

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ

ДОКТОР ФІЛОСОФІЇ

Кафедра електротехніки та електроприводу

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Проректор з навчально-методичної роботи

Андрій ШПАКОВ/

« 23 » червня 2022 року



РОБОЧА ПРОГРАМА ОСВІТНЬОЇ КОМПОНЕНТИ

"Математичне моделювання в електромеханіці"

(назва освітньої компоненти)

шифр	назва спеціальності
141	Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
	назва освітньої програми
	Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Розробник(и):

Подольцев О.Д., д.т.н., ст.н.с.

(прізвище та ініціали, науковий ступінь, звання)

(підпис)

Бондар Р.П., д.т.н., доцент

(прізвище та ініціали, науковий ступінь, звання)

(підпис)

(прізвище та ініціали, науковий ступінь, звання)

(підпис)

Робоча програма затверджена на засіданні кафедри електротехніки та електроприводу

протокол № 6 від "06" червня 2022 року

Завідувач кафедри

Мазуренко  
(підпис)

(Леонід МАЗУРЕНКО)  
(прізвище та ініціали)

Гарант освітньої програми

Бондар  
(підпис)

(Роман БОНДАР)  
(прізвище та ініціали)

Схвалено навчально-методичною радою КНУБА  
протокол № 7 від «23» червня 2022 року

Голова НМР КНУБА

Шпаків  
(підпис)

(Андрій ШПАКОВ)

**ВИТЯГ З НАВЧАЛЬНОГО ПЛАНУ 2022-2023 рр.**

шифр	Доктор філософії ОНП	Форма навчання: <b>денна</b>									Форма контролю	Семестр	Відмітка про погодження	
	Назва спеціальності (спеціалізації)	Кредитів на сем.	Обсяг годин					Кількість індивідуальних робіт						
			аудиторних											
			Всього	Разом	у тому числі			КП	КР	РГР				Конт. роб.
Л	Лр				Пз									
141	Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка	<b>3,5</b>	<b>105</b>	<b>36</b>			<b>36</b>				<b>1</b>	<b>Зал.</b>	<b>3</b>	

шифр	Доктор філософії ОНП	Форма навчання: <b>заочна</b>									Форма контролю	Семестр	Відмітка про погодження	
	Назва спеціальності (спеціалізації)	Кредитів на сем.	Обсяг годин					Кількість індивідуальних робіт						
			аудиторних											
			Всього	Разом	у тому числі			КП	КР	РГР				Конт. роб.
Л	Лр				Пз									
141	Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка	<b>3,5</b>	<b>105</b>	<b>36</b>			<b>36</b>				<b>1</b>	<b>Зал.</b>	<b>3</b>	

## Мета та завдання освітньої компоненти

Робоча програма містить витяг з робочого навчального плану, мету вивчення, компетентності, які має опанувати здобувач, програмні результати навчання, зміст курсу, тематику практичних занять, вимоги до виконання індивідуального завдання, шкалу оцінювання знань, вмінь та навичок здобувача, роз'яснення усіх аспектів організації освітнього процесу щодо засвоєння освітньої компоненти, список навчально-методичного забезпечення, джерел та літератури для підготовки до практичних занять та виконання індивідуальних завдань. Електронне навчально-методичне забезпечення дисципліни розміщено на Освітньому сайті КНУБА (<http://org2.knuba.edu.ua>). Також програма містить основні положення щодо політики академічної доброчесності та політики відвідування аудиторних занять.

*Мета* дисципліни полягає у формуванні у здобувачів здатності застосовувати відповідні математичні методи та моделі електромеханічних систем для вирішення завдань у сфері електроенергетики, електротехніки та електромеханіки.

