


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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректор з науково-педагогічної
роботи та організації освітнього
процесу



 Олександр ПЕТРОВ

“22” 06 2023 року








РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

МОДЕЛІ ОПТИМАЛЬНОГО РОЗВИТКУ ЕЛЕКТРИЧНИХ СИСТЕМ І МЕРЕЖ

| | |
|---------------------|--|
| рівень вищої освіти | другий (магістерський) |
| галузь знань | 14 Електрична інженерія |
| спеціальність | 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка |
| освітня програма | Електричні системи і мережі |

СУЯ ВНТУ-08-21-РП.020.01:23

Робоча програма навчальної дисципліни
 «МОДЕЛІ ОПТИМАЛЬНОГО РОЗВИТКУ ЕЛЕКТРИЧНИХ СИСТЕМ І МЕРЕЖ»
 рівень вищої освіти – другий (магістерський)
 галузь знань – 14 Електрична інженерія
 спеціальність – 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
 освітня програма Електричні системи і мережі
 2023. – 19 с.

| | Посада Протокол засідання | ПІБ | Підпис |
|--------------------|--|---------------------------------------|---|
| Розроблено | Професор кафедри ЕСС | д.т.н., доцент Володимир КУЛИК |  |
| Схвалено | Гарант освітньої програми | к.т.н., доцент Юлія МАЛОЛГУЛКО |  |
| | Зав. кафедри ЕСС засідання кафедри ЕСС (протокол № 15 від 23.05.2023 р.) | д.т.н., професор Вячеслав КОМАР |  |
| | Голова Методичної комісії ФЕЕЕМ Методична комісія ФЕЕЕМ (протокол № 10 від 12.06.2023 р.) | к.т.н., доцент Михайло РОЗВОДЮК |  |
| Затверджено | Голова методичної ради Методична рада ВНТУ (протокол № 11 від 22.06.2023 р.) | к.т.н., доцент Олександр ПЕТРОВ |  |

© В. В. Кулик, 2023
 © ВНТУ, 2023

1. Опис навчальної дисципліни

| Найменування показників | Галузь знань, спеціальність, освітні програми, рівень вищої освіти | Характеристика навчальної дисципліни | |
|---|---|--------------------------------------|-----------------------|
| | | денна форма навчання | заочна форма навчання |
| Кількість кредитів – 5 | Галузь знань 14 Електрична інженерія | Обов'язкова професійна | |
| Модулів – 2 | Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка освітня програма: Електричні системи і мережі | Рік підготовки (курс): | |
| Змістових модулів – 2 | | 1 | 1 |
| Індивідуальне науково-дослідне завдання (реферати, розрахункові, графічні, розрахунково-графічні роботи, контрольні роботи, що виконуються під час СРС (домашні контрольні роботи), курсові, дипломні проекти (роботи) та ін. рішенням кафедри) | | Семестр | |
| Загальна кількість годин - 150 | | 1-й | 1-й |
| | | Лекції | |
| Тижневих годин для денної форми навчання: аудиторних – 3,5 самостійної роботи студента – 4,83 | Рівень вищої освіти: другий (магістерський) | 27 год. | 10 год. |
| | | Практичні, семінарські | |
| | | 18 год. | 10 год. |
| | | Лабораторні | |
| | | 18 год. | 5 год. |
| | | Курсовий проект | |
| | | 60 год. | 60 год. |
| | | Самостійна робота | |
| 27 год. | 65 год. | | |
| Вид контролю: іспит | | | |

Примітка.

Співвідношення кількості годин аудиторних занять до самостійної і індивідуальної роботи становить:

для денної форми навчання – 42% / 58%,
 для заочної форми навчання – 17% / 83%.

Мова навчання – українська.

2. Передумови для вивчення дисципліни

Вивчення дисципліни базується на результатах вивчення процесів передачі та розподілення електроенергії у електричних мережах, задач аналізу станів та режимів таких мереж, а також етапів їх проектування та експлуатації. Тому для успішного вивчення дисципліни необхідно мати компетентності, які забезпечуються вивченням теоретичних основ електротехніки, теорії електричних машин, основ проектування та експлуатації електричних систем і мереж, методів розв'язання математичних задач електроенергетики. Ця дисципліна безпосередньо пов'язана і доповнює такі обов'язкові компоненти, як «Сучасні проблеми електроенергетики, електротехніки та електромеханіки (ЕЕЕ)», «Технічно-економічна ефективність інноваційних рішень в ЕЕЕ», «Сучасні інформаційні технології в ЕЕЕ», «Автоматизовані системи керування електричних систем».

3. Мета та завдання навчальної дисципліни

Мета вивчення навчальної дисципліни: формування знань і отримання навичок з напрямку моделювання та автоматизації процесу проектування розвитку електричних систем і мереж. Розвиток на основі отриманих знань творчого мислення, вміння аналізувати знання та успішно застосовувати вміння у керівній та інженерній діяльності дозволить сформуванню професіонала, що успішно забезпечує процес розвитку електричних систем та мереж.

Компетентності, якими повинен оволодіти здобувач в результаті вивчення дисципліни

Вивчення навчальної дисципліни передбачає формування та розвиток у студентів компетентностей:

Інтегральної: Здатність розв'язувати складні проблеми і задачі під час професійної діяльності у галузі електроенергетики, електротехніки та електромеханіки або у процесі навчання, що передбачає проведення досліджень та/або здійснення інновацій та характеризується невизначеністю умов і вимог.

