

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

**ОПТИМІЗАЦІЯ ФУНКЦІОНУВАННЯ ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ
ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ ТА
ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ КОМПЛЕКСІВ
(Обов'язкова)
III рівень вищої освіти (ДОКТОР ФІЛОСОФІЇ)**

Освітньо-наукова програма **Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка**

Спеціальність **141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка**

Викладач: **Кулик В. В.**

Мова викладання: **українська**

Семестр – **2**

Кредитів ЕКТС – **4**

Лекцій – 32 год. (для заочної форми – 8 год.)

Практичних – 32 год. (для заочної форми – 8 год.)

Лабораторних – не передбачено

Курсовий проект – не передбачено

Самостійна робота – 56 год. (для заочної форми – 104 год.)

Вид контролю: **диференційований залік**

Схвалено на засіданні кафедри ЕСС,
протокол № 11 від 21.04.2020 р.

Затверджено на засіданні методичної ради ВНТУ,
протокол №12 від 18.06.2020 р.

Передумови для вивчення – Освітній компонент базується на знаннях, отриманих під час вивчення циклу дисциплін магістерської підготовки. Дисципліна викладається паралельно з освітнім компонентом «Математичне моделювання в наукових дослідженнях», який забезпечує підґрунтя для сприйняття нових відомостей з теорії оптимізації та сучасних підходів до вирішення актуальних оптимізаційних задач електроенергетики та електромеханіки. Опанування дисципліни передбачає вивчення нормативної бази та наукової літератури, оволодіння компетентностями дослідника у галузі оптимізації процесів в електротехнічних комплексах та електроенергетичних системах..

Метою вивчення дисципліни полягає у формуванні компетентностей, необхідних для провадження науково-дослідної діяльності на виробництві, у науково-дослідній установі чи закладі вищої освіти, зокрема здатності виявляти та аналізувати причини неоптимальності функціонування електроенергетичних систем (ЕЕС) та електротехнічних комплексів (ЕТК); здатності до системного підходу під час синтезу заходів з оптимізації функціонування ЕЕС; здатності до синтезу та аналізу ефективності автоматизованих систем оперативного керування ЕЕС та ЕТК.

Компетентності:

K01. Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу, формування системного наукового світогляду.

K05. Здатність виявляти та вирішувати науково-практичні проблеми, ставити та розв'язувати задачі дослідницького характеру, приймати обґрунтовані рішення та самостійно працювати над їх практичною реалізацією.

ФК1. Здатність демонструвати знання і розуміння наукових фактів, концепцій, теорій, принципів і методів керування електроенергетичними, електротехнічними та електромеханічними системами та комплексами.

ФК2. Здатність застосовувати системний підхід до вирішення науково-технічних завдань електроенергетики, електротехніки та електромеханіки.

ФК5. Здатність застосовувати відповідні математичні методи, комп'ютерні технології, а також засади стандартизації та сертифікації для розв'язання завдань в галузі електроенергетики, електротехніки та електромеханіки.

ФК7. Здатність здійснювати аналіз техніко-економічних показників та експертизу проектно-конструкторських рішень в галузі електроенергетики, електротехніки та електромеханіки з використанням комп'ютерного моделювання.

ФК8. Здатність розробляти програмне та апаратне забезпечення комп'ютеризованих інформаційно-вимірювальних систем.

ФК9. Здатність впроваджувати новітні досягнення для проектування автоматизованого виробництва і автоматизованого розроблення або конструювання елементів електроенергетичних, електротехнічних та електромеханічних систем.

ФК10. Здатність демонструвати практичні навички в області електроенергетики, електротехніки та електромеханіки.

ФК11. Здатність демонструвати розуміння технічних аспектів надійності та ефективності функціонування електроенергетичних, електротехнічних та електромеханічних об'єктів і систем.

ФК14. Здатність демонструвати обізнаність з питань надійності та ефективності функціонування електроенергетичних та електротехнічних систем з відновлюваними джерелами енергії, що зумовлені необхідністю забезпечення сталого розвитку.

