МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ КОРАБЛЕБУДУВАННЯ
імені адмірала Макарова

Навчально-науковий інститут автоматики та електротехніки
(повна назва підрозділу)

Кафедра суднових електроенергетичних систем
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖЕНО
Проректор з науково-педагогічної роботи
_____ Слободян С.О.

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

PROGRAM OF THE DISCIPLINE

ОПТИМАЛЬНІ МЕТОДИ АНАЛІЗУ, СИНТЕЗУ ТА КЕРУВАННЯ В ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМАХ
OPTIMAL METHODS OF ANALYSIS, SYNTHESIS AND CONTROL IN ELECTRICAL POWER SYSTEMS

рівень вищої освіти	другий (магістерський)
тип дисципліни	вибіркова
мова(и) викладання	українська

Миколаїв – 2024

Робоча програма навчальної дисципліни «Оптимальні методи аналізу, синтезу та керування в електроенергетичних системах» є однією із складових курсу вільного вибору студента (Вибірковий курс 4).

«15» 10 2024 року. 15 с.

Розробник:
Пальчиков Олег Олегович, канд.техн.наук, доцент кафедри СЕЕС.

Проект робочої програми навчальної дисципліни «Оптимальні методи аналізу, синтезу та керування в електроенергетичних системах» розглянуто на засіданні кафедри СЕЕС.
Протокол №3 від «16» 10 2024 р.
Завідувач кафедри СЕЕС,
док.техн.наук, доцент А.В. Обрубов

Проект робочої програми навчальної дисципліни «Оптимальні методи аналізу, синтезу та керування в електроенергетичних системах» розглянуто методичною радою Навчально-наукового інституту автоматики та електротехніки
Протокол №4 від «15» 11 2024 р.
Голова МР ННІАЕ,
канд.техн.наук, доцент Д.О. Жук

Проект робочої програми навчальної дисципліни «Оптимальні методи аналізу, синтезу та керування в електроенергетичних системах» погоджено з навчальним відділом
Начальник відділу А.В. Лабарткава

Робоча програма навчальної дисципліни «Оптимальні методи аналізу, синтезу та керування в електроенергетичних системах» затверджено Навчально-методичною радою НУК
Протокол №___ від «___» _____ 2024 р.
Голова НМР НУК С.О. Слободян

© НУК, 2024

ЗМІСТ

Вступ *4*

1. Опис навчальної дисципліни *5*

2. Мета вивчення навчальної дисципліни *6*

3. Передумови для вивчення дисципліни *6*

4. Очікувані результати навчання *6*

5. Програма навчальної дисципліни *7*

6. Методи навчання, засоби діагностики результатів навчання та методи їх демонстрування *12*

7. Форми поточного та підсумкового контролю *12*

8. Критерії оцінювання результатів навчання *14*

9. Інструменти, обладнання та програмне забезпечення, використання яких передбачає навчальна дисципліна *15*

10. Рекомендовані джерела інформації *15*

ВСТУП

Анотація

Аналіз ситуацій, які виникають при дослідженні режимів роботи електричних мереж різного рівня напруги, ґрунтується на розв'язку систем диференційних рівнянь високої розмірності, які можуть мати різний ступінь нелінійності. Це викликає залучення до розв'язку таких систем передових математичних методів. Нелінійність рівнянь усталеного режиму може призводити до неоднозначності рішення таких рівнянь. В практиці експлуатації електромереж постає проблема оцінки стану електромереж, методологія якої значно відрізняється від методів, що застосовуються для детермінованих розрахунків рівнянь усталених режимів електромереж. Причинами цього є надмірна або недостатня кількість вимірювань, похибки вимірювань, змішаний склад вимірювань. При розгляді перехідних режимів електроенергетичних систем слід використовувати лише ефективні методи з огляду на час розрахунків і їх точність. А тому студент має навчитися застосовувати алгоритми оптимальних методів аналізу електроенергетичних систем, ідентифікувати фізичність рішення і вміти тестувати алгоритми покращення початкових наближень.