Загальних:

ЗК03. Здатність використовувати інформаційні та комунікаційні технології.

ЗК06. Здатність приймати обґрунтовані рішення, застосовувати кращі практики у професійній діяльності.

ЗК08. Здатність виявляти та оцінювати ризики.

ЗК010. Здатність виявляти зворотні зв'язки та корегувати свої дії з їх врахуванням.

Спеціальних (фахових):

СК01. Здатність застосовувати спеціалізовані концептуальні знання, що включають сучасні наукові здобутки у сфері електроенергетики та електротехніки для вирішення науково-технічних проблем і задач.

СК04. Здатність розробляти та впроваджувати заходи з підвищення надійності, ефективності та безпеки при проектуванні та експлуатації обладнання та об'єктів електроенергетики.

СК05. Здатність здійснювати аналіз техніко-економічних показників та експертизу проектно-конструкторських рішень в області електроенергетики та електротехніки.

СК06. Здатність демонструвати знання і розуміння математичних принципів і методів, необхідних для використання в електроенергетиці, електротехніці та електромеханіці.

СК11. Здатність оцінювати показники надійності та ефективності функціонування електроенергетичних систем, електротехнічних та електромеханічних об'єктів.

СК14. Здатність використовувати програмне забезпечення для комп'ютерного моделювання, автоматизованого проектування, автоматизованого виробництва і автоматизованої розробки або конструювання елементів електроенергетичних систем.

СК17. Здатність вирішувати комплексні спеціалізовані задачі і практичні проблеми, пов'язані з оптимальним розвитком систем передачі та розподілення електричної енергії.

СК18. Здатність вирішувати комплексні спеціалізовані задачі і практичні проблеми, пов'язані з диспетчеризацією та оптимальним керуванням системами виробництва, передачі та розподілення електричної енергії.

Програмні результати вивчення дисципліни

РН6. Реконструювати існуючі електричні мережі, станції та підстанції, електротехнічні і електромеханічні комплекси та системи з метою підвищення їх надійності, ефективності експлуатації та продовження ресурсу.

РН7. Володіти методами математичного та фізичного моделювання об'єктів та процесів у електроенергетичних, електротехнічних та електромеханічних системах.

РН8. Оцінювати загальні витрати на наукові дослідження і розробки.

РН18. Поєднувати різні форми науково-дослідної роботи і практичної діяльності з метою подолання розриву між теорією і практикою, науковими досягненнями і їх практичною реалізацією.

РН20. Дотримуватися принципів та правил академічної чесності в освітній та науковій діяльності.

РН22. Демонструвати розуміння нормативно-правових актів, норм, правил та стандартів в області електроенергетики, електротехніки та електромеханіки.

РН23. Виконувати наукові дослідження в сфері використання та збереження електричної енергії.

РН25. Розробити план, етапи і терміни роботи над інноваційним проектом в області електроенергетики, електротехніки та електромеханіки.

РН27. Виявити основні чинники та технічні проблеми, що можуть заважати впровадженню сучасних методів керування електроенергетичними, електротехнічними та електромеханічними системами.

Контрольні заходи

Поточний та підсумковий контроль знань студентів проводиться шляхом фронтального, індивідуального чи комбінованого опитування студентів під час лекційного заняття, контрольних робіт, колоквиумів, тестування, захисту курсового проекту, іспиту.

На позааудиторну/самостійну роботу виносяться вивчення окремих проблем курсу, підготовка до лекційних, лабораторних та практичних занять, колоквиумів, тестування, іспиту, виконання індивідуальних науково-дослідних завдань (написання курсового проекту та підготовка доповідей на щорічну науково-теоретичну конференцію підрозділів ВНТУ).

4. Програма навчальної дисципліни

Змістовий модуль 1. Оптимізація розвитку електричних систем і мереж

Тема 1. Вступ

Список рекомендованої літератури для вивчення ОК. Мета та задачі дисципліни. Методи навчання та організація поточного й підсумкового контролю знань. Проблеми розвитку електричних систем. Діалектика розвитку економіки країни. Задачі розвитку електричних систем (ЕС) і мереж (ЕМ) на сучасному етапі. Характеристика сучасних електричних мереж. Перспективи розвитку ЕС.

Тема 2. Керування процесом розвитку електричних систем і мереж Довгострокове прогнозування розвитку ЕС та ЕМ. Проектування окремих частин ЕС та ЕМ. Задачі проектування. Впровадження системи автоматизованого проектування (САПР).

Тема 3. Основи оптимізації розвитку великих систем

Проблема багатокритеріальності. Проблема багатопараметричності. Основні ідеї багатоцільової оптимізації. Методи зведення багатоцільових задач до одноцільових задач оптимізації. Заміна окремих критеріїв системою обмежень. Метод вагових коефіцієнтів (скаляризації). Метод переваг. Метод критеріального програмування.

Тема 4. Особливості задач розвитку електричних систем і мереж

Динаміка розвитку електричних систем. Критерії розвитку динамічних систем. Умови можливого переходу до критеріїв статичної системи. Окремі складові загального критерію розвитку ЕЕС. Критерій економічності. Критерій надійності. Критерій якості електроенергії. Критерій економічної безпеки. Методи оптимізації.

Тема 5. Загальні підходи до прогнозування навантажень в ЕС

Особливості визначення вихідної інформації для прогнозування навантажень. Структура задач прогнозування навантажень за технологічною ознакою. Моделі та методи прогнозування навантажень.

