

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

(найменування центрального органу виконавчої влади у сфері освіти і науки)

ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

(повне найменування вищого навчального закладу)

Кафедра «Електричні машини»

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Ректор (перший проректор)

_____ В.Г. Прушківський
“ _____ ” _____ 2018 року

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

**«Основи математичного моделювання складних
електромеханічних (електротехнічних) систем та комплексів»**

(код і назва навчальної дисципліни)

спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

(шифр і назва спеціальності)

освітня програма (спеціалізація) «Електричні машини і апарати»

(назва спеціалізації)

інститут, факультет Фізико-технічний інститут, Електротехнічний факультет

(назва інституту, факультету)

мова навчання українська

Робоча програма дисципліни «Основи математичного моделювання складних електромеханічних (електротехнічних) систем та комплексів» для студентів спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» освітня програма (спеціалізація) Електричні машини і апарати.
 „__” ____, 2018 року - 13 с.

Розробники: Коцур Ігор Михайлович доцент каф. «ЕМ», к.т.н.

Робоча програма затверджена на засіданні кафедри
«Електричні машини»

Протокол від. “__” ____ 2018 року № __

Завідувач кафедри «Електричні машини»

 (підпис) (Яримбаш Д.С.)
 (прізвище та ініціали)
 “__” ____ 2018 року

Схвалено науково-методичною комісією _____ факультету
 Протокол від. “__” ____ 20__ року № __

“__” ____ 20__ року Голова _____
 (підпис) (прізвище та ініціали)

Узгоджено групою забезпечення освітньої програми* _____

“__” ____ 20__ року Керівник групи _____ (_____)
 (підпис) (прізвище та ініціали)

*Якщо дисципліна викладається невипусковою кафедрою

Коцур І.М., 2018 рік

1. Опис навчальної дисципліни

Найменування показників	Галузь знань, спеціальність, освітній ступінь	Характеристика навчальної дисципліни	
		денна форма навчання	заочна форма навчання
Кількість кредитів – 6	Галузь знань 14 Електрична інженерія	вибіркова	
Модулів – 2	Спеціальність (освітня програма, спеціалізація) 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» Електричні машини і апарати	Рік підготовки:	
Змістових модулів – 6		5-й	5-й
Індивідуальне науково-дослідне завдання (назва)		Семестр	
Загальна кількість годин - 180		9-й	9-й
Тижневих годин для денної форми навчання: аудиторних – 60 самостійної роботи студента - 120	Освітній ступінь: магістр	Лекції	
		36 год.	14 год.
		Практичні, семінарські	
		0 год.	0 год.
		Лабораторні	
		24 год.	14 год.
		Самостійна робота	
		120 год.	152 год.
		Індивідуальні завдання:	
		Вид контролю: <i>екзамен</i>	

Примітка.

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

для денної форми навчання – 50%

для заочної форми навчання – 18,42%

2. Мета та завдання навчальної дисципліни

Мета. Метою вивчення дисципліни є формування у студентів навичок самостійної проектувальної та дослідницької роботи, що передбачає досконале володіння теорією та технікою моделювання різноманітних складних електромеханічних систем. Дисципліна «Основи математичного моделювання складних електромеханічних (електротехнічних) систем та комплексів» орієнтує студентів на використання сучасного прикладного програмного забезпечення при розв'язанні різноманітних науково-технічних задач.

Завдання – формування теоретичних знань, умінь та практичних навичок у майбутніх фахівців з електроенергетики, електротехніки та електромеханіки відповідно до поставленої мети.

У результаті вивчення навчальної дисципліни студент повинен отримати **загальні компетентності:**

- здатність до узагальнення, аналізу, сприйняття інформації, постановці мети і вибору шляхів її досягнення;
- здатність здійснювати пошук, аналізувати і критично оцінювати інформацію з різних джерел;
- здатність здійснювати постановку системних задач досліджень з використанням технології структурного передбачення і методології інноваційного синтезу для довільних класів електромеханічних об'єктів.

