

Вінницький національний технічний університет  
 Кафедра електричних станцій та систем  
 Факультет електроенергетики та електромеханіки

## Математичні задачі електроенергетики

(Обов'язковий)

I (бакалаврський) рівень вищої освіти

Галузь знань 14 – Електрична інженерія

Спеціальність 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Викладач: Комар В.О.

Мова викладання: українська

### 1. Опис навчальної дисципліни

Характеристика навчальної дисципліни	Галузь знань, напрям підготовки, освітньо-кваліфікаційний рівень	Характеристика навчальної дисципліни	
		денна форма навчання	заочна форма навчання
Кількість кредитів: <b>8</b>	<p><b>Галузь знань</b> 14 – Електрична інженерія</p> <p><b>Спеціальність</b> 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»</p> <p><b>Освітня програма</b> Електроенергетика та електротехніка</p> <p><b>Рівень вищої освіти:</b> перший бакалаврський</p>	<b>Рік підготовки</b>	
		2, 3	3
Загальна кількість годин: <b>240</b>		<b>Семестр</b>	
		3, 4-й	5, 6-й
Модулів: <b>4</b>		<b>Лекції</b>	
		54 год.	20
Змістовних модулів: <b>4</b>		<b>Практичні, семінарські</b>	
		18 год.	10 год.
Курсова робота/проект: <b>4/6</b>		<b>Лабораторні</b>	
		54	10
Підсумковий контроль: <b>залік, іспит</b>	<b>Самостійна робота</b>		
	114 год.	200 год.	

## 2. Передумови для вивчення дисципліни

Дисципліна «Математичні задачі електроенергетики» базується на знаннях та уміннях, отриманих студентами під час вивчення дисциплін «Вища математика», «Фізика», «Обчислювальна техніка та алгоритмічні мови», а також «Теоретичні основи електротехніки». З урахуванням знань дисципліни «Математичні задачі електроенергетики», «Електричні системи та мережі», «Перехідні процеси», «АСК електричних систем», «АСК електричних станцій».

## 3. Мета та завдання навчальної дисципліни

**Мета вивчення дисципліни.** Вивчення дисципліни «Математичні задачі електроенергетики» полягає в тому, щоб на основі наукової бази електротехніки, всебічного, системного вивчення її теоретичних основ, глибше опанувати методами дослідження функціонування електричних систем та їх елементів за допомогою комп'ютерів.

Основними завданнями вивчення дисципліни є: підвищення рівня використання комп'ютерного програмного забезпечення; виховання у студентів почуття причетності до електроенергетичної галузі; прищеплення студентам навичок наукового аналізу, спрямованих на забезпечення самостійного осмислення технічних задач; навчання практичним навичкам роботи з літературними джерелами і науковою літературою; виховання уміння застосовувати набуті знання у повсякденній діяльності, для вирішення наукових і прикладних інженерних задач.

**Завдання вивчення дисципліни.** Згідно з вимогами освітньо-професійної програми студенти повинні:

***вміти:***

- логічно та послідовно викласти засвоєний ним матеріал,
- складати і розв'язувати за допомогою комп'ютерної техніки рівняння стану електричної системи;
- користуватися стандартним математичним і програмним забезпеченням;
- досліджувати несиметричні, несинусоїдні та перехідні режими електричних систем;
- розв'язувати оптимізаційні задачі електроенергетики з використанням методів лінійного, нелінійного та динамічного програмування
- оцінювати стійкість електричних систем на підставі алгебраїчних та частотних критеріїв;
- користуватися методами теорії ймовірностей і математичної статистики для розв'язування електроенергетичних задач;

***знати:***

- правила і способи формування рівнянь стану електричної системи;
- методи розв'язування цих рівнянь;

- методи аналізу несиметричних, несинусоїдних режимів;
- порядок використання пакетів стандартних програм;
- методи лінійного, нелінійного та динамічного програмування;
- методи аналізу перехідних процесів та стійкості електричних систем;
- методи теорії ймовірностей і статистичного аналізу та їх застосування для розв'язування електроенергетичних задач.

**Компетентності, якими повинен оволодіти здобувач в результаті вивчення дисциплін**

Згідно з вимогами освітньо-професійної програми для успішного виконання професійних обов'язків за обраною спеціальністю у процесі вивчення даної дисципліни у бакалавра повинні бути сформовані такі компетентності:

*загально-професійні:*

- базові знання про заступні схеми електричних систем;
- базові знання про способи представлення джерел електричної енергії, електричних навантажень, ліній трансформаторів та інших елементів електричних систем на заступних схемах;
- здатність зображувати електричну мережу у вигляді графа та його розподіл на дерево і хорду та їх нумерацію;
- застосовувати перший та другий закони Кірхгофа у матричній формі;
- застосовувати методи розв'язування стану електричної системи (прямі і ітераційні);
- базові знання про виробництво електроенергії;
- базові знання про основи загальної та прикладної екології, принципи захисту і охорони природи від шкідливого впливу електричних станцій;

