

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
БІЛОЦЕРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Кафедра електроенергетики, електротехніки та електромеханіки

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

ОК 13 «ЕЛЕКТРИЧНІ МАШИНИ ТА АПАРАТИ З КУРСОВОЮ РОБОТОЮ»

ГАЛУЗЬ ЗНАНЬ	14 Електрична інженерія
СПЕЦІАЛЬНІСТЬ	141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
РІВЕНЬ ВИЩОЇ ОСВІТИ	Перший (бакалаврський)
ФАКУЛЬТЕТ	Агробіотехнологічний

Робоча програма з навчальної дисципліни «**Електричні машини та апарати з курсовою роботою**» для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».


Укладачі: М. Трегуб, І. Голодний, Біла Церква: БНАУ, 2022. 25 с.

Розробники: М. І. Трегуб, доктор техн. наук, професор

Робочу програму схвалено на засіданні кафедри електроенергетики, електротехніки та електромеханіки

Протокол № 1 від 29.08.2022 р.


Завідувач кафедри електроенергетики, електротехніки та електромеханіки, професор

 М. І. Трегуб

Схвалено методичною комісією агробіотехнологічного факультету

Протокол № 1 від 31.08.2022 р.

Голова методичної комісії, декан
агробіотехнологічного факультету, доцент

 В. С. Хахула

Гранат ОП 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», доктор технічних наук, професор

 М.І. Трегуб

ЗМІСТ

1. ОПИС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ	4
2. ПЕРЕДУМОВИ ДЛЯ ВИВЧЕННЯ ДИСЦИПЛІНИ	5
3. КОМПЕТЕНТНОСТІ ВІДПОВІДНО ДО СТАНДАРТУ ВИЩОЇ ОСВІТИ ЗІ СПЕЦІАЛЬНОСТІ 141 «ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА »	5
4. ОЧІКУВАНІ РЕЗУЛЬТАТИ НАВЧАННЯ	5
5. ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ «ЕЛЕКТРИЧНІ МАШИНИ ТА АПАРАТИ З КУРСОВОЮ РОБОТОЮ»	6
6. СТРУКТУРА ДИСЦИПЛІНИ	8
7. ЗМІСТ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ	10
7.1. Лекції	10
7.2. Практичні заняття	13
7.3. Лабораторні роботи	14
7.4. Самостійна робота	16
7.5. Орієнтовна тематика індивідуальних та групових завдань	18
7.6. Курсова робота	19
8. МЕТОДИ НАВЧАННЯ	19
9. ФОРМИ ПОТОЧНОГО ТА ПІДСУМКОВОГО КОНТРОЛЮ	20
10. ЗАСОБИ ОЦІНЮВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ НАВЧАННЯ	21
11. КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ НАВЧАННЯ	21
12. ПЕРЕЛІК НАОЧНИХ І ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ НАВЧАННЯ	23
РЕКОМЕНДОВАНІ ДЖЕРЕЛА ІНФОРМАЦІЇ	24

1. ОПИС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Згідно з навчальним планом на 2022–2023 навчальний рік, на вивчення дисципліни «Електричні машини та апарати з курсовою роботою» для денної форми навчання виділено всього 180 академічних годин (6 кредитів ECTS), у т.ч. аудиторних — 88 годин (лекції — 44, лабораторні роботи — 30 практичні заняття — 14), самостійна робота студентів — 92 години і запланована курсова робота.

Опис навчальної дисципліни за показниками та формами навчання наведено в таблиці:

Найменування показників	Шифр та найменування галузі знань, спеціальності, рівень вищої освіти	Характеристика навчальної дисципліни	
		денна форма навчання	заочна форма навчання
Кількість кредитів, відповідних ECTS – 6	Галузь знань 14 «Електрична інженерія»	Обов'язкова	
Змістових модулів – 4	Спеціальність: 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»	<i>Рік підготовки:</i>	
Індив. завд.– розрах.		2-й	2-й
Курсова робота – 30 год.		<i>Семестр</i>	
Загальна кількість академічних годин – 180		3-4-й	3-4-й
Тижневих годин для денної форми навчання: аудиторних – 4 самостійної роботи студента – 4		<i>Лекції</i>	
		44 год.	8 год.
		<i>Лабораторні</i>	
	30 год.	6 год.	
	<i>Практичні</i>		
	14 год.	2 год.	
	Перший (бакалаврський) рівень вищої освіти	<i>Самостійна робота</i>	
		92 год.	164 год.
		Підсумковий контроль: залік, іспит	

Метою вивчення дисципліни «Електричні машини та апарати» є отримання бакалаврами в галузі електричної інженерії базових знань з основ електромеханіки, теорії, принципу дії та будови електричних машин різних типів та набуття умінь аналізувати робочі характеристики електричних машин різних типів та конструкцій і розуміння електрофізичних принципів електромеханічного перетворення енергії. Освоєння сучасних технологій проектування і виготовлення електромагнітних систем електричних машин і апаратів, зокрема їх обмоток, ізоляції, магнітопроводів, клемних пристроїв. Оволодіння способами сполучення схем обмоток і методами керування режимами пуку та роботи за різного характеру навантаження.

2. ПЕРЕДУМОВИ ДЛЯ ВИВЧЕННЯ ДИСЦИПЛІНИ

Обов'язковий освітній компонент «Електричні машини та апарати» базується на знаннях таких дисциплін, як «Фізика», «Вища математика», «Теоретичні основи електротехніки», які вивчаються на 1-му і 2-му курсах.

3. КОМПЕТЕНТНОСТІ ВІДПОВІДНО ДО СТАНДАРТУ ВИЩОЇ ОСВІТИ ЗІ СПЕЦІАЛЬНОСТІ 141 «ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА»

ЗК02. Здатність застосовувати знання в практичних ситуаціях.

ЗК05 Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел.

ЗК06. Здатність виявляти, ставити та вирішувати проблеми.

СК02. Здатність вирішувати практичні задачі із залученням методів математики, фізики та електротехніки.

СК04. Здатність вирішувати комплексні спеціалізовані задачі і практичні проблеми, пов'язані з проблемами метрології, електричних вимірювань, роботою пристроїв автоматичного керування, релейного захисту та автоматики.