Спорудження і розвиток вже існуючих систем генерації струму має здійснюватися з залученням об'єктивних математичних методів прийняття оптимальних рішень. В даному курсі розглядаються методи лінійного і нелінійного програмування, оптимізація на графах, багатокритеріальна оптимізація. Ці методи проілюстровані оптимизаціями розвитку електростанції, економічного розподілу активного навантаження між електростанціями, розподілу компенсаторів реактивної потужності, довжини кабельної мережі, перетину неізольованих проводів ЛЕП.

Розглянуто синтез оптимального закону керування режимом електричної мережі з застосуванням теорії чутливості.

Ключові слова: *чисельні методи, методи оцінювання стану електромереж, методи лінійного і нелінійного програмування, оптимізація на графах, багатокритеріальна оптимізація, теорія чутливості.*

Abstract

The analysis of the situations that arise during the study of the modes of operation of electric networks of different voltage levels is based on the solution of systems of differential equations of high dimensions, which can have different degrees of nonlinearity. This causes the involvement of advanced mathematical methods in the solution of such systems. The non-linearity of the equations of the steady state can lead to the ambiguity of the solution of such equations. In the practice of operation of electrical networks, the problem of assessing the state of electrical networks arises, the methodology of which is significantly different from the methods used for deterministic calculations of the equations of the steady modes of electrical networks. The reasons for this are excessive or insufficient number of measurements, measurement errors, mixed composition of measurements. When considering the transient regimes of power systems, only effective methods should be used in view of the time of calculations and their accuracy. Therefore, the student must learn to apply the algorithms of optimal methods of analysis of power systems, identify the physicality of the solution and be able to test the algorithms for improving the initial approximations.

The construction and development of already existing current generation systems should be carried out with the involvement of objective mathematical methods of making optimal decisions. This course covers methods of linear and non-linear programming, optimization on graphs, multi-criteria optimization. These methods are illustrated by optimizations of power plant development, economic distribution of active load between power plants, distribution of reactive power compensators, length of cable network, intersection of non-insulated power lines.

The synthesis of the optimal control law of the electric network regime using the theory of sensitivity is considered.

Key words: *numerical methods, methods of assessing the state of electric networks, methods of linear and non-linear programming, optimization on graphs, multi-criteria optimization, sensitivity theory.*

1. Опис навчальної дисципліни

<table>
<tr><td rowspan="2">Найменування показників</td><td rowspan="2">Галузь знань, спеціальність (освітня програма), освітній рівень</td><td colspan="2">Характеристика навчальної дисципліни</td></tr>
<tr><td>денна форма навчання</td><td>заочна форма навчання</td></tr>
<tr><td>Кількість кредитів – 5</td><td rowspan="12">Усі спеціальності та освітні програми, за якими ведеться підготовка в Національному університеті кораблебудування імені адмірала Макарова</td><td colspan="2">Вибіркова 4</td></tr>
<tr><td>Модулів – 1</td><td colspan="2">Рік підготовки:</td></tr>
<tr><td>Змістових модулів – 2</td><td>5-й</td><td>5-й</td></tr>
<tr><td rowspan="3">Електронна адреса РПНД на сайті Університету</td><td colspan="2">Семестр</td></tr>
<tr><td>10-й</td><td>10-й</td></tr>
<tr><td colspan="2">Лекцій</td></tr>
<tr><td rowspan="3">Індивідуальне науково-дослідне завдання -</td><td>30 год.</td><td>10 год.</td></tr>
<tr><td colspan="2">Практичні, семінарські</td></tr>
<tr><td>30 год.</td><td>10 год.</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Загальна кількість годин – 150</td><td colspan="2">Лабораторні</td></tr>
<tr><td>0 год.</td><td>0 год.</td></tr>
<tr><td rowspan="7">Тижневих годин для денної форми навчання:
аудиторних – 4;

самостійної роботи студента – 6.</td><td rowspan="7">Освітній рівень:
другий (магістерський)</td><td colspan="2">Самостійна робота</td></tr>
<tr><td>90 год.</td><td>130 год.</td></tr>
<tr><td colspan="2">Індивідуальні завдання</td></tr>
<tr><td>0 год.</td><td>0 год.</td></tr>
<tr><td colspan="2">Вид контролю: залік</td></tr>
<tr><td colspan="2">Форма контролю: комбінована</td></tr>
</table>

