

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**ЗАТВЕРДЖЕНО**

Приймальною комісією

Протокол № 3

«26» 08 2025 р.

Заступник голови Приймальної комісії



Юрій КАГАНОВ

**ПОГОДЖЕНО**

Відповідальний секретар відбіркової комісії

 Вікторія БУЛИЧОВА

Гарант освітньо-наукової програми

 Віктор КОВАЛЕНКО

**ПРОГРАМА  
ФАХОВОГО ІСПИТУ  
З ГАЛУЗІ ЗНАНЬ G «ІНЖЕНЕРІЯ, ВИРОБНИЦТВО  
ТА БУДІВНИЦТВО»**

Освітній і науковий ступінь: доктор філософії

Спеціальність: G3 «Електрична інженерія»

Освітньо-наукова програма: Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Запоріжжя – 2025 рік

## **1. ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**

Мета вступного іспиту до аспірантури зі спеціальності G3 «Електрична інженерія» - з'ясувати рівень теоретичних знань та практичних навичок вступників, яких вони набули під час навчання на освітньому рівні бакалавра / магістра, з метою формування рейтингового списку та конкурентного відбору здобувачів вищої освіти ступеня доктора філософії зі спеціальності G3 «Електрична інженерія» в межах ліцензійного обсягу університету.

## **2. ФОРМА ФАХОВОГО ВСТУПНОГО ВИПРОБУВАННЯ**

Фаховий іспит зі спеціальності проходить в очній або дистанційній формі.

Іспит в очній формі проходить у приміщенні Запорізького національного університету (з дотриманням заходів безпеки в умовах воєнного стану) у два етапи. Письмовий етап – вступники надають відповіді на питання екзаменаційного білету у письмовій формі. Тривалість письмового етапу – до 45 хв. Усний – співбесіда вступника з фаховою атестаційною комісією ЗНУ з питань екзаменаційного білету (до 30 хв).

Іспит у дистанційній формі проходить у два етапи. Підготовчий етап – самостійна підготовка відповідей на питання екзаменаційного білета (до 10 хв.) та основний етап – співбесіда вступника з фаховою атестаційною комісією ЗНУ з питань екзаменаційного білету (до 45 хв.)

Для складання фахового іспиту зі спеціальності у дистанційній формі вступник надає Приймальній комісії ЗНУ один з документів: документ про проживання (перебування) поза межами м. Запоріжжя (витяг з реєстру територіальної громади, довідка ВПО), документ про перебування поза межами України або документ, який підтверджує наявність іншої поважної причини. Рішення про допуск до складання іспиту у дистанційній формі приймається Приймальною комісією.

У разі складання фахового іспиту зі спеціальності у дистанційній формі вступник має забезпечити процедуру ідентифікації особи, яка включає перевірку персональних даних та забезпечення безперебійного технічного оснащення для відеозв'язку з фаховою атестаційною комісією ЗНУ у режимі реального часу.

Проведення фахових іспитів зі спеціальності та презентація дослідницької пропозиції як в очному, так і в дистанційному форматах, підлягають обов'язковому відео- та аудіозапису, який не може бути переданий третім особам.

## **3. СТРУКТУРА ЕКЗАМЕНАЦІЙНОГО БІЛЕТА**

Білет фахового вступного випробування містить 3 теоретичних

питання.

#### **4. ВИМОГИ ДО ВІДПОВІДІ ВСТУПНИКА**

У питаннях оцінюється знання вступника з базових фахових дисциплін, що є необхідними для коректного вираження певних понять, а також для розуміння широкого кола теоретичних та практичних завдань, володіння навичками, що є необхідними для професійної діяльності у межах програми.

Правильність виконання завдань оцінюється відповідно до критеріїв оцінювання знань.

Екзаменатор не зобов'язаний читати розв'язання завдань, що наведені вступником в чернетці.

Під час проведення іспиту забороняється використовувати підручники, навчальні посібники, інші джерела інформації (якщо це не передбачено програмою). Також забороняється користуватися мобільними телефонами та іншими засобами зв'язку і передачі даних.

#### **5. КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ**

Для особи, яка претендує на зарахування для здобуття ступеня доктора філософії (за 200 бальною шкалою):

Високий рівень (175-200 балів) вступник отримує, виявивши такі знання та вміння: в повній мірі засвоїв увесь програмний матеріал, показує знання не лише основної, але й додаткової літератури, наводить власні міркування, робить узагальнюючі висновки, використовує знання з суміжних галузевих дисциплін, вдало наводить приклади.

Достатній рівень (150-174 балів) вступник отримує, виявивши такі знання та вміння: має також високий рівень знань і навичок. При цьому відповідь досить повна, логічна, з елементами самостійності, але містить деякі неточності або пропуски в неосновних питаннях. Можливе слабке знання додаткової літератури, недостатня чіткість у визначенні понять.

Задовільний рівень (124-149 балів) вступник отримує, виявивши такі знання та вміння: в загальній формі розбирається у матеріалі, але відповідь неповна, неглибока, містить неточності, робить помилки при формулюванні понять, відчуває труднощі, застосовуючи знання при наведенні прикладів.

Низький рівень (100-123 балів) вступник отримує, виявивши такі знання та вміння: в загальній формі розбирається у матеріалі, допускає суттєві помилки при висвітленні понять, на додаткові питання відповідає не по суті.

До участі у конкурсі не допускається (0-99 балів), якщо вступник виявив такі знання та вміння: не знає значної частини програмного матеріалу, допускає суттєві помилки при висвітленні понять, на додаткові питання відповідає не по суті.

## 6. ЗМІСТ ПРОГРАМИ

(за темами або за питаннями)

### Перелік питань загальної підготовки:

1. Поняття енергоефективності та енергозбереження.
2. Енергоємність підприємства.
3. Відновлювані джерела енергії.
4. Прогнозування електроспоживання підприємством.
5. Види втрат електроенергії.
6. Регресійний аналіз.
7. Стратегічна оцінка підприємства. Стратегічний потенціал, його компоненти.
8. Функції та методи управління підприємством.
9. Стратегічні цілі: їх рівні, види та особливості . Процес формування цілей.
10. Основні виробничі фонди: економічна суть, склад, структура (технологічна, галузева, вікова), тенденції в їх динаміці, вплив окремих груп та видів основних виробничих фондів на підвищення ефективності діяльності підприємства.

## Розділ 1 Теоретична електротехніка

### Тема 1. Основні поняття електромагнітного поля і електричних кіл

Загальна характеристика задач теорії електромагнітного поля та теорії електричних і магнітних кіл. Основні рівняння електромагнітного поля в інтегральній формі. Енергія, сили і механічні прояви електричного і магнітного полів. Основні параметри електричних і магнітних полів в інтегральній формі. Постановка задач автоматизованого проектування електротехнічних пристроїв.

