



## Силабус освітнього компонента Програма навчальної дисципліни



# Проектування та технологія виготовлення машин постійного струму

### Шифр та назва спеціальності

141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

### Інститут

ННІ електроенергетики, електроніки та електромеханіки

### Освітня програма

Електромеханіка

### Кафедра

Електричні машини (126)

### Рівень освіти

Магістр

### Тип дисципліни

Профільна, вибіркова

### Семестр

2

### Мова викладання

Українська

## Викладачі, розробники



### Шайда Віктор Петрович

[viktor.shaida@khp.edu.ua](mailto:viktor.shaida@khp.edu.ua)

кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри електричних машин

Автор та співавтор понад 75 наукових та методичних публікацій. Викладає дисципліни: Електричні машини, Технологія електромашинобудування, Виробництво електричних машин, Спеціальні конструкції та режими електричних машин, Проектування та технологія виготовлення машин постійного струму.

[Детальніше про викладача на сайті кафедри](#)

## Загальна інформація

### Анотація

Дисципліна вивчає основи проектування машин постійного струму загальнопромислового призначення, методики електромагнітного, теплового та вентиляційного розрахунків, принципи розробки конструкції та проведення механічних розрахунків основних деталей та вузлів машин постійного струму, основні питання виробництва машин постійного струму.

### Мета та цілі дисципліни

Метою вивчення дисципліни є отримання знань з сучасних методів проектування машин постійного струму загальнопромислового призначення, технології їх виробництва, а також набуття практичних навичок прийняття обґрунтованих, самостійних інженерних рішень при виконанні курсового проекту з проектування двигуна постійного струму загального призначення та лабораторних занять на профільному підприємстві.

### Формат занять

Лекції, лабораторні роботи, практичні заняття, самостійна робота, консультації. Підсумковий контроль – екзамен.

## Компетентності

Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу.

Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел.

Здатність до використання інформаційних і комунікаційних технологій.

Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях, працювати самостійно та в команді.

Здатність продукувати нові ідеї, приймати обґрунтовані рішення, проявляти креативність та системне мислення, виявляти та оцінювати ризики.

Здатність керувати проектами та критично оцінювати їх результати.

Усвідомлення необхідності постійно розширювати власні знання про нові технології в електроенергетиці, електротехніці та електромеханіці.

Знання і розуміння сучасних технологічних процесів та систем технологічної підготовки виробництва, технічних характеристик, конструктивних особливостей, призначення і правил експлуатації електроенергетичного, електротехнічного і електромеханічного устаткування та обладнання.

Здатність застосовувати отримані теоретичні знання, наукові та технічні методи і відповідне програмне забезпечення для вирішення науково-технічних проблем та проводити наукові дослідження в галузі електроенергетики, електротехніки та електромеханіки.

Здатність застосовувати наявні та розробляти нові методи, методики, технології та процедури для вирішення інженерних завдань, зокрема при проектуванні та експлуатації об'єктів електроенергетики, електротехніки та електромеханіки.

Здатність застосовувати аналітичні методи аналізу, математичне моделювання та виконувати фізичні, математичні і обчислювальні експерименти для розв'язання інженерних завдань та при проведенні наукових досліджень.

Здатність застосовувати інформаційно-комунікаційні технології та навички програмування для розв'язання типових завдань інженерної та наукової діяльності в електроенергетиці, електротехніці та електромеханіці.

Здатність використовувати закони та інженерні принципи, математичний апарат високого рівня для проектування, моделювання, конструювання, виробництва, монтажу, експлуатації, технічного обслуговування та утилізації об'єктів, у сфері електричних машин, електричних апаратів, електропобутової техніки та електротранспорту.

Здатність досліджувати, аналізувати, застосовувати, науково обґрунтовувати вибір матеріалів, обладнання та застосування технологічних заходів для реалізації новітніх технологій у сфері електричних машин, електричних апаратів, електропобутової техніки та електротранспорту.

## Результати навчання

Знаходити варіанти підвищення енергоефективності та надійності електроенергетичного, електротехнічного та електромеханічного обладнання й відповідних комплексів і систем.

Відтворювати процеси в електроенергетичних, електротехнічних та електромеханічних системах при їх комп'ютерному моделюванні.

Опанувати нові версії або нове програмне забезпечення, призначене для комп'ютерного моделювання об'єктів та процесів у електроенергетичних, електротехнічних та електромеханічних системах.

Визначати план заходів з підвищення надійності, безпеки експлуатації та продовження ресурсу електроенергетичного, електротехнічного та електромеханічного обладнання і відповідних комплексів і систем.