### Компетентності здобувачів освітньої програми, що формуються в результаті засвоєння освітньої компоненти

<b>Інтегральна компетентність (ІК)</b>	Здатність розв'язувати складні проблеми і задачі під час професійної та наукової діяльності у галузі електроенергетики, електротехніки та електромеханіки або у процесі навчання, що передбачає проведення досліджень та/або здійснення інновацій та характеризується невизначеністю умов і вимог.
<b>Загальні компетентності (ЗК)</b>	<b>ЗК04.</b> Здатність проведення досліджень на відповідному рівні. <b>ЗК13.</b> Здатність до застосування сучасних інформаційних технологій у науковій діяльності, пошуку та критичного аналізу інформації.
<b>Фахові компетентності спеціальності (ФК)</b>	<b>ФК01.</b> Здатність демонструвати знання і розуміння наукових фактів, концепцій, теорій, принципів і методів керування електроенергетичними, електротехнічними та електромеханічними системами та комплексами. <b>ФК05.</b> Здатність застосовувати відповідні математичні методи, комп'ютерні технології, а також засади стандартизації та сертифікації для вирішення завдань у сфері електроенергетики, електротехніки та електромеханіки. <b>ФК07.</b> Здатність здійснювати аналіз техніко-економічних показників та експертизу проектно-конструкторських рішень в області

	<p>електроенергетики, електротехніки та електромеханіки з використанням комп'ютерного моделювання.</p> <p><b>ФК08.</b> Здатність розробляти програмне та апаратне забезпечення комп'ютеризованих інформаційно-вимірювальних систем.</p> <p><b>ФК09.</b> Здатність впроваджувати новітні досягнення для проектування автоматизованого виробництва і автоматизованої розробки або конструювання елементів електроенергетичних, електротехнічних та електромеханічних систем.</p> <p><b>ФК10.</b> Здатність демонструвати практичні навички в області електроенергетики, електротехніки та електромеханіки.</p> <p><b>ФК11.</b> Здатність демонструвати розуміння технічних аспектів надійності та ефективності функціонування електроенергетичних, електротехнічних та електромеханічних об'єктів і систем.</p> <p><b>ФК14.</b> Здатність демонструвати розуміння вимог до надійності та ефективності функціонування електроенергетичних, електротехнічних та електромеханічних об'єктів і систем, зумовлених необхідністю забезпечення сталого розвитку.</p>
<b>Програмні результати навчання</b>	
<p><b>За загальними та загально-професійними компетентностями (ПР)</b></p>	<p><b>ПР04.</b> Знати і розуміти сучасні методи ведення науково-дослідних робіт, організацію та планування експерименту, комп'ютеризовані методи дослідження та опрацювання результатів вимірювань.</p> <p><b>ПР06.</b> Уміти прогнозувати тенденції розвитку в області електроенергетики, електротехніки та електромеханіки.</p> <p><b>ПР11.</b> Уміти використовувати комп'ютеризовані бази даних, інтернет-технології, наукові бази даних та інші відповідні джерела інформації.</p> <p><b>ПР15.</b> Володіти сучасними методами теоретичних та експериментальних досліджень з оцінюванням точності отриманих результатів.</p> <p><b>ПР16.</b> Уміти застосовувати апаратні та програмні засоби сучасних інформаційних технологій для вирішення задач у сфері електроенергетики, електротехніки та електромеханіки та інформаційно-вимірювальної техніки.</p>

## Програма дисципліни

### Змістовий модуль 1. Математичні моделі електромеханічних систем

**Тема 1.** Загальна характеристика електромеханічних систем. Використання різних систем координат в електромеханічних системах. Моделі електричних машин у фазних координатах. Моделі електричних машин в довільних ортогональних координатах.

**Практичне заняття 1.** Моделювання автономного асинхронного генератора з двоступеневою конденсаторною системою збудження для живлення однофазного навантаження.

**Практичне заняття 2.** Дослідження статичних характеристик автономного асинхронного зварювального генератора з вентильним збудженням по Г-подібній заступній схемі.

**Тема 2.** Базові комп'ютерні моделі електричних машин та електромеханічних систем. Розрахунок пускових та робочих характеристик електричних машин.

**Практичне заняття 3.** Моделювання перехідних електромеханічних процесів лінійного синхронного двигуна з постійними магнітами та розрахунок його робочих характеристик.

**Практичне заняття 4.** Моделювання багатокомпонентного коливального руху вібраційної системи з лінійним електроприводом.