### Тема 2. Теорія лінійних електричних кіл

Електричні і електронні кола в системах передачі і перетворення енергії та інформації. Класифікація кіл і їх елементів. Двополюсники і багатополіусники. Керовані джерела. Індуктивно-зв'язані елементи. Графи і топологічні матриці електричних схем, топологічні рівняння. Закон Ома для узагальненої вітки, матричні компонентні рівняння. Вузлові і розширені вузлові рівняння, контурні рівняння. Чисельні методи розв'язку рівнянь кіл при усталених режимах. Точні та ітераційні методи. Метод Гауса; розклад матриць на трикутні співмножники; чисельні методи обернення матриць. Умови збіжності ітераційних методів. Розрахунок вхідних і передаточних функцій в символічній формі. Топологічні методи аналізу. Сигнальні графи і їх застосування до аналізу електричних кіл.

Багатофазні кола. Розрахунок симетричних і несиметричних трифазних кіл. Метод симетричних складових.

Багатополіусники; матриці багатополіусників. Основні рівняння регулярних чотириполіусників. Характеристичні опори і коефіцієнт передачі.

Заступні схеми взаємних і невзаємних чотириполіусників. З'єднання чотириполіусників. Чотириполіусники із зворотними зв'язками. Особливості формування рівнянь кіл із багатополіусними компонентами. Гібридні рівняння. Генератори і конвертори опору.

Електричні кола з негармонічними напругами і струмами. Гармонічний аналіз періодичних функцій. Діюче значення і потужність. Сигнали і їх спектри. Спектральна густина. Перетворення сигналів лінійними системами. Елементи теорії фільтрів. Реактивні фільтри. Безіндукційні фільтри. Частотні характеристики і методи їх розрахунку.

Перехідні процеси в лінійних колах. Аналіз динамічних процесів в часовій області. Класичний метод. Особливості розрахунку при наявності ємнісних контурів та індуктивних перерізів. Складання та чисельні методи розв'язку рівнянь стану. Дискретні схемні моделі компонентів кола і їх застосування для чисельного розв'язку рівнянь стану. Аналіз динамічних процесів в частотній області. Застосування перетворень Лапласа і Фур'є для розрахунку перехідних процесів. Наближені і числові методи спектрального аналізу. Зв'язок перехідних і частотних характеристик.

Елементи синтезу лінійних кіл. Властивості функцій і методи реалізації двополіусників і чотириполіусників пасивних електричних кіл. Синтез безіндуктивних чотириполіусників з активними і невзаємними елементами.

Кола з розподіленими параметрами. Основні рівняння довгих ліній і їх розв'язок для усталених синусоїдних коливань. Перехідні процеси в колах з розподіленими параметрами.

### **Тема 3. Теорія нелінійних електричних кіл**

Усталені процеси в нелінійних колах. Методи розрахунку нелінійних електричних і магнітних кіл при постійних струмах і напругах. Особливості нелінійних кіл змінного струму і методи їх розрахунку. Аналіз усталених процесів в нелінійних колах змінного струму. Формування та чисельні методи розв'язку алгебраїчних рівнянь нелінійних резистивних електричних кіл. Метод малого параметру.

Перехідні процеси в нелінійних колах. Основні методи аналізу. Асимптотичні методи. Метод збурення. Метод гармонічного балансу і частотні властивості нелінійних кіл. Фазова площина. Метод змінних стану. Чисельні методи розв'язку нелінійних рівнянь стану. Методи неявного інтегрування. Дискретні моделі нелінійних реактивних елементів і їх застосування для розрахунку динамічних процесів.

Автоколивання. Майже гармонійні коливання. Релаксаційні коливання. Стійкість. Енергетичні співвідношення. Машинний метод розрахунку періодичних і автоколивальних режимів.

Основні вектори і основні рівняння електромагнітного поля. Системи

рівнянь Максвелла. Електродинамічні потенціали. Граничні умови. Енергія. Теорема Умова-Пойнтінга. Теорема Гауса.

Статичні поля. Основні рівняння електричного і магнітного статичного поля. Краєві задачі і методи їх розв'язку. Метод конформних перетворень і метод розділення змінних. Чисельні методи розв'язку крайових задач: метод сіток, метод кінцевих елементів. Метод інтегральних рівнянь теорії потенціалу і його чисельна реалізація. Ємність, ємнісні і потенційні коефіцієнти.

Стаціонарні електричні і магнітні поля. Основні рівняння поля. Диференційна форма законів Ома, Ленца-Джоуля, Кірхгофа. Подібність статичних і стаціонарних полів. Векторний магнітний потенціал. Потокощеплення. Власна і взаємна індуктивність. Застосування методу інтегральних рівнянь.

Змінне електромагнітне поле в провідному середовищі. Хвилі в провідних середовищах. Поверхневий ефект. Проникнення магнітного поля в масив феромагнетика для прямокутної характеристики намагнічування. Моделювання змінних полів в провідних середовищах.

Електромагнітні хвилі і випромінювання. Хвильове рівняння і його розв'язок. Гармонійні хвилі в ідеальному діелектрику. Відбиття електромагнітних хвиль. Хвилі в просторі, обмеженому провідними границями. Хвилеводи і резонатори. Типи хвиль. Фазова і групова швидкість. Рівняння Даламбера. Випромінювання квантових генераторів. Електромагнітні поля в реальних діелектриках, феромагнетиках і анізотропних середовищах. Комплексні параметри середовища.

Чисельні методи розрахунку нестаціонарних полів. Електромагнітні поля в рухомих середовищах. Основні рівняння магнітної гідродинаміки.

### ЛІТЕРАТУРА:

1. Бойко В.С. Теоретичні основи електротехніки: В 3-х т. Підручн. для студ. електротехн. спеціальн. вищих закл. осв. Том 1 / В.С. Бойко, В.В. Бойко, Ю.Ф. Видолоб [та ін.]; за заг. ред. І.М. Чиженка, В.С. Бойка. – К.: ІВЦ «Політехніка», 2004. – 272 с.
2. Бойко В.С. Теоретичні основи електротехніки: В 3-х т. Підручн. для студ. електротехн. спеціальн. вищих закл. осв. Том 2 / В.С. Бойко, В.В. Бойко, Ю.Ф. Видолоб [та ін.]; за заг. ред. І.М. Чиженка, В.С. Бойка. – К.: ІВЦ «Політехніка», 2008. – 224 с.
3. Бойко В.С. Теоретичні основи електротехніки: В 3-х т. Підручн. для студ. електротехн. спеціальн. вищих закл. осв. Том 3 / В.С. Бойко, В.В. Бойко, Ю.Ф. Видолоб [та ін.]; за заг. ред. І.М. Чиженка, В.С. Бойка. – К.: ІВЦ «Політехніка», 2013. – 244 с.

