, генератори деталей, вузлів та з'єднань; калькулятори; бази знань;
- аналіз напружено-деформованого стану деталей та вузлів біомеханічних систем протезування засобами САПР (CAD/CAE систем). Основні відомості про метод скінченних елементів. Застосування методу скінченних елементів для аналізу напружено-деформованого стану деталей та вузлів;
- модуль аналізу напружень в Autodesk Inventor. Аналіз моделі деталі. Аналіз моделі збірки;
- аналіз результатів моделювання;



- застосування інструментів аналізу динаміки CAD/CAE - систем для оптимізації вузлів біомеханічних систем протезування;
- оптимізація вузлів з мінімальними витратами матеріалів. Зменшення концентрації напружень, уникнення небажаних вібрацій;
- вивчення поведінки рухомих деталей для поліпшення експлуатаційних характеристик;
- передача результатів динамічного аналізу в модуль розрахунку напружено-деформованого стану;
- аналіз напружено-деформованого стану вузлів біомеханічних систем протезування з застосуванням результатів аналізу динаміки;
- напруження і деформації при пікових навантаженнях;
- адаптивні і локалізовані алгоритми розрахунку;
- розрахунок статички. Розрахунки методом нормальних хвиль. Параметричні розрахунки. Оптимізаційні розрахунки. Трасування точок;
- оптимізація конструкцій деталей та вузлів біомеханічних систем протезування на основі результатів аналізу динаміки та напружено-деформованого стану;
- аналіз конструкцій деталей та вузлів при підготовці до аналізу;
- створення моделювання та підготовка моделі до аналізу: створення структурних залежностей та навантажень, контактів;
- виконання попереднього моделювання та аналіз результатів. Вибір цільової функції;
- створення конфігурації параметрів. Виконання параметричного дослідження;
- аналіз результатів, вибір значень змінних оптимізації, розробка конструкторських рішень. Оптимізація запасу міцності;

### Практичні заняття (комп'ютерні ппрактикуми)

Тематика комп'ютерних практикумів охоплює основні розділи дисципліни:

- аналіз конструкції вузла та розробка його розрахункової схеми. Аналіз призначення елемента конструкції, технічних характеристик, умов експлуатації. Аналіз заданої конструкції, розподіл на вузли, підвузли та деталі. Розробка розрахункової схеми вузла.
- визначення навантажень на вузол. Визначення або вибір робочих режимів вузла. Визначення навантажень на вузол та їх розрахунок у середовищі Mathcad (Matlab).
- створення компонування вузла. Створення попереднього компонування вузла. Створення оригінальних деталей в середовищі моделювання деталей та в контексті збірки. Вставка стандартних деталей із бібліотеки компонентів. Редагування фізичних властивостей деталей та збірок.
- моделювання передач та з'єднань вузла засобами функціонального проектування. Створення передач та з'єднань за допомогою майстра проектування Autodesk Inventor. Розрахунок передач, з'єднань, допусків та розмірних ланцюгів за допомогою калькуляторів Autodesk Inventor. Завершення створення моделі вузла. Підготовка вузла до аналізу напружено-деформованого стану.
- створення сеансу розрахунку вузла в модулі аналізу напружень Autodesk Inventor та налаштування його середовища. Виключення деталей та підвузлів із аналізу. Призначення матеріалів деталей. Створення зв'язків-кріплень вузла. Прикладення навантажень вузла. Створення сітки та контактів.
- підготовка моделі вузла (механізму) до аналізу динаміки. Аналіз заданої конструкції, її кінематики, виявлення нерухомих деталей та вузлів, деталей та вузлів, що рухаються разом. Спрощення та реструктуризація вузла (механізму). Виявлення механічних з'єднань, визначення їх типів та властивостей (параметрів).

- виконання аналізу динаміки вузла (механізму). Створення механічних з'єднань, завдання переміщень та навантажень. Завдання параметрів динамічного моделювання. Виконання моделювання. Створення шляхів трасування та кривих. Аналіз навантажень в з'єднаннях. Завдання тимчасових кроків. Експорт навантажень в АМКЕ. Визначення навантажень на компоненти, експорт яких в АМКЕ динамічний модуль не підтримує.
- розрахунок напружено-деформованого стану вузла (механізму). Структурний аналіз моделі збірки. Підготовка аналізу: спрощення моделі та виключення компонентів, створення моделювання, застосування структурних залежностей, завдання навантажень, створення контактів. Виконання попереднього аналізу моделі. Аналіз результатів.
- аналіз результатів, оптимізація конструкції та застосування коригувальних заходів. Розробка коригувальних заходів. Створення конфігурації параметрів. Підготовка аналізу. Виконання аналізу моделі. Аналіз результатів та залежності значень цільової функції від значень параметрів.

## **6. Самостійна робота студента**

Години, відведені на самостійну роботу студента, призначені для опанування навчальної дисципліни, зокрема, підготовка до лекцій та практичних робіт, а також підготовка до модульної контрольної роботи та екзамену. Також до самостійної роботи відноситься опрацювання літературних джерел для розширення знань лекційного матеріалу.

## *Політика та контроль*

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

#### **Відвідування занять**

Відвідування лекцій чи відсутність на них, не оцінюється. Проте, студентам рекомендується відвідувати заняття, оскільки на них викладається теоретичний матеріал та розвиваються навички, необхідні для виконання семестрового індивідуального завдання.

Відвідування практичних робіт є обов'язковим. У разі відсутності студента на практичній роботі, у тому числі і за станом здоров'я, йому необхідно пропущену роботу відпрацювати.

Відвідування модульних контрольних робіт є обов'язковим. Якщо студент пропустив МКР з поважних причин, наприклад, за станом здоров'я, то за наявності підтверджуючого документа (довідки) він може протягом тижня написати пропущену контрольну роботу. В іншому випадку МКР не оцінюється. Перескладання модульної контрольної роботи на вищу оцінку не передбачено.

#### **Процедура оскарження результатів контрольних заходів**

Студенти мають можливість підняти будь-яке питання, яке стосується процедури контрольних заходів та очікувати, що воно буде розглянуто згідно із наперед визначеними процедурами. Студенти мають право оскаржити результати контрольних заходів, але обов'язково аргументовано пояснивши з яким критерієм не погоджуються відповідно до оціночного листа та/або зауважень. Детальніше: НАКАЗ №НОН/228/2022 Від 21.07.2022 "Про затвердження нової редакції положення про апеляції в КПІ ім. Ігоря Сікорського", [https://document.kpi.ua/2022\\_HON-228](https://document.kpi.ua/2022_HON-228).

#### **Академічна доброчесність**

Політика та принципи академічної доброчесності визначені у розділі 3 Кодексу честі Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського". Детальніше: <https://kpi.ua/code>.

#### **Норми етичної поведінки**

Норми етичної поведінки студентів і працівників визначені у розділі 2 Кодексу честі Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського". Детальніше: <https://kpi.ua/code>.

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

**Поточний контроль:** практичні роботи, модульна контрольна робота.

**Календарний контроль:** провадиться 2 раз на семестр за встановленим графіком як моніторинг поточного стану виконання вимог силабусу.

**Семестровий контроль:** екзамен.

Рейтингова оцінка  $R$  студента з дисципліни складається з балів, які він отримує за:

- виконання практичних робіт (комп'ютерних практикумів)  $r_1$ ;
- модульну контрольну роботу  $r_2$ ;
- екзамен  $r_3$ .

Додатково PCO передбачає можливість нарахування заохочувальних балів.

### Комп'ютерні практикуми( $r_1$ )

Ваговий бал одного комп'ютерного практикума – 5 балів, з них 2 бали – експрес-контроль, 3 бали – захист комп'ютерних практикумів (табл.1, табл.2). Мінімальна кількість балів, яка повинна бути набраною, щоб комп'ютерний практикум вважався зарахованим – 3 бали. Максимальна кількість балів за всі комп'ютерні практикуми:

$$r_1 = 5 \text{ балів} \times 10 = 50 \text{ балів.}$$

### Рейтингові бали за експрес-контроль до комп'ютерного практикуму

Таблиця 1

| Бали | Критерії оцінювання                      |
|------|--|
| 2,0  | Вірна відповідь на п'ять питань          |
| 1,6  | Вірна відповідь на чотири питання        |
| 1,2  | Вірна відповідь на три питання           |
| 0,0  | Вірна відповідь менше ніж на три питання |

### Рейтингові бали за захист завдання до комп'ютерного практикуму

Таблиця 2

| Бали | Критерій оцінювання  |
|------|--|
| 3,0  | Зауважень до звіту нема, є відповіді на всі запитання            |
| 2,7  | Несуттєві зауваження до звіту, відповіді на більшість запитань   |
| 2,4  | Зауваження до отриманих результатів, відповідь на частину питань |
| 2,1  | Звіт має помилки, відповіді лише на окремі питання               |
| 1,8  | Робота виконана, отримано вірні результати, але не захищена.     |
| 0,0  | Робота не виконана, звіт не представлений                        |

### Модульна контрольна робота ( $r_2$ )

МКР складається з двох контрольних робіт. Кожна з контрольних робіт складається з чотирьох завдань. Ваговий бал однієї контрольної роботи – 5 балів.