фахові компетентності:

- здатність розробляти фізичні, математичні та інформаційні моделі досліджуваних електричних машин, електромеханічних об'єктів, систем, фізичних процесів і явищ у професійній сфері, розробляти методики та організовувати проведення експериментів з аналізом результатів;
- здатність використовувати сучасні програмні продукти для моделювання та розв'язання задач розрахунку електромагнітних і теплових полів електричних машин і апаратів;
- здатність використовувати програмне забезпечення для комп'ютерного моделювання, автоматизованого виробництва і автоматизованої розробки або конструювання елементів електроенергетичних, електротехнічних та електромеханічних систем.

Очікувані програмні результати навчання: студент має оволодіти основними сучасними методами математичного моделювання, знати сфери їх застосування, знати сучасні інструментальні (програмні) засоби їх реалізації.

Пререквізіти: «Обчислювальна техніка та програмування». «Електричні машини». «Моделювання електромеханічних систем», «Інженерне проектування електричних машин та трансформаторів».

Кореквізіти: «Науково - дослідний проект». Моделювання та аналіз електромагнітних процесів в складних електромеханічних (електротехнічних) системах та комплексах». «Основи функціонування та математичного забезпечення систем діагностики, контрольно - вимірювальних приладів і автоматики»

3. Програма навчальної дисципліни

Змістовий модуль 1. Базові математичні моделі в електроенергетиці, електротехніці та електромеханіці. Обчислювальні методи моделювання.

Тема 1. Математичні моделі та методи їх реалізації. Побудування математичної моделі об'єкта, що досліджується. Побудування обчислювального алгоритму. Програмування алгоритму на ЕОМ і його тестування. Проведення серії розрахунків з варіюванням визначених параметрів вихідної задачі та алгоритму. Аналіз одержуваних результатів.

Тема 2. Джерела й класифікація погрішностей. Погрішності даних, методу й обчислень. Погрішності арифметичних операцій.

Тема 3. Математичні моделі електромагнітного поля в електротехнічних пристроях. Загальна модель Максвелла. Електростатична модель. Скалярна магнітостатична модель. Векторна магнітостатична модель. Електродинамічна модель. Магнітодинамічна модель.

Тема 4. Моделювання електромагнітних процесів в активній частині синхронного генератора з постійними магнітами.

Змістовий модуль 2. Методи рішення лінійних алгебраїчних і нелінійних рівнянь та їх систем.

Тема 5. Ітераційні методи рішення нелінійних рівнянь. Відділення коренів. Метод простого перебору. Метод бісекції. Метод простих ітерацій. Метод січних. Метод Ньютона (метод дотичних). Метод хорд (метод лінійної інтерполяції).

Тема 6. Чисельні методи знаходження конструкційних параметрів із рішення систем нелінійних рівнянь. Чисельне рішення систем нелінійних рівнянь стандартним і спрощеним методами Ньютона.

Тема 7. Чисельне рішення систем нелінійних рівнянь ітераційними методами. Знаходження коренів поліноміальних рівнянь методами Ньютона та Лагерра, QR - розкладом і методами Сіменса та Якобі.

Тема 8. Чисельні методи знаходження конструкційних параметрів із рішення СЛАР. Прямі методи рішення СЛАР. Метод Гауса. LU - розклад матриці системи рівняння та методи Холецкого й Жордана. Метод ортогоналізації матриць. Рішення СЛАР методами, які засновані на розбивці матриці.

Тема 9. Ітераційні методи рішення СЛАР. Методи Гауса-Зейделя, Якобі та верхньої релаксації. Методи симетричної релаксації та спряжених градієнтів. Методи неповного розкладу й передобумовленості.

Змістовий модуль 3. Обробка даних у САПР електромеханічних перетворювачів.

Тема 10. Основні задачі обробки даних у САПР. Математичні формулювання задач інтерполяції, згладжування та апроксимації.