Програмні результати навчання:

ПР05. Уміти прогнозувати тенденції розвитку в галузі електроенергетики, електротехніки та електромеханіки.

ПР06. Уміти аналізувати інженерні продукти, процеси та системи за встановленими критеріями, обирати і застосовувати найбільш придатні аналітичні, розрахункові та експериментальні методи для проведення досліджень, інтерпретувати результати досліджень.

ПР07. Уміти виконувати постановку, формулювання і розв'язання завдань у галузі електроенергетики, електротехніки та електромеханіки, що пов'язані з процедурами спостереження об'єктів, вимірювання, контролю, діагностування і прогнозування з урахуванням важливості соціальних обмежень (суспільство, здоров'я і безпека, охорона довкілля, економіка, промисловість тощо).

ПР08. Уміти проектувати та розробляти інженерні продукти, процеси та системи автоматизованого виробництва, обирати і застосовувати методи комп'ютеризованих експериментальних досліджень.

ПР10. Володіти сучасними методами та розробленими методиками проектування і дослідження, а також аналізу отриманих результатів.

ПР18. Уміти розробляти техніко-економічне обґрунтування проектів з електроенергетики, електротехніки та електромеханіки та оцінювати економічну ефективність їх впровадження.

Тематика

Змістовий модуль 1. Особливості електроенергетичних систем (ЕЕС), та електротехнічних комплексів (ЕТК) як об'єктів дослідження

Тема 1. Особливості функціонування електроенергетичних систем (ЕЕС). Стійкість, забезпечення балансової надійності ЕЕС. Режими роботи електроенергетичних систем (ЕЕС). Вимоги, що висуваються до усталених режимів. Структура балансу електроенергії. Особливості різнотипних джерел електроенергії. Оцінювання балансової надійності. Види збурень і види стійкості. Структура протиаварійного керування.

Тема 2. Забезпечення ЕЕС первинними енергоресурсами. Функції виробників електроенергії. Особливості забезпечення ЕЕС первинними енергоресурсами. Формування прогнозів споживання енергоресурсів. Порядок планування балансів електричної енергії. Забезпечення безпечної експлуатації ЕЕС. Участь різнотипних джерел енергії у забезпеченні прогнозного балансу. Моніторинг та підтримання балансової надійності.

Тема 3. Регулювання частоти і потужності в ЕЕС. Структура та методи регулювання. Структура системи регулювання частоти в ЕЕС. Протиаварійна автоматика для стабілізації частоти. Методи регулювання міжсистемних перетоків. Взаємодія процесів регулювання частоти ЕЕС і потужності в її перетинах. Автоматика регулювання частоти і потужності в ЕЕС.

Тема 4. Формулювання багатокритеріальних задач оптимізації ЕТК. Критерії оптимальності оптимізаційних задач. Багатокритеріальні задачі. Методи агрегування та інтегрування критеріїв оптимальності.

Змістовий модуль 2. Аналітичні та чисельні методи оптимізації та особливості їх застосування

Тема 1. Розв'язання лінійних та нелінійних оптимізаційних задач з аналітичними цільовими функціями. Постановка задачі оптимізації. Підбір методу розв'язання. Особливості застосування оптимізаційних методів для електротехнічних задач. Перевірка адекватності розв'язків.

Тема 2. Розв'язання оптимізаційних задач з інтегральним критерієм оптимальності. Постановка задачі оптимізації. Застосування рівнянь Коші. Метод оптимізації Понтрягіна. Застосування принципу Гамільтона-Остроградського. Особливості застосування методів оптимізації.

Тема 3. Розв'язання оптимізаційних задач з неаналітичними цільовими функціями. Електротехнічні задачі з неаналітичною цільовою функцією. Методи оптимізованого перебору варіантів. Застосування апроксимації на підставі планування експерименту. Аналіз чутливості.