Оцінювання контрольної роботи здійснюється відповідно до таблиці 3.

Максимальна кількість балів за дві контрольні роботи відповідно складає:

$$r_2 = 5 \text{ балів} \times 2 = 10 \text{ балів.}$$

### Рейтингові бали за кожну контрольну роботу

Таблиця 3

| Бали | Критерій оцінювання                      |
|------|--|
| 5,0  | Вірна відповідь більш ніж на 90 % питань |
| 4,5  | Вірна відповідь на 90 % питань           |
| 4,0  | Вірна відповідь на 80 % питань           |

|     |   |
|-----|---|
| 3,5 | Вірна відповідь на 70 % питань                                    |
| 3,0 | Вірна відповідь на 60 % питань                                    |
| 0   | Вірна відповідь менш ніж на 60 % питань або студент був відсутній |

### Заохочувальні бали

Загальний рейтинг з дисципліни включає заохочувальні бали (табл. 4), які додаються до суми вагових балів усіх контрольних заходів. Загальна сума заохочувальних балів не може перевищувати  $100 \times 0,1 = (+10)$  балів.

Таблиця 4

| Дія  | Бали   |
|--|--|
| Участь (перемога) в I етапі Всеукраїнської студентської олімпіади з довільної дисципліни | плюс 10 балів за правильно виконане завдання |
| Застосування оригінального підходу при вирішенні задач                                   | плюс 5 балів                                 |

### Умови календарного контролю

Календарний контроль з навчальної дисципліни (освітнього компонента) проводиться, як правило, на 7 та 13 тижнях кожного семестру. Умовою отримання позитивної оцінки з календарного контролю з навчальної дисципліни є значення поточного рейтингу здобувача не менше, ніж 50 % від максимально можливого на час проведення такого контролю. Результати календарного контролю заносяться у модуль "Календарний контроль" Електронного кампусу.

### Критерії семестрового оцінювання

Рейтингова система оцінювання складається з балів, отриманих здобувачем за результатами заходів поточного контролю та заохочувальних балів. Рейтингова оцінка доводиться до здобувачів на останньому занятті з дисципліни в семестрі.

Друга складова – це екзаменаційна оцінка, призначена для оцінювання окремих завдань на екзамені.

**Умови допуску до екзамену** – відсутність заборгованостей з комп'ютерних практикумів і рейтинг не менше 30 балів.

Екзамен відбувається за розкладом екзаменаційної сесії, затвердженим директором інституту. Час написання екзамену складає не менше 60 хвилин. Екзаменаційне завдання складається з одного теоретичного питання та одного практичного завдання. Кожне екзаменаційне завдання максимально оцінюється у 20 балів. Максимальна кількість балів отриманих за екзамен складає 40 балів:

$$r_{3_{\max}} = 20 \times 2 = 40 \text{ балів.}$$

Критерій екзаменаційного оцінювання визначається як сума якості відповідей на кожне екзаменаційне завдання за табл. 5.

Таблиця 5

### Кількість балів за одне завдання білета

| Бали | Критерій оцінювання   |
|------|---|
| 20,0 | Відмінна відповідь (не менше 95% інформації), можливі несуттєві зауваження та неточності                                |
| 18,0 | Дуже добра відповідь (не менше 85% інформації), помилок немає, відповідь на переважну більшість питань, творче мислення |
| 16,0 | Добра відповідь (не менше 75% інформації), помилок немає, відповідь на більшість питань, окремі недоліки                |
| 14,0 | Задовільна відповідь (не менше 65% інформації) є зауваження, відповідь на частину питань                                |

|      |   |
|------|---|
| 12,0 | Достатня відповідь (не менше 60% інформації), суттєві помилки, відповідь на окремі питання. |
| 0,0  | Відповідь невірна або менше 60% інформації, або вона відсутня                               |

### Розрахунок шкали рейтингу з дисципліни

За результатами заходів поточного контролю з дисципліни, заохочувальних балів та екзамена:

$$R = r_1 + r_2 + r_3 = 50 + 10 + 40 = 100 \text{ балів}$$

Для отримання відповідної оцінки з дисципліни студент має набрати певну кількість балів, згідно з таблицею перерахунку (табл. 6).

Таблиця 6

**Таблиця перерахунку рейтингових балів в оцінки**

| Рейтингова оцінка здобувача                        | Університетська шкала оцінок рівня здобутих компетентностей |
|--|---|
| 95 ... 100   | Відмінно  |
| 85 ... 94  | Дуже добре  |
| 75 ... 84  | Добре   |
| 65 ... 74  | Задовільно  |
| 60 ... 64  | Достатньо   |
| Менше 60 балів                                     | Незадовільно  |
| Не виконані умови допуску до семестрового контролю | Не допущено   |

### Робочу програму навчальної дисципліни (силабус) склав:

Доцент кафедри конструювання машин, кандидат технічних наук

Олександр КРАВЕЦЬ

Професор кафедри конструювання машин, доктор технічних наук

Юрій ДАНИЛЬЧЕНКО

Доцент кафедри конструювання машин, кандидат технічних наук

Олексій ІВАНОВСЬКИЙ

Ухвалено кафедрою конструювання машин (Протокол №14 від 16.04.2025 р.)

Погоджено методичною комісією навчально-наукового механіко-машинобудівного інституту (Протокол №9 від 25.04.2025 р.).



# КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ОБ'ЄКТІВ І ПРОЦЕСІВ ФОРМОУТВОРЕННЯ ЕЛЕМЕНТІВ БІОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ

## Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

| Реквізити навчальної дисципліни                   |  |
|---|--|
| Рівень вищої освіти                               | Другий (магістерський) /   |
| Галузь знань                                      | G Інженерія, виробництво та будівництво  |
| Спеціальність                                     | G9 Прикладна механіка  |
| Освітня програма                                  | Конструювання та дизайн машин  |
| Статус дисципліни                                 | Вибіркова  |
| Форма навчання                                    | Очна (денна)   |
| Рік підготовки, семестр                           | 1 курс, весняний семестр   |
| Обсяг дисципліни                                  | 4 кредити ЄКТС, 120 год., лекції – 30 год., Комп'ютерні практикуми – 14 год., СРС 76 год.  |
| Семестровий контроль/<br>контрольні заходи        | Залік, МКР   |
| Розклад занять                                    | За розкладом на сайті університету:<br><a href="http://roz.kpi.ua">http://roz.kpi.ua</a>   |
| Мова викладання                                   | Українська   |
| Інформація про<br>керівника курсу /<br>викладачів | Лектори:<br>доцент кафедри КМ, к.т.н., Івановський Олексій Анатолійович,<br>доцент кафедри КМ, к.т.н., Вовк Вячеслав Володимирович,<br>доцент кафедри КМ, к.т.н., Красновид Дмитро Олександрович<br>Комп'ютерні практикуми:<br>доцент кафедри КМ, к.т.н., Івановський Олексій Анатолійович,<br>доцент кафедри КМ, к.т.н., Вовк Вячеслав Володимирович,<br>доцент кафедри КМ, к.т.н., Красновид Дмитро Олександрович<br>ivanovskiy.oleksii@iill.kpi.ua, |
| Розміщення курсу                                  | Ресурс «Електронний кампус», Google Classroom  |

### Програма навчальної дисципліни

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

Безперервний розвиток комп'ютерних технологій спричинив перехід від традиційних ручних методів проектування до використання сучасних автоматизованих систем конструкторської підготовки та комп'ютерного моделювання. У сфері біомеханічних систем, де поєднуються складні геометричні форми, багатокомпонентні матеріали та специфічні умови експлуатації, застосування CAD/CAE/CAM-технологій є невід'ємною частиною інженерної практики. Використання цифрових моделей дозволяє значно зменшити обсяг фізичного експерименту, скоротити витрати на створення прототипів, підвищити точність розрахунків і оптимізувати параметри конструкцій. Перевагою є можливість проведення віртуальних експериментів з використанням математичних моделей, симуляції процесів формоутворення, а також прогнозування поведінки систем за різних умов навантаження. Сучасні CAD/CAE-системи забезпечують широкий спектр інструментів: геометричне та параметричне моделювання, створення баз даних елементів, бібліотек моделей і креслень, параметризацію об'єктів, генерацію технічної документації, а також засоби візуалізації

та анімації. Особливу увагу приділяють принципам відкритої архітектури, що дозволяє інтегрувати додаткові модулі, алгоритми машинного навчання та інструменти оптимізації для вирішення спеціалізованих завдань у біомеханіці.

Таким чином, дисципліна формує у студентів комплексне розуміння методів комп'ютерного моделювання процесів формоутворення, орієнтованих на створення і вдосконалення елементів біомеханічних систем — від віртуальної моделі до інтеграції результатів у виробничі технології.