СК05. Здатність вирішувати комплексні спеціалізовані задачі і практичні проблеми, пов'язані з роботою електричних машин, апаратів та автоматизованого електроприводу.

4. ОЧІКУВАНІ РЕЗУЛЬТАТИ НАВЧАННЯ

Програмний результат навчання відповідно до стандарту вищої освіти спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»	Результати навчання з дисципліни «Електричні машини та апарати»
ПРН03. Знати принципи роботи електричних машин, апаратів та автоматизованих електроприводів та уміти використовувати їх для вирішення практичних проблем у професійній діяльності.	РН03.1. Знати основи будови і роботи електричних машин та апаратів; РН03.2. Уміти виконувати побудову векторних діаграм, визначати режими навантаження трансформаторів, визначати параметри електричних машин.
ПРН05. Знати основи теорії електромагнітного поля, методи розрахунку електричних кіл та уміти використовувати їх для вирішення практичних проблем у професійній діяльності.	РН05. 01. Знати основи теорії електромагнітного поля, методи розрахунку електричних кіл та уміти використовувати їх для розрахунків електричних машин
ПРН09. Уміти оцінювати енергоефективність та надійність роботи електроенергетичних, електротехнічних та електромеханічних систем.	РН09.1. Знати алгоритм визначення коефіцієнту корисної дій машин постійного та змінного струму; ПРН09.2. Вміти розраховувати коефіцієнт корисної дій машин постійного та змінного

	струму та оцінювати енергоефективність та надійність їх роботи.
ПРН17. Розв'язувати складні спеціалізовані задачі з проектування і технічного обслуговування електромеханічних систем, електроустаткування електричних станцій, підстанцій, систем та мереж.	РН17.1. Вміти вирішувати спеціалізовані задачі з проектування і технічного обслуговування електромеханічних систем, електроустаткування електричних станцій, підстанцій, систем та мереж.
ПРН19. Застосовувати придатні емпіричні і теоретичні методи для зменшення втрат електричної енергії при її виробництві, транспортуванні, розподіленні та використанні.	РН19.1. Застосовувати емпіричні і теоретичні методи для розрахунків електромагнітних параметрів електричних машин та апаратів.

5. ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ «ЕЛЕКТРИЧНІ МАШИНИ ТА АПАРАТИ»

Змістовий модуль 1. Електричні машини постійного струму.

Тема 1.1. Загальні принципи електромеханічного перетворення енергії.

Апарати для електричних машин постійного струму

Тема 1.2. Будова та принцип дії колекторних машин постійного струму.

Тема 1.3. Обмотки якорів машин постійного струму.

Тема 1.4. Електрорушійна сила й електромагнітний момент машини постійного струму.

Тема 1.5. Реакція якоря машини постійного струму.

Тема 1.6 Комутація машин постійного струму.

Тема 1.7. Робота машини постійного струму в режимі генератора.

Тема 1.8. Робота машини постійного струму в режимі двигуна.

Змістовий модуль 2. Трансформатори.

Тема 2.1. Призначення і будова трансформаторів. Апарати керування і захисту трансформаторів.

Тема 2.2. Однофазні трансформатори.

Тема 2.3. Режими роботи та параметри трансформатора.

Тема 2.4. Трифазний трансформатор. Магнітні системи.

Тема 2.5. Паралельна робота трифазних трансформаторів.

Тема 2.6. Перехідні процеси в трансформаторах.

Тема 2.7. Спеціальні види трансформаторів.

Змістовий модуль 3. Асинхронні електричні машини.

Тема 3.1. Загальні питання електричних машин змінного струму. Апарати керування та захисту асинхронних електричних машин.

Тема 3.2. Електрорушійна та магніторушійна сили обмоток машин змінного струму.

Тема 3.3. Конструкція та режими роботи асинхронної машини.

Тема 3.4. Основні рівняння та параметри асинхронних машин.

Тема 3.5. Електромагнітний момент та робочі характеристики асинхронного двигуна.

Тема 3.6. Пуск і регулювання трифазних асинхронних двигунів.

Тема 3.7. Однофазні і конденсаторні асинхронні двигуни.

Тема 3.8. Асинхронні машини спеціального призначення.

Тема 3.9. Поліфункціональні електромеханічні перетворювачі технологічного призначення.

Змістовий модуль 4. Синхронні електричні машини.

Тема 4.1. Конструкція, принцип дії та способи збудження синхронних машин. Апарати керування та захисту синхронних електричних машин.

Тема 4.2. Магнітне поле і характеристики синхронних генераторів.

Тема 4.3. Паралельна робота синхронних генераторів.

Тема 4.4. Синхронні двигуни.

Тема 4.5. Синхронні машини спеціального призначення.

Тема 4.6. Електричні машини і мікромашини систем автоматики.

6. СТРУКТУРА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин											
	денна форма						заочна форма					
	всього	у тому числі					всього	у тому числі				
		л	п	лб	інд	СРС		л	п	лб	інд	СРС
<i>Змістовий модуль 1. Електричні машини постійного струму.</i>												
Тема 1.1	4	1	1		1	1	5	1			2	2
Тема 1.2	4	1	1		1	1	3				1	2
Тема 1.3.	3	1	1		1		4				2	2
Тема 1.4	6	2		2	1	1	4				2	2
Тема 1.5	5	2		2		1	4				2	2
Тема 1.6	4	1		1	1	1	4			1	2	1
Тема 1.7	4	1		1	1	1	5	1			2	2
Тема 1.8	4	1		1	1	1	5			1	2	2
Разом за модуль 1	34	10	3	7	7	7	34	2		2	15	15
<i>Змістовий модуль 2. Трансформатори.</i>												
Тема 2.1	4	1	1		1	1	5	1			2	2
Тема 2.2	6	2	2		1	1	4				2	2
Тема 2.3	6	2		2	1	1	5				2	3
Тема 2.4	6	2	2		1	1	5		1		2	2
Тема 2.5	4	1		1	1	1	4				2	2
Тема 2.6	4	1		1	1	1	5	1			2	2
Тема 2.7	4	1		1	1	1	5			1	2	2
Разом за модуль 2	34	10	5	5	7	7	33	2	1	1	14	15
<i>Змістовий модуль 3. Асинхронні електричні машини.</i>												
Тема 3.1	4	1	1		1	1	5	1			2	2
Тема 3.2	6	2	2		1	1	6				2	4
Тема 3.3.	6	2		2	1	1	5			1	2	2
Тема 3.4	6	2		2	1	1	6				2	4
Тема 3.5	6	2		2	2	1	6				4	2
Тема 3.6	6	2		2	1	1	4				2	2
Тема 3.7	5	1		1	1	2	5	1			2	2
Тема 3.8	4	1	1		1	1	5		1		2	2
Тема 3.9	5	1	1		1	1	6				4	2
Разом за модуль 3	48	14	5	9	10	10	48	2	1	1	22	22
<i>Змістовий модуль 4. Синхронні електричні машини.</i>												
Тема 4.1	4	1	1		1	1	4				2	2
Тема 4.2	6	2		2	1	1	6	1		1	2	2
Тема 4.3	6	2		2	1	1	7				3	4
Тема 4.4	4	1		1	1	1	5	1			2	2