## Розділ 2 Техніка сильних електричних та магнітних полів

Тема 1. Електрофізичні основи техніки сильних електричних та магнітних полів

Утворення та нейтралізація заряджених частинок в газі. Рух заряджених частинок в газі. Умова самостійності розряду в газі. Початкові напруги проміжків з однорідним та неоднорідним електричним полем. Лавинна теорія пробою Таунсенда-Роговського. Закон Пашена. Стримерна теорія пробою. Особливості пробою довгих повітряних проміжків, лідерний процес. Характеристики та особливості застосування елегазу. Перекриття твердої ізоляції в повітрі. Способи підвищення напруги перекриття ізоляційних конструкцій. Коронний розряд постійного струму. Втрати на корону на лінії електропередачі. Радіозавади від коронного розряду. Електропровідність рідин в сильних електричних полях. Передрозрядні процеси в рідинах. Запалювання розряду. Динаміка імпульсного розряду в рідинах. Пробій рідких діелектриків з домішками. Теорія теплового пробою твердих діелектриків. Теорія електричного пробою твердих діелектриків. Пробій неоднорідних твердих діелектриків. Часткові розряди. Старіння ізоляції. Розряд по забрудненій та зволоженій поверхні ізолятора.

## **Тема 2. Грозові перенапруги і грозозахист електричних установок**

Характеристики та параметри розрядів блискавки. Грозозахисне заземлення. Методи розрахунку та моделювання. Індуковані перенапруги на повітряних лініях. Перенапруги прямого удару блискавки в лініях електропередачі. Захист від прямих ударів блискавки. Зони захисту блискавковідводів. Методика визначення імовірності прориву блискавки. Розповсюдження хвиль в лінії. Заломлення та відбиття хвиль в лініях електропередачі. Вплив імпульсної корони на хвильові процеси в лініях електропередачі. Грозозахист підстанцій. Трубочасті та вентильні розрядники. Нелінійні обмежувачі перенапруг. Число грозових відключень повітряних ліній електропередачі, АПВ. Показник грозоопірності підстанцій. Грозозахист повітряних ліній електропередачі.

## **Тема 3. Внутрішні перенапруги в електричних системах і їх обмеження**

Внутрішні перенапруги в мережах з ізолюваною нейтраллю. Роль дугопогашувальних апаратів. Перенапруги при вимкненні ненавантажених ліній. Перенапруги при вимкненні ненавантажених трансформаторів. Резонансні перенапруги в лініях електропередачі. Обмеження внутрішніх перенапруг. Статистичні характеристики внутрішніх перенапруг. Розрахункова кратність внутрішніх перенапруг.

## **Тема 4. Ізоляція установок високої напруги та високовольтні випробувальні установки**

Методи регулювання електричних полів в ізоляційних конструкціях. Ізоляція повітряних ліній електропередачі. Основні види внутрішньої ізоляції. Короткочасна та довготривала електрична міцність. Ізоляція силових трансформаторів. Ізоляція силових кабелів. Ізоляція силових конденсаторів. Ізоляція обертових електричних машин. Високовольтні вводи. Випробування

зовнішньої ізоляції. Випробування внутрішньої ізоляції. Діагностування внутрішньої ізоляції. Трансформаторні установки для випробування ізоляції. Випробувальні високовольтні установки постійного струму. Генератори імпульсних напруг. Методи генерування комутаційних імпульсів.

### **Тема 5. Техніка високих напруг та великих струмів**

Вимірювання імпульсів високої напруги. Подільники напруги. Вимірювання високої постійної та змінної напруги. Вимірювання великих імпульсних струмів. Вимірювання ємності та кута діелектричних втрат. Сильноточні імпульсні розряди та їх застосування. Зарядження макроскопічних частинок та їх рух в електричному полі. Електрофільтри та електросепаратори. Екологічні фактори повітряних та кабельних ліній надвисокої напруги.

### **ЛІТЕРАТУРА**

1. Бржезицький В.О., Ісакова А.В., Рудаков В.В. та ін. Техніка і електрофізика високих напруг: Навч. посібник / За ред. В.О.Бржезицького та В.М. Михайлова. – Харків: НТУ «ХП» – Торнадо, 2005. 930 с.
2. Собчук В.С. Техніка та електрофізика високих напруг: навчальний посібник – Вінниця, ВНТУ, 2003. – 85 с.
3. Техніка високих напруг: навчальний посібник / МОН МС України; Майструк Е. В., уклад. – Чернівці: Чернівецький національний університет, 2012. – 128 с.

## **Розділ 3 Електричні станції, мережі і системи**

### **Тема 1 Електричні станції**

Особливості технологічного режиму електричних станцій різного типу.

Особливості головних схем і схем власних потреб електростанцій різного типу.

Режими роботи синхронних генераторів та їх системи збудження. Режими роботи синхронних двигунів та їх системи збудження.

Режими роботи електродвигунів власних потреб електростанцій при нормальних та аномальних умовах.

Режими роботи синхронних компенсаторів та їх системи збудження.

Системи управління, контролю та сигналізації на електростанціях та підстанціях.

Заземлюючі пристрої електричних установок.

Симетричні та несиметричні короткі замикання. Складні види пошкоджень. Складання схем заміщення для розрахунків. Допущення, які застосовуються.

Методи оцінки надійності схем електричних з'єднань електричних установок.

Практичні методи розрахунку струмів к.з.

Сучасна теорія стійкості. Поняття про перший та другий (прямий)

методах Ляпунова. Практичні критерії статичної стійкості.

Протікання процесу в часі при великих та малих збуреннях.

## **Тема 2 Електричні системи та мережі**

Схеми заміщення елементів електричних мереж. Розрахункові схеми електричних систем. Зведене та розрахункове навантаження.

Втрати потужності та енергії в лініях та трансформаторах та їх визначення по графікам навантажень та часу найбільших втрат.

Розрахунок режиму напруги в електричних мережах систем. Падіння напруги та втрати напруги.

Основні методи розрахунку режимів роботи складнозамкнених електричних мереж. Метод вузлових потенціалів. Метод розрізання контурів. Методи розв'язку рівнянь усталеного режиму електричної мережі. Ітераційні методи: проста ітерація, метод Зейделя, метод Ньютона-Рафсона.