**Метою дисципліни «Комп'ютерне моделювання об'єктів і процесів формоутворення елементів біомеханічних систем»** є формування у студентів знань і практичних навичок використання сучасних CAD/CAE/CAM-систем для створення, аналізу та оптимізації моделей біомеханічних об'єктів і процесів.

Дисципліна орієнтована на підготовку студентів до вирішення таких професійних завдань:

- розробка та застосування алгоритмів і методів комп'ютерного моделювання для дослідження процесів формоутворення елементів біомеханічних систем;
- створення геометричних та параметричних моделей з урахуванням форм поверхонь біомеханічних компонентів;
- виконання числових експериментів (кінематичний, динамічний, міцнісний аналіз, FEA-моделювання) для прогнозування поведінки систем;
- розробка скриптів, API та модулів автоматизації для CAD/CAE-систем;
- застосування методів машинного навчання та оптимізації для підвищення точності та ефективності проектних рішень у біомеханіці;
- інтеграція CAD/CAE-моделей у CAM-технології (3D-друк, обробка на верстатах з ЧПК, швидке прототипування);
- вирішення прикладних задач проектування у сфері біомеханіки, машинобудування, медичних виробів та суміжних галузей;
- підвищення продуктивності та якості проектних робіт за рахунок комплексного використання цифрових технологій.

**Вивчення дисципліни сприяє підсиленню наступних компетентностей:**

**Загальні компетентності (ЗК)**

ЗК1. Здатність виявляти, ставити та вирішувати інженерно-технічні та науково-прикладні проблеми

ЗК2. Здатність використовувати інформаційні та комунікаційні технології

ЗК 6. Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями

**Спеціальні (фахові) компетентності (ФК)**

ФК 01. Здатність застосовувати відповідні методи і ресурси сучасної інженерії для знаходження оптимальних рішень широкого кола інженерних задач із застосуванням сучасних підходів, методів прогнозування, інформаційних технологій та з урахуванням наявних обмежень за умов неповної інформації та суперечливих вимог.

ФК 05. Здатність застосувати сучасні інформаційні технології підтримки життєвого циклу виробів машинобудування на основі ефективного поєднання передових CAD / CAM / CAE / PDM / PLM рішень та електронного обміну даними.

ФК 06. Здатність розробляти компоненти програмних комплексів при створенні електронних баз даних та “цифрових двійників” об'єктів і процесів машинобудування, використовуючи сучасні інструментальні засоби та технології програмування.

ФК 07. Здатність застосовувати сучасні інформаційні технології підтримки життєвого циклу виробів машинобудування при розробці компонент програмних комплексів об'єктів і процесів машинобудування при вирішенні індивідуальних завдань або як частини комплексного завдання.

**Завершитись навчання має наступними програмними результатами:**

PH 01. Застосовувати спеціалізовані концептуальні знання новітніх методів та методик проектування, аналізу і дослідження конструкцій, машин та/або процесів в галузі машинобудування та суміжних галузях знань.

PH 04. Використовувати сучасні методи оптимізації параметрів технічних систем засобами системного аналізу, математичного та комп'ютерного моделювання, зокрема за умов неповної та суперечливої інформації.

PH 05. Самостійно ставити та розв'язувати задачі інноваційного характеру, аргументувати і захищати отримані результати та прийняті рішення

PH 13. Застосовувати сучасні інструментальні засоби та технології програмування при створенні електронних баз даних та "цифрових двійників" об'єктів і процесів машинобудування

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

Дисципліна «Комп'ютерне моделювання об'єктів і процесів формоутворення елементів біомеханічних систем» базується на наступних дисциплінах:

- Системна інженерія і управління проектами в наукоємному машинобудуванні
- Інформаційні системи і технології в машинобудуванні
- Дизайн для адитивного виробництва
- Оцінка відповідності продукції машинобудування та системи управління якістю

У свою чергу дисципліна «Комп'ютерне моделювання об'єктів і процесів формоутворення елементів біомеханічних систем» може бути корисною для подальшої підготовки з дисциплін:

- Практика
- Виконання магістерської дисертації

## **3. Зміст навчальної дисципліни**

### **Розділ 1. Основи комп'ютерного моделювання у біомеханіці**

**Тема 1.1.** Інтерфейси та управління середовищем CAD/CAE-систем.

**Тема 1.2.** Основні принципи побудови цифрових моделей: геометричне та параметричне моделювання.

**Тема 1.3.** Інструменти моделювання: поверхневі, твердотільні та сіткові моделі.

**Тема 1.4.** Динаміка та кінематика біомеханічних об'єктів у цифровому середовищі.

### **Розділ 2. 3D-моделювання процесів формоутворення**

**Тема 2.1.** Принципи цифрової побудови біомеханічних компонентів та елементів.

**Тема 2.2.** Методи візуалізації та режими представлення геометричних об'єктів у CAD/CAE-системах.

**Тема 2.3.** Методи проектування та симуляції процесів формоутворення в біомеханіці.

### **Розділ 3. Алгоритмізація та автоматизація моделювання**

**Тема 3.1.** Об'єкт як перелік атрибутів: концепція параметризації у CAD/CAE.

**Тема 3.2.** Типи атрибутів, використання скриптів, API та макросів у САПР для автоматизації.

**Тема 3.3.** Полігональне моделювання, застосування машинного навчання та нейронних мереж для оптимізації процесів формоутворення.



#### 4. Навчальні матеріали та ресурси

##### Основна література:

1. Олексій Васильєв, Програмування мовою Python / Навчальна книга – Богдан Київ - 2019 480 с. [https://opac.kpi.ua/F/?func=direct&doc\\_number=000637846&local\\_base=KPI01](https://opac.kpi.ua/F/?func=direct&doc_number=000637846&local_base=KPI01)
2. Висоцька, Вікторія Анатоліївна. PYTHON : Алгоритмізація та програмування : навчальний посібник /В.А. Висоцька, О.В. Оборська ; Міністерство освіти і науки України, Національний університет "Львівська політехніка". – Львів : Видавництво "Новий Світ-2000", 2021. – 514с. [https://opac.kpi.ua/F/?func=direct&doc\\_number=000637149&local\\_base=KPI01](https://opac.kpi.ua/F/?func=direct&doc_number=000637149&local_base=KPI01)
3. Маттес, Ерік. Пришвидшений курс Python : практичний, проектно-орієнтований вступ до програмування / Ерік Маттес ; з англійської переклала Ольга Белова. – Львів : Видавництво Старого Лева, 2021. – 556 с. [https://opac.kpi.ua/F/?func=direct&doc\\_number=000633837&local\\_base=KPI01](https://opac.kpi.ua/F/?func=direct&doc_number=000633837&local_base=KPI01)
4. Мельник, Ігор Віталійович. Основи програмування на мові Python : комплексний навчальний посібник : в 2 томах / І.В. Мельник. - Київ : Кафедра,2020. – 2 т. – Том 1,Базові принципи побудови мови програмування Python та її головні синтаксичні конструкції. – 2020. – 372 с. Том 2, Розвинені засоби мови програмування Python. – 2020. – 491 с. [https://opac.kpi.ua/F/?func=direct&doc\\_number=000633555&local\\_base=KPI01](https://opac.kpi.ua/F/?func=direct&doc_number=000633555&local_base=KPI01)

##### Додаткова література:

1. William Punch , Richard Enbody Practice of Computing Using Python/ Pearson 2016.-912 p.
2. Cham Tickoo Simulation for Designers :CAD/CIM Technologies . 2019. – 670 pages.
3. Waguespack , C. Mastering CAD with Script : Autodesk Official Press. Sybex .2019 -1100 pages.
4. Wasim Younas Practical Maya Programming with Python 2019 :Autodesk Press. Sybex. 2019-956 pages,

##### Інформаційні ресурси:

1. <https://youtube.com/playlist?list=PLuVU0VikXlklbCqCtFKsYtbv14Gq-Bj5d> (Відео курс Івановського Олексія)
2. <https://help.autodesk.com/view/MAYAUL/2023/ENU/?guid=GUID-C0F27A50-3DD6-454C-A4D1-9E3C44B3C990>
3. [https://www.youtube.com/channel/UCHmAXsicpLK2EHMZo5\\_BtDA](https://www.youtube.com/channel/UCHmAXsicpLK2EHMZo5_BtDA)

#### Навчальний контент

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

Лекції проводяться з використанням наочних засобів представлення матеріалу та з використанням методичних матеріалів, доступ до яких наявний у студентів. Студенти залучаються до обговорення лекційного матеріалу та задають питання, щодо його сутності. На практичних заняттях застосовуються форми індивідуальної та колективної роботи (командна робота, парна робота) для реалізації завдань викладача та набуття навичок самостійної практичної роботи.