*спеціалізовано-професійні*

- здатність використовувати професійно профільовані знання в галузі математики для статистичної обробки експериментальних даних, математичного моделювання та розрахунку режимів електроенергетичних об'єктів;
- застосовувати методи пошуку оптимальних розв'язків задач електроенергетики;
- застосовувати методи лінійного програмування;
- застосовувати методи нелінійного програмування;
- знати транспортні задачі електроенергетики;
- застосовувати методи динамічного програмування, штрафних функцій, зовнішніх та внутрішніх штрафів, комбінованих штрафних функцій;
- вміти застосовувати методи розв'язання багатокритеріальних задач;
- застосовувати математичні моделі перехідних режимів;
- вміти досліджувати перехідні режими в електричних системах;
- застосовувати методи теорії ймовірностей та математичної статистики для розв'язування електроенергетичних задач.

## 4. Програма навчальної дисципліни

### Змістовий модуль 1.

Тема 1. Вступ. Мета і задачі дисципліни. Структура курсу. Література. Загальні відомості про заступні схеми електричних систем. Способи представлення джерел електричної енергії, електричних навантажень, ліній, трансформаторів та інших елементів електричних систем на заступних схемах.

Тема 2. Матричні рівняння стану для аналізу ustalених режимів електричних систем. Вузол, вітка, закон Ома для узагальненої вітки, перший та другий закони Кірхгофа. Векторне представлення параметрів режиму та системи.

Зображення електричної мережі у вигляді графа. Загальні поняття теорії графів. Перша матриця інциденцій. Друга матриця інциденцій. Розподіл графа на дерево і хорди. Нумерація віток дерева і хорд. Топологічні властивості схем.

Перший закон Кірхгофа у матричній формі. Визначення матриці струмів в розімкнутій схемі. Матриця спадів напруги на вітках схеми та її визначення на підставі I-ї матриці інциденцій. Другий закон Кірхгофа у матричній формі. Узагальнене рівняння стану електричного кола.

Вузлові та контурні рівняння. Послідовність розрахунків параметрів режиму електричної системи в методах вузлових і контурних рівнянь. Матриця коефіцієнтів розподілу визначальних струмів. Визначення та розподілення втрат потужності.

Тема 3. Методи розв'язування рівнянь стану ustalеного режиму електричної системи. Математична постановка задачі аналізу нормального ustalеного режиму електричних систем. Методи розв'язування стану електричної системи (прямі і ітераційні). Збіжність ітераційного процесу. Алгоритм методу Гауса із зворотним ходом і без зворотного ходу. Розв'язування рівнянь стану методом звичайної ітерації. Алгоритм Зейделя та Ньютона. Застосування обернених матриць для розв'язання рівнянь стану. Методи оптимізації розрахунків режимів електроенергетичних систем.

Тема 4. Моделювання несиметричних режимів. Метод фазних координат. Метод симетричних складових. Схеми заміщення для розрахунку несиметричних режимів. Визначення симетричних складових при несиметричних коротких замиканнях та обривах фаз. Аналіз несиметричних режимів за наявності трансформаторів. Аналіз режимів несиметричних навантажень.

Тема 5. Моделювання несинусоїдних режимів. Оцінювання несинусоїдності напруги (струму). Величини, які характеризують електричні системи в несинусоїдних режимах. Джерела вищих гармонік. Схеми заміщення для розрахунку несинусоїдних режимів. Розрахунок несинусоїдних режимів в електричних мережах.

## **Змістовий модуль 2.**

Тема 6. Методи лінійного програмування. Загальні принципи, завдання та методи оптимізації. Завдання та об'єкти оптимізації. Критерій оптимальності. Основні методи оптимізації. Математичне програмування.

Методи лінійного програмування. Загальна постановка задачі лінійного програмування. Основні особливості задач лінійного програмування. Графічне розв'язання задач лінійного програмування. Алгебраїчні методи перетворення системи рівнянь для розв'язання задач лінійного програмування. Симплекс-метод. Транспортні задачі електроенергетики. Методи лінійного цілочисельного програмування. Комбінаторний метод. Метод відтинання. Метод віток і границь. Метод розв'язання цілочисельних задач з двоїчними змінними.

Тема 7. Методи нелінійного програмування. Особливості задач нелінійного програмування. Метод дихотомії. Метод золотого перерізу. Градієнтні методи розв'язання нелінійних задач. Метод Гаусса-Зейделя (уснобординатного пошуку). Метод множників Лагранжа. Метод динамічного програмування. Методи штрафних функцій. Метод зовнішніх штрафів. Метод внутрішніх штрафів. Метод комбінованих штрафних функцій.