Тема 4.5	7	2		2	1	2	6				2	4
Тема 4.6	7	2		2	2	1	7			1	4	2
Разом за модуль4	34	10	1	9	7	7	35	2		2	15	16
Курсова робота	30				14	16	30				15	15
Всього годин	180	44	14	30	45	47	180	8	2	6	81	83

Примітка: л – лекції, п – практичні заняття, лб – лабораторні роботи; інд – індивідуальні завдання, СРС – самостійна робота студентів.

7. ЗМІСТ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

7.1. Лекції

Тема і зміст лекції	Кільк. годин
Змістовий модуль 1. Електричні машини постійного струму.	
1.1. Загальні принципи електромеханічного перетворення енергії. Джерела електричної енергії. Базові закони електромеханіки. Найпростіший генератор і найпростіший електродвигун постійного струму. Апарати для електричних машин постійного струму	1
1.2. Будова та принцип дії колекторних машин постійного струму. Сфери застосування електричних машин постійного струму. Способи збудження машин постійного струму. Електромагнітний момент та принцип зворотності електричних машин.	1
1.3. Обмотки якорів машин постійного струму. Принципи виконання обмоток якоря машин постійного струму. ЕРС обмотки якоря машини постійного струму. Типи обмоток. Петлева, хвилева і комбінована обмотки та їх основні переваги й недоліки.	1
1.4. Електрорушійна сила і електромагнітний момент машини постійного струму. Магнітне поле машини постійного струму. Магніторушійна сила та електромагнітний момент. Магнітне коло машини. Розрахунок МРС на різних ділянках магнітного кола машини. Особливості розрахунку МРС з повітряним проміжком, форма ізоліній індукції в повітряному проміжку. Магнітна характеристика машини в режимі холостого ходу.	2
1.5. Реакція якоря машини постійного струму. Причини виникнення реакції якоря. Дві складові реакції якоря. Вплив реакції якоря на магнітне поле машини постійного струму. Способи усунення негативного впливу реакції якоря. Компенсаційна обмотка.	2
1.6. Комутація машин постійного струму. Рівень іскріння. Природа комутаційних процесів. Комутаційна реакція якоря. Причини іскріння електромагнітного характеру. Причини іскріння механічного характеру. Способи і засоби поліпшення комутації.	1
1.7. Робота машини постійного струму в режимі генератора. Характеристики генератора незалежного збудження. Генератор паралельного збудження. Умови самозбудження. Генератор змішаного та послідовного збудження. Втрати потужності, енергетична діаграма та ККД машин постійного струму.	1
1.8. Робота машини постійного струму в режимі двигуна. Швидкісні характеристики двигунів із різними типами збудження. Механічні характеристики двигунів з різними схемами збудження. Пуск двигуна постійного струму. Засоби регулювання швидкості двигуна постійного струму. Гальмівні режими. Рекуперативне гальмування.	1
Разом за змістовий модуль 1	10
Змістовий модуль 2. Трансформатори.	

2.1 Загальні питання і елементи конструкції трансформаторів. Значення трансформаторів для енергозабезпечення підприємств. Принцип дії та головні конструктивні елементи трансформаторів. Номінальні дані. Режими роботи. Магнітна система. Обмотки. Апарати для трансформаторів.	1
2.2 Однофазні трансформатори. Режим холостого ходу, рівняння рівноваги напруга та ЕРС холостого ходу. Рівняння рівноваги МРС. Режим короткого замикання. Напруга короткого замикання U_k . Робота трансформатора під навантаженням, зовнішня характеристика. Енергетична діаграма трансформатора, ККД.	2
2.3. Режими роботи та параметри трансформатора. Зведення обмоток трансформаторів, заступні схеми зведеного трансформатора та векторні діаграми. Режим короткого замикання.	2
2.4 Трифазний трансформатор, його магнітні системи. Особливості холостого ходу трифазних трансформаторів. Регулювання напруги трансформаторів.	2
2.5. Паралельна робота трифазних трансформаторів. Схеми та групи з'єднання обмоток трансформаторів. Умови включення трансформаторів на паралельну роботу.	1
2.6. Перехідні процеси в трансформаторах. Перехідні процеси при включенні та при раптовому короткому замиканні трансформаторів. Перенапруга в трансформаторах.	1
2.7. Спеціальні види трансформаторів. Автотрансформатори, трансформатори струму, напруги, зварювальні трансформатори, трансформатори для випрямлячів. Обертальні трансформатори.	1
Разом за змістовий модуль 2	10
<i>Змістовий модуль 3. Асинхронні електричні машини.</i>	
3.1. Загальні питання електричних машин змінного струму. Принцип дії синхронного генератора. Принцип дії асинхронного двигуна. Принципи виконання обмоток машин змінного струму. Апарати керування і захисту асинхронних електричних машин	1
3.2. Електрорушійна та магніторушійна сили обмоток машин змінного струму. Електрорушійна сила обмотки статора. Способи обмеження вищих гармонік. Магніторушійна сила однофазної та трифазної обмоток. Способи створення обертового магнітного поля.	2
3.3. Будова та режими роботи асинхронної машини. Конструкція асинхронного двигуна. Розрахунок магнітного кола. Робота асинхронної машини в режимі двигуна, електромагнітного гальма, електрогенератора.	2
3.4. Основні рівняння та параметри. Рівняння напруги, МРС і струмів асинхронного двигуна. Будова та режими роботи асинхронної машини. Конструкція асинхронного двигуна. Розрахунок магнітного кола. Робота асинхронної машини в режимі двигуна, електромагнітного гальма, електрогенератора.	2