2. Мета вивчення навчальної дисципліни

Метою вивчення навчальної дисципліни «Оптимальні методи аналізу, синтезу та керування в електроенергетичних системах» є формування у студентів таких компетентностей:

- *здатність застосовувати отримані теоретичні знання, наукові технічні методи для вирішення науково-технічних проблем і задач електроенергетики, електротехніки та електромеханіки;*
- *здатність розробляти та впроваджувати заходи з підвищення ефективності при проектування та експлуатації обладнання та об'єктів електроенергетики;*
- *здатність демонструвати знання і розуміння математичних принципів і методів, необхідних для використання в електроенергетиці;*
- *здатність керувати проектами і оцінювати їх результати;*
- *здатність розробляти плани і проекти для забезпечення досягнення поставленої певної мети з урахуванням всіх аспектів проблеми, що вирішуються, включаючи виробництво, експлуатацію, технічне обслуговування та утилізацію обладнання електроенергетичних та електромеханічних комплексів;*
- *здатність використовувати програмне забезпечення для автоматизованої розробки або конструювання елементів електроенергетичних, електротехнічних та електромеханічних систем.*

3. Передумови для вивчення дисципліни

Передумов для вивчення дисципліни не має.

4. Очікувані результати навчання

Вивчення навчальної дисципліни передбачає формування та розвиток у студентів таких результатів навчання:

- *знаходити варіанти та окреслювати план заходів з підвищення ефективності експлуатації електроенергетичного та електромеханічного обладнання і відповідних комплексів та систем;*
- *аналізувати процеси в електроенергетичних системах;*
- *реконструювати існуючі електричні мережі, станції та підстанції, електромеханічні комплекси та системи з метою підвищення їх ефективності;*
- *визначати оптимальну структуру системи автоматизації, режими роботи і параметри джерел генерації електроенергії з метою їх ефективної експлуатації в електроенергетичних системах;*
- *вміти оптимізовувати системи автоматичного управління електроенергетичними системами;*
- *дотримуватися принципів та напрямів стратегії розвитку енергетичної безпеки України.*

5. Програма навчальної дисципліни

Модуль 1. Оптимальні методи аналізу, синтезу та керування в електроенергетичних системах

Змістовий модуль 1. Аналіз режимів роботи електроенергетичних систем

Тема 1. Спеціальні методи розрахунку електромереж. *Література*: [4] стор. 69–75, стор. 80–104, стор. 469–480.

Тема 2. Чисельні методи розрахунків лінійних рівнянь усталених режимів електроенергетичних систем. *Література*: [4] стор.19–37, стор. 207–221, стор.303–306.

Тема 3. Методи Зейделя, якнайшвидшого спуску та по координатної мінімізації для розрахунків нелінійних рівнянь усталених режимів електроенергетичних систем. *Література*: [2] стор.150–164, [4] стор. 221–230.

Тема 4. Методи Ньютона-Рафсона, Ньютона та його модифікації для розрахунків нелінійних рівнянь усталених режимів електроенергетичних систем. *Література*: [2] стор.164–175, [4] стор. 230–237, стор. 364–380.

Тема 5. Існування і неоднозначність вирішення нелінійних рівнянь усталеного режиму. *Література*: [4] стор. 247–271.

Тема 6. Методи оцінки усталених режимів електроенергетичних систем за надмірних вимірювань. *Література*: [4] стор. 109–131.

Тема 7. Методи оцінки усталених режимів електроенергетичних систем при дефіциті вимірювань. *Література*: [5] стор. 26–29.

Тема 8. Чисельні методи розрахунку перехідних процесів в електроенергетичних системах. *Література*: [4] стор. 131–147, стор. 311–359, стор. 404–409.

Змістовий модуль 2. Методи оптимізації структури електроенергетичної системи та законів їх керування

Тема 9. Лінійне програмування в проектних задачах спорудження і розвитку електромереж. *Література*: [1] стор. 35–40, [5] стор. 31–69.

Тема 10. Метод невизначених множників Лагранжа для оптимального розподілу активної потужності в електромережі. *Література*: [6] стор. 31–59.