Тема 8. Стохастичне програмування та теорії ігор. Загальні характеристики та особливості задач стохастичного програмування та теорії ігор. Шляхи розв'язання задач стохастичного програмування. Отримання розв'язків в умовах невизначеності із застосуванням теорії ігор. Основні методи розв'язання багатокритеріальних задач.

Змістовий модуль 3. Методи аналізу перехідних процесів та стійкості електроенергетичних систем.

Тема 9. Моделювання перехідних процесів електричних систем. Математичні моделі перехідних режимів. Чисельні методи інтегрування диференціальних рівнянь. Методи Ейлера-Коші. Методи Рунге-Кути. Дослідження перехідних режимів в електричних системах. Поняття статичної та динамічної стійкості електричних систем і вузлів навантажень. Загальна характеристика математичних методів, що застосовуються для аналізу статичної стійкості.

Тема 10. Стійкість електроенергетичних систем. Поняття статичної та динамічної стійкості електричних систем і вузлів навантажень. Визначення стійкості руху. Про основні підходи, які використовують для оцінки статичної стійкості ЕЕС. Поняття запасу стійкості ЕЕС. Поняття ступеня стійкості ЕЕС. Алгебраїчні критерії стійкості. Частотні критерії стійкості. Стійкість нелінійних систем.

## **Змістовий модуль 4.**

Тема 11. Застосування методів теорії ймовірностей та математичної статистики для розв'язування електроенергетичних задач. Основні поняття. Теорема складання ймовірностей. Теорема множення ймовірностей. Формула повної ймовірності. Випадкові величини і закони їх розподілу. Густина розподілу. Числові характеристики випадкових величин. Закони розподілу випадкових величин в задачах надійності електропостачання. Біноміальний розподіл. Розподіл Пуассона. Нормальний закон розподіл.

Статистичні ряди на прикладі електричних навантажень і відхилень напруги. Функція розподілу і гістограма відхилень напруги. Визначення інтервалів ймовірностей випадкової величини.

Поняття про кореляцію. Кореляційний момент. Лінійна кореляція. Числові характеристики суми випадкових навантажень. Побудова лінійного рівняння регресії. Поліноміальна апроксимація. Апроксимація з використанням сплайнів.

## 5. Теми семінарських занять (не передбачено)

### 6. Теми практичних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
(денна форма навчання)		
1.	Побудова схем заміщення електричних систем	1
2.	Матрична форма запису параметрів режиму і системи.	2
3.	Застосування вузлового рівняння електричної системи	1
4.	Застосування контурного рівняння електричної системи	1
5.	Розв'язування рівняння стану електричної мережі	1
6.	Моделювання несиметричних навантажень в електричних мережах	2
7.	Моделювання несинусоїдних режимів	1
8.	Методи розв'язування задач лінійного програмування.	1
9.	Методи розв'язування задач нелінійного програмування.	1
10.	Метод динамічного програмування	1
11.	Методи стохастичного програмування	1
12.	Дослідження перехідних режимів в електричних системах	1
13.	Алгебраїчні критерії стійкості	1
14.	Закони ймовірностей випадкових подій. Оцінювання надійності.	1
15.	Функція розподілу і щільність розподілу випадкових величин. Теоретичні закони і їх застосування.	1
16.	Елементи математичної статистики. Елементи теорії кореляції.	1
<b>Всього</b>		<b>18</b>
(заочна форма навчання)		
1.	Побудова схем заміщення електричних систем	1
2.	Матрична форма запису параметрів режиму і системи.	1
3.	Застосування вузлового рівняння електричної системи	1
4.	Застосування контурного рівняння електричної системи	1
5.	Розв'язування рівняння стану електричної мережі	1
6.	Моделювання несиметричних навантажень в електричних мережах	1

7.	Моделювання несинусоїдних режимів	1
8.	Методи розв'язування задач лінійного програмування.	1
9.	Методи розв'язування задач нелінійного програмування.	1
10.	Метод динамічного програмування	1
	<b>Всього</b>	<b>10</b>