3.5. Електромагнітний момент та робочі характеристики асинхронного двигуна. Втрати потужності та ККД асинхронного двигуна. Електромагнітний момент і механічні характеристики. Робочі характеристики.	2
3.6. Пуск і регулювання трифазних асинхронних двигунів. Пуск двигунів з фазовим ротором. Пуск двигунів з короткозамкненим ротором. Покращення пускових характеристик асинхронного двигуна. Способи регулювання частоти обертання.	2
3.7. Однофазові та конденсаторні асинхронні двигуни. Будова та принцип дії однофазного асинхронного двигуна. Конденсаторні двигуни. Робота трифазного двигуна від однофазної мережі.	1
3.8. Асинхронні машини спеціального призначення. Лінійні асинхронні двигуни. Асинхронні двигуни з масивним ротором.	1
3.9. Поліфункціональні електромеханічні перетворювачі технологічного призначення. Асинхронні двигуни, суміщені з виконавчим механізмом. Асинхронні двигуни з порожнистим перфорованим ротором.	1
Разом за змістовий модуль 3	14
<i>Змістовий модуль 4. Синхронні електричні машини.</i>	
4.1. Будова, принцип дії та способи збудження синхронних машин. Явнополюсні синхронні машини. Збудження синхронних машин. Втрати потужності та ККД синхронних машин. Апарати керування і захисту синхронних електричних машин.	1
4.2. Магнітне поле і характеристики синхронних генераторів. Магнітне поле синхронної машини. Будова, принцип дії та способи збудження синхронних машин. Неявнополюсні синхронні машини. Збудження синхронних машин	2
4.3. Паралельна робота синхронних генераторів. Умови вмикання генераторів на паралельну роботу. Способи синхронізації. U-подібні характеристики синхронного генератора. Перехідні процеси в генераторах.	2
4.4. Синхронні двигуни. Синхронний компенсатор. Будова та принцип дії синхронного двигуна. Пуск синхронних двигунів. U-подібні та робочі характеристики синхронного двигуна. Синхронний компенсатор реактивної потужності.	1
4.5. Синхронні машини спеціального призначення. Синхронні машини с постійними магнітами. Синхронні реактивні та гістерезисні двигуни. Індукторні синхронні машини.	2
4.6. Електричні машини і мікромашини систем автоматики. Силлові мікродвигуни постійного та змінного струму. Сельсини. Тахогенератори. Крокові двигуни.	2
Разом за змістовий модуль 4	10
Всього	44

7.2. Практичні заняття

№ з/п	Назва теми	К-ть годин
Змістовий модуль 1. Електричні машини постійного струму.		
1	Вивчення будови електричних машин постійного струму. Конструкції якорів, колекторів, додаткових полюсів, полюсних магнітопроводів. Апарати для електричних машин постійного струму	1
2	Визначення положення геометричної нейтралі щіток колектора. Будова обмоток машин з послідовним збудженням. Визначення площі перетину магнітопровода. Приклади розрахунку магнітного кола машини, побудова розрахункової схеми.	1
3	Вивчення типів обмоток машин послідовного, паралельного та комбінованого збудження. Розрахунок кроку в пазах якоря. Визначення типу обмотки на серійних електричних машинах. Розрахунок параметрів обмотки.	1
Разом за змістовий модуль 1		3
Змістовий модуль 2. Трансформатори.		
1	Вивчення загальної будови трансформатора, типу магнітопроводу та обмоток. Визначення коефіцієнта трансформації однофазового трансформатора. Апарати для захисту і регулювання трансформаторів.	1
2	Будова однофазового трансформатора. Розрахунок трансформатора. Визначення індуктивного опору системи. Методи виконання обмоток на магнітопроводі.	2
3	Побудова зведеної заступної схеми трансформатора. Побудова векторної діаграми трансформатора та її аналіз.	2
Разом за змістовий модуль 2		5
Змістовий модуль 3. Асинхронні електричні машини.		
1	Вивчення будови та принципу дії асинхронного двигуна. Принципи виконання обмоток асинхронних машин. Аналіз паспортних даних та визначення коефіцієнта ковзання за ними. Апарати керування для асинхронних електричних машин	1
2	Вивчення позначень початків і кінців однофазових і трифазових асинхронних машин. Освоєння правил сполучення трифазових обмоток за паспортними даними, методів реверсування вала ротора.	2
3	Будова асинхронних машин спеціального призначення. Лінійні асинхронні двигуни. Асинхронні двигуни з масивним ротором. Порівняння конструктивних та енергетичних показників.	1
4	Вивчення асинхронних двигунів, суміщених з виконавчим механізмом. Асинхронні двигуни з порожнистим перфорованим ротором. Порівняння їх масогабаритних та енергетичних	1

	показників.	
Разом за змістовий модуль 3		5
<i>Змістовий модуль 4. Синхронні електричні машини.</i>		
1	Вивчення будови, принципів дії та способів збудження синхронних машин. Вивчення будови явнополюсних і неявно полюсних синхронних машин та систем їх збудження. Апарати керування і захисту для синхронних електричних машин.	1
Разом за змістовий модуль 4		1
Всього		14