Тема 4. Розв'язання оптимізаційних задач в умовах невизначеності. Невизначеність у постановці електротехнічних задач. Шляхи усунення невизначеності. Використання якісних оцінок для невизначених параметрів. Застосування методів нечіткої оптимізації.

Змістовий модуль 3. Інформаційне забезпечення для розв'язання оптимізаційних задач в ЕЕС та ЕТК

Тема 1. Системи збирання та оброблення первинної інформації в ЕЕС та ЕТК. Особливості інформаційного забезпечення оптимізаційних задач в електроенергетичних та електромеханічних системах. Принципи побудови оперативно-інформаційних комплексів для електротехнічних систем.

Тема 2. Особливості інформаційного забезпечення ЕЕС та ЕТК. Вектори стану, спостереження та керування. Засоби первинного перетворення електромеханічних параметрів. Основні та резервні канали передачі даних. Первинна та вторинна обробка інформації. Засоби відображення інформації.

Тема 3. Аналіз чутливості цільової функції та формування спеціалізованих інформаційних систем. Методи аналізу чутливості для аналітичних та неаналітичних цільових функцій. Визначення областей корекції для об'єкта керування.

Тема 4. Спостережність та керованість досліджуваної системи. Оцінювання спостережності статичної та динамічної системи. Методи оцінювання стану системи. Критерії керованості системи та шляхи її забезпечення.

Змістовий модуль 4. Автоматизація керування технологічним процесом в ЕЕС та ЕТК

Тема 1. Структура задач оперативного керування електроенергетичними системами. Завдання керування нормальними режимами. Підтримання необхідного рівня технічного резерву пропускної спроможності ЕЕС. Довгострокові сценарії розвитку попиту та пропозиції. Пріоритети диспетчеризації об'єктів електроенергетики.

Тема 2. Автоматизація керування технологічним процесом в електротехнічних системах. Принципи формування автоматизованих систем та систем автоматичного керування технологічним процесом. Адаптивне керування. Системи розосередженої структури. Синтез структури автоматизованих систем керування.

Тема 3. Синтез алгоритмів функціонування систем технологічної автоматики. Сучасні засоби та технології автоматизації технологічних процесів в ЕЕС та ЕТК. Алгоритмізація розв'язання оптимізаційних задач з використанням розосереджених систем керування.

Тема 4. Оцінювання ефективності систем технологічної автоматики. Критерії оцінювання функціональної надійності систем технологічної автоматики. Критерії оцінювання ефективності алгоритмів функціонування розподілених систем керування. Аналітичне та експериментальне дослідження ефективності систем технологічної автоматики.

Теми практичних занять

Тема 1. Нормативна документація щодо функціонування ринку електроенергії України
Тема 2. Нормативна документація щодо оцінювання ефективності технічних рішень
Тема 3. Формування цінових заявок електростанцій
Тема 4. Оцінювання рентабельності та кумулятивного ефекту технічних рішень
Тема 5. Застосування симплекс-методу для оптимізації проектних рішень
Тема 6. Застосування градієнтних методів для оптимізації режимних параметрів ЕЕС
Тема 7. Застосування методів перебору варіантів для оптимізації режимних параметрів ЕТК
Тема 8. Застосування аналітичної оптимізації. Умови оптимальності
Тема 9. Застосування принципу найменшої дії для оптимізації режимних параметрів
Тема 10. Пошук оптимальних рішень для задач з нечітко заданими параметрами
Тема 11. Аналіз чутливості оптимальних рішень. Пошук області коригування параметрів
Тема 12. Оцінювання спостережності розподіленого об'єкта керування
Тема 13. Закони керування систем автоматичного керування технологічним процесом
Тема 14. Закони керування адаптивних автоматизованих систем керування технологічним процесом
Тема 15. Оптимізація схем електричних мереж з урахуванням динаміки розвитку
Тема 16. Оцінювання балансової надійності наявної інфраструктури енергогенерування