## 7. Теми лабораторних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
	(денна форма навчання)	
1.	Використання програмної системи MathCAD для роботи з векторами і матрицями. Побудова схеми заміщення та графа електричної мережі.	3
2.	Розрахунок усталеного режиму електричної мережі шляхом розв'язання системи вузлових рівнянь.	3
3.	Розрахунок усталеного режиму електричної мережі шляхом розв'язання системи контурних рівнянь.	2
4.	Розрахунок несиметричних режимів в електричних мережах	2
5.	Розрахунок несинусоїдних режимів в електричних мережах	2
	<b>Всього за 3 семестр</b>	<b>12</b>
6.	Реалізація алгоритму симплекс-методу в MathCAD	3
7.	Реалізація алгоритму транспортної задачі в MathCAD	3
8.	Побудова оптимальної конфігурації електричної мережі методами лінійного програмування	3
9.	Побудова оптимальної стратегії виробництва продукції підприємства в умовах дефіциту енергоресурсів методами лінійного програмування	3
10.	Реалізація алгоритму методу невизначених множників Лагранжа в MathCAD	3
11.	Реалізація алгоритму градієнтного методу в MathCAD	2
12.	Оптимальний розподіл активної потужності між електричними станціями енергосистеми	3
13.	Реалізація алгоритмів методів стохастичного програмування в MathCAD	2
14.	Реалізація алгоритмів методів теорії ігор в MathCAD	3
15.	Моделювання перехідного режиму методом Рунге-Куты	2
16.	Аналіз перехідних процесів ЕЕС у методі вузлових рівнянь	3
17.	Аналіз перехідних процесів ЕЕС у методі контурних рівнянь	2
18.	Оцінка статичної стійкості системи за основними критеріями	3
19.	Оцінка області стійкості за методом D-розбиття	2
20.	Оцінка основних характеристик випадкової величини	3
21.	Прогнозування добових графіків навантаження	2
	<b>Всього за 4 семестр</b>	<b>42</b>
	<b>Всього</b>	<b>54</b>
	(заочна форма навчання)	
1.	Використання програмної системи MathCAD для роботи з векторами і матрицями. Побудова схеми заміщення та графа електричної мережі.	1
2.	Розрахунок усталеного режиму електричної мережі шляхом безпосереднього розв'язання узагальненого рівняння стану.	1
3.	Розрахунок усталеного режиму електричної мережі шляхом розв'язання системи вузлових рівнянь.	1
4.	Розрахунок усталеного режиму електричної мережі шляхом розв'язання системи контурних рівнянь.	1
5.	Розрахунок несиметричних режимів в електричних мережах	1

6.	Розрахунок несинусоїдних режимів в електричних мережах	1
	<b>Всього за 3 семестр</b>	<b>6</b>
7.	Реалізація алгоритму транспортної задачі в MathCAD	2
8.	Реалізація алгоритму методу невизначених множників Лагранжа в MathCAD	2
9.	<b>Всього за 4 семестр</b>	<b>4</b>
	<b>Всього</b>	<b>10</b>

## 8. Самостійна робота

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
	(денна форма навчання)	
1	Вступ. Мета і задачі дисципліни. Структура курсу. Література. Загальні відомості про заступні схеми електричних систем. Способи представлення джерел електричної енергії, електричних навантажень, ліній, трансформаторів та інших елементів електричних систем на заступних схемах.	6
2	Матричні рівняння стану для аналізу ustalених режимів електричних систем. Вузел, вітка, закон Ома для узагальненої вітки, перший та другий закони Кірхгофа. Векторне представлення параметрів режиму та системи. Зображення електричної мережі у вигляді графа. Загальні поняття теорії графів. Перша матриця інцидентів. Друга матриця інцидентів. Розподіл графа на дерево і хорди. Нумерація віток дерева і хорд. Топологічні властивості схем. Перший закон Кірхгофа у матричній формі. Визначення матриці струмів в розімкнутій схемі. Матриця спадів напруги на вітках схеми та її визначення на підставі I-ї матриці інцидентів. Другий закон Кірхгофа у матричній формі. Узагальнене рівняння стану електричного кола. Вузлові та контурні рівняння. Послідовність розрахунків параметрів режиму електричної системи в методах вузлових і контурних рівнянь. Матриця коефіцієнтів розподілу визначальних струмів. Визначення та розподілення втрат потужності.	25
3	Методи розв'язування рівнянь стану ustalеного режиму електричної системи. Математична постановка задачі аналізу нормального ustalеного режиму електричних систем. Методи розв'язування стану електричної системи (прямі і ітераційні). Збіжність ітераційного процесу. Алгоритм методу Гауса із зворотним ходом і без зворотного ходу. Розв'язування рівнянь стану методом звичайної ітерації. Алгоритм Зейделя та Ньютона. Застосування обернених матриць для розв'язання рівнянь стану. Методи оптимізації розрахунків режимів електроенергетичних систем.	11
4	Моделювання несиметричних режимів. Метод фазних координат. Метод симетричних складових. Схеми заміщення для розрахунку несиметричних режимів. Визначення симетричних складових при несиметричних коротких замиканнях та обривах фаз. Аналіз несиметричних режимів за наявності трансформаторів. Аналіз режимів несиметричних навантажень.	11
5	Моделювання несинусоїдних режимів. Оцінювання несинусоїдності напруги (струму). Величини, які характеризують електричні системи в несинусоїдних режимах. Джерела вищих гармонік. Схеми заміщення для розрахунку несинусоїдних режимів. Розрахунок несинусоїдних режимів в електричних мережах.	12
	<b>Всього за 3 семестр</b>	<b>51</b>
6	Методи лінійного програмування. Загальні принципи, завдання та методи оптимізації. Завдання та об'єкти оптимізації. Критерій оптимальності. Основні методи оптимізації. Математичне програмування. Методи лінійного програмування. Загальна постановка задачі лінійного програмування. Основні	1