##### Лекції:

##### Розділ 1. Основи комп'ютерного моделювання у біомеханіці

##### Тема 1.1. Інтерфейси та управління середовищем CAD/CAE-систем

- Лекція 1. Робочий простір. Робоче меню, панелі інструментів, структура проекту.

##### Тема 1.2. Основні принципи побудови цифрових моделей: геометричне та параметричне

##### моделювання

- **Лекція 2.** Геометричні примітиви, параметри, залежності. Основи параметричного моделювання.

**Тема 1.3. Інструменти моделювання: поверхневі, твердотільні та сіткові моделі**

- **Лекція 3.** Інструменти поверхневого та твердотільного моделювання. Приклади застосування.

**Тема 1.4. Динаміка та кінематика біомеханічних об'єктів у цифровому середовищі**

- **Лекція 4.** Основи кінематики й динаміки. Візуалізація руху та взаємодії об'єктів.

**Розділ 2. 3D-моделювання процесів формоутворення**

**Тема 2.1. Принципи цифрової побудови біомеханічних компонентів та елементів**

- **Лекція 5.** Побудова складних геометричних форм. Використання композиційних методів.

**Тема 2.2. Методи візуалізації та режими представлення геометричних об'єктів у CAD/CAE-**

**системах**

- **Лекція 6.** Режими відображення: каркас, шейдинг, рендеринг.
- **Лекція 7.** Візуалізація та аналіз геометрії. Анімація руху об'єктів.
- **Тема 2.3. Методи проектування та симуляції процесів формоутворення в біомеханіці**
- **Лекція 8.** NURBS та Subdivision поверхні. Математичні основи й застосування.
- **Лекція 9.** Полігональне моделювання. Приклади побудови біомеханічних елементів.
- **Лекція 10.** Віртуальні експерименти. Симуляція процесів формоутворення.

**Розділ 3. Алгоритмізація та автоматизація моделювання**

**Тема 3.1. Об'єкт як перелік атрибутів: концепція параметризації у CAD/CAE**

- **Лекція 11.** Атрибутивне представлення моделей. Параметризація об'єктів та зв'язки.

**Тема 3.2. Типи атрибутів, використання скриптів, API та макросів у САПР для**

**автоматизації**

- **Лекція 12.** Скрипти та API. Використання макросів у CAD/CAE для автоматизації.
- **Лекція 13.** Програмування в CAD/CAE: Python і MEL. Створення користувацьких інструментів.

**Тема 3.3. Полігональне моделювання, застосування машинного навчання та нейронних**

**мереж для оптимізації процесів формоутворення**

- **Лекція 14.** Машинне навчання в CAD/CAE. Прогнозування параметрів моделювання.
- **Лекція 15.** Використання нейронних мереж для оптимізації процесів формоутворення. Інтеграція у робоче середовище.

**Практичні заняття (комп'ютерні практикуми):**

**Розділ 1. Основи комп'ютерного моделювання у біомеханіці**

**1. Ознайомлення з інтерфейсом та робочим середовищем CAD/CAE.**

- Налаштування робочого простору.
- Створення геометричних примітивів.
- Редагування параметрів та залежностей.

**2. Методи базового моделювання.**

- Поверхневе та твердотільне моделювання.
- Побудова простої біомеханічної деталі.

- Сіткові моделі та симуляція простих рухів.

## **Розділ 2. 3D-моделювання процесів формоутворення**

### **3. Побудова складних форм.**

- Створення 3D-моделі біомеханічного компонента (наприклад, імпланта).
- Методи візуалізації: шейдинг, рендеринг, анімація.

### **4. Полігональні та гладкі поверхні.**

- Полігональне моделювання складних об'єктів.
- NURBS та Subdivision поверхні.
- Практика побудови гладких форм.

### **5. Симуляція процесів формоутворення.**

- Віртуальний експеримент із деформацією біомеханічного елемента.
- Аналіз результатів симуляції.

## **Розділ 3. Алгоритмізація та автоматизація моделювання**

### **6. Автоматизація у CAD.**

- Атрибутивне представлення моделей.
- Написання скриптів (Python/MEL) для автоматизації.
- Використання API та макросів для створення інструментів.

### **7. Алгоритмізація та штучний інтелект.**

- Побудова модуля для автоматизації формоутворення.
- Використання даних для прогнозування параметрів (ML).
- Інтеграція нейронних мереж у CAD/CAE (Python + TensorFlow).

## **6. Самостійна робота студента**

Години, відведені на самостійну роботу студента, призначені для опанування навчальної дисципліни, зокрема, підготовки до виконання завдань на практичних заняттях; підготовки до лекцій, модульної контрольної роботи та заліку.

## **Політика та контроль**

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

#### **Правила відвідування занять**

Відвідування лекцій чи відсутність на них, не оцінюється. Проте, студентам рекомендується відвідувати заняття, оскільки на них викладається теоретичний матеріал та розвиваються навички, необхідні для виконання екзаменаційного завдання та практичних робіт.

Відвідування практичних занять є обов'язковим. У разі відсутності студента на занятті, у тому числі і за станом здоров'я, йому необхідно пропущену роботу (завдання) відпрацювати.

Відвідування контрольних робіт є обов'язковим. Якщо студент пропустив контрольну роботу з поважних причин, наприклад, за станом здоров'я, то за наявності підтверджуючого документа (довідки) він може протягом тижня написати пропущену контрольну роботу. В іншому випадку робота не оцінюється. Перескладання модульної контрольної роботи на вищу оцінку не передбачено.

#### **Процедура оскарження результатів контрольних заходів**

Студенти мають можливість підняти будь-яке питання, яке стосується процедури контрольних заходів та очікувати, що воно буде розглянуто згідно із наперед визначеними процедурами. Студенти мають право оскаржити результати контрольних заходів, але обов'язково

аргументовано пояснивши з яким критерієм не погоджуються відповідно до оціночного листа та/або зауважень. Детальніше: НАКАЗ №НОН/228/2022 ВІД 21.07.2022 "Про затвердження нової редакції положення про апеляції в КПІ ім. Ігоря Сікорського", [https://document.kpi.ua/2022\\_НОН-228](https://document.kpi.ua/2022_НОН-228).

#### **Академічна доброчесність**

Політика та принципи академічної доброчесності визначені у розділі 3 Кодексу честі Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського" Детальніше: <https://kpi.ua/code>.

#### **Норми етичної поведінки**

Норми етичної поведінки студентів і працівників визначені у розділі 2 Кодексу честі Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського". Детальніше: <https://kpi.ua/code>.

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

**Поточний контроль:** практичні заняття, модульна контрольна робота.

**Календарний контроль:** провадиться 2 раз на семестр за встановленим графіком як моніторинг поточного стану виконання вимог силабусу.

**Семестровий контроль:** залік.

#### **Оцінювання здобувача вищої освіти**

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

- 1) виконання завдань на практичних заняттях (комп'ютерних практикумах) - 84 балів ;
- 2) виконання МКР - 16 балів;

#### **Виконання завдань на практичних заняттях (комп'ютерних практикумах)**

На практичних заняттях передбачається виконання 7 завдань. Ваговий бал кожного завдання складає 12 балів.

#### **Рейтингові бали за виконання практичного завдання**

| Бали | Критерії оцінювання  |
|------|--|
| 12,0 | Завдання виконано повністю, зауважень немає, є відповіді на всі запитання.         |
| 10,8 | Завдання виконано з несуттєвими зауваженнями, у відповідях трапляються неточності. |
| 9,6  | Завдання виконано з зауваженнями, є відповіді на більшість запитань.               |
| 8,4  | Завдання виконано з помилками, є відповіді лише на частину запитань.               |
| 7,2  | Завдання виконано із значними помилками, є відповіді лише на окремі питання.       |
| 0    | Завдання не виконано.  |

Мінімальна кількість балів за всі завдання:

$$r1_{min} = 7,2 \text{ балів} \times 7 \text{ завд.} = 50,4 \text{ бали.}$$

Максимальна кількість балів за всі завдання:

$$r1_{max} = 12 \text{ балів} \times 7 \text{ завд.} = 84 \text{ балів.}$$

#### **Модульна контрольна робота**

Метою проведення модульної контрольної роботи є перевірка знань, засвоєних студентами в процесі вивчення відповідних розділів навчальної дисципліни. Робочим навчальним планом передбачено проведення однієї модульної контрольної роботи (МКР) в обсязі 2 год. МКР відбувається у вигляді двох контрольних робі по 1 годині кожна. Одна контрольна робота

складається з кількох завдань. Завдання оновлюються кожного семестру. Ваговий бал однієї контрольної роботи – 8 балів.