Тема 6. Моделі і методи оптимального розвитку електричних мереж

Задачі оптимального розвитку електричних мереж. Місце задачі проектування розвитку ЕМ в загальній задачі оптимізації розвитку ЕС. Вибір номінальної напруги. Вибір схеми мережі та параметрів основного обладнання. Оцінювання термінів спорудження ЕМ.

Тема 7. Застосування лінійного програмування до задач розвитку ЕМ

Можливості переходу від задачі проектування динамічної системи до сукупності задач проектування статичних систем. Задачі розвитку електричної мережі у постановці лінійного програмування (ЛП). Необхідність і можливість використання методу ЛП в задачах розвитку ЕМ. Апроксимація цільової функції.

Тема 8. Оптимізація схеми електричної мережі методом лінійного програмування

Роль вхідної інформації в формуванні лінійної моделі процесу розвитку ЕМ. Канонічна форма лінійної моделі розвитку ЕМ за методом Гауса-Жордана. Алгоритм визначення оптимальної схеми ЕМ. Особливості прийняття рішень щодо оптимальної схеми ЕМ за методом ЛП. Область застосування методу лінійного програмування.

Тема 9. Оптимізація схеми електромережі методом транспортної задачі
Класична транспортна задача (ТЗ). Система обмежень. Транспортна матриця для задачі розвитку схеми ЕМ. Модифікований метод ТЗ – метод потенціалів.

Змістовий модуль 2. Питання проектування електричних систем

Тема 10. Динаміка розвитку електричних мереж

Необхідність застосування багатоцільової оптимізації в задачах розвитку електричних мереж. Принцип Белмана в задачах розвитку ЕМ. Постановка задачі проектування ЕМ з урахуванням тривалості розвитку, забезпечення надійності та екологічної безпеки. Метод динамічного програмування (ДП).

Тема 11. Метод поконтурної оптимізації (МПО) в задачах ЕМ

Поетапна реалізація багатоцільової оптимізації. Нелінійні моделі задач розвитку ЕМ. Оцінювання надійності в ЕМ. Канонічна модель розвитку ЕМ в постановці МПО. Визначення оптимальної схеми ЕМ методом ПО.

Тема 12. Моделі та методи проектування оптимального розвитку електричних станцій та підстанцій

Задачі оптимального розвитку електричних станцій в загальному розвитку енергетики. Особливості математичної постановки задачі розвитку електричних станцій. Агрегування вихідної інформації. САПР технологічної частини станцій. САПР електричної частини станцій.

Тема 13. Вибір напрямків розвитку електричних станцій

Вибір структури розвитку. Підходи до моделювання. Методи розв'язання задачі оптимізації структури розвитку. Можливість застосування лінійної моделі. Визначення типу і потужності електричних станцій в заданому регіоні.

Тема 14. Використання методу динамічного програмування для задач розвитку електричних станцій

Принцип динамічності в задачах розвитку. Постановка задачі розвитку, як задачі динамічного програмування. Обмеження в постановці задачі розвитку.

Тема 15. Проблема вибору резерву потужності в електричній системі

Оптимізація генерувальних потужностей з позицій балансової надійності ЕС. Ймовірнісний характер задачі вибору резерву потужності. Особливості вибору резерву потужності на різних ієрархічних рівнях. Вибір резерву потужності для регіональних енергосистем.

Тема 16. Застосування факторного аналізу для задач розвитку електричних станцій

Невизначеність вхідної інформації в задачах прогнозування розвитку електричних станцій. Ранжування впливових факторів. Формування планів розвитку. Застосування методу планування експерименту для формування цільової функції. Регресійні моделі.

Тема 17. Оптимізація схем відкритих розподільних пристроїв (ВРП) електричних станцій та системних підстанцій

Критерій вибору оптимальної схеми ВРП. Важливість фактору надійності. Показники надійності обладнання ВРП. Характеристика методів оцінювання надійності. Застосування марковських моделей. Формалізований метод оцінювання надійності.

Тема 18. Комплексність та інтегральність задач розвитку електричних си-

стем

Загальний критерій розвитку ЕС. Необхідність застосування принципу декомпозиції. Спроби застосування узагальнюючих методів до задачі розвитку ЕС. Основні положення методу критеріального програмування КП). Формування моделі розвитку ЕС методом КП. Поетапне розв'язання задачі розвитку ЕЕС.