Тема 11. Метод нелінійного програмування з штрафними функціями для керуванням оптимальним розподілом активного навантаження в електроенергетичній системі з урахуванням технічних обмежень. *Література*: [1] стор. 57–64, [2] стор.398–420, [6] стор. 59–73.

Тема 12. Задачі оптимізації розподілу компенсаторів реактивної потужності в енергомережі. *Література*: [1] стор. 67–77, [7]. стор. 239–269.

Тема 13. Синтез оптимального закону керування електроенергетичною системою. *Література*: [4] стор. 531–566, [7] стор. 105–159, стор. 226–239.

Тема 14. Методи оптимізації на графах. *Література*: [4] стор. 24–43, [8] стор. 69–89.

Тема 15. Методи послідовних поступок і зваженої суми критеріїв як інструменти вирішення багатокритеріальних задач розробки електроенергетичних систем. *Література*: [2] стор.94–116, [3]. стор. 284–302.

Тематичний план навчальної дисципліни

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин									
	денна форма					заочна форма				
	усього	у тому числі				усього	у тому числі			
		л	пр	л.р.	с.р.		л	пр	л.р.	с.р.
1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**
Змістовий модуль 1. Методи аналізу режимів роботи електроенергетичних систем										
Тема 1. Спеціальні методи розрахунку електромереж	9	2	2		5	9	0,5	0,5		8
Тема 2. Чисельні методи розрахунків лінійних рівнянь усталених режимів електроенергетичних систем	9	2	2		5	9	0,5	0,5		8
Тема 3. Методи Зейделя, якнайшвидшого спуску та покоординатної мінімізації для розрахунків нелінійних рівнянь усталених режимів електроенергетичних систем	10	2	2		6	10	1	1		8
Тема 4. Методи Ньютона-Рафсона, Ньютона та його модифікації для розрахунків нелінійних рівнянь усталених режимів електроенергетичних систем	10	2	2		6	11	1	1		9
Тема 5. Існування і неоднозначність вирішення нелінійних рівнянь усталеного режиму	9	2	2		5	9	0,5	0,5		8
Тема 6. Методи оцінки усталених режимів електроенергетичних систем за надмірних вимірювань	10	2	2		6	9	0,5	0,5		8
Тема 7. Методи оцінки усталених режимів електроенергетичних систем при дефіциті вимірювань	9	2	2		5	9	0,5	0,5		8
Тема 8. Чисельні методи розрахунку перехідних процесів в електроенергетичних системах	9	2	2		5	9	0,5	0,5		8
Разом за змістовим модулем 1	**75**	**16**	**16**		**43**	**75**	**5**	**5**		**65**

Змістовий модуль 2. Методи оптимізації структури електроенергетичної системи та законів їх керування										
Тема 9. Лінійне програмування в проектних задачах спорудження і розвитку електромереж	11	2	2		7	10	0,5	0,5		9
Тема 10. Метод невизначених множників Лагранжа для оптимального розподілу активної потужності в електромережі	11	2	2		7	12	1	1		10
Тема 11. Метод нелінійного програмування з штрафними функціями для керуванням оптимальним розподілом активного навантаження в електроенергетичній системі з урахуванням технічних обмежень	11	2	2		7	12	1	1		10
Тема 12. Задачі оптимізації розподілу компенсаторів реактивної потужності в енергомережі	11	2	2		7	10	0,5	0,5		9
Тема 13. Синтез оптимального закону керування електроенергетичною системою	10	2	2		6	10	0,5	0,5		9
Тема 14. Методи оптимізації на графах	10	2	2		6	10	0,5	0,5		9
Тема 15. Методи послідовних поступок і зваженої суми критеріїв як інструменти вирішення багатокритеріальних задач розробки електроенергетичних систем	11	2	2		7	11	1	1		9
Разом за змістовим модулем 2	**75**	**14**	**14**		47	**75**	**5**	**5**		**65**
Усього годин	**150**	**30**	**30**	**-**	**90**	**150**	**10**	**10**	**-**	**130**