**Тема 3.** Рівняння електромагнітного поля для матеріальних середовищ з незмінними фізичними характеристиками. Рівняння електромагнітного поля для матеріальних середовищ з нелінійними фізичними характеристиками. Основні припущення. Диференціальні рівняння електромагнітного поля в часткових похідних для матеріальних середовищ з нелінійними фізичними характеристиками. Рівняння електромагнітного поля для матеріальних середовищ з анізотропними фізичними характеристиками.

**Практичне заняття 5.** Постановка задачі польової розрахунку розподілу магнітного поля активної зони лінійного асинхронного двигуна. Побудова розрахункової геометрії машини.

**Практичне заняття 6.** Комплексна модель з частотно-залежними параметрами для розрахунку робочих характеристик магнітоелектричного вібратора.

**Тема 4.** Рівняння теплового поля і постановка крайових задач. Взаємозв'язок електромагнітних і теплових полів. Особливості чисельного моделювання взаємопов'язаних електромагнітного та теплового поля.

**Практичне заняття 7.** Польове дослідження лінійного магнітоелектричного двигуна з урахуванням деформації розрахункової сітки скінченних елементів.

**Практичне заняття 8.** Моделювання взаємопов'язаних електромагнітних, механічних та теплових процесів в лінійному магнітоелектричному двигуні на основі теорії мультифізичних кіл.

### Індивідуальне завдання

**Тема:** оптимізація конструктивних параметрів лінійного магнітоелектричного двигуна вібраційної дії.

Література, що рекомендується для виконання індивідуального завдання, наведена у цій робочій програмі, а в електронному вигляді вона розміщена на Освітньому сайті КНУБА, на сторінці кафедри.

Також як виконання індивідуального завдання за рішенням викладача може бути зарахована участь аспіранта у міжнародній або всеукраїнській науково-практичній конференції з публікацією у матеріалах конференції тез виступу (доповіді) на одну з тем, дотичних до змісту дисципліни, або публікація статті на одну з таких тем в інших наукових виданнях.

Текст індивідуального завдання подається викладачу не пізніше, ніж за місяць до початку залікової сесії. Заняття із захисту індивідуальних завдань призначаються не пізніше, ніж за 2 тижні до початку сесії. Викладач має право вимагати від студента доопрацювання індивідуального завдання, якщо воно не відповідає встановленим вимогам.

### **Методи контролю та оцінювання знань студентів**

Загальне оцінювання здійснюється через вимірювання результатів навчання у формі проміжного (модульного) та підсумкового контролю (захист індивідуальної роботи, залік) відповідно до вимог зовнішньої та внутрішньої системи забезпечення якості вищої освіти.

### **Політика щодо академічної доброчесності**

Списування під час тестування та інших опитувань, які проводяться у письмовій формі, заборонені (в т.ч. із використанням мобільних пристроїв). У разі виявлення фактів списування з боку здобувача він отримує інше завдання. У разі повторного виявлення призначається додаткове заняття для проходження тестування (опитування).

### **Політика щодо відвідування**

Здобувач, який пропустив аудиторне заняття з поважних причин, має продемонструвати викладачу та надати до деканату факультету документ, який засвідчує ці причини.

За об'єктивних причин (хвороба, міжнародне стажування, наукова та науково-практична конференція (круглий стіл) тощо) навчання може відбуватись в он-лайн формі за погодженням із керівником курсу.

### **Методи контролю**

Основні форми участі здобувачів у навчальному процесі, що підлягають поточному контролю: виступ на практичних заняттях; доповнення, опонування до виступу, рецензія на виступ; участь у дискусіях; аналіз першоджерел; письмові завдання (тестові, індивідуальні роботи у формі рефератів); та інші письмові роботи, оформлені відповідно до вимог. Кожна тема курсу, що винесена на практичні заняття, відпрацьовується здобувачами у тій чи іншій формі, наведеній вище. Обов'язкова присутність на заняттях, активність впродовж семестру, відвідування/відпрацювання усіх аудиторних

занять, виконання інших видів робіт, передбачених навчальним планом з цієї дисципліни.