5. Структура навчальної дисципліни

| Назви змістових модулів і тем | Кількість годин | | | | | | | | | | | |
|---|-----------------|--------------|----------|----------|----------|----------|--------------|--------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | денна форма | | | | | | Заочна форма | | | | | |
| | усього | у тому числі | | | | | усього | у тому числі | | | | |
| | | л | п | лаб | інд | с.р. | | л | п | лаб | інд | с.р. |
| <i>1</i> | <i>2</i> | <i>3</i> | <i>4</i> | <i>5</i> | <i>6</i> | <i>7</i> | <i>8</i> | <i>9</i> | <i>10</i> | <i>11</i> | <i>12</i> | <i>13</i> |
| Модуль 1 | | | | | | | | | | | | |
| Змістовий модуль 1. Оптимізація розвитку електричних систем і мереж | | | | | | | | | | | | |
| Тема 1. Вступ Список рекомендованої літератури для вивчення ОК. Мета та задачі дисципліни. Методи навчання та організація поточного й підсумкового контролю знань. Проблеми розвитку електричних систем. Діалектика розвитку економіки країни. Задачі розвитку електричних систем (ЕС) і мереж (ЕМ) на сучасному етапі. Характеристика сучасних електричних мереж. Перспективи розвитку ЕС. | 3 | 1 | - | - | - | 2 | 5 | 1 | - | - | - | 4 |
| Тема 2. Керування процесом розвитку електричних систем і мереж Довгострокове прогнозування розвитку ЕС та ЕМ. Проектування окремих частин ЕС та ЕМ. Задачі проектування. Впровадження системи автоматизованого проектування (САПР). | 3 | 1 | - | - | - | 2 | 4 | - | - | - | - | 4 |
| Тема 3. Основи оптимізації розвитку великих систем Проблема багатокритеріальності. Проблема багатопараметричності. Основні ідеї багатоцільової оптимізації. Методи зведення багатоцільових задач до одноцільових задач оптимізації. Заміна окремих критеріїв системою обмежень. Метод вагових коефіцієнтів (скалярізації). Метод переваг. Метод критеріального програмування. | 3 | 1 | - | - | - | 2 | 4 | - | - | - | - | 4 |
| Тема 4. Особливості задач розвитку електричних систем і мереж Динаміка розвитку електричних систем. Критерії розвитку динамічних систем. Умови мо- | 3 | 1 | - | - | - | 2 | 4 | - | - | - | - | 4 |

| <i>1</i> | <i>2</i> | <i>3</i> | <i>4</i> | <i>5</i> | <i>6</i> | <i>7</i> | <i>8</i> | <i>9</i> | <i>10</i> | <i>11</i> | <i>12</i> | <i>13</i> |
|---|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| жливого переходу до критеріїв статичної системи. Окремі складові загального критерію розвитку ЕЕС. Критерій економічності. Критерій надійності. Критерій якості електроенергії. Критерій економічної безпеки. Методи оптимізації. | | | | | | | | | | | | |
| Тема 5. Загальні підходи до прогнозування навантажень в ЕС Особливості визначення вихідної інформації для прогнозування навантажень. Структура задач прогнозування навантажень за технологічною ознакою. Моделі та методи прогнозування навантажень. | 6 | 1 | 2 | 2 | - | 1 | 5 | - | 1 | - | - | 4 |
| Тема 6. Моделі і методи оптимального розвитку електричних мереж Задачі оптимального розвитку електричних мереж. Місце задачі проектування розвитку ЕМ в загальній задачі оптимізації розвитку ЕС. Вибір номінальної напруги. Вибір схеми мережі та параметрів основного обладнання. Оцінювання термінів спорудження ЕМ. | 8 | 2 | 2 | 2 | - | 2 | 6 | 1 | 1 | 1 | - | 3 |
| Тема 7. Застосування лінійного програмування до задач розвитку ЕМ Можливості переходу від задачі проектування динамічної системи до сукупності задач проектування статичних систем. Задачі розвитку електричної мережі у постановці лінійного програмування (ЛП). Необхідність і можливість використання методу ЛП в задачах розвитку ЕМ. Апроксимація цільової функції. | 7 | 2 | 2 | 2 | - | 1 | 6 | 1 | 1 | 1 | - | 3 |
| Тема 8. Оптимізація схеми електричної мережі методом лінійного програмування Роль вхідної інформації в формуванні лінійної моделі процесу розвитку ЕМ. Канонічна форма лінійної моделі розвитку ЕМ за методом Гауса-Жордана. Алгоритм визначення оптимальної схеми ЕМ. Особливості прийняття рішень щодо оптимальної схеми ЕМ за методом ЛП. Область застосування методу лінійного програмування. | 7 | 2 | 2 | 2 | - | 1 | 7 | 1 | 1 | 1 | - | 4 |
| Тема 9. Оптимізація схеми | 7 | 2 | 2 | 2 | - | 1 | 6 | 1 | 1 | - | - | 4 |

| <i>1</i> | <i>2</i> | <i>3</i> | <i>4</i> | <i>5</i> | <i>6</i> | <i>7</i> | <i>8</i> | <i>9</i> | <i>10</i> | <i>11</i> | <i>12</i> | <i>13</i> |
|---|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| електричної мережі методом транспортної задачі Класична транспортна задача (ТЗ). Система обмежень. Транспортна матриця для задачі розвитку схеми ЕМ. Модифікований метод ТЗ – метод потенціалів. | | | | | | | | | | | | |
| Всього за модуль 1 | 47 | 13 | 10 | 10 | - | 14 | 47 | 5 | 5 | 3 | - | 34 |
| Модуль 2 | | | | | | | | | | | | |
| Змістовий модуль 2. Питання проектування електричних систем | | | | | | | | | | | | |
| Тема 10. Динаміка розвитку електричних мереж Необхідність застосування багатоцільової оптимізації в задачах розвитку електричних мереж. Принцип Белмана в задачах розвитку ЕМ. Постановка задачі проектування ЕМ з урахуванням тривалості розвитку, забезпечення надійності та екологічної безпеки. Метод динамічного програмування (ДП). | 4 | 1 | 1 | - | - | 2 | 4 | - | - | - | - | 4 |
| Тема 11. Метод поконтурної оптимізації (МПО) в задачах ЕМ Поетапна реалізація багатоцільової оптимізації. Нелінійні моделі задач розвитку ЕМ. Оцінювання надійності в ЕМ. Канонічна модель розвитку ЕМ в постановці МПО. Визначення оптимальної схеми ЕМ методом ПО. | 4 | 1 | 1 | 2 | - | - | 4 | - | 1 | - | - | 3 |
| Тема 12. Моделі та методи проектування оптимального розвитку електричних станцій та підстанцій Задачі оптимального розвитку електричних станцій в загальному розвитку енергетики. Особливості математичної постановки задачі розвитку електричних станцій. Агрегування вихідної інформації. САПР технологічної частини станцій. САПР електричної частини станцій. | 5 | 2 | 1 | - | - | 2 | 5 | 1 | - | - | - | 4 |
| Тема 13. Вибір напрямків розвитку електричних станцій Вибір структури розвитку. Підходи до моделювання. Методи розв'язання задачі оптимізації структури розвитку. Можливість застосування лінійної моделі. Визначення типу і потужності електричних станцій в заданому регіоні. | 4 | 2 | - | - | - | 2 | 4 | - | 1 | - | - | 3 |
| Тема 14. Використання мето- | 4 | 2 | - | 2 | - | - | 7 | 1 | 1 | - | - | 5 |