Теми для самостійної роботи

Тема 1. Структура балансу електроенергії. Особливості різномісних джерел електроенергії. Оцінювання балансової надійності. Структура протиаварійного керування.
Тема 2. Особливості забезпечення ЕЕС первинними енергоресурсами. Формування прогнозів

споживання енергоресурсів. Порядок планування балансів електричної енергії.
Тема 3. Взаємодія процесів регулювання частоти ЕЕС і потужності в її перетинах. Автоматика регулювання частоти і потужності в ЕЕС.
Тема 4. Багатокритеріальні задачі. Методи агрегування та інтегрування критеріїв оптимальності.
Тема 5. Постановка задачі оптимізації з аналітичними цільовими функціями. Підбір методу розв'язання.
Тема 6. Постановка задачі оптимізації з інтегральним критерієм оптимальності. Застосування принципу Гамільтона-Остроградського.
Тема 7. Методи оптимізованого перебору варіантів. Застосування апроксимації для формування аналітичної цільової функції.
Тема 8. Невизначеність в електротехнічних задачах. Шляхи усунення невизначеності.
Тема 9. Системи збирання та оброблення первинної інформації в ЕЕС та ЕТК. Принципи побудови оперативно-інформаційних комплексів для електротехнічних систем.
Тема 10. Засоби первинного перетворення електромеханічних параметрів. Первинна та вторинна обробка інформації.
Тема 11. Аналіз чутливості цільової функції. Методи аналізу чутливості для аналітичних та неаналітичних цільових функцій.
Тема 12. Оцінювання спостережності статичної та динамічної системи. Критерії керованості системи.
Тема 13. Структура задач оперативного керування електроенергетичними системами. Завдання керування нормальними режимами.
Тема 14. Принципи формування автоматизованих систем та систем автоматичного керування технологічним процесом. Адаптивне керування. Системи розосередженої структури.
Тема 15. Сучасні засоби та технології автоматизації технологічних процесів в ЕЕС та ЕТК.
Тема 16. Критерії оцінювання функціональної надійності систем технологічної автоматики.

Тематика курсового проектування

Курсового проекту не передбачено

Індивідуальні завдання

Робочим навчальним планом передбачена контрольна робота (для здобувачів заочної форми навчання). Крім того, за рішенням кафедри здобувачі готують реферати з окремих тем курсу та доповіді на щорічну науково-теоретичну конференцію викладачів, співробітників та студентів ВНТУ.

Контроль

Поточний контроль здійснюється у формі фронтального, індивідуального чи комбінованого контролю знань студентів під час практичного заняття, тестування, колоквиумів та контрольних робіт, диференційованого заліку. Залік може проводитись у вигляді усного опитування та/або тестів.

Оцінювання результатів навчання

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

Вид роботи	Модуль 1	Модуль 2
1. Індивідуальні завдання	10	10
2. Контрольні роботи	15	15
3. Активність під час занять	5	5
4. Колоквиум	20	20
Всього	50	50

Політика курсу

Викладач та всі здобувачі, що вивчають цей курс, зобов'язуються дотримуватись таких положень [Кодекс етики ВНТУ](#), [Положення про академічну доброчесність студентів та науково-педагогічних працівників ВНТУ](#), [Положення про рейтингову систему оцінювання досягнень студентів у ВНТУ](#) та розуміють, що за їх порушення несуть особисту відповідальність.