Поняття режиму електроенергетичної системи. Локальні та загальносистемні параметри режимів електричних систем. Класифікація режимів електроенергетичних систем. Вимоги до режимів електроенергетичних систем.

Характеристика потужності ідеалізованої електропередачі. Пропускна здатність електропередачі. Статична стійкість електропередачі. Кругові діаграми електропередачі.

Динамічна стійкість електропередачі. Критерії динамічної стійкості електропередачі. Каскадні аварії та живучість електроенергетичних систем.

Неоднорідність електричних мереж. Фактори, які визначають неоднорідність електричних мереж. Прояви неоднорідності електричних мереж. Способи компенсації неоднорідності електричних мереж.

Дальні електропередачі. Шляхи, методи та засоби збільшення пропускної здатності та економічності роботи дальніх електропередач.

Аналітичний та графоаналітичний методи аналізу режимів роботи ДЕП. Штучні заходи по підвищенню пропускної здатності та дальності передачі електроенергії змінним струмом.

Дальні електропередачі постійного струму. Техніко-економічні показники дальніх передач на змінному та постійному струмах, їх порівнювання та перспективи застосування.

Регулювання напруги та економічні режими електричних систем. Якість електричної енергії та її характеристики. Відхилення та коливання напруги, причини їх виникнення, граничні величини, вплив на роботу електроприймачів.

Засоби та способи регулювання напруги в електричних мережах енергосистем. Розрахунок параметрів компенсуючих пристроїв. Лавина напруги. Вибір місця встановлення в мережі компенсуючих пристроїв повздовжньої та поперечної компенсації.

Трансформаторні засоби регулювання напруги в електричних мережах енергосистем. Поняття про зустрічне регулювання напруги. Схеми регулювання напруги за допомогою автотрансформаторів. Повздовжнє та поперечне регулювання напруги за допомогою ВДТ.

Баланс активної та реактивної потужності та якість електроенергії в

системах. Баланс та резерв активної потужності в енергосистемах. Регулювання частоти в енергосистемах. Первинне регулювання частоти, недоліки первинного регулювання. Вторинне регулювання частоти. Регулювання частоти в аварійних режимах. Поняття про автоматичне частотне розвантаження та системи частотного автоматичного повторного включення. Особливості регулювання частоти в об'єднаних енергосистемах.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Сулейманов В. М. Електричні мережі та системи: підручн. / В. М. Сулейманов, Т. Л. Кацадзе. – Київ: НТУУ «КПІ», 2008. – 456 с. – ISBN 978-966-622-300-8.

### Розділ 4 Електромеханічні системи автоматизації та електропривод

Класифікація пристроїв автоматики, їх основні особливості. Системи автоматичного керування (САК), функціональна схема САК та її елементи. Системи стабілізації, програмного регулювання, слідкуючі. Розімкнені САК: компенсаційні та програмного керування. Комбіноване керування. Загальні відомості про елементи САК. Зворотні зв'язки у САК. Зворотний зв'язок та коефіцієнт підсилення.

Умови рівноважного стану САР. Статичні характеристики при послідовному та паралельному з'єднанні ланок. Характеристика ланок із зворотним зв'язком. Статична похибка та коефіцієнт підсилення. Протиріччя

вимог статички і динаміки. Статична похибка при комбінованому керуванні. Форми запису рівнянь статички.

Складання рівнянь динаміки ланок. Методика складання рівнянь. Принцип детектування. Гіпотеза малих відхилень Вишнеградського. Методи лінеаризації. Форми запису рівнянь динаміки. Операторна форма та ін. Типові ланки САР. Рівняння та часові характеристики ланок.

Передаточні функції, частотні характеристики ланок. Призначення передаточних функцій і частотних характеристик. Передаточні функції та АФЧХ при послідовному та паралельному з'єднанні ланок, для ланок із зворотним зв'язком.

Логарифмічні частотні характеристики, їх особливості і призначення, побудова логарифмічних характеристик. АФЧХ і логарифмічні характеристики типових ланок.

Показники якості САР. Дискретні системи, їх класифікація. Різницеві рівняння, перетворення, передаточні функції імпульсних систем. Частотні характеристики дискретних систем. Методи дослідження стійкості імпульсних систем (критерій Гурвіца, Михайлова, Найквіста та ін.) Синтез дискретних коригуючих пристроїв методом логарифмічних псевдочастотних характеристик.

Екстремальні САК. Особливості та межі застосування. Поняття про функцію користі та оптимальне керування.

Загальні відомості про електропривод. Призначення, особливості, задачі.

Види електроприводів. Функціональна схема електропривода.

Механічна частина електропривода. Кінематичні та розрахункові схеми. Статичні навантаження. Врахування втрат. Рівняння руху.

Електродвигуни постійного струму. Електромеханічні характеристики. Природна характеристика. Види штучних характеристик. Гальмівні режими. Динамічні властивості. Характеристики двигунів постійного струму з послідовним, змішаним або комбінованим збудженням.

Асинхронні електродвигуни. Одержання механічної характеристики. Ковзання. Природна механічна характеристика. Види штучних характеристик. Гальмівні режими. Побудова штучних характеристик. Динамічні властивості.

Синхронні електродвигуни. Принцип дії. Кутова характеристика.

Гальмівні режими. Динамічна властивості. Переваги та недоліки.

Електромеханічна система. Рівняння та структурна схема. Динамічні властивості.

Оптимальні перехідні процеси: по швидкодії, витратам електроенергії з обмеженням по моменту, прискоренню або ривку. Відпрацювання ступінчатого керуючого та збурюючого впливу. Плавний пуск. Реверс. Особливості перехідних процесів для електродвигунів змінного струму.

Теплові перехідні процеси. Номінальні режими електродвигунів. Методи еквівалентного струму, моменту, потужності. Вибір потужності двигуна.

Регулювання координат електропривода. Види керування та основні функції ЕП. Система перетворювач частоти-асинхронний двигун. Точність. Діапазон регулювання. Електропривод при підпорядкованому регулюванні координат. Регулювання моменту, струму, швидкості.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Попович М. Г., Ковальчук О. В., Теорія автоматичного керування: Підручник. - К.: Либідь, 1997.
2. Теорія електропривода: Підручник / За ред. М. Г. Поповича. - К.: Вища школа, 1993.
3. Leonhard W. Control of Electrical Drives. (3rd edition) // Berlin: Springer-Verlag, 2001. – 460 p.
4. Bose B. K. Power Electronics and Variable Frequency Drives // IEEE Press, 1997. – 639 p.
5. Novotny D. W., Lorenz R. D. Introduction to field orientation and high performance AC drives // IEEE Press, 1985. – 200 p.