Оцінювання контрольної роботи здійснюється відповідно до таблиці:

#### Рейтингові бали за одну контрольну роботу

| Бали | Критерій оцінювання  |
|------|--|
| 8,0  | Вірна відповідь більш, ніж на 95 % питань                          |
| 7,2  | Вірна відповідь більш, ніж на 85 % питань                          |
| 6,4  | Вірна відповідь більш, ніж на 75 % питань                          |
| 5,6  | Вірна відповідь більш, ніж на 65 % питань                          |
| 4,8  | Вірна відповідь більш, ніж на 60 % питань                          |
| 0    | Вірна відповідь менш, ніж на 60 % питань або студент був відсутній |

Максимальна кількість балів за дві контрольні роботи відповідно складає:

$$r2_{max} = 8 \text{ балів} \times 2 \text{ роботи} = 16 \text{ балів.}$$

#### Заохочувальні бали

Загальний рейтинг з дисципліни включає заохочувальні бали, які додаються до суми вагових балів усіх контрольних заходів.

Заохочувальні бали можуть нараховуватися за виконання творчих робіт: робота у наукових гуртках з підготовкою матеріалів доповідей або статей для публікації, участь у наукових і науково-практичних конференціях і семінарах, олімпіадах з дисципліни, конкурсах робіт, рефератів та оглядів наукових праць, аналіз сучасної нормативно-правової бази з дисципліни у країні та її відповідність вимогам міжнародних стандартів тощо. Кількість нарахованих балів залежить від отриманих результатів.

Загальна сума заохочувальних балів не може перевищувати 10% від рейтингової шкали, тобто  $100 \times 0,1 = 10$  балів.

#### Умови календарного контролю

Календарний контроль з навчальної дисципліни (освітнього компонента) проводиться, як правило, на 7 та 13 тижнях семестру. Умовою отримання позитивної оцінки з календарного контролю з навчальної дисципліни є значення поточного рейтингу здобувача не менше, ніж 50 % від максимально можливого на час проведення такого контролю. Результати календарного контролю заносяться у модуль "Календарний контроль" Електронного кампусу.

#### Критерії залікового оцінювання

Рейтингова система оцінювання складається з балів, отриманих здобувачем за результатами заходів поточного контролю. Рейтингова оцінка доводиться до здобувачів на останньому занятті з дисципліни.

**Необхідною умовою допуску до заліку є виконання та захист всіх практичних робіт (комп'ютерних практикумів).**

Здобувачі, які виконали всі умови допуску до заліку та мають рейтингову оцінку 60 і більше балів, отримують відповідно до набраного рейтингу оцінку без додаткових випробувань.

Зі здобувачами, які виконали всі умови допуску до заліку та мають рейтингову оцінку менше 60 балів, а також з тими здобувачами, хто бажає підвищити свою рейтингову оцінку, викладач проводить семестровий контроль у вигляді залікової контрольної роботи. При цьому всі бали, що були ними отримані протягом семестру, скасовуються.

Залікова контрольна робота оцінюється у 100 балів.

На заліку здобувачі освіти виконують контрольне завдання, яке складається з двох комплексних теоретичних питань та одного практичного завдання. Кожне теоретичне питання оцінюється у 30 балів, практичне завдання – у 40 балів. Підсумкова оцінка за залік визначається як сума балів за всі завдання (максимум 100 балів) та інтерпретується відповідно до встановлених критеріїв якості відповідей.

#### Кількість балів за одне теоретичне питання залікового завдання

| Бали | Критерій оцінювання   |
|------|---|
| 30   | Відмінна відповідь (не менше 95% інформації), можливі несуттєві зауваження та неточності                                |
| 27   | Дуже добра відповідь (не менше 85% інформації), помилок немає, відповідь на переважну більшість питань, творче мислення |
| 24   | Добра відповідь (не менше 75% інформації), помилок немає, відповідь на більшість питань, окремі недоліки                |
| 21   | Задовільна відповідь (не менше 65% інформації) є зауваження, відповідь на частину питань                                |
| 18   | Достатня відповідь (не менше 60% інформації), суттєві помилки, відповідь на окремі питання.                             |
| 0    | Відповідь невірна або менше 60% інформації, або вона відсутня   |

#### Рейтингові бали за звіт з практичне завдання залікового завдання

| Бали | Критерій оцінювання  |
|------|--|
| 40   | Завдання виконано, зауважень немає, є відповіді на всі запитання.                  |
| 36   | Завдання виконано з несуттєвими зауваженнями, у відповідях трапляються неточності. |
| 32   | Завдання виконано з зауваженнями, є відповіді на більшість запитань.               |
| 28   | Завдання виконано з помилками, є відповіді лише на частину запитань.               |
| 24   | Завдання виконано із значними помилками, є відповіді лише на окремі питання.       |
| 0    | Завдання не виконано   |

#### Розрахунок шкали рейтингу з дисципліни

За результатами заходів поточного контролю з дисципліни, заохочувальних балів

- без залікової контрольної роботи:

Якщо студент виконував завдання протягом семестру:

$$R = r1 + r2 = 100 \text{ балів}$$

**r1** – бали за практичні завдання – до 84 балів,

**r2** – бали за МКР – до 16 балів.

- із заліковою контрольною роботою:

$$R = r3 = 100 \text{ балів}$$

де:

- **r3** – залікове завдання, яке включає 2 комплексні теоретичні питання (по 30 балів) та 1 практичне завдання (40 балів).

Для отримання відповідної оцінки з дисципліни студент має набрати певну кількість балів, згідно з таблицею перерахунку:

**Таблиця перерахунку рейтингових балів в оцінці**

| Рейтингова оцінка здобувача                        | Університетська шкала оцінок рівня здобутих компетентностей |
|--|---|
| 95 ... 100   | Відмінно  |
| 85 ... 94  | Дуже добре  |
| 75 ... 84  | Добре   |
| 65 ... 74  | Задовільно  |
| 60 ... 64  | Достатньо   |
| Менше 60 балів                                     | Незадовільно  |
| Не виконані умови допуску до семестрового контролю | Не допущено   |

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

### **Перелік питань залікового контрольного завдання**

1. Що таке CAD/CAE/CAM-системи та їх роль у біомеханіці?
2. Основні функції інтерфейсу CAD/CAE: робочий простір, меню, інструменти.
3. Види геометричних примітивів та їх використання у побудові моделей.
4. Поняття параметричного моделювання. Приклади залежностей між об'єктами.
5. Відмінності між поверхневим, твердотільним та сітковим моделюванням.
6. Основи кінематики та динаміки біомеханічних об'єктів у цифровому середовищі.
7. Приклади застосування комп'ютерного моделювання у створенні біомеханічних імплантів.
8. Принципи цифрової побудови біомеханічних компонентів (ендопротези, суглоби).
9. Методи візуалізації: каркасний, шейдинг, рендеринг.
10. Режими представлення геометричних об'єктів у CAD/CAE-системах.
11. Що таке полігональне моделювання? Його переваги та недоліки.
12. Особливості використання NURBS у моделюванні біомеханічних об'єктів.
13. Subdivision-моделі: сутність і приклади застосування.
14. Що таке віртуальний експеримент у CAD/CAE та які його переваги?
15. Методи симуляції процесів формоутворення у біомеханіці.
16. Поняття атрибутивного представлення об'єкта у CAD/CAE.
17. Типи атрибутів і їх роль у параметризації моделей.
18. Що таке API у CAD/CAE? Приклади використання.
19. Основні мови для автоматизації у CAD-системах (Python, MEL).
20. Напишіть приклади задач, які можна автоматизувати за допомогою скриптів.
21. Алгоритмізація процесів моделювання: сутність та приклади.
22. Використання бібліотек Python (наприклад, PyMEL) у CAD/CAE.
23. Застосування машинного навчання для прогнозування параметрів моделей.
24. Приклади використання нейронних мереж у 3D-моделюванні.
25. Перспективи інтеграції CAD/CAE із технологіями AI та CAM (3D-друк, ЧПК).

### **Перелік практичних залікових контрольних завдання**

1. Створіть або опишіть процес побудови простої моделі імпланта (циліндр/штифт) у CAD/CAE.
2. Побудуйте або опишіть полігональну модель (наприклад, елемента протеза) з базовими параметрами.
3. Опишіть або змоделюйте приклад використання інструментів деформації (Bend/Twist) для перевірки міцності моделі.
4. Опишіть або виконайте зміну параметрів моделі (наприклад, зміна діаметра/довжини деталі) та результати цієї зміни.

5. Створіть або опишіть простий параметричний об'єкт (наприклад, куб з отвором), який змінюється при редагуванні атрибутів.
6. Напишіть або усно опишіть приклад простого скрипта (Python/MEL), який створює куб та змінює його розміри.
7. Опишіть алгоритм створення персоналізованої моделі імпланта на основі медичних даних (наприклад, КТ чи МРТ-знімків).
8. Побудуйте або опишіть симуляцію руху простого механізму (наприклад, шарніра чи суглоба) з візуалізацією його роботи.
9. Опишіть або виконайте простий приклад: підготовка моделі для 3D-друку (експорт у STL, перевірка сітки, базові параметри).