Базові інформаційні ресурси

1. Стійкість енергосистем. Керівні вказівки. СОУ-Н МЕВ 40.1-00100227-68:2012. Київ.: Міністерство енергетики та вугільної промисловості України. – 2012. – 29 с.
2. Кириленко О. В., Сегеда М. С., Буткевич О. Ф., Мазур Т. А. Математичне моделювання в електроенергетиці. – Національний університет «Львівська політехніка». – Л., 2010. – 608 с.
3. Лежнюк П.Д., Кулик В.В., Нетребський В.В., Тептя В.В. Принцип найменшої дії в електротехніці та електроенергетиці. Монографія. – Вінниця: ВНТУ, 2014. – 212 с.
4. Голота А.Д. Автоматика в електроенергетичних системах. – Київ: Вища школа, 2006. – 367 с.
5. Лежнюк П. Д. Аналіз чутливості оптимальних рішень в складних системах критеріальним методом: Монографія / П. Д. Лежнюк. – Вінниця: Універсум-Вінниця, 2003. – 131 с.

Додаткові інформаційні ресурси

1. Лежнюк П.Д., Кулик В.В. Оптимальне керування потоками потужності і напругою у неоднорідних електричних мережах. Монографія. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2003. – 188 с.
2. Журахівський, А. В. Оптимізація режимів електроенергетичних систем : навч. посібник для вузів / А. В. Журахівський, І. В. Жежеленко ; Держ. ун-т "Львівська політехніка"; ПДТУ. Каф. електропостачання пром. підприємств. – Львів ; Маріуполь ;, 2000. – 109 с.
3. Енергоефективність та енергозбереження: економічний, техніко-технологічний та екологічний аспекти : колективна монографія / Кол. авторів; за заг. ред. П. М. Макаренка, О. В. Калініченка, В. І. Аранчій. Полтава : ПП "Астра", 2019. – 603 с.
4. 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.
5. Попович М. Г. Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи : навчальний посібник/ М. Г. Попович, О. Ю. Лозинський, В. Б. Клепиков та ін.; За ред.. М.Г. Поповича, О. Ю. Лозинського. – К. : Либідь, 2005. – 680 с.
6. Volodymyr Kulyk, Iryna A. Bartetska, Olga A. Buslavets, and Michalina Gryniwicz-Jaworska V. Information support of optimal control of modes of electric

systems with renewable energy sources // *Advances in Science and Technology Research Journal*, Vol. 11, Is. 4, Dec-2017, p. 21-26. – DOI: 10.12913/22998624/75888 (Scopus, WoS)

7. В.В. Кулик, О.Б. Бурикін, О.В. Глоба. Інформаційно-програмне забезпечення пофідерного аналізу й оптимізації втрат електроенергії у розподільних електромережах з розосередженим генеруванням // *Праці Інституту електродинаміки НАНУ*. – 2017. – № 48. – С. 33–38.

8. В.В. Кулик, В.М. Пірняк. Оптимізація перетікань реактивної енергії в розподільних електричних мережах з використанням принципу найменшої дії // *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. – 2017. – № 6. – С. 71-79.

9. P. Lezhniuk, V. Kulyk, O. Burykin, Yu. Malogulko *Distributed energy sources in the local electrical systems: monograph* // Riga : LAP LAMBERT Academic Publishing, 2018. – 148 p. – ISBN 978-613-7-37951-6.

10. Volodymyr Kulyk, Yurii Tomashevskiy, Oleksander Burykin, Juliya Malogulko. Estimation of the dynamics of power grid operating parameters based on standard load curves // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2019. – № 8(6). – P. 6-12. ISSN 1729-3774

Електронні ресурси

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

2. Енергетика: [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://leonardo.energy.org>

3. Книги в форматі doc: [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://any-book.org>

4. Законодавство України: [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/>

5. АВВ: [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://new.abb.com/ua>

6. Siemens: [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.downloads.siemens.com>

7. Schneider Electric: [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.schneider-electric.com/>

8. Matlab. Exponenta. Центр компетенцій (назва з екрану). Режим доступу: <http://matlab.exponenta.ru>

9. MathCad. Cyberforum. (назва з екрану). Режим доступу: <http://www.cyberforum.ru/mathcad>

10. IEEE Xplore Digital Library (назва з екрану). Режим доступу: <http://ieeexplore.ieee.org/Xplore/home.jsp>