Національний університет
водного господарства
та природокористування

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВОДНОГО ГОСПОДАРСТВА ТА ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ

Навчально-науковий інститут автоматики, кібернетики та обчислювальної техніки

Кафедра автоматизації, електротехнічних та комп'ютерно-інтегрованих технологій

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
Проректор з науково-педагогічної,
методичної та виховної роботи

_____О.А. Лагоднюк
«____»_____2018 р.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

04-03-53

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ
Program of the Discipline

«Математичні задачі електроенергетики»

POWER SYSTEMS MATHEMATICS

спеціальність speciality	141 - Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка 141 - Electrical power engineering, electrotechnics and electromechanics
спеціалізація specialization	

Рівне – 2018

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Робоча програма з дисципліни «Математичні задачі електроенергетики» для студентів, які навчаються за спеціальністю 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». - Рівне: НУВГП, 2018. - 14с.

Розробник: Василець С.В., докт. техн. наук, доцент, професор кафедри автоматизації, електротехнічних та комп'ютерно-інтегрованих технологій.

Робочу програму схвалено на засіданні кафедри автоматизації, електротехнічних та комп'ютерно-інтегрованих технологій.
Протокол від «17» січня 2018р. № 9.

Завідувач кафедри _____ д.т.н., проф. Древецький В.В.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Схвалено науково-методичною комісією за спеціальністю 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».
Протокол від «18» січня 2018р. № 6.

Голова науково-методичної комісії

_____ д.т.н., доц. Василець С.В.

© НУВГП, 2018р.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

ВСТУП

Програма вибіркової (за вибором навчального закладу) навчальної дисципліни «Математичні задачі електроенергетики» складена відповідно до освітньо-професійної програми підготовки бакалавра спеціальності 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».

Предметом вивчення навчальної дисципліни є формування теоретичних знань та практичних навичок з математичного опису електромереж та дослідження їх функціонування в усталеному режимі роботи.

Міждисциплінарні зв’язки: дисципліна «Математичні задачі електроенергетики» є складовою частиною циклу дисциплін загально-професійної підготовки студентів за спеціальністю 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». Вивчення курсу передбачає наявність систематичних та ґрунтовних знань із курсів: «Вища математика», «Фізика», «Комп'ютерні технології та програмування», «Теоретичні основи електротехніки», а також цілеспрямованої роботи над вивченням спеціальної літератури, активної роботи на лекціях, лабораторних заняттях, самостійної роботи та виконання поставлених задач.

Вимоги до знань та умінь визначаються галузевими стандартами вищої освіти України.

Національний університет водного господарства та природокористування

Анотація

Уміння аналізувати електроенергетичні комплекси та системи математичними методами є невід’ємною складовою формування професійної компетентності й важливою передумовою академічної та професійної мобільності студентів.

Математичне моделювання електроенергетичних систем дозволяє задавати оптимальні режими функціонування електротехнічного обладнання, здійснювати проектування електроенергетичних систем за заданими критеріями, підвищувати точність налаштування уставок захисних апаратів. Це відповідає вимогам енергетичної стратегії України до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність», зокрема: «…підвищення енергоефективності на етапі генерації електро- та теплоенергії, зниження втрат енергії у подальшому при її передачі та розподілі…» (п. 2.1).

В результаті вивчення дисципліни «Математичні задачі електроенергетики» студенти спеціальності 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» мають оволодіти наступними компетентностями: креативність, здатність досліджувати проблеми із використанням системного аналізу, синтезу та інших методів, організувати та проводити наукові дослідження.

Ключові слова: математична модель, матриця, заступна схема, вузлові напруги, контурні рівняння, усталений режим.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Abstract

The ability to analyze electric power systems and systems by mathematical methods is an integral part of the formation of professional competence and an important prerequisite for academic and professional mobility of the students.

Mathematical modeling of electric power systems allows to set optimal modes of electrical equipment, to carry out the design of electric power systems according to the specified criteria, to increase the settings accuracy of the protection devices. It meets the requirements of The Energy Strategy of Ukraine until 2035 "Security, Energy Efficiency, Competitiveness", in particular: "... increasing energy efficiency at the stage of generating electricity and heat, reducing energy losses in the future with its transmission and distribution ..." (paragraph 2.1).

Students of specialty 141 – "Electrical power engineering, electrotechnics and electromechanics", as a result of studing the discipline "POWER SYSTEMS MATHEMATICS" must master the following competencies: creativity, ability to investigate problems using system analysis, synthesis and other methods, organize and conduct scientific research.