7.3 Лабораторні роботи

№ з/п	Назва теми	К-ть годин
<i>Змістовий модуль 1. Електричні машини постійного струму.</i>		
1	Визначення МРС на різних ділянках магнітного кола машини. Особливості розрахунку МРС з повітряним проміжком, форма ізоляції магнітної індукції в повітряному проміжку. Магнітна характеристика машини в режимі холостого ходу.	2
2	Визначення рівня іскроутворення під щітками на колекторі та ознайомлення з методами його мінімізації. Встановлення причин підвищеного іскроутворення. Принцип дії компенсаційних пристроїв.	2
3	Дослідження режиму комутації машини постійного струму. Порівняння характеристик різних типів комутаційних пристроїв. Визначення комутаційних втрат енергії.	1
4	Характеристики генератора незалежного збудження. Генератор паралельного збудження. Умови самозбудження. Генератор змішаного та послідовного збудження.	1
5	Механічні характеристики двигунів з різними схемами збудження. Пуск двигуна постійного струму. Засоби регулювання швидкості двигуна постійного струму. Гальмівні режими.	1
Разом за змістовий модуль 1		7
<i>Змістовий модуль 2. Трансформатори.</i>		
1	Дослідження режимів роботи трансформаторів. Зведення обмоток трансформаторів, заступні схеми зведеного трансформатора та векторні діаграми. Режими холостого ходу та короткого замикання.	2
2	Трифазний трансформатор, його магнітна система. Визначення початків і кінців фазових обмоток за позначеннями. Виконання схеми сполучення обмоток «зірка» – «зірка» та «зірка» – «трикутник» і вимірювання фазових та лінійних напруг первинної і вторинної обмоток.	1
3	Паралельна робота трифазних трансформаторів. Схеми та групи з'єднання обмоток трансформаторів.	1

4	Дослідження режимів роботи автотрансформатора, вимірювальних трансформаторів струму і напруги, зварювальних трансформаторів, трансформаторів для випрямлячів та обертального трансформатора.	1
Разом за змістовий модуль 2		5
Змістовий модуль 3. Асинхронні електричні машини.		
1	Дослідження асинхронної машини в режимі двигуна, електромагнітного гальма, електрогенератора. Будова та режими роботи асинхронної машини. Конструкція асинхронного двигуна. Розрахунок магнітного кола.	2
2	Визначення початків та кінців обмоток трифазового асинхронного двигуна за відсутності позначень. Конструкція короткозамненого ротора трифазового асинхронного двигуна.	2
3	Експериментальне визначення електромагнітного моменту асинхронного двигуна. Втрати потужності та ККД асинхронного двигуна. Побудова механічних і робочих характеристик.	2
4	Дослідження пуску і регулювання трифазних асинхронних двигунів. Пуск двигунів з фазним ротором. Пуск двигунів з короткозамкненим ротором. Реверсування обертів асинхронного двигуна. Способи регулювання частоти обертання.	2
5	Дослідження роботи трифазового двигуна в однофазовому режимі. Будова та принцип дії однофазного асинхронного двигуна. Конденсаторні двигуни. Робота трифазного двигуна від однофазної мережі.	1
Разом за змістовий модуль 3		9
Змістовий модуль 4. Синхронні електричні машини.		
1	Побудова схеми магнітної системи явно полюсної машини. Порівняння з магнітною системою синхронної машини з постійними магнітами.	2
2	Дослідження умов безпечного вмикання генераторів на паралельну роботу. Способи синхронізації. Побудова U-подібних характеристик синхронного генератора.	2
3	Вивчення будови та принципу дії синхронного двигуна. Способи пуску синхронних двигунів.	1
4	Побудова U-подібних та робочих характеристик синхронного двигуна. Дослідження синхронних машин спеціального призначення. Синхронні машини с постійними магнітами.	2
5	Синхронні машини спеціального призначення. Синхронні машини с постійними магнітами. Синхронні реактивні та гістерезисні двигуни. Індукторні синхронні машини.	2
Разом за змістовий модуль 4		9
Всього		30

7.4. Самостійна робота

№ з/п	Назва теми	К-ть годин
Змістовий модуль 1. Електричні машини постійного струму.		
1	Вивчення будови електричних машин постійного струму. Конструкції якорів, колекторів, додаткових полюсів, полюсних магнітопроводів. Апарати для електричних машин постійного струму	3
2	Визначення положення геометричної нейтралі щіток колектора. Будова обмоток машин з послідовним збудженням. Визначення площі перетину магнітопровода. Приклади розрахунку магнітного кола машини, побудова розрахункової схеми.	2
3	Вивчення типів обмоток машин послідовного, паралельного та комбінованого збудження. Розрахунок кроку в пазах якоря. Визначення типу обмотки на серійних електричних машинах. Розрахунок параметрів обмотки.	2
4	Розрахунок МРС на різних ділянках магнітного кола машини. Особливості розрахунку МРС з повітряним проміжком, форма ізоляції магнітної індукції в повітряному проміжку. Магнітна характеристика машини в режимі холостого ходу.	4
5	Визначення рівня іскроутворення під щітками на колекторі та ознайомлення з методами його мінімізації. Встановлення причин підвищеного іскроутворення. Принцип дії компенсаційних пристроїв.	4
6	Розрахунок режиму комутації машини постійного струму. Порівняння характеристик різних типів комутаційних пристроїв. Визначення комутаційних втрат енергії.	2
7	Характеристики генератора незалежного збудження. Генератор паралельного збудження. Умови самозбудження. Генератор змішаного та послідовного збудження.	2
8	Механічні характеристики двигунів з різними схемами збудження. Пуск двигуна постійного струму. Засоби регулювання швидкості двигуна постійного струму. Гальмівні режими.	2
Разом за змістовий модуль 1		21
Змістовий модуль 2. Трансформатори.		
1	Вивчення загальної будови трансформатора, типу магнітопроводу та обмоток. Визначення коефіцієнта трансформації однофазового трансформатора. Апарати для трансформаторів.	3
2	Будова однофазового трансформатора. Розрахунок трансформатора. Визначення індуктивного опору системи. Методи виконання обмоток на магнітопроводі.	4
3	Зведення обмоток трансформаторів, заступні схеми зведеного трансформатора та векторні діаграми. Режим короткого замикання.	4
4	Побудова зведеної заступної схеми трансформатора. Побудова	4