Теми практичних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин	
		Денна форма	Заочна форма
1	Розв’язання задач з перетворення заступних схем електроенергетичних систем	2	0,5
2	Ітераційні методи розв’язання систем лінійних рівнянь усталених режимів електричних систем в програмному середовищі MATLAB	2	0,5
3	Розрахунки усталених режимів електричних систем методами Зейделя, якнайшвидшого спуску та покоординатної мінімізації	2	1
4	Розрахунки усталених режимів електричних систем методами Ньютона-Рафсона, Ньютона та його модифікованими версіями	2	1
5	Дослідження впливу параметрів електроенергетичної системи на існування і неоднозначність вирішення її нелінійних рівнянь усталеного режиму	2	0,5
6	Визначення оцінок усталених режимів електроенергетичних систем за надмірних вимірювань	2	0,5
7	Визначення статистичних залежностей втрат активної потужності при дефіциті вимірювань	2	0,5
8	Розрахунок електромеханічних перехідних процесів методом розкладання в ряд	2	0,5
9	Визначення шляхів оптимального розвитку електроенергетичних систем методами лінійного програмування	2	0,5
10	Визначення економічного розподілу активного навантаження між електростанціями методом множників Лагранжа	2	1
11	Економічний розподіл активного навантаження між електростанціями з наближеним врахуванням втрат та з врахуванням технічних обмежень	2	1
12	Розв’язання задач оптимізації розподілу компенсаторів реактивної потужності в електромережі	2	0,5
13	Вводи ділянок електромереж в допустиму режимну область. Визначення ефектів чутливості для заданої ділянки електромережі	2	0,5
14	Визначення конфігурації електромереж за критерієм мінімуму довжини	2	0,5
15	Вибір перетину неізольованих проводів ЛЕП методами послідовних поступок та зваженої суми	2	1
	Разом	**30**	**10**

Самостійна робота

Завдання для самостійної роботи

№ з/п	Вид роботи	Кількість годин	
		Денна форма	Заочна форма
1	Підготовка до лекцій.	15	15
2	Підготовка до практичних робіт.	30	60
3	Підготовка до контрольних робіт.	45	45
	Разом	**90**	**130**

6. Методи навчання, засоби діагностики результатів навчання та методи їх демонстрування

Методи навчання:

- лекція;
- практична робота;
- робота з літературою.

Методи контролю і самоконтролю:

- контрольні роботи;
- контроль на практичних заняттях.

Засоби оцінювання та методи демонстрування результатів навчання з дисципліни є:

- залік;
- звіт з виконання практичної роботи (письмовий контроль);
- контрольні роботи (письмовий контроль).

7. Форми поточного та підсумкового контролю

Підсумкова оцінка навчального курсу є сумою проміжних оцінок з поточного контролю та оцінюється за 100-бальною системою Університету. У проміжних оцінках студент може набрати від 60 балів до 100 балів. Під компонентом проміжних оцінок розуміються поточні оцінки протягом семестру (активність, участь в дискусіях; виконання завдань та інше). Поточний контроль проводиться на кожному практичному занятті та за результатами виконання завдань модульного контролю у формі контрольної роботи. Він передбачає оцінювання теоретичної підготовки здобувачів вищої освіти із зазначеної теми (у тому числі, самостійно опрацьованого матеріалу) під час роботи на практичних заняттях та набутих практичних навичок під час виконання завдань практичних робіт. Зарахування кредитів навчального курсу можливо тільки після досягнення результатів, запланованих РПНД, що виражається в одній з позитивних оцінок, передбачених чинним законодавством.

Форми контролю результатів навчальної діяльності студентів та їх оцінювання

Практична робота	**Критерії оцінювання**
4	Робота виконана у встановлений термін. Виконана самостійно, задача розв’язана правильно.
3	Робота виконана з порушенням встановлених термінів. Студент виконує практичну роботу згідно з алгоритмом, який надано викладачем; розв’язана задача практично не містить неточності та помилки.
2	Робота виконана з порушенням встановлених термінів. Студент виконує практичну роботу згідно з алгоритмом, який надано викладачем; розв’язана задача містить незначні неточності та помилки.
1	Робота виконана з порушенням встановлених термінів. Студент виконує практичну роботу під керівництвом викладача; розв'язана задача містить значні неточності та помилки.
0	Робота не виконувалася
	Максимальна оцінка студента за даний компонент програми 60 балів (15 робіт по 4 бали).