Тема 11. Інтерполяційні поліноми Лагранжа, Ньютона та Ерміта. Базисні поліноми Ньютона. Шматково-поліноміальна інтерполяція. Інтерполяція сплайнами. Кубічні сплайни. Інтерполяція поліноміальними сплайнами. Інтерполяція сплайнами загального типу.

Тема 12. Згладжування. Згладжування даних за методом найменших квадратів. Згладжувальні сплайни. Згладжування даних функціями Безьє, В-сплайни.

Тема 13. Апроксимація масивів даних. Рівномірна апроксимація. Апроксимація за методом найменших квадратів. Апроксимуючі функції Безье й сплайни.

Тема 14. Особливості задач інтерполяції, згладжування та апроксимації. Криві на поверхні та в просторі. Обробка поверхонь у САПР.

Змістовий модуль 4. Чисельне диференціювання та інтегрування.

Методи рішення звичайних диференціальних рівнянь та рівнянь з частковими похідними.

Тема 15. Апроксимація похідних. Метод невизначених коефіцієнтів. Часткові похідні.

Тема 16. Методи чисельного інтегрування. Методи прямокутників. Метод трапецій. Метод парабол (метод Сімпсона). Метод Монте-Карло.

Тема 17. Основи метода кінцевих елементів. Приклади варіаційного формулювання диференціальних рівнянь з межовими умовами.

Тема 18. Варіаційне формулювання однорідної задачі Діріхле.

Тема 19. Варіаційне формулювання однорідної і не однорідної задачі Неймана. Метод Ріцца - Гальоркіна.

Тема 20. Метод конформних кінцевих елементів. Типи кінцевих елементів.

Тема 21. Класифікація диференціальних рівнянь в часткових похідних.

Тема 22. Загальне формулювання задачі Коши для звичайних диф. рівнянь.

Тема 23. Інтегрування звичайних диференціальних рівнянь методом послідовних наближень (метод Пікара). Інтегрування звичайних диференціальних рівнянь за допомогою ступеневих рядів.

Тема 24. Чисельне інтегрування звичайних диференціальних рівнянь стандартним методом Ейлера, модифікованим методом Ейлера, методом Ейлера-Коши, методом Рунге-Кутта.

Змістовий модуль 5. Математичне моделювання електромеханічних пристроїв складних електромеханічних (електротехнічних) систем та комплексів.

Тема 25. Математична модель узагальненого електромеханічного перетворювача енергії.

Тема 26. Математичне моделювання несиметричних електричних машин.

Тема 27. Математична модель синхронної машини. Метод перетворення координат. Диференціальні рівняння синхронної машини у фазовій системі координат. Математична модель синхронної машини в системі координат d-q. Електромагнітний момент СМ. Математичне моделювання машин постійного струму.

Тема 28. Математичні моделі асинхронних машин і трансформаторів.

Змістовий модуль 6. Моделювання електромеханічних систем засобами спеціалізованих пакетів програм

Тема 29. Характеристика спеціалізованих математичних пакетів моделювання електромеханічних систем.

Тема 30. Спеціалізовані бібліотеки моделей електромеханічних об'єктів в математичних пакетах моделювання електромеханічних систем.