**Робочу програму навчальної дисципліни (силабус) склав:**

Доцент кафедри конструювання машин, кандидат  
технічних наук

Олексій ІВАНОВСЬКИЙ

Доцент кафедри конструювання машин, кандидат  
технічних наук

Вячеслав ВОВК

Доцент кафедри конструювання машин, кандидат  
технічних наук

Дмитро КРАСНОВИД

**Ухвалено** кафедрою конструювання машин

(Протокол №14 від 16.04.2025 р.)

**Погоджено** методичною комісією

навчально-наукового механіко-машинобудівного інституту

(Протокол №9 від 25.04.2025 р.)





# ТЕХНОЛОГІЧНІСТЬ КОНСТРУКЦІЇ БІОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ ПРОТЕЗУВАННЯ

## Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

| Реквізити навчальної дисципліни                   |  |
|---|--|
| Рівень вищої освіти                               | Другий (магістерський)   |
| Галузь знань                                      | G Інженерія, виробництво та будівництво  |
| Спеціальність                                     | G9 Прикладна механіка  |
| Освітня програма                                  | Конструювання машин  |
| Статус дисципліни                                 | Вибіркова  |
| Форма навчання                                    | Очна (денна)   |
| Рік підготовки,<br>семестр                        | 1 курс / весняний семестр  |
| Обсяг дисципліни                                  | 4 кредити ЄКТС, 120 годин, лекції – 30 годин, комп'ютерний практикум – 14 годин, 76 СРС  |
| Семестровий<br>контроль/<br>контрольні заходи     | Залік, МКР   |
| Розклад занять                                    | За розкладом на сайті університету <a href="https://schedule.kpi.ua/">https://schedule.kpi.ua/</a>   |
| Мова викладання                                   | Українська   |
| Інформація про<br>керівника курсу /<br>викладачів | Лектор: к.т.н., доц. Парненко В.С., д.т.н., проф. Пасічник Віталій Анатолійович,<br>к.т.н., доц. Красновид Д.О.<br>+380 50 5398376, телеграм @lalunabella<br><a href="mailto:valeri.parnenko@gmail.com">valeri.parnenko@gmail.com</a><br>Комп'ютерні практикуми: к.т.н., доц. Парненко В.С., д.т.н., проф. Пасічник В.А.,<br>к.т.н., доц. Красновид Д.О. |
| Розміщення курсу                                  | <a href="https://classroom.google.com/">https://classroom.google.com/</a>  |

### Програма навчальної дисципліни

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

Метою є формування у здобувачів вищої освіти знань, умінь і практичних навичок щодо принципів технологічності конструкцій у машинобудуванні та їх адаптації до специфіки біомеханічних систем протезування. Особлива увага приділяється матеріалам, процесам виготовлення, ергономічним вимогам, методам складання та сучасним інноваційним рішенням у галузі протезобудування.

Предмет вивчення

Предметом дисципліни є закономірності, принципи та методи забезпечення технологічності конструкцій біомеханічних систем протезування з урахуванням матеріалів, методів виготовлення, ергономічних характеристик та особливостей складання.

Результати навчання

Після опанування дисципліни здобувач освіти буде здатний:

- розуміти предмет і завдання технології машинобудування та їх застосування у протезуванні;
- аналізувати життєвий цикл машин і протезних систем з позиції технологічності;
- обирати та оцінювати матеріали (метали, полімери, композити, біосумісні матеріали, гума) за критеріями технологічності;
- проводити оцінку та забезпечення технологічності конструкцій біомеханічних систем;
- враховувати антропометричні та ергономічні вимоги під час конструювання;
- приймати конструктивні рішення для підвищення ергономічності та технологічності;

- володіти методами складання, припасування та регулювання протезних вузлів;
- прогнозувати тенденції розвитку інтелектуальних біомеханічних систем.

Дисципліна "Технологічність конструкції виробів машинобудування" відноситься до вибіркових освітніх компонентів, і вона самостійно не формує компетентностей, проте здатна підсилювати компетентності та результати навчання, які забезпечують нормативні освітні компоненти.

Вивчення дисципліни сприяє підсиленню наступних компетентностей:

ЗК1 Здатність виявляти, ставити та вирішувати інженерно-технічні та науково-прикладні проблеми.

ЗК3 Здатність генерувати нові ідеї (креативність)

ЗК6 Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями

ФК1 Здатність застосовувати відповідні методи і ресурси сучасної інженерії для знаходження оптимальних рішень широкого кола інженерних задач із застосуванням сучасних підходів, методів прогнозування, інформаційних технологій та з урахуванням наявних обмежень за умов неповної інформації та суперечливих вимог.

ФК2. Здатність описати, класифікувати та змоделювати широке коло технічних об'єктів та процесів, що ґрунтується на глибокому знанні та розумінні теорій та практик механічної інженерії, а також знаннях суміжних наук/

Завершитись навчання має наступними програмними результатами:

РН1 Застосовувати спеціалізовані концептуальні знання новітніх методів та методик проєктування, аналізу і дослідження конструкцій, машин та/або процесів в галузі машинобудування та суміжних галузях знань.

РН2 Розробляти і ставити на виробництво нові види продукції, зокрема виконувати дослідно-конструкторські роботи та/або розробляти технологічне забезпечення процесу їх виготовлення.

## 2. Пререквізити та постреквізити дисципліни

Дисципліна «Технологічність конструкції виробів машинобудування» базується на наступних дисциплінах:

- Інформаційні системи і технології в машинобудуванні
- Дизайн для адитивного виробництва
- Оцінка відповідності продукції машинобудування та системи управління якістю
- Комп'ютерно-інтегровані системи підтримки життєвого циклу виробів

У свою чергу дисципліна «Технологічність конструкції виробів машинобудування» може бути корисною для подальшої підготовки з дисциплін:

- Практика
- Виконання магістерської дисертації

## 3. Зміст навчальної дисципліни

### Розділ 1 ОСНОВИ ПРОЄКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ВИРОБНИЦТВА ПРОТЕЗНО-ОРТОПЕДИЧНОЇ ПРОДУКЦІЇ

- Основні етапи життєвого циклу протезно-ортопедичної продукції
- Матеріали та системи технології виробництва протезно-ортопедичної продукції
- Основи побудови технологічних процесів виробництва протезно-ортопедичної продукції

### Розділ 2 ТЕХНОЛОГІЧНІСТЬ КОНСТРУКЦІЙ БІОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ ПРОТЕЗУВАННЯ

- Оцінка технологічності конструкцій
- Забезпечення технологічності конструкцій
- Виготовлення деталей на верстатах з числовим програмним забезпеченням та їх технологічність
- Процеси виготовлення деталей з полімерів, композитів та біосумісних матеріалів їх технологічність
- Процеси виготовлення деталей з гуми та їх технологічність

### Розділ 3 ЕРГОНОМІКА КОНСТРУКЦІЙ БІОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ ПРОТЕЗУВАННЯ

- Загальні положення ергономіки у протезуванні

- Антропометричні та біомеханічні основи
- Ергономічні вимоги до конструкцій протезів
- Конструктивні рішення для підвищення ергономічності
- Методи оцінки ергономічності протезів
- Перспективи розвитку ергономічних біомеханічних систем

#### **Розділ 4 КОНСТРУЮВАННЯ БІОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ ПРОТЕЗУВАННЯ ДЛЯ СКЛАДАННЯ**

- Способи з'єднання систем протезування (різьбові, штифтові, клеєві, модульні)
- Припасування, регулювання та контроль співвісності вузлів
- Оцінка конструктивних рішень та принципи покращення технологічності складання
- Використання модульних систем для спрощення складання
- Інтеграція електронних і сенсорних елементів у конструкцію
- Тенденції розвитку інтелектуальних біомеханічних систем

#### **4. Навчальні матеріали та ресурси**

##### **Основна література**

1. Основи технології виробництва машин : навчальний посібник / Г. П. Кремнєв, В. М. Колеснік, Ф. В. Новіков, В. О. Жовтобрюх. Дніпро : ЛІРА, 2022.

(вільний доступ

<http://repository.hneu.edu.ua/bitstream/123456789/27940/1/Кремнєв%20Г.П.%20Основи%20технології%20Овироб-ва%20машин%20-%20уч.%20пос.%20С%202022.pdf>)

2. Пасько М.М., Показаньєва С.Л, ТЕХНОЛОГІЯ. СКОРОЧЕНИЙ КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ для студентів денного та заочного відділення спеціальності 133 Галузеве машинобудування. 2018

(вільний доступ [https://pitbddma.org.ua/wp-content/uploads/2018/02/лекції\\_технолог.машин..pdf](https://pitbddma.org.ua/wp-content/uploads/2018/02/лекції_технолог.машин..pdf))

3. Біомеханічні основи протезування та ортезування : навчальний посібник / А. Д. Салєєва та ін. – Харків : ХНУРЕ, 2022. 352 с.