| <i>1</i> | <i>2</i> | <i>3</i> | <i>4</i> | <i>5</i> | <i>6</i> | <i>7</i> | <i>8</i> | <i>9</i> | <i>10</i> | <i>11</i> | <i>12</i> | <i>13</i> |
|---|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| <p>ду динамічного програмування для задач розвитку електричних станцій Принцип динамічності в задачах розвитку. Постановка задачі розвитку, як задачі динамічного програмування. Обмеження в постановці задачі розвитку.</p> | | | | | | | | | | | | |
| <p>Тема 15. Проблема вибору резерву потужності в електричній системі Оптимізація генерувальних потужностей з позицій балансової надійності ЕС. Ймовірнісний характер задачі вибору резерву потужності. Особливості вибору резерву потужності на різних ієрархічних рівнях. Вибір резерву потужності для регіональних енергосистем.</p> | 6 | 2 | 2 | - | - | 2 | 4 | 1 | 1 | - | - | 2 |
| <p>Тема 16. Застосування факторного аналізу для задач розвитку електричних станцій Невизначеність вхідної інформації в задачах прогнозування розвитку електричних станцій. Ранжування впливових факторів. Формування планів розвитку. Застосування методу планування експерименту для формування цільової функції. Регресійні моделі.</p> | 7 | 2 | 1 | 2 | - | 2 | 5 | 1 | - | - | - | 4 |
| <p>Тема 17. Оптимізація схем відкритих розподільних пристроїв (ВРП) електричних станцій та системних підстанцій Критерій вибору оптимальної схеми ВРП. Важливість фактору надійності. Показники надійності обладнання ВРП. Характеристика методів оцінювання надійності. Застосування марковських моделей. Формалізований метод оцінювання надійності.</p> | 7 | 2 | 1 | 2 | - | 2 | 6 | 1 | - | 2 | - | 3 |
| <p>Тема 18. Комплексність та інтегральність задач розвитку електричних систем Загальний критерій розвитку ЕС. Необхідність застосування принципу декомпозиції. Спроби застосування узагальнюючих методів до задачі розвитку ЕС. Основні положення методу критеріального програмування (КП). Формування моделі розвитку ЕС методом КП. Поетап-</p> | 3 | 1 | 1 | - | - | 1 | 4 | - | 1 | - | - | 3 |

| <i>1</i> | <i>2</i> | <i>3</i> | <i>4</i> | <i>5</i> | <i>6</i> | <i>7</i> | <i>8</i> | <i>9</i> | <i>10</i> | <i>11</i> | <i>12</i> | <i>13</i> |
|-------------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| не розв'язання задачі розвитку ЕЕС. | | | | | | | | | | | | |
| Всього за модуль 2 | 43 | 14 | 8 | 8 | - | 13 | 43 | 5 | 5 | 2 | - | 31 |
| Курсовий проект | 60 | | | | 60 | | 60 | | | | 60 | |
| <i>Усього годин</i> | 150 | 27 | 18 | 18 | 60 | 27 | 150 | 10 | 10 | 5 | 60 | 65 |

6. Теми семінарських занять – навчальним планом не передбачені

7. Теми практичних занять

| № з/п | Назва теми | Кількість годин (денна форма) | Кількість годин (заочна форма) |
|---------------------|--|-------------------------------|--------------------------------|
| 1 | Створення математичної моделі розвитку ЕМ; | 2 | 1 |
| 2 | Визначення схеми розвитку ЕМ методами лінійного програмування; | 2 | 1 |
| 3 | Застосування нелінійних методів до вибору схеми ЕМ; | 2 | 1 |
| 4 | Застосування методів динамічного програмування до вибору схеми ЕМ; | 2 | 1 |
| 5 | Вибір потужності електричних станцій в ЕС; | 2 | 2 |
| 6 | Оцінювання необхідного резерву потужності в ЕС; | 2 | 1 |
| 7 | Прогнозування навантажень в ЕС; | 2 | 1 |
| 8 | Вибір оптимальних схем ВРП станцій та підстанцій; | 2 | 1 |
| 9 | Компенсація реактивної потужності та регулювання напруги в ЕМ. | 2 | 1 |
| <i>Усього годин</i> | | 18 | 10 |