4. Структура навчальної дисципліни

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин											
	денна форма						Заочна форма					
	усь о го	у тому числі					усь о го	у тому числі				
		л	п	лаб	інд	с. р.		л	п	лаб	і н д	с.р.
Модуль 1												
Змістовий модуль 1. Базові математичні моделі в електроенергетиці, електротехніці та електромеханіці. Обчислювальні методи моделювання.												
T1. Математичні моделі та методи їх реалізації.	2	1				1	2				2	
T2. Джерела й класифікація погрішностей.	4	1				3	3	1		1	1	
T3. Математичні моделі електромагнітного поля в електротехнічн. пристроях.	8	1				7	1				1	
T4. Моделювання електромагнітних процесів в активній частині синхронного генератора з постійними магнітами	8	1				7	4				4	
Разом за змістовим модулем 1	22	4				18	10	1		1	8	
Змістовий модуль 2. Методи рішення лінійних алгебраїчних і нелінійних рівнянь та їх систем.												
T5. Ітераційні методи рішення нелінійних рівнянь.	2	1				1	4				4	
T6. Чисельні методи знаходження конструкційних параметрів із рішення систем нелінійних рівнянь.	2	1				1	4	1		1	2	
T7. Чисельне рішення систем нелінійних рівнянь ітераційними методами.	4	1		2		1	4				4	
T8. Чисельні методи знаходження конструкційних параметрів із рішення СЛАР.	2	1				1	4				4	
T9. Ітераційні методи рішення СЛАР.	10	2		2		6	4				4	
Разом за змістовим модулем 2	20	6		4		10	20	1		1	18	
Змістовий модуль 3. Обробка даних у САПР електромеханічних перетворювачів.												
T10. Основні задачі обробки даних у САПР.	2					2	4				4	
T11. Інтерполяційні поліноми Лагранжа, Ньютона та Ерміта.	4	1				3	4				4	
T12. Згладжування.	6	1		2		3	4	1		1	2	
T13. Апроксимація масивів даних	4	1		2		1	4	1		1	2	
T14. Особливості задач інтерполяції, згладжування та апроксимації.	4	1				3	4				4	
Разом за змістовим модулем 3	20	4		4		12	20	2		2	16	

Змістовий модуль 4. Чисельне диференціювання та інтегрування. Методи рішення звичайних диференціальних рівнянь та рівнянь з частковими похідними.											
T15. Апроксимація похідних.	4					4	4				4
T16. Методи чисельного інтегрування.	2	1				1	4				4
T17. Основи метода кінцевих елементів.	2					2	4				4
T18. Однорідна задача Діріхле.	2					2	4				4
T19. Метод Ріцца - Гальоркіна.	2					2	4				4
T20. Метод конформних кінцевих елементів.	2					2	4	1		1	2
T21. Інтегрування звичайних диференціальних рівнянь.	4	1		1		2	4	1		1	2
T22. Загальне формулювання задачі Коши для звичайних диф. рівнянь.	4	1		1		2	4				4
T23. Інтегрування звичайних диференціальних рівнянь.	2			1		1	4				4
T24. Чисельне інтегрування звичайних диференціальних рівнянь.	4	1		1		2	4				4
Разом за змістовим модулем 4	28	4	-	4	-	20	40	2	-	2	36
Усього годин	90	18	-	14	-	72	90	6	-	6	78
Модуль 2											
Змістовий модуль 5. Математичне моделювання електромеханічних пристроїв складних електромеханічних (електротехнічних) систем та комплексів											
T25. Математична модель узагальненого електромехан. перетворювача енергії.	10	2				8	6				6
T 26. Математичне моделювання несиметричних електричних машин.	10	2				8	8	1		1	6
T27. Математична модель синхронної машини та постійного струму	20	2		2		16	8	1		1	6
T28. Математичні моделі асинхронних машин і трансформаторів.	20	4		4		12	8	2		2	4
Разом за змістовим модулем 5	60	10		6		44	30	4		4	22
Змістовий модуль 6. Моделювання електромеханічних систем засобами спеціалізованих пакетів програм											
T29. Характеристика спеціалізованих математичних пакетів моделювання електромеханічних систем.	10	2				10	30	2		2	26
T30. Спеціалізовані бібліотеки моделей електромеханічних об'єктів в математичних пакетах моделювання електромеханічних систем.	20	6		6		18	30	2		2	26
Разом за змістовим модулем 6	30	8		4		18	60	4	-	4	52
Разом модулем 2	90	18		10		62	90	8	-	8	74
Усього годин	180	36		24		118	180	14	-	14	152

5. Теми семінарських занять

Семінарські заняття навчальним планом не передбачені.

6. Теми практичних занять

Практичні заняття навчальним планом не передбачені.