Keywords: mathematical model, matrix, circuit diagram, nodal voltage, contour equations, steady state.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Національний університет
водного господарства
та природокористування

1. Опис навчальної дисципліни

<table>
<tr><td rowspan="2">Найменування показників</td><td rowspan="2">Галузь знань, спеціальність, спеціалізація, рівень вищої освіти</td><td colspan="2">Характеристика навчальної дисципліни</td></tr>
<tr><td>Денна форма навчання</td><td>Заочна форма навчання</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Кількість кредитів – 6</td><td>Галузь знань
14 - Електрична інженерія</td><td colspan="2" rowspan="2">Вибіркова
(за вибором навчального закладу)</td></tr>
<tr><td>Спеціальність
141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка</td></tr>
<tr><td>Модулів - __</td><td rowspan="4">Спеціалізація
_____</td><td colspan="2">Рік підготовки:</td></tr>
<tr><td>Змістовних модулів – __</td><td>3-й</td><td>4-й</td></tr>
<tr><td>Індивідуальне науково-дослідне завдання</td><td colspan="2">Семестр</td></tr>
<tr><td>Загальна кількість годин - 180</td><td>6-й</td><td>8-й</td></tr>
<tr><td rowspan="14">Тижневих годин для денної форми навчання:

аудиторних – __

самостійної роботи студента – __</td><td rowspan="14">Рівень вищої освіти:
бакалавр</td><td colspan="2">Лекції</td></tr>
<tr><td>30 год.</td><td>10 год.</td></tr>
<tr><td colspan="2">Практичні, семінарські</td></tr>
<tr><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">Лабораторні</td></tr>
<tr><td>30 год.</td><td>8 год.</td></tr>
<tr><td colspan="2">Самостійна робота</td></tr>
<tr><td>120 год.</td><td>162 год.</td></tr>
<tr><td colspan="2">Індивідуальне завдання:</td></tr>
<tr><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">Вид контролю:</td></tr>
<tr><td>екз.</td><td>екз.</td></tr>
</table>

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

для денної форми навчання – 33,3 % до 66,7 %

для заочної форми навчання – 10 % до 90 %

Національний університет водного господарства та природокористування

Національний університет
водного господарства
та природокористування

2. Мета та завдання навчальної дисципліни

Метою навчальної дисципліни є формування у студентів здатностей та навичок моделювання усталених процесів в електромережах промислових підприємств, міст і сільського господарства.

Завдання:

- оволодіти базовими знаннями з математичного моделювання усталених процесів в електромережах;
- набути базових знань щодо способів топологічного опису електромереж;
- вивчити методи оцінки значень параметрів елементів електромереж;
- володіти прийомами складання топологічних рівнянь стану;
- навчитися аналізувати процеси в електромережах промислових підприємств, міст і сільського господарства.

В результаті вивчення даного курсу **студент повинен**:

знати: базові принципи математичного описання електричних мереж та електротехнічних комплексів; основні методи формування матриць інциденцій та перетинів; методи аналізу електричного кола на базі вузлових та контурних рівнянь.

вміти: користуватися системою MathCAD для здійснення інженерних розрахунків; складати заступну схему електромережі та будувати її граф; формувати топологічні матриці, що описують електромережу; складати топологічні рівняння стану електромережі; аналітично розв'язувати системи лінійних рівнянь.

3. Програма навчальної дисципліни

<u>Змістовий модуль 1 – Елементи теорії множин і теорії графів</u>

Тема 1. Особливості математичних задач енергетики. Мета та завдання навчальної дисципліни.

Застосування математичного апарату для аналізу процесів в електроенергетичних системах. Відмінність прикладної математики від теоретичної. Основні математичні методи, що необхідні інженеру-електрику, та їх співвідношення з практичними завданнями. Типи моделей електроенергетичних об'єктів. Етапи побудови математичної моделі об'єкту дослідження. Оцінка адекватності моделі. Основні помилки при побудові математичних моделей. Мета та завдання навчальної дисципліни.

Тема 2. Основи роботи з системою MathCAD.

Інтерфейс системи. Типи даних. Математичні вирази. Типи даних. Змінні та функції. Арифметичні операції. Вектори та матриці. Текстові фрагменти. Побудова графіків.