Аналізувати процеси в електроенергетичному, електротехнічному та електромеханічному обладнанні і відповідних комплексах і системах.

Володіти методами математичного та фізичного моделювання об'єктів та процесів у електроенергетичних, електротехнічних та електромеханічних системах.

Дотримуватися принципів та правил академічної доброчесності в освітній та науковій діяльності.

Вільно спілкуватися усно і письмово державною та іноземною мовами з сучасних наукових і технічних проблем електроенергетики, електротехніки та електромеханіки.

Планувати та виконувати наукові дослідження та інноваційні проекти в сфері електроенергетики, електротехніки та електромеханіки.

Вирішувати професійні задачі з проектування, монтажу та експлуатації електроенергетичних, електротехнічних, електромеханічних комплексів та систем.

Використовувати закони та інженерні принципи, математичний апарат високого рівня для проектування, моделювання, конструювання, виробництва, монтажу, експлуатації, технічного обслуговування та утилізації об'єктів, у сфері електричних машин, електричних апаратів, електропобутової техніки та електротранспорту.

Збирати та інтерпретувати необхідні дані, визначати сучасний стан та тенденції розвитку показників та характеристик електротехнічного обладнання у сфері електричних машин, електричних апаратів, електропобутової техніки та електротранспорту, зокрема із застосуванням сучасних інформаційних технологій.

### **Обсяг дисципліни**

Загальний обсяг дисципліни 150 год. (5 кредитів ECTS): лекції – 32 год., лабораторні роботи – 16 год., практичні заняття – 16 год., самостійна робота – 86 год.

### **Передумови вивчення дисципліни (пререквізити)**

Дисципліна базується на освітній програмі підготовки бакалавра та попередній дисципліні «Технологія виробництва електричних машин».

### **Особливості дисципліни, методи та технології навчання**

Лекції проводяться інтерактивно з використанням мультимедійних технологій, при їх викладанні використовується інформаційно-рецептивний метод та метод проблемного викладу.

Лабораторні роботи передбачають ознайомлення зі сучасними технологічними процесами, які застосовуються на профільних підприємствах із виготовлення машин постійного струму.

На практичних заняттях використовується проектний підхід до навчання, ігрові методи, акцентується увага на застосуванні інформаційних технологій при проектуванні машин постійного струму. На лабораторних та практичних заняттях використовуються репродуктивний та евристичний методи. При виконанні курсового проєкту застосовуються елементи дослідницького методу.

## **Програма навчальної дисципліни**

### **Теми лекційних занять**

#### **Тема 1. Вихідні дані для проектування машин постійного струму (МПС)**

Переваги і сфери застосування МПС. МПС загального і спеціалізованого призначення. Вимоги до характеристик МПС в залежності від її призначення. Порядок проектування МПС

#### **Тема 2. Машинна стала. Вибір головних розмірів та електромагнітних навантажень машин постійного струму**

Головні розміри МПС, машинна стала. Вплив головних розмірів і режиму роботи на параметри МПС. Вибір електромагнітного навантаження: лінійного навантаження та індукції в повітряному проміжку. Вибір величини полюсного перекриття. Вибір кількості головних полюсів

#### **Тема 3. Розрахунок обмотки і зубцевої зони якоря**

Порядок розрахунку обмотки якоря. Вибір типу обмотки якоря, параметри обмотки. Характеристика основних типів обмотки якоря: простої петльової і хвилевої, складної петльової і хвильової, комбінованої. Визначення параметрів для кожного типу обмотки якоря. Вибір форми пазів. Розрахунок розмірів овальних напівзакритих пазів. Заповнення овального напівзакритого паза. Розрахунок розмірів прямокутних відкритих пазів. Заповнення прямокутного відкритого паза

#### **Тема 4. Розрахунок обмотки додаткових полюсів**

Призначення обмотки додаткових полюсів і вимоги, що пред'являються до неї. Вибір попереднього значення повітряного проміжку під додатковим полюсом. Визначення розмірів осердя додаткового полюса. Порядок розрахунку обмотки додаткових полюсів

#### **Тема 5. Магнітне коло МПС**

Мета розрахунку магнітного кола, методи розрахунку. Ділянки магнітного кола МПС, їх характеристика. Вибір форми і величини повітряного проміжку. Умова правильності вибору величини повітряного проміжку. Визначення розмірів головного полюса та станини

## **Тема 6. Розрахунок МРС на неробочому ході**

Розрахунок МРС повітряного проміжку. Коефіцієнт повітряного проміжку. Розрахунок МРС зубцевого шару якоря. Розрахунок МРС спинки якоря. Розрахунок МРС осердя головного полюса. Розрахунок МРС станини. Розрахунок МРС стику головного полюса і станини. Визначення коефіцієнта насичення магнітної системи. Критерій оцінки правильності розрахунку магнітної системи

## **Тема 7. Розрахунок МРС при навантаженні.**

Реакція якоря, її види і необхідність обліку при проектуванні МПС.