	векторної діаграми трансформатора та її аналіз.	
5	Трифазний трансформатор, його магнітна система. Визначення початків і кінців фазових обмоток за позначеннями. Виконання схеми сполучення обмоток «зірка» – «зірка» та «зірка» – «трикутник» і вимірювання фазових та лінійних напруг первинної і вторинної обмоток.	2
6	Паралельна робота трифазних трансформаторів. Схеми та групи з'єднання обмоток трансформаторів.	2
7	Вивчення будови та принципу дії автотрансформатора, вимірювальних трансформаторів струму і напруги, зварювальних трансформаторів, трансформаторів для випрямлячів та обертового трансформатора.	2
Разом за змістовий модуль 2		21
<i>Змістовий модуль 1. Асинхронні електричні машини.</i>		
1	Вивчення будови та принципу дії асинхронного двигуна. Принципи виконання обмоток асинхронних машин. Аналіз паспортних даних та визначення коефіцієнта ковзання за ними. Апарати для асинхронних електричних машин.	3
2	Вивчення позначень початків і кінців однофазових і трифазових асинхронних машин. Освоєння правил сполучення трифазових обмоток за паспортними даними, методів реверсування вала ротора.	3
3	Будова та режими роботи асинхронної машини. Конструкція асинхронного двигуна. Розрахунок магнітного кола. Робота асинхронної машини в режимі двигуна, електромагнітного гальма, електрогенератора.	4
4	Визначення початків та кінців обмоток трифазового асинхронного двигуна за відсутності позначень. Конструкція короткозамкненого ротора трифазового асинхронного двигуна.	4
5	Визначення електромагнітного моменту асинхронного двигуна. Втрати потужності та ККД асинхронного двигуна. Побудова механічних і робочих характеристик.	4
6	Пуск і регулювання трифазних асинхронних двигунів. Пуск двигунів з фазним ротором. Пуск двигунів з короткозамкненим ротором. Реверсування обертів асинхронного двигуна. Способи регулювання частоти обертання.	4
7	Будова та принцип дії однофазного асинхронного двигуна. Конденсаторні двигуни. Робота трифазного двигуна від однофазної мережі.	3
8	Будова асинхронних машин спеціального призначення. Лінійні асинхронні двигуни. Асинхронні двигуни з масивним ротором. Порівняння конструктивних та енергетичних показників.	2
9	Вивчення асинхронних двигунів, суміщених з виконавчим механізмом. Асинхронні двигуни з порожнистим перфорованим ротором. Порівняння їх масогабаритних та енергетичних	2

	показників.	
Разом за змістовий модуль 1		29
<i>Змістовий модуль 2. Синхронні електричні машини.</i>		
1	Вивчення будови, принципів дії та способів збудження синхронних машин. Вивчення будови явнополюсних і неявно полюсних синхронних машин та систем їх збудження. Апарати для синхронних електричних машин.	3
2	Побудова схеми магнітної системи явно полюсної машини. Порівняння з магнітною системою синхронної машини з постійними магнітами.	24
3	Вивчення умов безпечного вмикання генераторів на паралельну роботу. Способи синхронізації. Побудова U-подібних характеристик синхронного генератора.	4
4	Вивчення будови та принципу дії синхронного двигуна. Способи пуску синхронних двигунів. Побудова U-подібних та робочих характеристик синхронного двигуна.	2
5	Синхронні машини спеціального призначення. Синхронні машини с постійними магнітами. Синхронні реактивні та гістерезисні двигуни. Індукторні синхронні машини.	4
6	Синхронні машини спеціального призначення. Синхронні машини с постійними магнітами. Синхронні реактивні та гістерезисні двигуни. Індукторні синхронні машини.	4
Разом за змістовий модуль 2		21
Всього		92

Примітка: У розрахунку годин на виконання самостійної роботи передбачено час на виконання індивідуальних завдань

7.5. Орієнтовна тематика індивідуальних та групових завдань

1. Побудова схеми магнітного кола машини постійного струму.
2. Розрахунок магнітної системи машини постійного струму коловим методом
3. Розрахунок елементарного магнітного кола електричної машини постійного струму польовим методом.
4. Графічне пояснення положень геометричної і електромагнітної нейтралі.
5. Графічний аналіз гармонічного складу змінного струму за різних навантажени трансформатора.
6. Залежність електромагнітного моменту асинхронного електродвигуна від частоти струму і напруги живлення.
7. Опис принципів роботи індукторних вентильних реактивних електричних машин.
8. Графічне зображення магнітної системи лінійної електричної машини.

7.6. Курсова робота

Вимоги до написання курсової роботи наведені у Методичних вказівках до

виконання курсової роботи з дисципліни "Електричні машини і апарати" здобувачами першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності 141 – "Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка" / М.І. Трегуб, І.М. Голодний, А.М. Рубець. – Біла Церква, БНАУ, 2021. – 19 с

8. МЕТОДИ НАВЧАННЯ

Лекційні заняття проводяться крім традиційних методів пояснень теми також з використанням підібраних на сайтах відеоматеріалів, слайдових презентацій у програмі Microsoft Office Power Point, графічних матеріалів, дискусійного обговорення проблемних питань.

Практичні заняття проводяться шляхом виконання розрахункових та графічних завдань – індивідуальних та в групах; конференцій; захисту та обговорень отриманих результатів.

Лабораторні роботи – виконуються в навчальних лабораторіях шляхом складання схем, електричних вимірювань для отримання експериментальних результатів та обробки отриманих даних.

У разі дистанційного і змішаного навчання використовуються навчальна платформа Moodle Білоцерківського НАУ, онлайн-платформи ZOOM, Microsoft Team, Google Meet, електронна пошта, мобільні додатки Viber, Telegram.

Самостійна робота студентів (СРС) виконується за технологією групового навчання під керівництвом рівного (*Peer-led team learning*), оцінка рівних (*Peer assessment*). Алгоритм:

1. Студенти отримують завдання для групової СРС та критерії оцінювання. Термін виконання — 2 тижні. Кількість груп залежить від суті завдання.

2. Студенти мають розподілити функції між учасниками групи (керівні, виконавчі, технічна підтримка тощо); сформулювати комунікаційну стратегію; визначитися з лідером; підготувати матеріал для презентації; забезпечити, щоб усі члени групи володіли інформацією на достатньому для проведення дискусії рівні.

3. Оцінювання: студенти отримують бали за кожним критерієм з обґрунтуванням, загальна сума множиться на кількість студентів у групі, що працювала над проектом, а

потім колективно розподіляють бали відповідно до внеску кожного учасника.