(вільний доступ <https://openarchive.nure.ua/bitstreams/a4e270fc-c53f-420c-8155-c5f4c4b7d875/download>)

4. Конструювання та технології виготовлення ортезів на верхні кінцівки: навч. посіб. / А.Д. Салєєва, О.Г. Аврунін, М.В. Зайцев, О.М. Литвиненко, В.О. Кузін, І.В. Карпенко, О.Г. Скрипка, Л.О. Белєвцова, К.Г. Селіванова. - Харків: ХНУРЕ, 2023. - 131 с.

(вільний доступ <https://openarchive.nure.ua/server/api/core/bitstreams/c11cbf8b-2671-4f0e-b4dd-f5c7c03f3c35/content>)

##### **Допоміжна література**

1. Geoffrey Boothroyd, Peter Dewhurst, Winston A. Knight. Product Design for Manufacture and Assembly. CRC Press. Taylor & Francis Group. 2011, 670 с.

2. Azli Nawawi. Design for manufacture and assembly (DFMA). Introduction to Boothroyd dewhurst software. Department of manufacturing and Industrial engineering faculty of mechanical and manufacturing engineering. Cetakan Pertama (Modul Pembelajaran), 2014, 34 с.

3. Youssef, Helmi A. Machining technology : machine tools and operations / Helmi A. Youssef, Hassan El-Hofy. Taylor & Francis Group. 2008, 633 с.

4. K. G. Swift, J. D. Booker. Process Selection. From design to manufacture. Department of Engineering, University of Hull, UK, 2003, 316 с.

5. Design for Manufacturability Handbook, 2nd Edition. James G. Bralla. The McGraw-Hill Companies, Inc. 1999

6. Bruno Lotter. Manufacturing Assembly Handbook. Blue Digest on Automation. 1986. 98 с.

7. Mikell P. Groover. Fundamentals of Modern Manufacturing: Materials, Processes, and Systems. Wiley, 2007 – 1022

<https://www.fcusd.org/cms/lib/CA01001934/Centricity/Domain/4529/Fundamentals%20of%20Modern%20Manufacturing%20Materials%20Processes%20and%20Systems%20%204th%20Edition.pdf>

8. Product Design using Value Engineering. Department of Mechanical and Industrial Engineering IIT Roorkee. (вільний доступ до відео лекцій <https://youtu.be/QVATa8R1kvg>)

9. Manufacturing Guidelines for Product Design. Department of Mechanical and Industrial Engineering IIT Roorkee. (вільний доступ до відео лекцій <https://youtu.be/udM9CrT38AM>)
10. Design for Quality, Manufacturing and Assembly NPTEL-NOC IITM (National Programme on Technology Enhanced Learning (NPTEL)) (вільний доступ до відео лекцій [https://youtube.com/playlist?list=PLyqSpQzTE6M\\_1kARI-8O0ZJjTwD9bAsRe](https://youtube.com/playlist?list=PLyqSpQzTE6M_1kARI-8O0ZJjTwD9bAsRe))

## Навчальний контент

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

#### Лекція 1. Тема 1. Основні етапи життєвого циклу протезно-ортопедичної продукції

- 1.1. протезно-ортопедична продукція як об'єкт виробництва
- 1.2. Життєвий цикл машин та протезних систем
- 1.3. Основи технологічності протезно-ортопедичної продукції

Визначення предмета та завдань курсу. Основні поняття Життєвий цикл машин і протезних систем, технологічності виробів. Роль технологічності у створенні надійних та доступних біомеханічних протезів.

#### Лекція 2. Тема 2. Матеріали та системи технології виробництва протезно-ортопедичної продукції

- 2.1. Конструкційні матеріали та їх властивості
- 2.2. Метали і сплави у протезуванні
- 2.3. Матеріали та їх обробка
- 2.4. Біосумісні матеріали та композити

Огляд конструкційних матеріалів. Метали, полімери та сплави у протезуванні. Біосумісні матеріали та композити. Вибір матеріалів з урахуванням технологічності.

**Практичне заняття 1.** Вступне заняття. Ознайомлення з силабусом. Формування команд студентів. Аналіз прикладів технологічності конструкцій простих деталей.

#### Лекція 3. Тема 3. Основи побудови технологічних процесів виробництва протезно-ортопедичної продукції

- 3.1. Склад технологічного процесу виготовлення протезно-ортопедичної продукції
- 3.2. Синтез технологічних процесів у виробництві протезно-ортопедичної продукції
- 3.3. Забезпечення якості виробництва протезно-ортопедичної продукції
- 3.4. Економічні показники виробництва протезно-ортопедичної продукції

Поняття технологічного процесу і технологічних операції. Технологічні бази у виробничих процесах. Якість виготовлення продукції. Собівартість виготовлення продукції та її складові.

#### Лекція 4. Тема 4. Оцінка та забезпечення технологічності конструкцій

- 4.1. Критерії та показники оцінювання
- 4.2. Алгоритм оцінки технологічності
- 4.3. Принципи забезпечення технологічності
- 4.4. Роль CAD/CAM та проектування для технологічності

Методи оцінки технологічності. Критерії вибору конструктивних рішень. Алгоритм перевірки конструкцій на технологічність. Використання CAD/CAM для оптимізації проектування.

**Практичне заняття 2.** Вибір матеріалів і методів обробки для конкретної деталі протеза.

#### Лекція 5. Тема 5. Технологічність деталей що виготовляються на верстатах з ЧПК

- 5.1. Принципи роботи верстатів з ЧПК
- 5.2. Технологічність деталей що виготовляються на ЧПК

Технологічність деталей для автоматизованого виробництва. Переваги використання ЧПК у протезобудуванні.

#### Лекція 6. Тема 6. Виготовлення з полімерів, композитів та біосумісних матеріалів

- 6.1. Технології обробки полімерів
- 6.2. Використання композитів
- 6.3. Технологічність деталей

Технології обробки полімерів і композитів. Методи виготовлення біосумісних елементів. Роль 3D-друку у сучасному протезуванні.

**Практичне заняття 3.** Розробка маршруту технологічного процесу виготовлення деталі протеза.

### **Лекція 7. Тема 7. Виготовлення деталей з гуми**

7.1. Властивості гуми

7.2. Методи виготовлення гумових елементів

7.3. Проблеми технологічності та контроль якості

Властивості гумових матеріалів. Методи виготовлення і застосування гумових елементів у протезах. Контроль якості виробів із гуми.

### **Лекція 8. Тема 8. Ергономіка у протезуванні**

8.1. Поняття ергономіки

8.2. Завдання ергономіки у біомеханічних системах

8.3. Взаємодія користувача з протезом

Поняття ергономіки. Роль ергономічних факторів у біомеханічних системах. Взаємодія користувача з протезом, зручність та адаптивність конструкцій.

**Практичне заняття 4.** Аналіз антропометричних даних для конструювання протеза.

### **Лекція 9. Тема 9. Антропометричні та біомеханічні основи**

9.1. Антропометричні параметри

9.2. Біомеханіка руху кінцівок

9.3. Врахування індивідуальних особливостей

Основні антропометричні параметри для проектування протезів. Біомеханіка руху кінцівок. Врахування індивідуальних особливостей користувача.

### **Лекція 10. Тема 10. Ергономічні вимоги до конструкцій протезів**

10.1. Функціональність

10.2. Зручність і комфорт

10.3. Баланс маси і міцності

Функціональність та зручність у використанні. Баланс між міцністю та масою конструкції. Комфорт та індивідуальна адаптація протезів.

**Практичне заняття 5.** Оцінка ергономічності конструкцій протезів.

### **Лекція 11. Тема 11. Методи підвищення ергономічності**

11.1. Конструктивні рішення

11.2. Регульовальні елементи

11.3. Системи амортизації

Конструктивні рішення для зручності користування. Регульовальні елементи. Амортизаційні та компенсаторні системи у протезах.

### **Лекція 12. Тема 12. Конструювання для складання**

12.1. Способи з'єднання (різьбові, штифтові, клеєві, модульні)

12.2. Припасування та регулювання

12.3. Контроль співвідносності

Способи з'єднання елементів протезів (різьбові, клеєві, штифтові, модульні). Припасування та регулювання. Методи контролю співвідносності.

**Практичне заняття 6.** Складання вузла протеза з використанням різних способів з'єднання.

### **Лекція 13. Тема 13. Оцінка конструктивних рішень та модульність**

13.1. Оцінка технологічності складання

13.2. Використання модульних систем

13.3. Оптимізація процесу складання

Оцінка технологічності при складанні. Використання модульних систем. Переваги модульності у виробництві та експлуатації протезів.

#### **Лекція 14. Тема 14. Інтеграція сенсорних та електронних елементів**

14.1. Системи керування у біомеханічних протезах

14.2. Вбудовані сенсори та електроніка

14.3. Виклики і переваги інтеграції

Системи керування у біомеханічних протезах. Інтеграція сенсорів та електроніки. Виклики і перспективи електронізації протезних систем.