Графо-аналітичний спосіб визначення реакції якоря. Критерій стійкої роботи МПС

## **Тема 8. Розрахунок обмотки збудження**

Основні типи збудження МПС, сфери їх застосування. Порядок розрахунку обмотки паралельного і незалежного збудження. Порядок розрахунку обмотки послідовного збудження

## **Тема 9. Розрахунок основних розмірів колектора і вибір щіток**

Основні розміри колектора, порядок їх визначення. Обмеження, які необхідно враховувати при виборі розмірів колектора. Ширина зони комутації. Основні марки щіток, використовувані в МПС. Порядок визначення розмірів щіток. Вплив щіток на комутацію

## **Тема 10. Розрахунок комутаційних параметрів і додаткових полюсів.**

Комутація, види комутації. Система оцінки якості комутації. Параметри комутації. Реактивна ЕРС, її визначення. Вплив провідності розсіяння паза на комутацію. Уточнення розмірів додаткових полюсів і параметрів обмотки. Насичення додаткових полюсів і його обмеження. Використання подвійного повітряного проміжку під додатковим полюсом. Способи поліпшення комутації. Зняття зон без іскрової роботи

## **Тема 11. Визначення маси активних матеріалів і ККД МПС**

Визначення маси обмоток і магнітопроводу. Порядок визначення ККД. Види втрат в МПС. Електричні втрати, їх визначення. Магнітні втрати, вплив на них. Механічні втрати, їх склад і визначення. Додаткові втрати, їх склад і визначення

## **Тема 12. Розрахунок характеристик двигуна і генератора**

Робочі та механічні характеристики двигуна постійного струму. Порядок розрахунку характеристик двигуна послідовного збудження. Порядок розрахунку характеристик двигуна паралельного і незалежного збудження. Характеристики генератора, порядок їх розрахунку

## **Тема 13. Тепловий і вентиляційний розрахунки МПС**

Мета теплового розрахунку МПС. Врахування класу нагрівостійкості системи ізоляції. Облік режиму роботи МПС при теплому розрахунку. Методи теплового розрахунку МПС, їх характеристика. Суть і порядок теплового розрахунку спрощеним методом. Мета вентиляційного розрахунку. Системи вентиляції МПС. Нагнітальна і витяжна вентиляція. Основні розміри вентилятора, що визначають його параметри. Аеродинамічний опір повітря і фактори, що впливають на нього. Визначення аеродинамічного опору повітря

## **Тема 14. Розробка конструкції і механічні розрахунки вузлів МПС**

Загальна компоновка вузлів МПС захищеного виконання. Визначення геометричних розмірів котушки якоря. Відмінності одновиткової котушки від багатовиткової. Способи кріплення обмотки якоря в пазовій і лобовій частині. Типи конструкції колектора, критерії вибору типу конструкції. Визначення розмірів колектора. Механічний розрахунок аркового колектора. Вимоги, що пред'являються до валу МПС. Визначення розмірів валу. Механічний розрахунок валу на міцність, жорсткість та критичну частоту обертання. Вибір і механічний розрахунок підшипників

## **Тема 15. Загальні питання виробництва машин постійного струму. Отримання заготовок деталей машин постійного струму**

Основні види матеріалів, що застосовуються в МПС. Технологічні процеси, що використовуються при виробництві МПС та їх кратка характеристика. Отримання заготовок деталей МПС: для станини, валів, підшипникових щитів. Послідовність технологічних операцій зварювання станини. Відпал зварних конструкцій або вібраційна обробка. Використання технології штампування для виготовлення деталей МПС. Технологія складання головних полюсів

## **Тема 16. Технологія механічної обробки (виготовлення) валу, станини та підшипникових щитів**

Основні конструктивні елементи валу. Основні операції обробки валу: фрезерування торців та центрування отворів; чорнова обробка (точіння); фрезерування канавок під шпонку; нарізання різьби; шліфування (чистова обробка). Схеми обробки станини. Обробка розточення станини та замкових поверхонь, фрезерування лап, свердлування отворів та нарізання різі. Основні елементи підшипникового щита, вимоги до нього. Основні операції обробки підшипникового щита.