	особливості задач лінійного програмування. Графічне розв'язання задач лінійного програмування. Алгебраїчні методи перетворення системи рівнянь для розв'язання задач лінійного програмування. Симплекс-метод. Транспортні задачі електроенергетики. Методи лінійного цілочисельного програмування. Комбінаторний метод. Метод відтинання. Метод віток і границь. Метод розв'язання цілочисельних задач з двоїчними змінними.	
8	Стохастичне програмування та теорії ігор. Загальні характеристики та особливості задач стохастичного програмування та теорії ігор. Шляхи розв'язання задач стохастичного програмування. Отримання розв'язків в умовах невизначеності із застосуванням теорії ігор. Основні методи розв'язання багатокритеріальних задач.	1
9	Моделювання перехідних процесів електричних систем. Математичні моделі перехідних режимів. Чисельні методи інтегрування диференціальних рівнянь. Методи Ейлера-Коші. Методи Рунге-Кути. Дослідження перехідних режимів в електричних системах. Поняття статичної та динамічної стійкості електричних систем і вузлів навантажень. Загальна характеристика математичних методів, що застосовуються для аналізу статичної стійкості.	1
11	Застосування методів теорії ймовірностей та математичної статистики для розв'язування електроенергетичних задач. Основні поняття. Теорема складання ймовірностей. Теорема множення ймовірностей. Формула повної ймовірності. Випадкові величини і закони їх розподілу. Густина розподілу. Числові характеристики випадкових величин. Закони розподілу випадкових величин в задачах надійності електропостачання. Біноміальний розподіл. Розподіл Пуассона. Нормальний закон розподіл. Статистичні ряди на прикладі електричних навантажень і відхилень напруги. Функція розподілу і гістограма відхилень напруги. Визначення інтервалів ймовірностей випадкової величини. Поняття про кореляцію. Кореляційний момент. Лінійна кореляція. Числові характеристики суми випадкових навантажень. Побудова лінійного рівняння регресії. Поліноміальна апроксимація. Апроксимація з використанням сплайнів.	15
12	<b>Курсова робота</b>	<b>60</b>
	<b>Всього за 4 семестр</b>	<b>63</b>
	<b>Всього</b>	<b>114</b>
	(заочна форма навчання)	
1.	Вступ. Мета і задачі дисципліни. Структура курсу. Література. Загальні відомості про заступні схеми електричних систем. Способи представлення джерел електричної енергії, електричних навантажень, ліній, трансформаторів та інших елементів електричних систем на заступних схемах.	5
2.	Матричні рівняння стану для аналізу усталених режимів електричних систем. Вузол, вітка, закон Ома для узагальненої вітки, перший та другий закони Кірхгофа. Векторне представлення параметрів режиму та системи. Зображення електричної мережі у вигляді графа. Загальні поняття теорії графів. Перша матриця інцидентів. Друга матриця інцидентів. Розподіл графа на дерево і хорди. Нумерація віток дерева і хорд. Топологічні властивості схем. Перший закон Кірхгофа у матричній формі. Визначення матриці струмів в розімкнутій схемі. Матриця спадів напруги на вітках схеми та її визначення на підставі I-ї матриці інцидентів. Другий закон Кірхгофа у матричній формі. Узагальнене рівняння стану електричного кола. Вузлові та контурні рівняння. Послідовність розрахунків параметрів режиму електричної системи в методах вузлових і контурних рівнянь. Матриця коефіцієнтів розподілу визначальних струмів. Визначення та розподілення втрат потужності.	26