**Практичне заняття 7.** Підсумкове.

#### **Лекція 15. Тема 15. Перспективи розвитку інтелектуальних біомеханічних систем**

15.1. Інтелектуальні протези майбутнього

15.2. Персоналізація у протезуванні

15.3. Тенденції розвитку та роль штучного інтелекту

Майбутні технології у протезуванні. Інтелектуальні протези з елементами ШІ. Персоналізація та нові тенденції розвитку біомеханічних систем.

### **6. Самостійна робота студента**

Для самостійної роботи студента передбачено 76 годин. Самостійна робота студента призначена для опанування навчальної дисципліни, зокрема, підготовка до лекцій та практичних робіт. Підготовка до практичних занять складається з підготовки робіт, де студент відображає результати виконання завдань з практичних робіт, а також підготовка до модульної контрольної роботи та заліку. Також до самостійної роботи відноситься опрацювання додаткових літературних джерел, перегляд відео за темою лекційних і практичних робіт, які надаються на практичних заняттях для розширення знань з лекційного матеріалу.

### **Політика та контроль**

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

Опрацьовуючи навчальний матеріал дисципліни студенти протягом семестру працюють над завданнями, які задаються на практичних заняттях. Виконане завдання оформлюється у вигляді презентації та додаткових розрахунків (якщо необхідно) по кожному практичному заняттю згідно з темою поточного практичного заняття. За бажанням і узгодженням з викладачем, студенти можуть працювати в команді із 2-5 чоловік, а також самостійно. Якщо студенти працюють у команді, всі студенти-учасники команди отримують однакову кількість балів за виконання завдань. Розподілення робіт між учасниками команди відбувається самостійно. Підготовка до заліку є самостійна робота студента по опрацюванню матеріалів.

Модульна контрольна робота (МКР) складається з двох частин за тематикою розділів дисципліни. Кожну частину МКР студенти виконують самостійно на практичних заняттях.

#### **Правила відвідування занять та поведінки на заняттях**

Для студентів, які бажають повноцінно засвоїти програму курсу й отримати відмінні результати навчання, бажано 100% відвідування лекційних і практичних занять. Всі завдання, які виконуються на практичних заняттях потрібно виконати та захистити на наступному практичному занятті. Студенти зобов'язані брати активну участь в навчальному процесі, не спізнюватися на заняття та не пропускати їх без поважної причини, не заважати викладачу проводити заняття, не відволікатися на дії, що не пов'язані з навчальним процесом.

#### **Політика дедлайнів та перескладань**

У разі виникнення заборгованостей з навчальної дисципліни або будь-яких форс-мажорних обставин, студенти мають зв'язатися з викладачем по доступних (наданих викладачем) каналах зв'язку для розв'язання проблемних питань та узгодження алгоритму дій для відпрацювання. У разі відсутності у день написання модульної контрольної роботи (МКР) студент може поза межами аудиторних годин написати МКР. Повторне написання МКР не допускається.

### Політика академічної доброчесності

Плагіат та інші форми недоброчесної роботи неприпустимі. До плагіату відноситься відсутність посилань при використанні друкованих та електронних матеріалів, цитат, думок інших авторів, списування під час контрольних робіт, копіювання матеріалів, захищених системою авторського права, без дозволу автора роботи. Політика та принципи академічної доброчесності визначені у розділі 3 Кодексу честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». Детальніше: <https://kpi.ua/code>.

### Політика академічної поведінки і етики

Норми етичної поведінки студентів і працівників визначені у розділі 2 Кодексу честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». Детальніше: <https://kpi.ua/code>.

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

**Поточний контроль:** практичні роботи (комп'ютерні практикуми), модульна контрольна робота.

**Календарний контроль:** проводиться 2 раз на семестр за встановленим графіком як моніторинг поточного стану виконання вимог силабусу.

**Семестровий контроль:** залік.

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

- 1) виконані завдання з практичних робіт (комп'ютерних практикумів) – 60 балів
- 2) виконання модульної контрольної роботи – 40 балів.

### Система рейтингових (вагових) балів та критерії оцінювання

#### 1. Робота на практичних заняттях (комп'ютерних практикумах)

Виступ з вирішеним завданням та обґрунтованою доповіддю за темою завдання:

Ваговий бал – 15. На практичних заняттях виконується 4 роботи. Максимальна кількість балів на всіх практичних заняттях дорівнює  $15 \text{ балів} \times 4 = 60 \text{ балів}$ .

Виконане завдання потрібно здати до наступного практичного заняття. Якщо робота здана невчасно, відбувається зниження балів. За затримку здачі завдання на два тижні відбувається зниження на 10% від отриманої оцінки, затримання на більший строк – на 20% від отриманої оцінки.

| Оцінка   | Кількість балів |
|--|-----------------|
| Завдання виконано правильно, повністю продемонстровано знання у рамках програми вивчення дисципліни, висновки зроблені абсолютно правильно | 14 – 15         |
| Завдання виконано, є помилки або неточності в розрахунках, висновки зроблені   | 11 – 13         |
| Завдання виконано, багато помилок, розрахунки виконані частково або не всі правильно, висновки не зроблені (або зроблені неправильно)      | 9 – 10          |
| Завдання не виконано   | 0               |

#### 2. Модульна контрольна робота:

Ваговий бал модульної контрольної роботи 40 балів. Робота розділена на дві частини, відповідно по 20 балів кожна. Модульна контрольна робота проводиться у вигляді тестів. Студенти мають відповісти на запитання, що відносяться до різних тем навчальної дисципліни. Кожна частина модульної роботи включає 10 запитань. Ваговий бал за кожну правильну відповідь складає 2 бали. Кожна з відповідей оцінюється окремо, після чого отримані бали підсумовуються.

Максимальна кількість балів за написання однієї частини модульної контрольної роботи дорівнює:

$$2 \text{ бали} \times 10 \text{ завдань} = 20 \text{ балів.}$$

Критерії оцінювання відповіді на кожній контрольній роботі:

| Оцінка  | Кількість балів |
|---|-----------------|
| відповідь на запитання неправильна або відсутня | 0               |
| відповідь на запитання правильна                | 2               |

### Правила призначення заохочувальних балів

Заохочувальні бали в рамках навчальної дисципліни не передбачені. На практичних заняттях студенту задаються завдання, виконання яких є обов'язковими та здача їх без зниження балів передбачена на наступному практичному занятті. Якщо завдання не було здано вчасно, передбачено зниження балів.

### Умови календарного контролю

Календарний контроль з навчальної дисципліни (освітнього компонента) проводиться відповідно до графіку навчального процесу. Умовою отримання позитивної оцінки з календарного контролю з навчальної дисципліни є значення поточного рейтингу здобувача не менше, ніж 50 % від максимально можливого на час проведення такого контролю. Результати календарного контролю заносяться у модуль "Календарний контроль" Електронного кампусу.

### Семестровий контроль

#### Розрахунок шкали (R) рейтингу

Рейтингова шкала дисципліни (RD) складає 100 балів та формується як сума рейтингових балів, отриманих студентом за підготовку презентації та доповіді на практичних заняттях, написання модульної контрольної роботи:

$$RD = 15 \times 4 + 20 \times 2 = 100 \text{ балів.}$$

**Необхідною умовою допуску** до заліку є виконання всіх практичних робіт (комп'ютерних практикумів).

Студенти, які виконали всі умови допуску до заліку та набрали 60 і більше балів, отримують відповідну рейтингову оцінку без потреби проходження заходу семестрового контролю.

Студенти, які набрали менше 60 балів або бажають підвищити загальний рейтинг, виконують залікову контрольну роботу. При цьому всі бали, що були ними отримані протягом семестру, скасовуються.

Залікова контрольна робота оцінюється у 100 балів.

На заліку студенти отримують завдання, у вигляді тестів, яке складається з 20 запитань. Кожне питання оцінюється окремо. Ваговий бал за кожну правильну відповідь складає 5 балів.

Критерії оцінювання відповіді на заліковій контрольній роботі:

| Оцінка  | Кількість балів |
|---|-----------------|
| відповідь на запитання неправильна або відсутня | 0               |
| відповідь на запитання правильна                | 5               |

Для отримання студентом залікової оцінки, сума всіх отриманих протягом семестру або на заліковому занятті рейтингових балів переводиться згідно з таблицею:

| Кількість балів           | Оцінка       |
|---------------------------|--------------|
| 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  |

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

Можливість зарахування сертифікатів проходження дистанційних чи онлайн курсів за відповідною тематикою відповідно до Положення про визнання в КПІ ім. Ігоря Сікорського результатів навчання, набутих у неформальній/інформальній освіті <https://osvita.kpi.ua/node/179>



**Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):**

**Складено:** д.т.н., проф. каф. КМ  
к.т.н., доц. каф. КМ  
к.т.н., доц. каф. КМ

Віталій ПАСІЧНИК  
Валерія ПАРНЕНКО  
Дмитро КРАСНОВИД

**Ухвалено** кафедрою конструювання машин НН ММІ (протокол №14 від 16.04.2025р.).

**Погоджено** Методичною комісією НН ММІ (протокол №9 від 25.04.2025р.).