8. Теми лабораторних занять

| № з/п | Назва теми | Кількість годин (денна форма) | Кількість годин (заочна форма) |
|---------------------|---|-------------------------------|--------------------------------|
| 1 | Формування варіантів схем розвитку ЕМ лінійними методами. Застосування апроксимації для визначення коефіцієнтів цільової функції; | 2 | 1 |
| 2 | Підготовка вхідної інформації для САПР. Визначення оптимальної схеми ЕМ з застосуванням методу транспортної задачі; | 2 | 1 |
| 3 | Підготовка вхідної інформації для САПР. Визначення оптимальної схеми ЕМ за симплекс-методом; | 2 | 1 |
| 4 | Підготовка вхідної інформації для САПР. Визначення оптимальної схеми ЕМ за методом поконтурної оптимізації; | 2 | 1 |
| 5 | Аналіз впливу навантажень та коефіцієнтів цільової функції на оптимальну схему ЕМ; | 2 | |
| 6 | Аналіз впливу на оптимальну схему ЕМ питомих витрат на будівництво ЛЕП та обмежень на їх пропускну здатність; | 2 | |
| 7 | Застосування САПР для оптимізації схем розподільних пристроїв станцій і підстанцій з урахуванням надійності; | 2 | 1 |
| 8 | Застосування програмних засобів для аналізу нормальних та післяаварійних режимів електричних мереж; | 2 | |
| 9 | Оцінювання техніко-економічної ефективності проектних рішень щодо розвитку та реконструкції ЕМ. | 2 | |
| <i>Усього годин</i> | | 18 | 5 |

9. Самостійна робота

| № з/п | Назва теми | Кількість годин (денна форма) | Кількість годин (заочна форма) |
|---------------------|--|-------------------------------|--------------------------------|
| 1 | Оцінювання економічної ефективності проектів в електроенергетиці; | 2 | 4 |
| 2 | Багатофакторна оптимізація. Метод Паретто; | 2 | 4 |
| 3 | Аналіз причин відмов електрообладнання; | 2 | 4 |
| 4 | Показники надійності електричних мереж; | 1 | 4 |
| 5 | Прогнозування електроспоживання електричних мереж; | 2 | 4 |
| 6 | Формування математичної моделі для оптимізації розвитку ЕМ; | 2 | 4 |
| 7 | Визначення схеми розвитку ЕМ методом транспортної задачі; | 2 | 3 |
| 8 | Застосування методу Гауса-Джордана для формування канонічної симплекс-таблиці; | 2 | 4 |
| 9 | Визначення схеми розвитку ЕМ методом поконтурної оптимізації; | 1 | 3 |
| 10 | Визначення схеми розвитку ЕМ методом динамічного програмування; | 1 | 4 |
| 11 | Оцінювання структурної надійності електричних мереж; | 2 | 4 |
| 12 | Оцінювання функціональної надійності електричних мереж; | 2 | 3 |
| 13 | Оцінювання надійності головної схеми підстанції методом Тарівердієва; | 1 | 4 |
| 14 | Застосування заступної r-схеми для оптимізації розвитку електричних мереж; | 1 | 3 |
| 15 | Вибір резерву потужності в ЕЕС за критерієм надійності енергозабезпечення; | 1 | 3 |
| 16 | Вибір схеми розвитку електричних станцій за симплекс-методом; | 1 | 3 |
| 17 | Вибір стратегії розвитку електростанції методом динамічного програмування; | 1 | 3 |
| 18 | Оптимізація присіднання відновлюваних джерел електроенергії в ЕМ. | 1 | 4 |
| <i>Усього годин</i> | | 27 | 65 |

10. Індивідуальні завдання

Робочим навчальним планом передбачено виконання курсового проекту студентами денної та заочної форм навчання.

Завданням курсового проекту є закріплення знань та практичних навичок з проектування електричних мереж та планування розвитку електричних систем; вивчення вимог нормативних документів та методик, які використовують під час проектування електроустановок та вибору головних схем підстанцій.

За рішенням кафедри студенти готують реферати з окремих тем дисципліни та доповіді на щорічну науково-теоретичну підрозділів ВНТУ.

Тематика курсового проекту

У рамках курсового проекту розробляється техніко-економічне обґрунтування розвитку розподільних мереж енергопостачальної компанії з елементами проектування системи зовнішнього електропостачання нових споживачів, або місцевих джерел електроенергії, які необхідно приєднати до розподільної електромережі. Мета проекту – формування у студентів навичок техніко-економічного обґрунтування розвитку електромереж, а також базових навичок робочого проектування.

Розрахунково-пояснювальна записка має обсяг (40-70 с.) та складається з таких розділів:

Вступ;

1. Прогнозування електричних навантажень;
2. Розрахунок режимів існуючої мережі;
3. Визначення оптимальної схеми розвитку електричної мережі методами лінійного програмування;
4. Визначення оптимальної послідовності будівництва електричної мережі методом динамічного програмування;
5. Вибір схем розподільних пристроїв підстанцій споживачів, або джерел енергії;
6. Вибір схеми вузлової підстанції з урахуванням надійності розподільного пристрою вищої напруги;
7. Визначення конструктивних параметрів ліній електропередачі;
8. Вибір потужності силових трансформаторів;
9. Оцінювання та оптимізація балансу потужності у електричній мережі;
10. Аналіз характерних режимів електричної мережі;
11. Регулювання напруги у електричній мережі;
12. Оцінювання обсягу інвестицій та визначення оптимального варіанту розвитку електричної мережі;

Висновки;

Список використаних джерел.

Графічний матеріал

1. Електрична схема з'єднань розподільної мережі з варіантами її розвитку (1 лист формату А1).