3.	Методи розв'язування рівнянь стану усталеного режиму електричної системи. Математична постановка задачі аналізу нормального усталеного режиму електричних систем. Методи розв'язування стану електричної системи (прямі і ітераційні). Збіжність ітераційного процесу. Алгоритм методу Гауса із зворотним ходом і без зворотного ходу. Розв'язування рівнянь стану методом звичайної ітерації. Алгоритм Зейделя та Ньютона. Застосування обернених матриць для розв'язання рівнянь стану. Методи оптимізації розрахунків режимів електроенергетичних систем.	12
4.	Моделювання несиметричних режимів. Метод фазних координат. Метод симетричних складових. Схеми заміщення для розрахунку несиметричних режимів. Визначення симетричних складових при несиметричних коротких замиканнях та обривах фаз. Аналіз несиметричних режимів за наявності трансформаторів. Аналіз режимів несиметричних навантажень.	9
5.	Моделювання несинусоїдних режимів. Оцінювання несинусоїдності напруги (струму). Величини, які характеризують електричні системи в несинусоїдних режимах. Джерела вищих гармонік. Схеми заміщення для розрахунку несинусоїдних режимів. Розрахунок несинусоїдних режимів в електричних мережах.	9
<b>Всього за 3 семестр</b>		<b>67</b>
6.	Методи лінійного програмування. Загальні принципи, завдання та методи оптимізації. Завдання та об'єкти оптимізації. Критерій оптимальності. Основні методи оптимізації. Математичне програмування. Методи лінійного програмування. Загальна постановка задачі лінійного програмування. Основні особливості задач лінійного програмування. Графічне розв'язання задач лінійного програмування. Алгебраїчні методи перетворення системи рівнянь для розв'язання задач лінійного програмування. Симплекс-метод. Транспортні задачі електроенергетики. Методи лінійного цілочисельного програмування. Комбінаторний метод. Метод відтинання. Метод віток і границь. Метод розв'язання цілочисельних задач з двоїчними змінними.	15
7.	Методи нелінійного програмування. Особливості задач нелінійного програмування. Метод дихотомії. Метод золотого перерізу. Градієнтні методи розв'язання нелінійних задач. Метод Гаусса-Зейделя (покоординатного пошуку). Метод множників Лагранжа. Метод динамічного програмування. Методи штрафних функцій. Метод зовнішніх штрафів. Метод внутрішніх штрафів. Метод комбінованих штрафних функцій.	12
8.	Стохастичне програмування та теорії ігор. Загальні характеристики та особливості задач стохастичного програмування та теорії ігор. Шляхи розв'язання задач стохастичного програмування. Отримання розв'язків в умовах невизначеності із застосуванням теорії ігор. Основні методи розв'язання багатокритеріальних задач.	10
9.	Моделювання перехідних процесів електричних систем. Математичні моделі перехідних режимів. Чисельні методи інтегрування диференціальних рівнянь. Методи Ейлера-Коші. Методи Рунге-Кути. Дослідження перехідних режимів в електричних системах. Поняття статичної та динамічної стійкості електричних систем і вузлів навантажень. Загальна характеристика математичних методів, що застосовуються для аналізу статичної стійкості.	15
10.	Стійкість електроенергетичних систем. Поняття статичної та динамічної стійкості електричних систем і вузлів навантажень. Визначення стійкості руху. Про основні підходи, які використовують для оцінки статичної стійкості ЕЕС. Поняття запасу стійкості ЕЕС. Поняття ступеня стійкості ЕЕС. Алгебраїчні критерії стійкості. Частотні критерії стійкості. Стійкість нелінійних систем.	7

11.	Застосування методів теорії ймовірностей та математичної статистики для розв'язування електроенергетичних задач. Основні поняття. Теорема складання імовірностей. Теорема множення імовірностей. Формула повної імовірності. Випадкові величини і закони їх розподілу. Густина розподілу. Числові характеристики випадкових величин. Закони розподілу випадкових величин в задачах надійності електропостачання. Біноміальний розподіл. Розподіл Пуассона. Нормальний закон розподіл. Статистичні ряди на прикладі електричних навантажень і відхилень напруги. Функція розподілу і гістограма відхилень напруги. Визначення інтервалів імовірностей випадкової величини. Поняття про кореляцію. Кореляційний момент. Лінійна кореляція. Числові характеристики суми випадкових навантажень. Побудова лінійного рівняння регресії. Поліноміальна апроксимація. Апроксимація з використанням сплайнів.	14
	<b>Курсова робота</b>	<b>60</b>
	<b>Всього за 4 семестр</b>	<b>133</b>
	<b>Всього</b>	<b>200</b>

## 9. Індивідуальні завдання

Обсяг і зміст індивідуальної роботи студента з дисципліни залежить від форми навчання студента. Студенти заочної форми навчання виконують контрольну роботу відповідно до рекомендацій, наведених у [3].

## 10. Методи навчання

Лекція, зокрема, з використанням технічних засобів навчання, лабораторні роботи, підготовка до лабораторних робіт, доповіді науково-дослідного характеру, зокрема, на щорічну науково-технічну конференцію викладачів, співробітників та студентів ВНТУ.

В якості технічних засобів навчання використовуються:

– мультимедійні засоби навчання.

## 11. Засоби діагностування результатів навчання

Протягом вивчення дисципліни передбачається поточний та підсумковий форми контролів знань студентів.