## Розділ 5 Електричні машини і апарати

### Тема 1. Машини постійного струму

- Конструкція та принцип дії машини постійного струму (МПС).
- Обмотки якоря МПС. Прості та складні петльові і хвильові обмотки.
- Процеси комутації в МПС. Способи покращення комутації: додаткові полюси, зсув щіток, тощо. Компенсаційна обмотка.
- Вирази для електрорушійної сили (ЕРС) і електромагнітного

моменту МПС. Явище реакції якоря та його вплив на магнітний потік збудження.

- Генератори постійного струму (ГПС). ГПС з незалежним, паралельним і змішаним збудженням та їх характеристики. Умови самозбудження ГПС.

- Двигуни постійного струму (ДПС). ДПС з незалежним, паралельним, змішаним і послідовним збудженням та їх характеристики.

- Пуск та способи регулювання швидкості обертання ДПС.

- Вибір величини пускових опорів. Режим електромагнітного гальмування ДПС.

- Тягові ДПС. Робочі характеристики ДПС з послідовним збудженням.

## **Тема 2. Трансформатори**

- Будова та принцип дії трансформатора. Класифікація трансформаторів. Коефіцієнт трансформації. Конструкція обмоток та магнітопроводу трифазних трансформаторів.

- Схеми та групи з'єднання обмоток однофазних та трифазних трансформаторів.

- Вищі гармонійні в кривій намагнічуючого струму, магнітного потоку та фазних ЕРС трифазних трансформаторів при різних способах з'єднання первинних та вторинних обмоток.

- Приведення вторинної обмотки трансформаторів до первинної обмотки.

- Режими неробочого (холостого) ходу (ХХ) та короткого замикання (КЗ) трансформаторів. Напруга КЗ та струм ХХ. Втрати в режимах ХХ і КЗ. Експериментальне визначення параметрів схеми заміщення.

- Робота трансформаторів під навантаженням. Основні математичні рівняння. Схеми заміщення трансформатора.

- Векторні та енергетичні діаграми. Визначення ККД трансформатора.

- Зовнішня характеристика трансформатора при роботі з різним характером навантаження ( $R$ ,  $L$ ,  $C$ ).

- Паралельна робота трансформаторів. Умови вмикання трансформаторів на паралельну роботу.

- Спеціальні типи трансформаторів. Автотрансформатори та багатообмоткові трансформатори.

- Несиметричні режими роботи трансформаторів. Метод симетричних складових.

## **Тема 3. Загальні питання теорії машин змінного струму**

- Конструкція машин змінного струму. Ізоляція обмоток. Умови отримання обертового магнітного поля в машинах змінного струму.

- Принципи будови та основні типи обмоток змінного струму.

- Магнітне поле машин змінного струму та його розрахунок. Індуктивність та взаємодуктивність обмоток. Магнітні потоки взаємодукції та розсіювання обмоток.

- ЕРС витка, котушки, фази обмотки змінного струму. Обмоткові коефіцієнти. Способи зменшення вищих гармонік в ЕРС. Скіс пазів.
- Магніторушійні сили(МРС) обмоток машин змінного струму. Вищі гармоніки МРС.

#### **Тема 4. Асинхронні машини**

- Конструкція та принцип дії асинхронної машини. Ковзання. Асинхронна машина з короткозамкненим і фазним ротором.
- Рівняння електричних кіл обмоток статора та ротора. Приведення обмотки ротора до обмотки статора. Схема заміщення асинхронної машини.
- Режими роботи асинхронної машини: двигунний, генераторний, електромагнітного гальма. Векторні та енергетичні діаграми.
- Механічна характеристика асинхронної машини. Максимальний момент та критичне ковзання. Робочі характеристики асинхронного двигуна .
- Пуск трифазних асинхронних двигунів з короткозамкненим і фазним ротором. Двигуни з покращеними пусковими характеристиками (глибокопазні, з подвійною кліткою ротора).
- Способи регулювання швидкості обертання асинхронних двигунів.
- Автономний асинхронний генератор. Умови самозбудження.
- Типи однофазних асинхронних двигунів (з пусковою обмоткою, конденсаторні), способи запуску їх та характеристики.
- Несиметричні режими роботи асинхронних машин. Вплив несиметрії напруги живлення і параметрів обмоток на механічні характеристики асинхронних двигунів.

#### **Тема 5. Синхронні машини**

- Конструкція та принцип дії синхронної машини. Явнополюсні і неявнополюсні машини.
- Синхронна машина в режимі неробочого (холостого) ходу. Вимоги дорозподілу магнітного поля в повітряному проміжку.
- Явище реакції якоря в синхронній машині та фактори, що на нього впливають.
- Рівняння, параметри та векторні діаграми трифазного синхронного генератора при симетричному навантаженні.
- Автономний синхронний генератор та його характеристики.
- Паралельна робота синхронного генератора з мережею. Умови та способи вмикання синхронного генератора на паралельну роботу, V - подібні характеристики, регулювання активної та реактивної потужності СМ.
- Куткові характеристики синхронної машини. Статична та динамічна стійкість роботи синхронної машини.
- Синхронний двигун та синхронний компенсатор. Способи запуску. Векторні діаграми. Робочі та V - подібні характеристики.
- Перехідні, асинхронні та несиметричні режими роботи синхронної машини. Індуктивні опори синхронної машини в перехідних та несиметричних режимах роботи.

## **Розділ 6 Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії**

### **Тема 1. Вітроенергетика**

Основні параметри вітрового потоку і засоби їх описання в часі і просторі. Типи вітроустановок і вітрогенераторів. Їх переваги і недоліки. Основні положення аеромеханічного розрахунку вітрогенераторів. Особливості електричних схем вітрогенераторів постійного струму і їх використання. Особливості електричних схем вітрогенераторів змінного струму і їх використання. Характерні режими роботи вітрогенераторів (пуск, номінальний режим, зупинка) і алгоритми їх реалізації. Методи і технічні засоби стабілізації частоти обертання вітрогенераторів.

### **Тема 2. Сонячна енергетика**

Основні параметри, які характеризують потік сонячної енергії. Електродинамічні підходи до описання взаємодії сонячного випромінювання з атмосферою і конструктивними елементами сонячних колекторів і фотобатарей. Основні конструкції сонячних колекторів і фотобатарей. Моделі генерації електрорушійної сили в фотоелектричних перетворювачах. Моделі генерації тепловиділення при взаємодії сонячного випромінювання з елементами сонячних колекторів і фотобатарей. Моделі теплового стану сонячних колекторів і фотобатарей. Структури і схеми активних і пасивних систем сонячного теплопостачання будівель і споруд. Особливості сонячних енергетичних систем з використанням концентрованого сонячного випромінювання.