11. Методи навчання

Основними методами навчання є: лекція-візуалізація; розповідь-пояснення; інструктаж; ілюстрування; демонстрація, зокрема, з використанням мультимедійних засобів навчання; усне опитування; тестування; навчальна дискусія; бесіда-діалог; виконання лабораторних робіт; групова робота; доповідь за темами, які відведені на самостійне вивчення; рішення практичних завдань; консультації; самостійна робота; індивідуальне завдання (курсний проект), підготовка доповідей науково-дослідного характеру, зокрема, на щорічну науково-технічну конференцію підрозділів ВНТУ.

12. Форми та методи контролю

Поточний контроль здійснюється під час проведення практичних та лабораторних занять і має на меті перевірку рівня підготовленості студента до виконання кон-

кретної роботи. Поточний контроль може проводитись як за допомогою електронних тестів у локальній мережі або у глобальній мережі (JetIQ), так і за допомогою проведення усного або письмового опитування.

Підсумковий контроль проводиться з метою оцінювання результатів навчання на певному освітньо-кваліфікаційному рівні або на окремих його завершальних етапах. Підсумковий контроль включає семестровий контроль. Під час семестрового контролю враховуються результати усіх видів навчальної роботи згідно зі структурою залікових кредитів.

Рівень виконання індивідуальної роботи оцінюється шляхом перевірки змісту роботи та її захисту у формі доповіді.

Семестровий контроль знань здійснюється в кінці семестру шляхом підрахування загальної кількості балів, отриманих під час навчання і складання іспиту.

Оцінювання курсових проектів проводиться у формі їх публічного захисту на відкритому засіданні комісії за участю керівника курсового проекту та ще не менше одного викладача кафедри. Для викладу змісту роботи студент готує доповідь, розраховану на 3–5 хвилин. Як правило, вона будується в тій же послідовності, у якій виконана робота. Під час доповіді студент використовує графічні та ілюстративні матеріали (таблиці, схеми, графіки). Після доповіді всі присутні студенти групи та члени комісії задають студенту запитання. Чіткість та аргументованість відповідей є визначальною для оцінювання якості виконання проекту.

13. Розподіл балів, які отримують студенти

Розподіл балів, які отримують здобувачі денної форми навчання за засвоєння матеріалу змістових модулів.

| Поточне тестування та самостійна робота | | Підсумковий тест (екзамен) | Сума |
|---|--------------------|----------------------------|------|
| Змістовий модуль 1 | Змістовий модуль 2 | 25 балів | 100 |
| T1, T2 ... T9 | T10, T11 ... T18 | | |
| 39 балів | 36 балів | | |

T1, T2 ... T18 – теми розділів, що входять в змістові модулі.

Шкала оцінювання в балах та ЄКТС

| Сума балів за всі види навчальної діяльності | Оцінка ECTS |
|--|--|
| 90-100 | A |
| 82-89 | B |
| 75-81 | C |
| 64-74 | D |
| 60-63 | E |
| 35-59 | FX незадовільно з можливістю повторного складання |
| 0-34 | F незадовільно з обов'язковим повторним вивченням дисципліни |

Таблиця 2 – Кількість і зміст модулів

| Модуль | Кредити | Лекції (год.) | Лаб. роботи. Кількість (роб./год) | Практичні заняття (теми/години) | Контрольна робота | Колоквіуми |
|-----------------|---------|---------------|-----------------------------------|---------------------------------|-------------------|------------|
| I | 1,5 | 13 | 5 / 10 | 5 / 10 | - | 1 |
| II | 1,5 | 14 | 4 / 8 | 7 / 8 | - | 1 |
| Курсовий проект | 2 | - | - | - | - | - |

Таблиця 3 – Оцінювання знань, умінь та навичок студентів з окремих видів роботи та в цілому по модулях (в балах)

| Вид роботи | Модуль | Модуль | Разом |
|--------------------------------------|--------|--------|-------|
| | 1 | 2 | |
| 1. Практичні заняття (1 ПЗ – 2 бали) | 10 | 8 | 18 |
| 2. Лабораторні роботи (1ЛР – 2 бали) | 10 | 8 | 18 |
| 3. Колоквіум | 10 | 10 | 20 |
| 4. Контрольна робота | - | - | - |
| 5. Вирішення тестових завдань | 9 | 10 | 19 |
| Всього | 39 | 36 | 75 |

Таблиця 4 – Оцінювання результатів захисту курсового проекту

| | |
|--|-----------|
| Виконання електротехнічної частини проекту | 40 |
| Оформлення пояснювальної записки проекту | 10 |
| Виконання креслення до проекту | 10 |
| Захист курсового проекту | 40 |
| Всього | 100 балів |

14. Методичне забезпечення

1. Робоча програма навчальної дисципліни «МОДЕЛІ ОПТИМАЛЬНОГО РОЗВИТКУ ЕЛЕКТРИЧНИХ СИСТЕМ І МЕРЕЖ».
2. Конспект лекцій.
3. Методичні вказівки до курсового проекту.
4. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт.
5. Питання на колоквіуми.
6. Тести поточного контролю знань.
7. Комплект екзаменаційних білетів.
8. Комплект комплексних контрольних робіт.