Поточний контроль проводиться шляхом фронтального, індивідуального чи комбінованого опитування студентів в результаті написання колоквіумів та захисту виконаних лабораторних робіт. Колоквіуми можуть проводитись за допомогою таких методів:

- письмової контрольної роботи;
- складання тестів у електронній системі університету;
- складання тестів у електронній системі університету та додаткової письмової контрольної роботи (додатково оголошується розподіл балів за складання тестів та виконання письмової роботи із загальної кількості балів, відведених на колоквіум).

Метод написання та максимально дозволений час колоквіуму оголошується студентам на першому тижні навчального семестру.

Підсумковий контроль знань студентів проводиться шляхом складання диференційованого заліку за темами, що охоплюють весь курс дисципліни. Диференційований залік може проводитись за допомогою таких методів:

- письмової роботи;
- складання тестів у електронній системі університету;
- складання тестів у електронній системі університету та додаткової письмової роботи (додатково оголошується розподіл балів за складання тестів та виконання письмової роботи із загальної кількості балів, відведених на підсумковий контроль).

Метод та максимально дозволений час складання підсумкового контролю оголошується студентам на першому тижні навчального семестру.

## 12. Розподіл балів, які отримують студенти

Вивчення дисципліни за кредитно-модульною системою (КМС) студентами денної форми навчання проводиться у відповідності з положенням про кредитно-модульну систему організацію навчального процесу у ВНТУ. Нижче наведено трудомісткість дисципліни.

### ***В 3 семестрі***

Вид контролю – залік

<i>Модуль 1</i>		<i>Модуль 2</i>	
Лаб. робота № 1	7	Лаб. робота № 4	9
Лаб. робота № 2	7	Лаб. робота № 5	9
Лаб. робота № 3	7		
СРС№1	4	СРС№2	7
Колоквіум 1	25	Колоквіум 2	25
Сума за модуль 1	50	Сума за модуль 1	50
<b>Сума за семестр 100</b>			

### ***В 4 семестрі***

Види контролю – іспит

<i>Модуль 3</i>		<i>Модуль 4</i>	
Лаб. робота № 1	2	Лаб. робота № 8	2
Лаб. робота № 2	2	Лаб. робота № 9	2
Лаб. робота № 3	2	Лаб. робота № 10	2
Лаб. робота № 4	2	Лаб. робота № 11	2
Лаб. робота № 5	2	Лаб. робота № 12	2
Лаб. робота № 6	2	Лаб. робота № 13	2
Лаб. робота № 7	2	Лаб. робота № 14	2
		Лаб. робота № 15	2
		Лаб. робота № 16	2
СРС№1	7	СРС№2	7

Колоквіум 1	15	Колоквіум 2	14
Сума за модуль 1	36	Сума за модуль 1	39
<b>Іспит 25</b>			
<b>Сума за семестр 100</b>			

### 13. Критерії оцінювання знань, умінь та навичок студентів

Загальна оцінка студента за результатами КМС залежить від суми набраних протягом теоретичного семестру балів (до 100 балів), і визначається за таблицею.

Якщо студент за результатами виконання завдання протягом семестру отримав бальну оцінку на рівні F, то він має право пройти повторний курс вивчення дисципліни відповідно до «Тимчасового положення про порядок ліквідації академічної заборгованості, академічної різниці та надання платної послуги з проведення занять з вивчення окремої навчальної дисципліни понад обсяги, встановлені навчальним планом».

Рівень компетентності	За національною шкалою	За шкалою ЕКТС	Критерії оцінювання
IV Високий (творчий) «5»	відмінно (90–100)	A	Виставляється, якщо при відповіді на питання виявлено всебічні, систематизовані, глибокі знання матеріалу, який виноситься на контроль, уміння вільно виконувати завдання, передбачені програмою, знання основної і додаткової літератури, передбаченої програмою на рівні творчого використання.
III Достатній (конструктивний) «4»	добре «4+» (82–89)	B	Повні знання з питань і задач, що стоять перед студентом. Уміння викладати основні ідеї. Вміння професійно відстоювати свою точку зору. Припускаються несуттєві неточності у викладенні матеріалу та у відповідях.
	добре «4» (75–81)	C	Достатньо повні знання з поставлених питань і задач. Вміння викладати основні ідеї. Здатність самостійно застосовувати вивчений матеріал на рівні стандартних ситуацій, наводити окремі власні приклади на підтвердження власних тверджень. Вміння доводити правильність своїх рішень. Несуттєві неточності у відповідях та деякі нераціональності при програмуванні задач.
II Середній (репродуктивний) «3»	задовільно «3+» (64–63)	D	Студент може відтворити значну частину теоретичного матеріалу, виявляє знання та розуміння основних положень, з допомогою викладача може аналізувати матеріал, робити висновки та розробляти програмні блоки. Пояснення неповні, нелаконічні, не завжди точні. Відповіді на питання неповні, містять неточності,