Студент може брати участь у виконанні завдання і не бути присутнім на презентаційній частині, якщо його функції, як члена групи, не вимагають присутності.

9. ФОРМИ ПОТОЧНОГО ТА ПІДСУМКОВОГО КОНТРОЛЮ

Поточний контроль з предмету «Електричні машини та апарати» включає тематичне оцінювання та модульний контроль.

Тематичне оцінювання аудиторної та самостійної роботи студентів здійснюється на основі отриманих ними поточних оцінок за усні та письмові відповіді з предмету, самостійні, практичні та контрольні роботи.

Поточний контроль за виконанням ІНДЗ здійснюється відповідно до графіку виконання завдання.

Модульний контроль проводиться у письмовій формі за індивідуальними варіантами.

Підсумкове оцінювання здійснюється за результатами поточного і модульного контролю. Завдання поточного і модульного контролю сумарно оцінюються в інтервалі 0–100 балів (включно).

Кількість отриманих балів з кожного виду навчальних робіт за різними формами поточного контролю та підсумкова кількість балів виставляється студентам у журнал академічної групи та електронний журнал після кожного контрольного заходу.

Підсумковий контроль навчальної діяльності студентів в 3 семестрі здійснюється у формі заліку за результатами поточного контролю (тематичного оцінювання, виконання ІНДЗ та модульного контролю) і не передбачає обов'язкової присутності студентів. Результати заліку оприлюднюються в журналі академічної групи до початку екзаменаційної сесії.

Підсумковий контроль навчальної діяльності студентів в 4 семестрі здійснюється у формі іспиту, який включає результати поточного контролю (тематичного оцінювання, виконання ІНДЗ та модульного контролю) та результати іспиту, що проводиться у формі комп'ютерного тестування у системі дистанційного навчання Moodle.

10. ЗАСОБИ ОЦІНЮВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ НАВЧАННЯ

Оцінка за лекційне заняття виставляється за відповіді на тематичні запитання та активність студента у обговоренні навчальної і наукової інформації.

Оцінку на практичному занятті студент отримує за виконані розрахункові завдання, лабораторні роботи, командні проєкти, зроблені доповіді, презентації, есе, активність під час дискусій.

Під час модульного та підсумкового контролю засобами оцінювання результатів навчання з дисципліни є стандартизовані комп'ютерні тести.

11. КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ НАВЧАННЯ

Поточний контроль успішності здобувачів вищої освіти здійснюється за чотирирівневою шкалою – «2», «3», «4», «5».

Критерії оцінювання результатів навчання за чотирирівневою шкалою

Бали	Критерії оцінювання
«Відмінно»	Отримують за роботу, в якій повністю і правильно виконано завдання. Водночас здобувач вищої освіти має продемонструвати вміння аналізувати і оцінювати явища, факти і процеси, застосовувати наукові методи для аналізу конкретних ситуацій, робити самостійні висновки, на основі яких прогнозувати ймовірний розвиток подій і процесів, докладно обґрунтовувати свої твердження та висновки.
«Добре»	Отримують за роботу, в якій повністю і правильно виконано 75 % завдань. Водночас здобувач вищої освіти виявляє навички аналізувати і оцінювати явища, факти і події, робити самостійні висновки, на основі яких прогнозувати ймовірний розвиток подій і процесів та докладно обґрунтовувати свої твердження та висновки.
«Задовільно»	Отримують за роботу, в якій правильно виконано 60 % завдань. При цьому здобувач вищої освіти не виявив вміння аналізувати і оцінювати явища, факти та недостатньо обґрунтував твердження та висновки, недостатньо певно орієнтується у навчальному матеріалі.
«Незадовільно»	Отримують за роботу, в якій виконано менш як 60 % завдань. При цьому здобувач вищої освіти демонструє невміння аналізувати явища, факти, події, робити самостійні висновки та їх обґрунтовувати, що свідчить про те, що студент не оволодів програмним матеріалом.

Підсумкова оцінка з дисципліни виставляється за 100-бальною шкалою. Вона обчислюється як середнє арифметичне значення (САЗ) всіх отриманих студентом оцінок з наступним переведенням їх у бали за такою формулою:

$$БПК = \frac{САЗ \times \max ПК}{5},$$

де *БПК* – бали з поточного контролю; *САЗ* – середнє арифметичне значення усіх отриманих студентом оцінок (з точністю до 0,01); *max ПК* – максимально можлива кількість балів з поточного контролю.

Відсутність студента на занятті у формулі приймається як «0».

Критерії оцінювання за дворівневою шкалою

Під час проведення заліку навчальні досягнення студентів оцінюються за дворівневою шкалою: зараховано, незараховано.

Оцінка «зараховано» (60–100 балів) ставиться студентові, який виявив знання основного навчального матеріалу в обсязі, необхідному для подальшого навчання і майбутньої роботи за фахом, здатний виконувати завдання, передбаченні програмою, ознайомлений з основною рекомендованою літературою; під час виконання завдань припускається помилок, але демонструє спроможність їх усувати.

Оцінка «незараховано» (1–59 балів) ставиться студентові, який допускає принципові помилки у виконанні передбачених програмою завдань, не може продовжити навчання чи розпочати професійну діяльність без додаткових занять з відповідної дисципліни.

Шкала оцінювання успішності здобувачів вищої освіти

За 100-бальною шкалою	За шкалою ECTS	За національною шкалою	
		іспит	залік
90–100	A	Відмінно	Зараховано
82–89	B	Добре	
75–81	C	Задовільно	
64–74	D		
60–63	E		
35–59	FX	Незадовільно (незараховано) з можливістю повторного складання	
1–34	F	Незадовільно (незараховано) з обов'язковим повторним вивченням	

Розподіл балів, що присвоюється здобувачам вищої освіти за підсумкового контролю

Види робіт	Лекції	Практичні заняття	Самостійна робота	Модульний контроль	ІНДЗ	Підсумковий контроль	Загальний бал
залік	10	30	10	40	10		100
екзамен	10	20	10	20	10	30	100

12. ПЕРЕЛІК ІНФОРМАЦІЙНИХ ТА ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ НАВЧАННЯ

Інформаційні засоби:

1. Відеоматеріали з відкритих сайтів навчальних тем предмета
2. Слайдові презентації у програмі Microsoft Office Power Point
3. Інформаційні стенди у навчальній аудиторії
4. Нормативно-технічна документація
5. Табличні матеріали.