Тема 3. Операції з матрицями та комплексними числами в системі MathCAD.

Сума матриць. Добуток матриці на число, матрицю. Властивості множення матриць. Обернена матриця. Властивості оберненої матриці.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Реалізація матричних операцій в системі MathCAD. Алгебрична форма комплексного числа. Рівність комплексних чисел. Арифметичні операції над комплексними числами. Геометричне зображання комплексних чисел. Комплексні числа у тригонометричній та показовій формах. Функції MathCAD для роботи з комплексними числами.

Тема 4. Елементи теорії множин.

Основні поняття та визначення. Співвідношення між множинами. Операції над множинами. Відображення.

Тема 5. Елементи теорії графів.

Основні поняття та визначення. Шлях, контур і прадерево графа. Ребро, ланцюг, цикл, дерево графа. Незалежні цикли та контури. Матриці суміжності. Матриці інциденцій. Матриця перетинів.

Змістовий модуль 2 – Формалізовані методи аналізу електричних кіл

Тема 6. Розрахункова та заступна схема електричної мережі.

Вихідна інформація для розрахунку режимів електроенергетичної системи. Припущення, що приймаються при складанні заступної схеми електромережі. Представлення на заступній схемі типових елементів електромережі.

Тема 7. Топологічних опис структури електричного кола.

Складання графа електричної мережі. Виділення дерева графа. Складання першої та другої матриць інциденцій. Отримання матриці головних перетинів. Матриця імпедансів віток. Матриця адмітансів віток. Приклад складання заступної схеми фрагменту електромережі та визначення топологічних матриць.

Тема 8. Закони електричних кіл в матричній формі.

Закон Ома в матричній формі. Закони Кірхгофа в матричній формі. Узагальнене рівняння стану в матричній формі.

Тема 9. Аналіз електричного кола на базі вузлових та контурних рівнянь.

Вузлове рівняння стану в матричній формі. Контурне рівняння стану в матричній формі. Розрахунок усталених режимів електричних мереж.

Змістовий модуль 3 – Математичні основи методів аналізу усталених режимів електроенергетичних систем

Тема 10. Інтерполяція та апроксимація функцій.

Інтерполяційна формула Лагранжа. Інтерполяційна формула Ньютона. Похибка інтерполяції. Функції MathCAD для здійснення інтерполяції. Апроксимація функцій. Метод найменших квадратів. Апроксимація функцій в MathCAD.

Тема 11. Розв’язування алгебраїчних і трансцендентних рівнянь однієї змінної чисельними методами.

Метод половинного ділення. Метод простої ітерації. Метод Ньютона. Засоби MathCAD для розв’язування алгебраїчних і трансцендентних рівнянь однієї змінної.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Тема 12. Аналітичні методи розв'язування систем лінійних рівнянь.

Метод Гаусса. Метод простої ітерації. Метод Зейделя. Метод Ньютона. Розв'язування систем лінійних рівнянь в MathCAD.

4. 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	ср		л	п	лаб	інд	ср
Змістовий модуль 1 – Елементи теорії множин і теорії графів												
Тема 1. Особливості математичних задач енергетики. Мета та завдання навчальної дисципліни.	8	2				6	14	1				13
Тема 2. Основи роботи з системою MathCAD.	12	2		2		8	16	1		1		14
Тема 3. Операції з матрицями та комплексними числами в системі MathCAD.	16	4		2		10	15	1		1		13
Тема 4. Елементи теорії множин.	14	2		2		10	14	1		1		12
Тема 5. Елементи теорії графів.	10	4				6	14	1				13
Разом за зм. модулем 1	60	14		6		40	73	5		3		65
Змістовий модуль 2 – Формалізовані методи аналізу електричних кіл												
Тема 6. Розрахункова та заступна схема електричної мережі.	17	2		4		11	15	1		1		13
Тема 7. Топологічних опис структури електричного кола.	20	2		4		14	14	1				13
Тема 8. Закони електричних кіл в матричній формі.	13	2				11	14	1				13
Тема 9. Аналіз електричного кола на базі вузлових та контурних рівнянь.	12	4				8	14	1				13
Разом за зм. модулем 2	62	10		8		44	57	4		1		52
Змістовий модуль 3 – Математичні основи методів аналізу усталених режимів електроенергетичних систем												
Тема 10. Інтерполяція та апроксимація функцій	17	2		4		11	16			1		15
Тема 11. Розв'язування алгебраїчних і трансцендентних рівнянь однієї змінної чисельними методами.	17	2		4		11	17			1		16
Тема 12. Аналітичні методи розв'язування систем лінійних рівнянь	24	2		8		14	17	1		2		14
Разом за зм. модулем 3	58	6		16		36	50	1		4		45
Усього годин	**180**	**30**		**30**		**120**	**180**	**10**		**8**		**162**