### **Тема 3. Перетворення та акумулювання енергії відновлювальних джерел**

Принцип дії хімічних джерел струму. Схеми використання електричних акумуляторів в системах енергопостачання. Основні типи електрохімічних акумуляторів електричної енергії. Схеми використання теплових акумуляторів в системах теплопостачання. Принципи розрахунку теплових та електричних акумуляторів енергії.

### **Тема 4. Комплексне використання відновлювальних джерел енергії**

Енерготехнологічні вузли. Методи оптимізації параметрів комбінованих систем теплопостачання. вимоги до комбінованих систем енергопостачання. Принципи побудови комбінованих систем енергопостачання.

### **Тема 5. Використання геотермальних ресурсів**

Основні параметри геотермальної енергії. Методи моделювання геотермальних колекторів і свердловин. Варіанти схем використання геотермальної енергії для потреб електропостачання. Типові схеми видобутку геотермальних ресурсів.

## **Тема 6. Використання інших видів відновлювальних джерел енергії**

Принцип дії енергоустановок, які використовують енергію малих рік. Принцип дії хвильових енергетичних установок. Принцип дії біоенергетичних установок. Принцип роботи енергоустановок, які використовують температурні і концентраційні градієнти в морській воді. Принцип дії магнітогідродинамічних генераторів. Принцип дії термоемісійних генераторів. Принцип дії термоелектричних генераторів і термохолодильників. Принцип дії компресорних і абсорбційних теплонасосних установок.

### **СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ**

1. Вступ до спеціальності. Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії : електронний курс лекцій / С.О. Кудря, В.І. Будько – Київ: Національний технічний університет України («КПІ»), 2013. – 360 с.
2. Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії: підруч. / С. О. Кудря. – К. : НТУУ «КПІ», 2012. – 492с.
3. Основи конструювання енергоустановок з відновлюваними джерелами енергії : навч. посіб. / С. О. Кудря, В. М. Головки. – К. : НТУУ «КПІ», 2011. – 184с.
4. Атлас енергетичного потенціалу відновлюваних джерел енергії України / С. О. Кудря, В. Ф. Резцов, Т. В. Суржик та інші. – Київ: Інститут відновлюваної енергетики НАН України, 2012. – 60 с. Видано в 2013 р.

## **Розділ 7 Системи забезпечення споживачів електричною енергією, електротехнічні комплекси, електромеханічні системи, автоматизація електротехнічних та електротехнологічних комплексів, енергетичний менеджмент та енергоефективність**

### **1. Характеристика енергетичних комплексів та систем.**

1.1 Енергетичне господарство та його елементи. Основні види паливно-енергетичних ресурсів, їх класифікація. Паливно-енергетичний комплекс як складова частина економіки. Зовнішній та внутрішній зв'язки паливно-енергетичного комплексу.

1.2 Технологічні системи паливно-енергетичного комплексу. Вугільна промисловість. Нафтова та нафтопереробна промисловість. Газова промисловість. Електроенергетика. Ядерна енергетика. Теплопостачання.

1.3 Економічні аспекти енергетики. Енергетика як природна монополія. Методи формування цін і тарифів на паливо та енергію. Податки та інвестиції в енергетиці. Вплив цінових і податкових факторів на обсяги споживання палива і енергії. Методи економічного регулювання в енергетиці.

## **2. Системні дослідження в енергетиці.**

2.1 Енергетика як об'єкт системних досліджень. Основні поняття системних досліджень. Ієрархія великих систем енергетики. Об'єктивні тенденції розвитку та функціонування систем енергетики.

2.2 Властивості систем енергетики. Властивості розвитку, неповноти інформації, недостатньої визначеності оптимальних рішень, динамічності великих систем енергетики. Надійність енергетичних систем та комплексів.

2.3 Математичний апарат системних досліджень в енергетиці. Імовірнісні методи та сфера їх застосування в енергетиці. Теорія оптимального управління. Статистичне моделювання. Математична економіка.

## **3. Паливно-енергетичний баланс.**

3.1 Поняття про єдиний енергетичний баланс. Різноманітні види паливно-енергетичних балансів та їх структура Паливно-енергетичний баланс та окремі баланси паливно-енергетичних ресурсів по видам. Графічні діаграми для вивчення структури паливно-енергетичних балансів. Аналіз основних витрат палива та енергії.

3.2 Структура та тенденції енергоспоживання. Методичні підходи до прогнозування енергоспоживання. Показники енергомісткості об'єктів енергоспоживання та їх аналіз. Тенденції зміни структури енергоспоживання. Вибір оптимальної структури енергоносіїв.

## **4. Економіко-математичне моделювання енергетичних систем та комплексів.**

4.1 Техніко-економічні розрахунки енергетичних систем та комплексів. Структура капітальних вкладень та експлуатаційних витрат об'єктів паливно-енергетичного комплексу та його технологічних систем. Ціни та кінцеві витрати на паливно-енергетичні ресурси. Збитки від недопоставок енергоресурсів та забруднення навколишнього середовища. Врахування надійності при оптимізації систем енергетики, оцінювання технічних ризиків інноваційних розробок.

4.2 Багаторівнева система моделей для оптимізації розвитку паливно-енергетичного комплексу. Вибір раціонального числа рівнів ієрархії у системі моделей. Етапи індикативного планування та прогнозування. Типи економіко-математичних моделей для оптимізації структури паливно-енергетичного комплексу.

4.3 Моделювання оптимального розвитку паливно-енергетичного комплексу з урахуванням надійності. Задача оптимального резервування

структури паливно-енергетичного комплексу та його технологічних систем з урахуванням взаємозамінності енергоносіїв. Вузлові нормативи надійності енергопостачання. Живучість енергетичних систем та комплексів.

## **5. Призначення та характеристики електротехнічних комплексів.**

5.1 Ефективність використання електричної енергії та її перетворення в інші види енергії при реалізації технологічних процесів.

5.2 Особливості побудови та функціонування електромеханічних, електротермічних, електрозварювальних, електрохімічних, електроіскрових, електростатичних, магнітостатичних та магнітодинамічних установок.

5.3 Загальна характеристика автоматизованих систем керування технологічними процесами.

## **6. Елементи електротехнічних комплексів**

6.1 Електромашинні перетворювачі. Силкові трансформатори, їх види та режими роботи. Реактори для кіл змінного та постійного струму.

6.2 Електричні машини змінного та постійного струму: їх типи, принципи та режими роботи.