### **Тема 17. Технологія виготовлення котушок обмотки якоря**

Загальні вимоги до технології. Правлення та відрізка заготованок. Основні операції виготовлення «жорстких» котушок з проводу прямокутного перерізу. Основні операції виготовлення «м'яких» котушок з проводу круглого перерізу. Види ізоляції та її використання для ізолювання котушок якоря

### **Тема 18. Технологія виготовлення котушок обмоток головних та додаткових полюсів.**

Технологія виготовлення котушок з ізолюваного проводу круглого перерізу. Технологія виготовлення котушок з ізолюваного проводу прямокутного перерізу. Технологія виготовлення котушок з голої мідної шини (смуги) при намотуванні на ребро та плазом

### **Тема 19. Технологія виготовлення колектора**

Основні вимоги до колекторів. Технологія виготовлення колекторних пластин, включаючи «півники». Технологія виготовлення колекторних прокладень та манжет. Калібрування колекторних пластин. Складання колекторних пластин та прокладень в кільце. Опресування та термічна обробка. Механічна обробка комплекту пластин (отримання «ластівчиного хвоста»). Виготовлення корпусу та натискного конуса. Складання колектора, термічна обробка та його розгін. Випробовування колекторів

### **Тема 20. Технологія складання якоря необмотаного та укладання обмотки якоря**

Підготовка листів осердя якоря для складання, шихтування листів осердя на вал та опресування. Фіксація осердя якоря на валу. Встановлення колектора. Обробка пазів осердя якоря. Підготовка осердя якоря для укладання обмотки. Ізолювання пазів осердя якоря. Вкладання котушок обмотки якоря відповідно схеми обмотки. Кріплення обмотки якоря в пазовій частини за допомогою клинів або бандажу, накладення склобандажу на лобові частини обмотки якоря. З'єднання кінців котушок обмотки за допомогою паяння або зварювання

### **Тема 21. Технологія просочування та сушіння обмотки якоря**

Технології просочування обмоток електричних машин. Технологія та устаткування для вакуум-нагнітального просочення якорів. Сушіння (запівка) якорів. Контроль та випробовування обмотки якоря. Остаточна обробка якорів. Продороження колектора. Балансування якоря

### **Тема 22. Технологія складання статора (магнітної системи) машин постійного струму**

Пакування головних та додаткових полюсів. Кріплення головних та додаткових полюсів в станині. Складання схеми з'єднання обмоток головних та додаткових полюсів. Контроль та випробовування магнітної системи. Виготовлення щіткотримачів, остову траверси та бракетів. Складання траверси, встановлення щіток та їх притирання

### **Тема 23. Технологія складання машин постійного струму та їх випробування**

Устаткування необхідне для складання машини. Установка підшипників. Заведення якоря в розточку магнітної системи. Виставлення величини повітряного проміжку. Установлення траверси та підшипникових щитів. Контроль та остаточне випробування машини постійного струму. Армвання машини

## **Теми практичних занять**

Тема 1. Вимоги до характеристик МПС різноманітного призначення. Визначення вихідних даних для проектування машини постійного струму. Вибір головних розмірів та електромагнітних навантажень МПС. Вибір типу обмотки якоря та розрахунок її параметрів. Побудова схеми обмотки якоря

Тема 2. Розрахунок розмірів зубцевої зони якоря та заповнення паза

Тема 3. Попередній розрахунок обмотки додаткових полюсів. Визначення розмірів ділянок магнітного кола. Розрахунок МДС на неробочому ході. Побудова магнітної характеристики  $\Phi(F_0)$ . Розрахунок МРС при навантаженні. Розрахунок обмотки збудження

Тема 4. Розрахунок основних розмірів колектора, вибір марки щіток та визначення їх розмірів. Розрахунок комутаційних параметрів, уточнювальний розрахунок додаткових полюсів

Тема 5. Визначення маси активних матеріалів і ККД двигуна. Розрахунок робочих та моментної характеристик двигуна постійного струму

Тема 6. Тепловий та вентиляційний розрахунки МПС захищеного виконання

Тема 7. Компонівка вузлів МПС захищеного виконання. Визначення габаритних та установчих та приєднавчих розмірів МПС. Визначення розмірів котушки якоря. Розрахунок міцності клинів.