Національний університет водного господарства та природокористування

Національний університет
водного господарства
та природокористування

5. Теми лабораторних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин	
		Денна форма	Заочна форма
1	Основні методи роботи з системою MathCAD	2	1
2	Матричні операції у MathCAD	2	1
3	Робота з комплексними числами у MathCAD	2	1
4	Складання заступної схеми та побудова графа фрагмента електромережі	4	1
5	Визначення топологічних матриць, що описують фрагмент електромережі	4	1
6	Інтерполяція значень функції	2	
7	Вивчення методів апроксимації функцій	2	
8	Пошук кореня алгебраїчних і трансцендентних рівнянь	4	1
9	Вивчення методів розв’язування систем лінійних рівнянь	4	1
10	Розрахунок усталених режимів електричної мережі	4	1
Разом		**30**	**8**

6. Самостійна робота

Самостійна робота є методом засвоєння студентом навчального матеріалу в час, вільний від обов’язкових навчальних занять. Самостійна робота студента над засвоєнням навчального матеріалу з навчальної дисципліни може виконуватися в бібліотеці, навчальних аудиторіях та в домашніх умовах.

Розподіл годин самостійної роботи для студентів денної форми навчання:

45 години – опрацювання лекційного матеріалу, в тому числі:

30 годин – опрацювання матеріала, що викладався на лекціях;

15 годин – опрацювання окремих питань, які не викладалися на лекціях;

25 годин – підготовка до лабораторних робіт, в тому числі:

10 годин – вивчення методичних вказівок перед проведення лабораторної роботи;

15 годин – підготовка звітів з лабораторних робіт;

50 години – підготовка до контрольних заходів.

Розподіл годин самостійної роботи для студентів заочної форми навчання:

75 години – опрацювання лекційного матеріалу, в тому числі:

Національний університет
водного господарства
та природокористування

60 годин – опрацювання матеріала, що викладався на лекціях;
15 годин – опрацювання окремих питань, які не викладалися на лекціях;
40 годин – підготовка до лабораторних робіт, в тому числі:
10 годин – вивчення методичних вказівок перед проведення лабораторної роботи;
30 годин – підготовка звітів з лабораторних робіт;
47 години – підготовка до контрольних заходів.

6.1 Завдання для самостійної роботи

№ з/п	Назва теми	Кількість годин	
		Денна форма	Заочна форма
Матеріал, що викладався на лекціях			
1	Особливості математичних задач енергетики. Мета та завдання навчальної дисципліни.	2	4
2	Основи роботи з системою MathCAD.	2	4
3	Операції з матрицями та комплексними числами в системі MathCAD.	4	8
4	Елементи теорії множин.	2	4
5	Елементи теорії графів.	4	8
6	Розрахункова та заступна схема електричної мережі.	2	4
7	Топологічних опис структури електричного кола.	2	4
8	Закони електричних кіл в матричній формі.	2	4
9	Аналіз електричного кола на базі вузлових та контурних рівнянь.	4	8
10	Інтерполяція та апроксимація функцій	2	4
11	Розв’язування алгебраїчних і трансцендентних рівнянь однієї змінної чисельними методами.	2	4
12	Аналітичні методи розв’язування систем лінійних рівнянь	2	4
Разом		**30**	**60**
Питання, які не викладалися на лекціях			
1	Аналіз несиметричних режимів електромереж	7	7
2	Застосування теорії ймовірностей і математичної статистики в електроенергетиці	8	8
Разом		**15**	**15**

7. Методи навчання

Лекції читаються з використанням мультимедійних проекторів для демонстрації математичних, комп’ютерних моделей, рівнянь, графіків, діаграм, фрагментів програм, структурних схем моделей тощо. Під час лекцій проводиться дискусійне обговорення проблемних питань.

Лабораторні роботи виконуються з використанням програмного середовища MathCAD.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

8. Методи контролю

Для визначення рівня засвоєння студентами навчального матеріалу використовуються такі методи оцінювання знань:

- оцінювання за виконання лабораторних робіт;
- опитування при захисті лабораторних робіт;
- оцінки за модульні контрольні роботи;
- підсумковий контроль знань.