			при програмуванні застосовуються не найраціональніші рішення.
	задовільно «3» (60–63)	Е	Задовільні знання програмного матеріалу на рівні вищому за початковий. Здатність за допомогою викладача логічно відтворювати значну частину матеріалу. При відповіді на запитання виникають труднощі у деяких положеннях, відповіді не повні, програми пишуться нераціонально, не використовуються всі ефективні засоби програмування.
І Низький «2»	«незадовільно з можливістю повторного складання» 2 (35–59)	FX	Теорією володіє на рівні фрагментів, викладає матеріал уривчасто. Утруднюється в обґрунтуванні рішень, на запитання викладача дає неправильні відповіді (40-60%), пояснення не до ладу. Самостійно, без допомоги викладача, не може сформулювати алгоритм рішення задачі. Програми не раціональні та неефективні, при програмуванні використовуються лише прості конструкції.
	«незадовільно з обов'язковим повторним вивченням дисципліни» 2 (0–34)	F	Теорією володіє на рівні фрагментів, викладає матеріал уривчасто. Утруднюється в обґрунтуванні рішень, на запитання викладача дає неправильні відповіді (60-100%). Самостійно, без допомоги викладача, не може сформулювати алгоритм рішення задачі.

#### 14. Рекомендована література

##### Базова

1. Лежнюк П.Д., Собчук Н.В. Параметрична подібність в задачах оптимізації електричних систем. Монографія. – вид-во ВНТУ «УНІВЕРСУМ-Вінниця», Вінниця, 2006.– 124 с.

2. Электрические системы. Математические задачи электроэнергетики: Учебник. / Под ред. В. А. Веникова. М. : Высшая школа, 1981. – 288 с.

3. Перхач В. С. Математичні задачі електроенергетики: Навчальний посібник / В. С. Перхач. – Львів : Вища школа. Вид-во при Львів. ун-ті, 1982. – 380 с.

4. Математичне моделювання в електроенергетиці: Підручник. / О.В. Кириленко, М.С. Сегеда, О.Ф. Буткевич, Т.А. Мазур. – Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2010. – 608 с.

5. Сивокобиленко В.Ф. математичне моделювання в електротехніці і енергетиці: навчальний посібник / Сивокобиленко В.Ф. – Донецьк РВА ДонНТУ, 2005 – 350 с.

6. Бурбело М.Й. Математичні задачі електроенергетики. Математичне моделювання електропостачальних систем: навч. посібник / М.Й. Бурбело. – Вінниця: ВНТУ, 2016. – 185 с.

#### **Додаткова**

1. Кузнецов В. Г. Снижение несимметрии и несинусоидальности напряжений в электрических сетях / В. Г. Кузнецов, А. С. Григорьев, В. Б. Данилюк – К. : Наукова думка, 1992. – 240 с.

2. Жежеленко И. В. Высшие гармоники в системах электроснабжения промпредприятий / И. В. Жежеленко – М. : Энергоатомиздат, 2000. – 331 с.

3. Жданов П. С. Вопросы устойчивости электрических систем / П. С. Жданов; под ред. Л. А. Жукова. – М.: Энергия, 1979. – 456 с.

4. Гуревич Ю. Е. Устойчивость нагрузки электрических систем / Ю. Е. Гуревич, Л. Е. Либова, Э. А. Хачатрян. – М.: Энергоиздат, 1981. – 209 с.

5. Костин В. Н. Оптимизационные задачи электроэнергетики / В. Н. Костин. – Санкт-Петербург : Изд-во СЗТУ, 2003. – 120 с.

6. Лежнюк П.Д., Зелінський В.Ц., Бевз С.В., Найчук В.А. Математичні задачі електроенергетики. Лабораторний практикум. Частина 1. Навчальний посібник. – Вінниця: Універсум-Вінниця, 2001. – 127 с.

7. Лежнюк П.Д., Зелінський В.Ц. Методи оптимізації в електроенергетиці. Симплексний метод. Навчальний посібник. – Вінниця: ВДТУ, 2003. – 90 с.

8. Зелінський В.Ц. Математичні задачі електроенергетики. Навчальний посібник. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2005. – 108 с.

9. Чабан В.Й. Математичне моделювання в електротехніці / Чабан В.Ф. – Львів: Видавництво Т Сороки, 2010. – 508 с.

#### **Інформаційні ресурси**

1. Національна бібліотека України імені академіка В. І. Вернадського: [сайт]. Режим доступу: <http://nbuv.gov.ua/>

2. Енергетика: [сайт]. Режим доступу: <http://LEONARDO.ENERGY.ORG/>

3. <http://any-book.org/download/68591.html/>

4. <http://window.edu.ru/resource/262/75262/>

5. Електронний науковий архів НУ «Львівська політехніка» / [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://ena.lp.edu.ua>