Технічні засоби:

1. Лабораторні стенди індукторних електрогенераторів;
2. Лабораторний стенд електрогенератора з постійними магнітами;
3. лабораторний стенд синхронного електричного генератора потужністю 24 кВт;
4. Синхронний електричний генератор 40кВт;
5. Пульти керування синхронним генератором;
6. Електростанція DAGFS-35, 3 фази, 30кВт (дизельна) (2022р.);
7. Електростанція Дніпро-М, 1 фаза, 5кВт (бензинова) (2022 р.);
8. Електродвигуни змінного струму асинхронні з короткозамкненим ротором потужністю від 0,5...14 кВт;
9. Асинхронний мотор з фазовим ротором 4кВт;
10. Синхронні мікромашини машини потужністю 0,12 та 0,2 кВт;
11. Електричні машини постійного струму з послідовним, паралельним, незалежним та змішаним збудженням;
12. Одно та трифазові трансформатори з пластинчастими та стрічковими магнітопроводами;
13. Засоби унаочнення: ротори та статори, зразки обмоткових провідників;
14. Частотні регулятори асинхронних моторів(різні);
15. Реостати;
Напівпровідникові регулятори струму.

РЕКОМЕНДОВАНІ ДЖЕРЕЛА ІНФОРМАЦІЇ

Основна література

1. Остапешевський М.О. Електричні машини і трансформатори: навч. посібник/М.О. Остапешевський, О.Ю. Юр'єва; за ред. В.І. Мілих, – Харків: ФОП Панов А.М., 2017. – 452 с. http://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/2019/Ostashev_2018_452.pdf
2. Розрахунки магнітних полів в електротехнічних пристроях : навчальний посібник / В. І. Мілих. Харків : ФОП Панов А. М., 2021. 136 с.
3. Методичні вказівки до виконання курсової роботи з дисципліни "Електричні машини і апарати" здобувачами першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності 141 – "Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка" / М.І. Трегуб, І.М. Голодний, А.М. Рубець. – Біла Церква, БНАУ, 2021. – 19 с.
4. Проектування електричних машин : навч. посіб. / Д.В. Ципленков, О.Б. Іванов, О.В. Бобров, В.В. Кузнецов, В.В. Артемчук, М.О. Баб'як ; Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». – Д. : НТУ «ДП», 2020. – 408 с.
5. Андрейко І.І., Білявський І.Є., Денис Б.Д. Електричні мікромашини: У 2т. – Т.1: Електричні мікромашини постійного струму та мікротрансформатори. – Т.2: Електричні мікромашини змінного струму: навч. посібн. – Львів НУ «ЛП», 2007.
6. Електричні машини і апарати: навчальний посібник / Ю.М. Куценко, В.Ф. Яковлев та ін. – К.: Аграрна освіта, 2013. – 449 с.
<file:///H:/%D0%9E%D0%B1%D0%BE%D0%B2%D1%8F%D0%B7%D0%BA%D0%BE%D0%B2%D1%96%20%D0%B4%D0%B8%D1%81%D1%86%D0%B8%D0%BF%D0%BB%D1%96%D0%BD%D0%B8%20-%20%D1%80%D0%BE%D0%B1%D0%BE%D1%87%D1%96%20%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%BD%D1%80%D0%B0%D0%BC%D0%B8/%D0%9D%D0%9F%20%D0%95%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%B8%D1%87%D0%BD%D0%B8%20%D0%BC%D0%B0%D1%88%D0%B8%D0%BD%D0%B8%20%D0%B8%20%D0%B0%D0%BF%D0%B0%D1%80%D0%B0%D1%82%D0%B8%2022.pdf>
7. Electrical Machines, Drives, and Power Systems / 5-th edition Theodore Wildi – Professor Emeritus, Laval University Upper Saddle River, New Jersey Columbus, Ohio - 907p.
[https://ia600901.us.archive.org/9/items/ElectricalMachinesDrivesAndPowerSystems5/TheodoreWildi/Electrical%20Machines,%20Drives,%20and%20Power%20Systems%205E%20\(Theodore%20Wildi\)_text.pdf](https://ia600901.us.archive.org/9/items/ElectricalMachinesDrivesAndPowerSystems5/TheodoreWildi/Electrical%20Machines,%20Drives,%20and%20Power%20Systems%205E%20(Theodore%20Wildi)_text.pdf)

Додаткова література

1. Розрахунки магнітних полів в електротехнічних пристроях : навчальний посібник / В. І. Мілих. Харків : ФОП Панов А. М., 2021. 136 с.
2. Розрахунок і конструювання трифазних асинхронних двигунів з короткозамкненим ротором. Курсове проектування [Текст] : навч. посіб. / М. П.

Розводюк, С. М. Левицький, В. С. Бомбик ; Вінниц. нац. техн. ун-т. - Вінниця : ВНТУ, 2018. - 134 с.

3. Finite Element Method Magnetics: OldVersions. FEMM 4.2 11Oct2010. Self-Installing Executable. – Режим доступу: <http://www.femm.info/wiki/OldVersions/>.

4. Проєктування синхронних явнополюсних машин : навчальнометодичний посібник з курсового проєктування для студентів, що навчаються за спеціальністю «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / О. Ю. Юр'єва, Л. В. Шилкова, Д. В. Потоцький. – Х.: НТУ «ХПІ», 2020. – 72 с.

Адреси сайтів в INTERNET

1. http://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/2019/Ostashev_2018_452.pdf
2. http://books.zntu.edu.ua/book_info.pl?id=162568
3. https://wiki.donntu.edu.ua/view/%D0%95%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%B8%D1%87%D0%BD%D1%96_%D0%BC%D0%B0%D1%88%D0%B8%D0%BD%D0%B8_%D1%82%D0%B0_%D0%B0%D0%BF%D0%B0%D1%80%D0%B0%D1%82%D0%B8._%D0%A7%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%B8%D0%BD%D0%B0_1
4. <http://eprints.kname.edu.ua/10921/>