Усі форми контролю включено до 100-бальної шкали оцінювання.

9. Розподіл балів, які отримують студенти

Основними критеріями, що характеризують рівень компетентності студента при оцінюванні результатів поточного та підсумкового контролів, є:

- виконання всіх видів навчальної роботи, передбачені робочою програмою навчальної дисципліни;
- глибина і характер знань навчального матеріалу за змістом навчальної дисципліни, що міститься в основних та додаткових рекомендованих літературних джерелах;
- вміння аналізувати явища, які вивчаються, у їх взаємозв’язку і розвитку;
- характер відповідей на поставлені питання (чіткість, лаконічність, логічність, послідовність тощо);
- вміння застосовувати теоретичні положення під час розв’язання практичних задач;
- вміння аналізувати достовірність одержаних результатів.

Оцінювання результатів поточної роботи (завдань, що виконуються на лабораторних заняттях, ІНДЗ, результати самостійної роботи студентів) проводиться за такими критеріями:

0% - завдання не виконано;

40% - завдання виконано частково та містить суттєві помилки методичного або розрахункового характеру;

60% - завдання виконано повністю, але містить суттєві помилки у розрахунках або в методиці;

80% - завдання виконано повністю і вчасно, проте містить окремі несуттєві недоліки (розмірності, висновки, оформлення тощо);

100% - завдання виконано правильно, вчасно і без зауважень.

До іспиту (заліку) допускаються студенти, які виконали навчальний план, тобто виконали і захистили усі лабораторні роботи.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Розподіл балів по темам:

Поточне тестування та самостійна робота												Підсумковий екзамен	Сума
Зм. модуль 1					Зм. модуль 2				Зм. модуль 3				
Т1	Т2	Т3	Т4	Т5	Т6	Т7	Т8	Т9	Т10	Т11	Т12		
2	5	4	5	6	5	5	6	5	6	5	6	40	100

Т1, …, Т12 – теми змістових модулів

Розподіл балів, що присвоюються студентам за видами робіт:

Форма навчальної діяльності	Вид контролю	Максимальна кількість балів за одне заняття (один звіт з л.р.)	Кількість занять (звітів з л.р.)	Сума балів	Разом за формами навч. діяльності
Лекції	Відвідування	0,25	15 пар	3,75	3,75
Лабораторні роботи	Робота під час занять	0,25	15 пар	3,75	26,25
	Захист звіту	2,25	10 звітів	22,5	
				Поточний контроль №1	15
				Поточний контроль №2	15
				Заохочувальні бали за участь в науковій і проектній роботі, доповідь на конференції, стаття, участь в олімпіаді	до 10
				Всього за поточну роботу	60
				Підсумковий екзамен	40
				Всього за курс	**100**

Шкала оцінювання

Сума балів за всі види навчальної діяльності	Оцінка за національною шкалою для екзамену
90-100	відмінно
82-89	добре
74-81	
64-73	задовільно
60-63	
35-59	незадовільно з можливістю повторного складання
0-34	незадовільно з обов’язковим повторним вивченням дисципліни

10. Методичне забезпечення

1. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з курсу «Математичні задачі електроенергетики», розміщені в університетській комп’ютерній мережі.

2. Конспект лекцій з курсу «Математичні задачі електроенергетики», розміщені в університетській комп’ютерній мережі.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

11. Рекомендована література

Базова

1 Кириленко О.В. Математичне моделювання в електроенергетиці: Підручник / О.В. Кириленко, М.С. Сегеда, О.Ф. Буткевич, Т.А. Мазур. – Львів: Вид-во НУ «Львівська політехніка», 2010. – 608 с.
2 Перхач В.С. Математичні задачі електроенергетики / Перхач В.С. – [3-е вид., перероб. і доп.]. – Львів: Вища шк., 1989. – 464 с.
3 Бурбело М.Й. Математичні задачі електроенергетики. Математичне моделювання електропостачальних систем: навч. посібник / М.Й. Бурбело. – Вінниця: ВНТУ, 2016. – 185 с.
4 Электрические системы. Математические задачи электроэнергетики: Учебник для студентов вузов / Под ред. В.А. Веникова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. школа, 1981. – 288 с.
5 Сивокобиленко В.Ф. Математичне моделювання в електротехниці і енергетиці: навчальний посібник / Сивокобиленко В.Ф. – Донецьк: РВА ДонНТУ, 2005. – 350 с.
6 Сясєв А. В. Вступ до системи MathCAD: Навч. посіб. – Д.: Вид-во Дніпропетр. ун-ту, 2004. – 108 с.
7 MathCAD у дослідженні технічних систем: Навч. посібник / В.П. Франчук, К.С. Заболотний та ін. – Дніпропетровськ: НГУ, 2004. – 145 с.