При оцінюванні рівня знань здобувача аналізу підлягають:

- характеристики відповіді: цілісність, повнота, логічність, обґрунтованість, правильність;
- якість знань (ступінь засвоєння фактичного матеріалу): осмисленість, глибина, гнучкість, дієвість, системність, узагальненість, міцність;
- ступінь сформованості вміння поєднувати теорію і практику під час розгляду ситуацій, практичних завдань;
- рівень володіння розумовими операціями: вміння аналізувати, синтезувати, порівнювати, абстрагувати, узагальнювати, робити висновки з проблем, що розглядаються;
- досвід творчої діяльності: вміння виявляти проблеми, розв'язувати їх, формувати гіпотези;
- самостійна робота: робота з навчально-методичною, науковою, допоміжною вітчизняною та зарубіжною літературою з питань, що розглядаються, вміння отримувати інформацію з різноманітних джерел (традиційних; спеціальних періодичних видань, ЗМІ, Internet тощо).

Тестове опитування може проводитись за одним або кількома змістовими модулями. В останньому випадку бали, які нараховуються здобувачу за відповіді на тестові питання, поділяються між змістовими модулями.

Індивідуальне завдання підлягає захисту здобувачем на заняттях, які призначаються додатково.

Індивідуальне завдання виконується у вигляді реферату. Реферат повинен мати обсяг від 18 до 24 сторінок А4 тексту (кегель Times New Roman, шрифт 14, інтервал 1,5), включати план, структуру основної частини тексту відповідно до плану, висновки і список літератури, складений відповідно до ДСТУ 8302:2015. У рефераті можна також помістити словник базових понять до теми. Література, що рекомендується для виконання індивідуального завдання, наведена у цій робочій програмі, а в електронному вигляді вона розміщена на Освітньому сайті КНУБА, на сторінці кафедри.

Також як виконання індивідуального завдання за рішенням викладача може бути зарахована участь здобувача у міжнародній або всеукраїнській науково-практичній конференції з публікацією у матеріалах конференції тез виступу (доповіді) на одну з тем, дотичних до змісту дисципліни, або публікація статті на одну з таких тем в інших наукових виданнях.

Текст індивідуального завдання подається викладачу не пізніше, ніж за 2 тижні до початку залікової сесії. Викладач має право вимагати від здобувача доопрацювання індивідуального завдання, якщо воно не відповідає встановленим вимогам.

Результати поточного контролю заносяться до журналу обліку роботи. Позитивна оцінка поточної успішності здобувачів за відсутності пропущених та невідпрацьованих практичних занять та позитивні оцінки за індивідуальну роботу є підставою для допуску до підсумкової форми контролю. Бали за

аудиторну роботу відпрацьовуються у разі пропусків.

Підсумковий контроль здійснюється під час проведення залікової сесії з урахуванням підсумків поточного та модульного контролю. Під час семестрового контролю враховуються результати здачі всіх видів навчальної роботи згідно зі структурою кредитів.

Оцінювання проводиться за 100-бальною шкалою.

### Розподіл балів для дисципліни з формою контролю залік

Поточне оцінювання (кількість балів)						Сума балів
Тема 1	Тема 2	Тема 3	Тема 4	Інд. робота	Залік	
10	10	10	10	30	30	100

### Шкала оцінювання індивідуальної роботи

Оцінка за національною шкалою	Кількість балів	Критерії
відмінно	30	відмінне виконання (розкриття теми, посилання та цитування сучасних наукових джерел (не старше 2017 року), <b>дотримання норм доброчесності</b> )
	25	відмінне виконання з незначною кількістю помилок виконання (розкриття теми, посилання та цитування сучасних наукових джерел (більшість з яких не старше 2017 року), <b>дотримання норм доброчесності</b> )
добре	22	виконання вище середнього рівня з кількома помилками (розкриття теми в межах об'єкту та завдань роботи, посилання та цитування сучасних наукових джерел (серед яких є такі, що не старше 2017 року), <b>дотримання норм доброчесності</b> )
	20	виконання з певною кількістю помилок (розкриття теми в межах об'єкту та завдань роботи, наявність посилань та цитувань наукових джерел, <b>дотримання норм доброчесності</b> )
задовільно	18	виконання роботи задовольняє мінімальним критеріям помилок (розкриття теми в основному в межах об'єкту роботи, наявність концептуального апарату роботи, присутність не менше 5 посилань та цитувань наукових джерел, <b>дотримання норм доброчесності</b> )