7. Теми лабораторних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Рішення нелінійних рівнянь та систем лінійних рівнянь.	4
2	Методи інтерполяції і апроксимації.	6
3	Моделювання асинхронного двигуна з к.з. ротором.	6
4	Моделювання одно та трифазного трансформаторів.	6
5	Моделювання однострансформаторної підстанції.	4
	Разом	24

8. Самостійна робота

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Моделювання двигуна постійного струму	25
2	Моделювання синхронного генератора.	25
3	Практичні роботи	70
	Разом	120

9 . Індивідуальні завдання

Підготовка рефератів з самостійної роботи для студентів денної форми навчання та контрольної роботи для заочної форми навчання.

10. Методи навчання

Робочою програмою передбачені такі форми організації навчального процесу як лекції, лабораторні роботи, самостійна робота студентів, консультації та контрольні заходи.

Під час викладання курсу використовуються наступні методи навчання:

- розповідь - для оповідної, описової форми розкриття навчального матеріалу;
- пояснення - для розкриття сутності певного явища, закону, процесу;
- бесіда - для усвідомлення за допомогою діалогу нових явищ, понять;
- ілюстрація - для розкриття предметів і процесів через їх символічне зображення (рисунок, схеми, графіки);

- практична робота - для використання набутих знань у розв'язанні практичних завдань;
- аналітичний метод - уявного (практичного розкладу цілого на частини з метою вивчення їх суттєвих ознак);
- індуктивний метод - для вивчення явищ від одиничного до загального;
- дедуктивний метод - для вивчення навчального матеріалу від загального до окремого, одиничного;
- проблемний виклад матеріалу - для створення проблемної ситуації.

Студент повинен володіти практичними навичками роботи з персональними ЕОМ.

11. Очікувані результати навчання з дисципліни

У результаті вивчення навчальної дисципліни студент повинен знати:

- сучасні основні високоефективні методи математичного моделювання об'єктів та процесів у електроенергетичних, електротехнічних та електромеханічних системах об'єктів та процесів у електроенергетичних, електротехнічних та електромеханічних системах та сфери їх застосування, сучасні інструментальні (програмні) засоби;

- основні методи аналітичного та чисельного розв'язання рівнянь математичного опису об'єкту;

- зміст і способи використання комп'ютерних програм та інформаційних технологій;

- математичні пакети для моделювання електромеханічних систем, їх особливості, спеціалізацію, переваги та недоліки.

вміти:

- самостійно складати математичні моделі електромеханічних систем та здійснювати їх дослідження, аналізувати та критично оцінювати результати.

- використовувати програмне забезпечення для комп'ютерного моделювання, електротехнічних (електромеханічних) систем та комплексів, виконувати ідентифікацію об'єктів за даними моделювання;

- здійснювати вибір чисельного методу та його параметрів при розв'язку рівнянь математичного опису об'єкту;

- вибрати необхідні моделі з спеціалізованих бібліотек моделей електромеханічних об'єктів математичних пакетів;

- змінити структуру моделі згідно завдання на моделювання.

12. Засоби оцінювання

Контроль успішності студентів денної форми навчання здійснюється за результатами:

- захисту звітів про виконання лабораторних робіт;
- захисту звітів про виконання самостійних робіт;
- двох рубіжних модульних контролів;
- екзамену.

Контроль успішності студентів заочної форми навчання здійснюється за результатами:

- захисту звітів про виконання лабораторних робіт;
- виконання контрольної роботи;
- екзамену.

13. Критерії оцінювання

Поточне тестування та самостійна робота				Підсумковий тест (екзамен)	Сума
Змістовий модуль 1	Змістовий модуль 2	Змістовий модуль 3	Змістовий модуль 4		100
T1-T4	T5- T9	T10- T14	T15-T24		
5	5	20	20		
Змістовий модуль 5	Змістовий модуль 6				
T25-T28	T29-T30	-	-		
20	30	-	-		

T1, T2 ... T30– теми змістових модулів.