6.3 Некеровані випрямлячі змінного струму. Керовані тиристорні випрямлячі одно- та трифазного струму. Інвертори струму та напруги. Резонансні інвертори. Тиристорні та транзисторні перетворювачі частоти змінного струму. Напівпровідникові перетворювачі змінної напруги. Стабілізатори напруги та струму. Широтноімпульсні перетворювачі. Системи імпульсно-фазового керування. Магнітно-тиристорний перетворювач напруги. Активні фільтри. Фільтро-компенсуючі пристрої. Електромеханічні пристрої автоматизованих електроприводів. Давачі та задавачі координат електроприводу. Акумулятори та накопичувачі енергії для електроживлення (електрохімічні, електричні, електромеханічні): побудова, принцип роботи та основні показники.

6.4 Комутаційні елементи та їх характеристика. Роз'єднувачі і високовольтні вимикачі. Комутатори імпульсних джерел струму. Напівпровідникові та надпровідникові комутатори струму. Інтегральні модулі та мікропроцесори.

## **7. Електромеханічні системи**

7.1 Загальна функціональна схема електромеханічної системи. Характеристики типових навантажень регульованих електроприводів. Розрахункові схеми та математичні моделі механічної частини

електроприводів. Рівняння руху. Режими роботи електроприводів. Режими функціонування мехатронних імпульсних систем.

7.2 Структурна схема та математична модель узагальненої електричної машини. Режими перетворення електричної енергії. Електромеханічні властивості та структури схеми електродвигунів постійного струму з незалежним, послідовним та змішаним збудженням; змінного струму: асинхронних та синхронних, їх робочі та пускові характеристики. Способи регулювання швидкостей. Конструктивні властивості, характеристики та режими роботи вентильного та крокового електродвигунів. Взаємозв'язаний електропривод. Структурні схеми, регульовальні властивості, показники якості динамки та статички типових структур електромеханічних систем на основі електроприводів постійного та змінного струму за схемою “керований перетворювач-двигун”. Системи типу “керований перетворювач-двигун” в електроприводах постійного та змінного струму і особливості регулювання моменту (струму) та швидкості в

системах: “керований перетворювач - двигун постійного струму”, “генератор-двигун”, перетворювач частоти - асинхронний (синхронний) двигун, “тиристорний регулятор напруги - асинхронний двигун”.

7.3 Структурна схема та математична модель мехатронної системи технологічного комплексу. Системи електрогідравлічного керування з адаптивними функціями. Способи регулювання енергетичних параметрів виконавчих органів. Конструктивні властивості, характеристики та режими роботи електрогідравлічного приводу мехатронної системи. Системи типу “виконавчий орган – робоче середовище” в мехатронних системах з інтелектуальним керуванням. Статистичне моделювання електромеханічних систем та комплексів. Методи, теорія і засоби визначення стану технічних об'єктів.

7.4 Системи підпорядкованого керування координат електромеханічних систем, маніпуляторів та виконавчих органів комплексів.

7.5 Частотно-керовані асинхронні та синхронні електроприводи. Принципи керування (частотно-струмовий, скалярний та векторний). Способи та схеми векторного керування асинхронним та синхронним електроприводом. Бездавачеві системи електроприводу змінного струму, ідентифікація швидкості, моменту, потокозчеплення та параметрів заступної схеми асинхронного двигуна. Широтно-імпульсна та просторово-векторна модуляція в системах електроприводу змінного струму. Кроковий та вентильно-індукторний електропривод.

7.6 Регулювання швидкістю машин подвійного живлення. Каскадні схеми регулювання асинхронного електроприводу.

7.7 Схеми електромашиновентильних систем, їх статичні та динамічні характеристики. Особливості вибору електричних машин в електромашиновентильних системах.

7.8 Слідкуючі електропривод та електрогідропривод. Ковзний режим слідкуючого електроприводу з релейним регулятором. Мехатронне керування електрогідроприводом.

7.9 Динамічні режими роботи електроприводів та електрогідроприводів. Динаміка електромеханічних систем із жорстким та пружним кінематичним зв'язком.

7.10 Усталені режими роботи електроприводу та електрогідроприводу.

7.11 Методи аналізу динамічних властивостей електромеханічних систем. Передавальні та перехідні функції електромеханічних систем та їх елементів.

7.12 Рівняння руху елементів електрогідроприводу на основі рівнянь Нав'є-Стокса, Бернуллі та методів Даламбера і Лагранжа.

7.13 Визначення навантажень в вузлах кінематичних систем маніпуляторів методом супер-елементів. Побудова епюр зовнішнього навантаження та визначення надійності з застосуванням теорій міцності.

7.14 Стійкість лінійних та нелінійних систем. Алгебраїчні критерії, частотні критерії, функція Ляпунова, критерій Попова. Числові методи ідентифікації нелінійних систем.

7.15 Методи синтезу лінійних, нелінійних та дискретних систем автоматичного керування із заданими показниками якості динамки та статички. Адаптивні та робастні системи автоматичного керування, Застосування принципів адаптивного та робастного керування в електромеханічних системах.

7.16 Мікропроцесорне керування електромеханічними системами. Мікроконтролери. Програмовані логічні контролери. Сигнальні процесори.

7.17 Розрахунок та вибір потужністю електродвигунів. Оптимізація технологічних режимів об'єктів керування, енерго- та ресурсозбереження засобами електроприводу.

7.18 Нетрадиційні електромеханічні системи. Вітрогенераторні системи з постійною та змінною швидкостями турбіни. Структури систем оптимального керування вітрогенераторними установками. П'єзоелектричні перетворювачі та їх застосування в електромеханічних системах.

7.19 Електромеханічні системи з акумуляторами та накопичувачами енергії. Енергетична ефективність процесів заряджання і розряджання.

## **8. Електромеханотронні та робототехнічні системи та комплекси.**

8.1 Електромеханотронні перетворювачі з погляду функціональної

електромеханіки, енергетична та інформаційна підсистеми електромеханотронних перетворювачів.

8.2 Пристрої перетворення, діагностування, захисту електромеханотронних перетворювачів, їхні основні функції та складові.

8.3 Структурна схема, часова діаграма роботи, варіанти схем обмоток і комутатора вентильних двигунів зі збудженням від постійних магнітів та з пасивним ротором.

8.4 Еволюція схем керування вентильного двигуна, застосування спеціалізованих мікроконтролерів для їхнього функціонування без датчиків положення ротора в явному вигляді.

## **9. Електротехнологічні комплекси**

9.1 Класифікація електротехнологічних установок як споживачів електроенергії.