### Шкала оцінювання: національна та ECTS

Сума балів за всі види навчальної діяльності	Оцінка ECTS	Оцінка за національною шкалою
90 – 100	<b>A</b>	Зараховано
82-89	<b>B</b>	
74-81	<b>C</b>	
64-73	<b>D</b>	
60-63	<b>E</b>	
35-59	<b>FX</b>	Не зараховано з можливістю повторного складання
<u>0-34</u>	<b>F</b>	Не зараховано з обов'язковим повторним вивченням дисципліни



### **Умови допуску до підсумкового контролю**

Здобувачу, який має підсумкову оцінку за дисципліну від 35 до 59 балів, призначається додаткова залікова сесія. В цьому разі він повинен виконати додаткові завдання, визначені викладачем.

Здобувач, який не виконав вимог робочої програми по змістових модулях, не допускається до складання підсумкового контролю. В цьому разі він повинен виконати визначене викладачем додаткове завдання по змісту відповідних змістових модулів в період між основною та додатковою сесіями.

Здобувач має право на опротестування результатів контролю (апеляцію). Правила подання та розгляду апеляції визначені внутрішніми документами КНУБА, які розміщені на сайті КНУБА та зміст яких доводиться Здобувачам до початку вивчення дисципліни.

### **Методичне забезпечення дисципліни**

#### **Рекомендована література**

1. Чорний О.П., Толочко О.І., Тинюк В.К. Математичні моделі та особливості чисельних розрахунків динаміки електроприводів з асинхронними двигунами. Кременчук, ПП Щербатих О.В., 2016. – 300с.

2. Копылов И.П. Математическое моделирование электрических машин. М., Высшая школа, 2001, 327 с.

3. Ткачук В. Електромеханотроніка. Львів, 2006, 440 с.

4. Krause P., Wasynczuk O., Sudhoff S. Analysis of electric machinery and drive systems. IEEE Press, 2002, 613 p.

5. I.Boldea, S.Nasar Electric drives. Taylor & Francis, 2006, 522 p .

6. Бондар Р.П., Голенков Г.М., Подольцев О.Д. Моделювання робочих характеристик віброзанурювача з лінійним електроприводом в пакеті Matlab/Simulink. «Електротехніка і електромеханіка». Національний технічний університет «ХПІ». Харків, 2010/6. – С. 13-17.

7. Голенков Г.М., Мазуренко Л.І., Бондар Р.П., Подольцев О.Д. Моделювання багатокomпонентного коливального руху вібраційної системи з лінійним електроприводом. «Технічна електродинаміка». Інститут електродинаміки НАН України. Київ, 2012/1.– С.49-55.

8. Бондар Р.П., Подольцев О.Д. Комплексна модель з частотно-залежними параметрами для розрахунку робочих характеристик магнітоелектричного вібратора. «Технічна електродинаміка». Інститут електродинаміки НАН України. Київ, 2017/1.– С.44-51.

9. Бондар Р.П., Голенков Г.М. Моделювання електромеханічних процесів лінійного магнітоелектричного двигуна привода одномасової віброударної системи. Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Проблеми удосконалювання електричних машин і апаратів. Теорія і практика. 2019. № 2. С. 29-35.

10. Бондар Р.П., Голенков Г.М. Моделювання електромеханічних процесів лінійного магнітоелектричного двигуна привода двомасової віброударної системи. Технічна електродинаміка. Інститут електродинаміки НАН України. Київ, 2019/6. С. 43-48.