Поточний модульний контроль у формі контрольної роботи

Одна задача контрольної роботи	**Критерії оцінювання**
10	Робота виконана у встановлений термін. Студент самостійно визначає тип задачі і раціонально розв’язує її. Може розв’язувати комбіновані задачі. Задачі вирішено вірно, у висновках проведена коректна інтерпретація результатів. Відмінний рівень використання і володіння програмним забезпеченням.
9	Робота виконана самостійно з порушенням встановлених термінів. Студент самостійно визначає тип задачі і раціонально розв’язує її. Може розв’язувати комбіновані задачі. У розв’язку не має помилок і неточності. Достатнє використання програмного забезпечення і добрий рівень володіння ним.
8	Робота виконана самостійно з порушенням встановлених термінів. Студент самостійно визначає тип задачі і раціонально розв’язує її. Може розв’язувати комбіновані задачі. У розв’язку не має помилок і неточності. Недостатнє використання програмного забезпечення і задовільний рівень володіння ним.
7	Робота виконана з порушенням встановлених термінів. Студент наводить потрібні формули. Розв’язує задачу користуючись алгоритмом. У розв’язку не має помилок і неточності. Але робота неохайно оформлена, не застосовувалось програмне забезпечення для знаходження рішення, оформлення роботи, побудови графічних залежностей.
6	Робота виконана з порушенням встановлених термінів. Студент наводить потрібні формули. Розв’язує задачу користуючись алгоритмом. У розв’язку не має помилок, але присутні деякі неточності.
5	Робота виконана з порушенням встановлених термінів. Студент наводить потрібні формули. Розв’язує задачу користуючись алгоритмом. У розв’язку є незначні помилки та неточності.
4	Робота виконана з порушенням встановлених термінів. Студент наводить потрібні формули. Розв’язує задачу користуючись алгоритмом. У розв’язку є значні помилки та неточності.
3	Робота виконана з порушенням встановлених термінів. Студент наводить потрібні формули. Розв’язує задачу користуючись алгоритмом. У розв’язку є дуже значні помилки та неточності.
2	Студент відтворює практично всі основні формули, але не може їх коректно використати.
1	Студент відтворює лише основні формули, але не може їх коректно використати.
0	Студент не розв’язує задачі
	Максимальна оцінка студента за даний компонент програми 40 балів (2 роботи по 2 задачі, кожна оцінюється по 10 балів).

Форма контролю	Максимальна кількість балів	
	Денна форма	**Заочна форма**
Виконання практичних робіт	15х4 балів = 60 балів	15х4 балів = 60 балів
Поточний модульний контроль	2х20 бали = 40 балів	2х20 бали = 40 балів
Всього	**100**	**100**

8. Критерії оцінювання результатів навчання

Теми		Вид роботи	Кількість балів	
			Денне відділення	Заочне відділення
ЗМ 1	Т1 – Т8	Практичні роботи №1, №2, №3, №4, №5, №6, №7, №8	32	32
		Контрольна робота	20	20
ЗМ 2	Т9 – Т15	Практичні роботи №9, №10, №11, №12, №13, №14, №15	28	28
		Контрольна робота	20	20
Сума			**100**	**100**

Шкала оцінювання: національна та ECTS

Сума балів за всі види навчальної діяльності	Оцінка ECTS
90-100	A
82-89	B
74-81	C
64-73	D
60-63	E
35-59	FX
0-34	F

9. Інструменти, обладнання та програмне забезпечення, використання яких передбачає навчальна дисципліна

1. Опорний конспект лекцій з дисципліни в електронному варіанті.
2. Програмне забезпечення: MS Excel, Mathcad, Matlab.

10. Рекомендовані джерела інформації

Основна література

1.Баженов В.А. Моделі оптимального розвитку енергосистем: навч. посіб. / В.А. Баженов, О.М. Паненко, О.М. Янковська. – К.: КПІ ім.. Ігоря Сікорського, 2019. – 78 с.

2. Бейко І.В. Задачі, методи і алгоритми оптимізації: навчальний посібник / І.В. Бейко, П.М. Зінько, О.Г. Наконечний. – Рівне: НУВГП, 2011. – 624 с.