Допоміжна

1 Фельдман Л. П. Чисельні методи в інформатиці / Л. П. Фельдман, А. І. Петренко, О. А. Дмитрієва. − К.: ВНV, 2006. − 480 с.
2 Математичне моделювання перехідних процесів в електротехнічних комплексах шахтних електричних мереж: монографія / В.Ф. Сивокобиленко, С.В. Василець. – Луцьк: Вежа-Друк, 2017. – 272 с.
3 Герман-Галкин С.Г. Компьютерное моделирование полупроводниковых систем в MATLAB 6.0: Уч. пособ. – СПб.: КОРОНА принт, 2001. – 320 с.
4 Свами М. Графы, сети и алгоритмы / Свами М., Тхуласираман К.; пер. с англ. – М.: Мир, 1984. – 455 с.
5 Формалев В.Ф., Ревизников Д.Л. Численные методы. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. – 400 с.
6 Чабан В.Й. Математичне моделювання в електротехніці / Чабан В.Й. – Львів: Видавництво Т. Сороки, 2010. – 508 с.
7 Wang Xi-Fan Modern Power Systems Analysis / Xi-Fan Wang, Yonghua Song, Malcolm Irving. – New York, NY, USA: Springer Science+Business Media, LLC, 2008. – 559 p.
8 Буката Л.Н. Чисельні методи та моделювання на ЕОМ: навчальний посібник. Ч. 1. / Буката Л.Н., Глазунова Л.В. – Одеса: ОНАЗ ім. О.С. Попова, 2013. – 84 с.
9 Чуа Л.О. Машинный анализ электронных схем. Алгоритмы и

Національний університет
водного господарства
та природокористування

вычислительные методы / Чуа Л.О., Лин Пен-Мин; пер. с англ. – М.: Энергия, 1980. – 640с.

10 Перехідні процеси в системах електропостачання: підручник для ВНЗ / Г.Г. Півняк, І.В. Жежеленко, Ю.А. Папаїка, Л.І. Несен, за ред. Г.Г. Півняка; М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т. – 5-те вид., доопрац. та допов. – Дніпро: НГУ, 2016. – 600 с.

11 Охорзин В. А. Прикладная математика в системе MATHCAD [Текст] / В. А. Охорзин. – Санкт-Петербург : Изд-во «Лань», 2008. – 352 с.

Електронний репозиторій НУВГП

1 Мартинюк, П. М. та Гошко, О. В. Порівняльний аналіз ефективності застосування чисельних методів розв'язання великих систем лінійних алгебричних рівнянь / Мартинюк П.М., Гошко О.В. // Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. – 1(61). – 2013. – с. 289-297. [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://ep3.nuwm.edu.ua/1059/1/Vt6136.pdf

2 Тимейчук О.Ю. Математичні методи і моделі в розрахунках та ЕОМ: Інтерактивний комплекс навчально-методичного забезпечення / Тимейчук О.Ю. – Рівне: НУВГП, 2008. – 60 с. [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://ep3.nuwm.edu.ua/4666/1/v42.pdf

3 Тимейчук О.Ю. Інформаційні системи та математичні методи наукових досліджень: Навчальний посібник / Тимейчук О.Ю., Кузьменко В.М., Тимейчук Т.Б. – Рівне: НУВГП, 2011. – 118 с. [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://ep3.nuwm.edu.ua/4667/1/v43.pdf

12. Інформаційні ресурси

1 Журнал «Технічна електродинаміка» / [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://techned.org.ua/

2 Офіційний сайт компанії ТЕХНОПОЛІС – офіційного представника корпорації PTC Inc. в Україні / [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://mathcad.com.ua/

3 Архів публікацій Східноєвнопейського журналу передових технологій / [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://journals.uran.ua/eejet/issue/archive

4 Цифрова бібліотка факультету електроніки НТТУ «КПІ» / [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://fel.kpi.ua/

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