15. Критерії оцінювання знань, умінь та навичок студентів

| Рівень компетентності | За бальною шкалою | За шкалою ЕКТС | Критерії оцінювання |
|--------------------------------------|--|----------------|---|
| IV Високий (творчий) | 90-100 | A | Програмні результати досягнуті повністю. Теоретичний зміст курсу освоєний цілком, без прогалин; виявлено глибокі знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності, сформовано необхідні практичні навички вирішувати завдання з організації професійної діяльності у галузі електроенергетики, електротехніки та електромеханіки, і розв'язувати проблеми у кризових ситуаціях з урахуванням зовнішніх та внутрішніх впливів; усі передбачені програмою навчання навчальні завдання виконані, якість їхнього виконання оцінено числом балів, близьким до максимального. |
| III Достатній (конструктивний) | 82-89 | B | Програмні результати досягнуті повністю. Теоретичний зміст курсу освоєний цілком, без прогалин; сформовано вміння викладати основні ідеї щодо організації професійної діяльності у галузі електроенергетики, електротехніки та електромеханіки. Необхідні практичні навички роботи з освоєним матеріалом в основному сформовані, усі передбачені програмою навчання навчальні завдання виконані, якість виконання більшості з них оцінено числом балів, близьким до максимального. |
| | 75-81 | C | Програмні результати досягнуті повністю. Теоретичний зміст курсу освоєний цілком, без прогалин. Вміння викладати базові ідеї щодо організації професійної діяльності у галузі електроенергетики, електротехніки та електромеханіки, а також практичні навички роботи з освоєним матеріалом сформовані недостатньо; усі передбачені програмою навчання завдання виконані, якість виконання жодного з них не оцінено мінімальним числом балів, деякі види завдань виконані з помилками. |
| II Середній (репродуктивний) | 64-74 | D | Програмні результати досягнуті. Теоретичний зміст курсу освоєний частково, але прогалини не носять істотного характеру, виявлено знання та розуміння основних положень реструктуризації та санації; необхідні практичні навички роботи з освоєним матеріалом в основному сформовані, більшість передбачених програмою навчання навчальних завдань виконано, деякі з виконаних завдань містять помилки. |
| | 60-63 | E | Програмні результати досягнуті. Теоретичний зміст курсу освоєний частково, деякі практичні навички роботи не сформовані, частина передбачених програмою навчання завдань не виконано або якість виконання оцінено числом балів, близьким до мінімального. |
| I Низький | 35-59 незадовільно з можливістю повторного складання | FX | Програмні результати не досягнуті. Теоретичний зміст курсу освоєний частково, необхідні практичні навички роботи не сформовані, більшість передбачених програм навчання навчальних завдань не виконано, або якість їхнього виконання оцінено числом балів, близьким до мінімального; при додатковій самостійній роботі над матеріалом курсу можливе підвищення якості виконання навчальних завдань (з можливістю повторного складання) |
| | 0-34 незадовільно з обов'язковим повторним вивченням дисципліни | F | Програмні результати не досягнуті. Теоретичний зміст курсу не освоєно, необхідні практичні навички роботи не сформовані, усі виконані навчальні завдання містять грубі помилки, додаткова самостійна робота над матеріалом курсу не приведе до якогонебудь значущого підвищення якості виконання навчальних завдань (з обов'язковим повторним курсом) |

16. Рекомендована література

1. О. В. Кириленко, М. С. Сегеда, О. Ф. Буткевич, та Т. А. Мазур, Математичне моделювання в електроенергетиці: підручник. – Львів: Національний університет «Львівська політехніка», 2010. – 430 с.
2. Остапчук Ж.І., Кулик В.В., Тептя В.В. Моделювання в задачах розвитку електричних систем. Навчальний посібник. – Вінниця: ВНТУ, 2008. – 128 с.
3. Остапчук Ж.І., Тептя В.В. Моделювання розвитку електричних систем в прикладах і задачах. Навчальний посібник. – Вінниця: ВНТУ, 2008. – 97 с.
4. Остапчук Ж.І. Методичні вказівки до курсового проекту з дисципліни «Проектування електричних систем». – Вінниця, ВНТУ, 2008. – 47 с.
5. Остапчук Ж.І., Томашевський Ю.В. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни «Моделі оптимального розвитку електричних систем». – Вінниця, ВНТУ, 2008. – 49 с.
6. Типові рішення при проектуванні електричних мереж напругою 110–330 кВ : навчальний посібник / В. В. Кулик, В. В. Тептя, О. Б. Бурикін, О. В. Сікорська. Вінниця : ВНТУ, 2018. 110 с.
7. Правила улаштування електроустановок. Видання офіційне. Міненерговугілля України. Х.: Видавництво «Форт», 2017. – 760 с.
8. Електрична частина станцій та підстанцій: курс лекцій [Електронний ресурс]: навчальний посібник для студ. спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»/уклад.: О.В. Остапчук, П.Л. Денисюк, Ю.П. Матеєнко – КПІ ім. Ігоря Сікорського, – Електронні текстові дані (1 файл: 4,62 Мбайт). – Київ: КПІ ім Ігоря Сікорського, 2022. – 183 с.
9. СОУ-Н ЕЕ 40.1-00100227-101:2014 «Норми технологічного проектування електроенергетичних систем і електричних мереж 35 кВ і вище».
10. Кудря С.О. Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії. – К.: НТУУ «КПІ», 2012. – 492 с.
11. Інтелектуальні електричні мережі: елементи та режими: За заг. ред. акад. НАН України О.В. Кириленка / Інститут електродинаміки НАН України. – К.: Ін-т електродинаміки НАН України, 2016. – 400 с.
12. Національна бібліотека України імені академіка В. І. Вернадського: [сайт]. Режим доступу: <http://nbuv.gov.ua/>
13. Енергетика: [сайт]. Режим доступу: <http://LEONARDO.ENERGY.ORG>
14. <http://any-book.org/download/68591.html>
15. <http://window.edu.ru/resource/262/75262/>