11. Подольцев О. Д., Бондар Р.П. Моделювання пов'язаних електромеханічних та теплових процесів в лінійному магнітоелектричному двигуні на основі теорії мультифізичних кіл. Технічна електродинаміка. Інститут електродинаміки НАН України. Київ, 2020./2. С. 50-55.

12. Бондар Р.П. Оптимізаційний підхід до визначення конструктивних параметрів лінійного магнітоелектричного двигуна вібраційної дії. Технічна електродинаміка. Інститут електродинаміки НАН України. Київ, 2022/1. С. 33-40.

13. Подольцев А. Д., Кучерявая И. Н. Мультифизическое моделирование в электротехнике: монография. Киев: Ин-т электродинамики НАН Украины, 2015. 305 с.

14. Подольцев А. Д., Кучерявая И. Н. Многомасштабное моделирование в электротехнике: монография. Киев: Ин-т электродинамики НАН Украины, 2011. 256 с.

15. Mitchell J. K., Wang J., Clark R. E., Howe D. Analytical modelling of the air-gap field in reciprocating moving magnet actuators. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*. 2004. Vol. 272-276, No. 1. P. e1783-e1785. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304885303025800>.

16. Bastos J. P. A., Sadowski N. *Electromagnetic Modeling by Finite Element Methods*. CRC Press, 2003. 510 p.

17. Jang C., Kim J. Y., Kim Y. J., Kim J. O. Heat transfer analysis and simplified thermal resistance modeling of linear motor driven stages for SMT applications. *IEEE Transactions on Components and Packaging Technologies*. 2003. Vol. 26, No. 3. P. 532-540.

18. Митчелл Р. Метод конечных элементов для уравнений с частными производными. Москва: Мир, 1981. 216 с.

19. Benabou A., Leite J. V., Clénet S., Simão C., Sadowski N. Minor loops modelling with a modified Jiles-Atherton model and comparison with the Preisach model. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*. 2008. Vol. 320, No. 20. P. e1034-e1038.

20. Du R., Robertson P. Dynamic Jiles-Atherton model for determining the magnetic power loss at high frequency in permanent magnet machines. *IEEE Transactions on Magnetics*. 2015. Vol. 51, No. 6. P. 1-10.

21. Chen X., Zhu Z. Q., Howe D. Modeling and analysis of a tubular oscillating permanent-magnet actuator. *IEEE Transactions on Industry Applications*. 2009. Vol. 45, No. 6. P. 1961-1970.

22. Черных И.В. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB, SimPowerSystems и Simulink. - М.: ДМК Пресс; СПбю: Питер, 2008.-288с.

23. Бондар Р.П., Голенков Г.М., Подольцев О.Д. Лінійні

магнітоелектричні двигуни вібраційної дії для приводу будівельних машин і механізмів. Монографія. – К.: Інститут електродинаміки НАН України. 2021. –274 с.

### **Методичні роботи**

1. Математичне моделювання в електромеханіці: методичні вказівки до виконання індивідуального завдання / уклад. Бондар Р.П. – К.: КНУБА, 2022. 16 с.
2. Математичне моделювання в електромеханіці: методичні вказівки до виконання практичних робіт / уклад.: Мазуренко Л.І.; Бондар Р.П., Голенков Г.М. – К.: КНУБА, 2021. 42 с.

### **Інформаційні ресурси**

1. Основы моделирования ферромагнитных материалов в COMSOL Multiphysics: вебинар. URL: <https://www.comsol.ru/video/modeling-ferromagnetic-materials-in-comsol-webinar-ru/>.
2. Paudel N. Modeling linear motors or generators in COMSOL Multiphysics: blog. URL: <https://www.comsol.com/blogs/modeling-linear-motors-or-generators-in-comsol-multiphysics/>.
3. Paudel N. How to model a linear electromagnetic plunger. Part 1: blog. URL: <https://www.comsol.com/blogs/part-1-how-to-model-a-linear-electromagnetic-plunger/>.
4. Improving convergence in nonlinear time dependent models. URL: <http://www.comsol.com/support/knowledgebase/1127/>.
5. <http://library.knuba.edu.ua>
6. <https://org2.knuba.edu.ua/course/view.php?id=3648>