Розрахунок міцності склобандажу

Тема 8. Контрольна робота №1

## Теми лабораторних робіт

Лабораторна робота 1. Дослідження технології виготовлення станини МПС

Лабораторна робота 2. Дослідження технології виготовлення котушок обмотки якоря МПС

Лабораторна робота 3. Дослідження технології виготовлення котушок головних та додаткових полюсів МПС

Лабораторна робота 4. Дослідження технології виготовлення колекторів аркового типу

Лабораторна робота 5. Дослідження технології з'єднання кінців котушок обмотки якоря з колекторними пластинами

Лабораторна робота 6. Дослідження технології складання магнітної системи машин постійного струму

Лабораторна робота 7. Захист лабораторних робіт

Лабораторна робота 8. Контрольна робота №2

## Самостійна робота

Дисципліна передбачає виконання курсового проекту «Проектування двигуна постійного струму». Курсовий проект містить пояснювальну записку та кресленики спроєктованого двигуна постійного струму згідно обраного варіанту номінальних даних. Успішний захист курсового проекту оцінюється в 26 балів і входить до екзаменаційної оцінки.

Студентам рекомендуються додаткові матеріали (відео, статті) для самостійного вивчення.

## Література та навчальні матеріали

### Основна література

1. Електричні машини постійного струму : навч. посіб. / І. І. Андрейко, В. Г. Гайдук; Нац. ун-т "Львів. політехніка". - Львів : Вид-во Львів. політехніки, 2018.

2. Проектування електричних машин: навч. посіб. / Д.В. Ципленков, О.Б. Іванов, О.В. Бобров, В.В. Кузнецов, В.В. Артемчук, М.О. Баб'як; Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». – Д. : НТУ «ДП», 2020.

3. Ткачук В.І. Автоматизоване проектування колекторних двигунів постійного струму. – Львів: Вид-во НУ «Львівська політехніка», 2005.

4. Шевченко В. П. Проектування машин постійного струму : навч. посіб. / В. П. Шевченко, О. В. Бабушанов. - Одеса : Наука і техніка, 2016.

5. Юхимчук В. Д. Технологія виробництва електричних машин: підручник / В. Д. Юхимчук. – Х.: Тім Пабліш Груп, 2014.

6. Технологія машинобудування для електромеханіків. / Ю. І. Чучман. - Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2001. 348 с.

7. Осташевський М. О., Юхимчук В. Д., Юр'єва О. Ю. Конструювання двигунів постійного струму / За ред. Осташевського М. О.: Навч.-метод. Посібник з курсового проектування для студентів електромашинобудівного факультету. – Харків: НТУ «ХПІ», 2002.

### Додаткова література

1. Осташевський М. О. Електричні машини і трансформатори: навч. посібник. – 2-ге вид., перероблене. / М. О. Осташевський, О. Ю. Юр'єва; за ред. д-ра техн. наук, професора. В. І. Мілих. Київ: Каравела, 2023.

2. Мілих В. І. Літерні позначення величин та параметрів електричних машин. - Харків, НТУ «ХПІ», 2007 р.

3. Умовні графічні позначення елементів на електротехнічних схемах : методичні вказівки з електротехніки для викладачів і студентів електротехнічних спеціальностей / уклад. В. Д. Юхимчук. – Харків: НТУ «ХПІ», 2009.

## Система оцінювання

### Критерії оцінювання успішності студента та розподіл балів

100% підсумкової оцінки складаються з результатів оцінювання на екзамені (30%) та поточного оцінювання (70%). Екзамен проводиться за екзаменаційними білетами в усній формі. Поточне оцінювання складається з оцінок за контрольні роботи (2 по 10 балів), захисту лабораторних робіт (6 по 4 балів), захисту курсового проєкту (26 балів).

### Шкала оцінювання

Сума балів	Національна оцінка	ECTS
90–100	Відмінно	A
82–89	Добре	B
75–81	Добре	C
64–74	Задовільно	D
60–63	Задовільно	E
35–59	Незадовільно (потрібне додаткове вивчення)	FX
1–34	Незадовільно (потрібне повторне вивчення)	F

## Норми академічної етики і політика курсу

Студент повинен дотримуватися «Кодексу етики академічних взаємовідносин та доброчесності НТУ «ХПІ»: виявляти дисциплінованість, вихованість, доброзичливість, чесність, відповідальність. Конфліктні ситуації повинні відкрито обговорюватися в навчальних групах з викладачем, а при неможливості вирішення конфлікту – доводитися до відома співробітників дирекції інституту. Нормативно-правове забезпечення впровадження принципів академічної доброчесності НТУ «ХПІ» розміщено на сайті: <http://blogs.kpi.kharkov.ua/v2/nv/akademichna-dobrochesnist/>

## Погодження

Силабус погоджено	31.08.2023	Завідувач кафедри Володимир МІЛИХ
	31.08.2023	Гарант ОПП Євген БАЙДА
	31.08.2023	Гарант ОНП Володимир МІЛИХ