3. Вітлінський В.В. Економіко-математичні методи та моделі: оптимізація: навч. посіб. / В.В. Вітлінський, Т.О.Терещенко, С.С. Савіна. – К.: КНЕУ, 2016. – 303 с.

4. Кириленко О.В. Математичне моделювання в електротехніці: підручник / О.В. Кириленко, М.С. Сегеда, О.Ф. Буткевич, Т.А. Мазур. – Львів: Вид-во Національного університету «Львівська політехніка», 2010. – 608 с.

5.Лежнюк П.Д. Методи оптимізації в електроенергетиці. Симплексний метод: навч. посіб. / П.Д. Лежнюк, В.Ц. Зелінський. – Вінниця: ВНТУ, 2004. – 90 с.

6. Birgin E.G., Martinez J. M. Practical Augmented Lagrangian Methods for Constrained Optimization. – Society for Industrial and Applied Mathematics, 2014. – 230 p.

7. Chow J. H., Wu F.F., Momoh J. Applied Mathematics for Restructured Electric Power Systems: Optimization, Control, and Computational Intelligence. – NY, Springer Science+Business Media, 2005. – 30 p.

8. Donoso Y., Fabregat R. Multi-Objective Optimization in Computer Networks Using Metaheuristics. – Auerbach Publications, 2007. – 468 p.

Допоміжна література

1. Буткевич О.Ф. Теорія автоматичного керування та статична стійкість електроенергетичних систем / О.Ф. Буткевич, О.В. Кириленко. – К.: Вид-во «Політехніка», 2004. – 180 с.

2. Журахівський А. В. Оптимізація режимів електроенергетичних систем: навч. посіб. / А.В. Журахівський, А. Я. Яцейко. – Львів : Вид-во Національного університету «Львівська політехніка», 2010. – 140 с.

3. Лежнюк П.Д. Оцінка якості оптимального керування критеріальним методом / П.Д. Лежнюк, В.О. Комар. – Вінниця: Універсум-Вінниця, 2006. – 107 с.

4. Лежнюк П.Д. Параметрична подібність в задачах оптимізації електричних систем / П.Д. Лежнюк, Н.В. Собчук. – Вінниця, 2006. – 124 с.

5. Моклячук М.П. Збірник задач з варіаційного числення та методів оптимізації: навч. посіб. / М.П. Моклячук. – К.: Київський університет, 2014. – 256 с.

6. Перхач В.С. Обчислювальна техніка в електроенергетичних розрахунках / В.С. Перхач, О.І. Скрипник. – Львів, Світ, 1992. – 430 с.

7. Сегеда М.С. Математичне моделювання хвильових та електромагнітних процесів в електроенергетичних системах / М.С. Сегеда. – Львів: Вид-во Національного університету «Львівська політехніка», 2002. – 152 с.

8. Сегеда М.С. Електричні мережі та системи / М.С. Сегеда. – Львів: Вид-во Національного університету «Львівська політехніка», 2009. – 488 с.

9. Alexander Charles K., Sadiku Matthew N.O. Fundamentals of electric circuits. – Higher Education, 2016 992 p.

10. Bennett K. (ed.) MATLAB: Applications for the practical engineer. – Army Research Laboratory, IntechOpen, 2014. – 666 p.

11. Bober W., Stevens A. Numerical and analytical methods with MATLAB for electrical engineers (Applied and computational mechanics). – CRC Press; 1st edition, 2012. – 388 p.

12. Chapra Seven C., Canale Raymond P. Numerical methods for Engineers. – WCB. McGraw-Hil, 2015. – 970 p.

Інформаційні ресурси в інтернет

1. Науковий журнал «Комп'ютерне моделювання: аналіз, управління, оптимізація». Режим доступу: http://kmauo.org/category/journals/

2. Науковий журнал «Інформатика та математичні методи в моделюванні». Режим доступу: http://immm.opu.ua/#a23

3. Науковий журнал «Електроенергетичні та електромеханічні системи». Режим доступу: http://science.lpnu.ua/uk/sepes/vsi-vypusky

4. Науковий журнал «Енергетика та автоматика». Режим доступу: http://journals.nubip.edu.ua/index.php/energiya/issue/archive

5. MATLAB. Mathematics. Graphics. Programming. Режим доступу: https://www.mathworks.com/products/matlab.html