9.2 Електротехнічні установки контактного нагріву. Дугові сталеплавильні рудотермічні та плазмові установки для термічної обробки та плавлення матеріалів. Електрозварювальні установки. Індукційні установки нагріву, деформації, поверхневого загартовування, зонної плавки, перемішування, дозованого розливу та гранулювання металів. Установки діелектричного нагріву. Електроімпульсні установки іскрової обробки середовищ. Електропроменеві установки обробки високореактивних металів. Електрохімічні установки. Магнітоімпульсні та електрогідравлічні установки. Електричні та магнітні сепаратори. Електричні газові фільтри.

9.3 Сучасні системи та засоби енерго- та ресурсозбереження в електротехнологічних установках.

## **10. Електрофізичні установки.**

10.1 Електрофізичні установки для створення магнітного поля із заданою просторово- частотною структурою та установки для його випромінювання. Установки намагнічування та розмагнічування. Прилади та устаткування для вимірювань, досліджень електричних, магнітних та теплових властивостей матеріалів. Датчі на основі ефекту Холла. Вимірювання електричного опору, провідності, а також датчі на основі ефектів, що виникають на межі розділу середовищ.

## **11. Системи електропостачання технологічних та технічних комплексів.**

11.1 Структура та загальна характеристика систем електропостачання. Теоретичне обґрунтування розрахункового навантаження. Практичні методи

визначення розрахункового навантаження. Вимоги до надійності електропостачання Типові схеми побудови електричних мереж. Визначення параметрів елементів систем електропостачання (силові трансформатори, мережі напругою до та понад 1000 В). Методи розрахунку втрат електричної енергії в елементах систем електропостачання, сфера їх застосування. Організаційні та технічні заходи по зменшенню втрат електричної енергії. Сутність задачі компенсації реактивною потужності. Компенсація реактивної потужності в системах електропостачання промислових підприємств. Технічні засоби компенсації реактивної потужності. Показники якості електричної енергії та їх нормування. Електромагнітна сумісність електротехнічних та електротехнологічних установок у вузлах навантаження електричних мереж. Регулювання напруги в системах електропостачання. Організаційні заходи та технічні засоби нормалізації якості електроенергії.

## **12. Автономні системи електроспоживання стаціонарних та рухомих об'єктів.**

12.1 Характеристика джерел енергії, типи та основні параметри первинних перетворювачів електричної енергії для автономних систем живлення стаціонарних та рухомих об'єктів. Типи електричних генераторів та структури систем автоматичного керування електрогенераторними установками з теплоенергетичним, вітровим та водяним рушієм. Електрохімічні генератори на паливних комірках.

12.2 Гібридизація бортових джерел живлення для електротяги рухомих об'єктів та стратегії автоматичного керування. Автономні системи електроживлення з поновлювальними джерелами енергії.

## **13. Автоматизація електротехнологічних та електротехнічних комплексів.**

13.1 Електромеханічні системи автоматизації в прокатному виробництві. Автоматизація ковальсько-пресових машин. Електромеханічні системи автоматизації гірничо-видобувного устаткування та керування буровими верстатами, Системи керування металорізальними установками. Електромеханічні системи автоматизації папероробного та картонного виробництва. Електромеханічні системи керування маршрутним електротранспортом, кранами та ліфтами. Автоматизація насосного, компресорного і вентиляторного устаткування. Автоматизація змішувачів, центрифуг і сепаратора

13.2 Системи діагностики(системи технічного діагностування), контролю та захисту.

13.3 Цифрові та аналогові системи автоматизації електротехнічних та електротехнологічних комплексів. Типові структури аналогових та цифрових систем керування. Перетворення аналогових та цифрових сигналів. Аналогова та цифрова фільтрація. Аналогові та цифрові ПІД-регулятори. Програмовані логічні контролери.

#### **14. Енергозбереження в енергетичних системах та комплексах.**

14.1 Основні напрямки енергозберігаючої політики. Критерії вибору енергозберігаючих технологій. Основні напрямки та резерви енергозбереження. Ефективність енергозберігаючих заходів. Управління енергозбереженням.

14.2 Заходи з реалізації технічного потенціалу енергозбереження. Енергоефективні техніка та технології, матеріали та конструкції. Нетрадиційні та поновлювані джерела енергії. Система технічних та організаційних заходів з енергозбереження.

14.3 Структурні фактори енергозбереження. Структурне переозброєння виробничих комплексів. Оптимізація енерговикористання.

#### **15. Енергетичний менеджмент.**

15.1 Напрямки та завдання енергетичного менеджменту. Науково-методичне та метрологічне забезпечення.

15.2 Енергетичний аудит. Етапи Обстеження підприємства Вибір оптимального енергоносія. Система енергетичного менеджмента на промисловому підприємстві. Вимоги до енергоаудитора. Оцінка та моніторинг споживання енергії.

### **ЛІТЕРАТУРА**

1. На шляху до енергетичної ефективності. За ред. М.П. Ковалко, М.В. Ранцука, М.М. Кулика, О.О. Єрохіна. – Київ, Агентство з раціонального використання енергії та екології: 1997 р. – 227 с.

2. Теорія електроприводу. За ред. М.Г Поповича. - Київ: “Вища школа”, 1993. – 495 с.

3. Попович М.Г., Лозинський О.Ю., Клешков В.Б. та ін. Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи. – Київ, “Либідь”, 2005. – 697 с.

4. Костинюк Л.Д., Мороз В.І., Паранчук Я.С. Моделювання електроприводів – Львів, НУ “Львівська політехніка”, 2004. – 404 с.

5. Ткачук В.І. Електромеханотроніка. Підручник. – Львів:НУ “Львівська політехніка” 2006. – 440 с.

6. Півняк Г.Г., Волков О.В., Сучасні частотно-регульовані

електроприводи зі широтно-імпульсною модуляцією: Монографія. – Дніпропетровськ, НГУ, 2006. - 470 с.

7. Сліденко В.М., Шевчук С.П., Замараєва О.В. Лістовщик Л.К. Адаптивне функціонування імпульсних виконавчих органів гірничих машин: монографія.-К.: НТУУ "КПІ", 2013.-180 .

8. Потужна дисипація енергії коливань гірничих машин гетерогенними ліофобними системами/ Єрошенко В.А., Сліденко В.М., Шевчук С.П., Студенець В.П. - К.: НТУУ "КПІ", 2016 -180 с.

9. Сліденко В.М. Математичне моделювання ударно-хвильових процесів гідроімпульсних систем гірничих машин: монографія/ В.М.Сліденко, О.М.Сліденко – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во "Політехніка", 2017. - 220 с.

10. Шевчук С.П. Насосні, вентиляторні та пневматичні установки: підручн./ С.П.Шевчук, О.М. Попович, В.М.Світлицький. – К.: НТУУ «КПІ», 2010.-308с.

Голова фахової  
атестаційної комісії



Віктор КОВАЛЕНКО