Шкала оцінювання: національна та ECTS

Сума балів за всі види навчальної діяльності	Оцінка ECTS	Оцінка за національною шкалою	
		для екзамену, курсового проєкту (роботи), практики	для заліку
90 – 100	A	відмінно	зараховано
85-89	B	добре	
75-84	C		
70-74	D	задовільно	
60-69	E		
35-59	FX	незадовільно з можливістю повторного складання	не зараховано з можливістю повторного складання
1-34	F	незадовільно з обов’язковим повторним вивченням дисципліни	не зараховано з обов’язковим повторним вивченням дисципліни

14. Методичне забезпечення

1. Тексти (конспект) лекцій з дисципліни «Основи математичного моделювання складних електромеханічних (електротехнічних) систем та комплексів».

2. Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни «Основи математичного моделювання складних електромеханічних (електротехнічних) систем та комплексів» для студентів спеціальності 141 «Електроенергетика, електротех-

ніка та електромеханіка» (освітня програма «Електричні машини і апарати») денної форми навчання. / Укл.: О.О. Шлянін, Т.П. Солодовнікова –Запоріжжя: ЗНТУ, 2018.-58 с.

3. Методичні вказівки для самостійної роботи з дисципліни “Основи математичного моделювання складних електромеханічних (електротехнічних) систем та комплексів” для студентів спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» (освітня програма «Електричні машини і апарати») усіх форм навчання. /Укл.: І.М. Коцур, Р.І. Петренко. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2018. - 34 с.

4. Методичні вказівки для практичних робіт з дисципліни “Основи математичного моделювання складних електромеханічних (електротехнічних) систем та комплексів” для студентів спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» (освітня програма «Електричні машини і апарати») усіх форм навчання. /Укл.: І.М. Коцур, Р.І. Петренко. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2018. - 36 с.

15. Рекомендована література

Базова

1. Моделювання електромеханічних систем: Підручник / О.П. Чорний, А.В. Луговой, Д.Й., Родькін, Г.Ю. Сисюк, А.В. Садовой. – Кременчук, 2001. – 376 с.

2. Садовой О.В., Дерещ О.Л. Спеціальні питання математичного опису і моделювання динаміки складних систем.–Дніпродзержинськ:ДДТУ, 2014.–206 с.

3. Черных И.В. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB, SimPowerSystems и Simulink. – М.: ДМК Пресс; СПб.: Питер, 2008. – 288 с.

4. Моделювання електромеханічних систем. Математичне моделювання систем асинхронного електроприводу: навчальний посібник / О. І. Толочко. – Київ, НТУУ«КПІ», 2016. – 150 с. Іл.

5. Турчак Л.И. Основы численных методов: Учеб. пособие. - М.: Наука.. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1987. - 320 с.

6. Бахвалов Н.С., Жидков Н.П., Кобельков Г.М. Численные методы. -М: Наука, 1987.-598 с.

7. Калиткин Н.Н. Численные методы. -М.: Наука, 1978. - 512 с.

8. Математика и СПАР: В 2-х кн. Кн. I.Пер. с франц./Шенен П., Коснар И., Гардан И. и др. - М.: Мир, 1988. - 204 с.

Допоміжна

1. Дьяконов, В. П. і Пеньков, А. А. MATLAB и Simulink в электроэнергетике. Справочник. –М : Гаряча лінія-Телеком, 2009.

2. SimPowerSystems User's Guide. / Hydro-Quebec and The MathWorks, Inc., 2009. – 402 р.

3. Герман-Галкін, С. Г. Matlab & Simulink. Проектирование мехатронных систем на ПК. – СПб. : КОРОНА-Вік, 2008.

4. Дьяконов, В. П. Simulink 5/6/7: Самоучитель. – М. : ДМК-Пресс, 2008.

5. SimPowerSystems. MATLAB.Exponenta. [В інтернеті] [Цитовано: 15 лютий 2014] <http://matlab.exponenta.ru/simpower/book1/index.php>.

16. Інформаційні ресурси

1. Цифровий репозиторій ЗНТУ [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://eir.zntu.edu.ua>.
У розпорядженні студента є лекційний курс у електронному вигляді.