



# ТЕХНІЧНА ЕЛЕКТРОДИНАМІКА

## Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

### Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Другий (магістерський) - магістр наукового спрямування</i>
Галузь знань	<i>14 «Електрична інженерія»</i>
Спеціальність	<i>141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»</i>
Освітня програма	<i>Електричні машини і апарати (electric machines and apparatus)</i>
Статус дисципліни	<i>Цикл професійної підготовки</i>
Форма навчання	<i>Очна (денна)</i>
Рік підготовки, семестр	<i>II курс, осінній</i>
Обсяг дисципліни	<i>165 годин / 5,5 кредитів ECTS</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>Екзамен/МКР/Реферат</i>
Розклад занять	<i><a href="http://rozklad.kpi.ua">http://rozklad.kpi.ua</a></i>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	<i>Лектор: д.т.н., проф. Васьковський Юрій Миколайович, тел. 0501022010 Практичні: проф. Васьковський Юрій Миколайович</i>
Розміщення курсу	<i>Посилання на дистанційний ресурс Moodle <a href="https://do.ipk.kpi.ua/course/view.php?id=3942">https://do.ipk.kpi.ua/course/view.php?id=3942</a></i>

### Програма навчальної дисципліни

#### 1. Опис навчальної дисципліни, її мета, предмет вивчення та результати навчання

Програму навчальної дисципліни «Технічна електродинаміка» складено відповідно до Освітньо-професійної програми другого (магістерського) рівня вищої освіти підготовки магістрів наукового спрямування за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» та освітньою програмою «Електричні машини і апарати».

**Метою навчальної дисципліни** є вивчення студентами проблеми застосування теорії електромагнітного поля для уточненого визначення параметрів і характеристик електромеханічних перетворювачів енергії різного призначення і принципу дії.

**Предметом навчальної дисципліни** є сукупність математичних методів для визначення на основі теорії електромагнітного поля параметрів та експлуатаційних характеристик сучасних електричних машин, методи їх дослідження та розрахунку.

**Програмні результати навчання:**

**Компетенції:** Здатність ефективно вирішувати типові науково-дослідні задачі в сфері розрахунку, дослідження, розробки та оптимального проектування електромеханічних перетворювачів енергії різного призначення і принципу дії в рамках освітньої програми "Електричні машини і апарати" для магістрів наукового спрямування. Зокрема метою вивчення навчальної дисципліни є формування системи компетенцій щодо використання методів аналізу фізичних полів в електричних машин та апаратах при розрахунках, проектуванні і дослідженні їх параметрів і характеристик, які передбачені для посад у певному виді економічної діяльності.

**Знання:** Типових методик, алгоритмів та програмного забезпечення для розрахунку електромагнітного поля електричних машин та визначення за результатами польового аналізу їх інтегральних параметрів і характеристик.

**Уміння:** Планувати і виконувати типові науково-дослідні задачі щодо дослідження та розробки сучасних електричних машин, критично аналізувати результати власної інженерно-технічної діяльності у контексті усього комплексу сучасних знань щодо польових методів аналізу електричних машин. При вивченні дисципліни студент оволодіває знаннями, які можуть бути використані у науково-дослідних та проектно-конструкторських роботах при розробках нових та модернізації існуючих електромеханічних перетворювачів енергії різного типу і принципу дії.

## **2. Пререквізити та постреквізити дисципліни (місце в структурно-логічній схемі навчання за відповідною освітньою програмою)**

**Пререквізити:** успішне засвоєння дисципліни базується на знаннях, отриманих студентом під час вивчення таких дисциплін, як «Фізика», «Вища математика», «Теоретичні основи електротехніки», «Математичне моделювання електричних машин».

**Постреквізити:** В структурно-логічній схемі навчального плану підготовки магістрів дисципліна «Технічна електродинаміка» забезпечує подальше вивчення дисциплін на третьому рівні вищої освіти – доктор філософії (PhD).

## **3. Зміст навчальної дисципліни**

*Дисципліна структурно складається з 5-ти змістовних модулів, а саме:*

**Змістовий модуль 1.** Основні рівняння електродинаміки.

Тема 1.1. Вступ. Система рівнянь електромагнітного поля.

Тема 1.2. Граничні та початкові умови. Формування припущень при визначенні розрахункової області об'єкта досліджень.

Тема 1.3. Постановка задачі розрахунку поля в електричних машинах та пристроях.

**Змістовий модуль 2.** Теорія поверхневого ефекту в електропровідних середовищах.

Тема 2.1. Поняття та математичне обґрунтування виразу для еквівалентної глибини проникнення електромагнітного поля в електропровідне середовище.

Тема 2.2. Використання поверхневого ефекту в електротехнічних пристроях. Асинхронні машини з масивним ротором.

Тема 2.3. Електромагнітні екрани і екранування магнітних полів.

**Змістовий модуль 3.** Чисельні методи розрахунку рівнянь електромагнітних полів.

Тема 3.1. Метод скінченних різниць і його практична реалізація в програмно-обчислювальних комплексах.

Тема 3.2. Метод скінченних елементів і його практична реалізація в програмно-обчислювальних комплексах.

Тема 3.3. Альтернативні чисельні методи технічної електродинаміки і електрофізики.

**Змістовий модуль 4.** Уточнені методи і алгоритми польових розрахунків інтегральних параметрів і характеристик електричних машин і пристроїв..

Тема 4.1. Визначення інтегральних параметрів та характеристик електричних машин за результатами розрахунку поля.

Тема 4.2. Методи визначення електромагнітних сил та моментів в електричних машинах за результатами розрахунку поля.

**Змістовий модуль 5.** Аналіз взаємопов'язаних фізичних полів в електричних машинах.

Тема 5.1. Поняття про взаємозв'язок електромагнітних, теплових і механічних полів.

Тема 5.2. Система рівнянь для аналізу взаємопов'язаних фізичних полів та методи їх розв'язання.

## **4. Навчальні матеріали та ресурси**

**Основні інформаційні ресурси:**

1. Васильовський Ю.М. Математичне моделювання електромеханічних перетворювачів енергії (навчальний посібник для вузів з грифом МОН України), К., НТУУ "КПГ, ФЕА, 2003, 164с.

2. Васьковський Ю.М. Польовий аналіз електричних машин (навчальний посібник для вузів з грифом МОН України), К., НТУУ "КПІ", ВПІ ВПК "Політехніка" 2007, 191с.
3. Туровский Я. Техническая электродинамика. М., Энергия, - 1974, 488 с.
4. Фальковский О.И. Техническая электродинамика. М., "Связь", - 1978, 430 с.
5. Туровский Я. Электромагнитные расчеты элементов электрических машин. М., Энергоатомиздат, - 1986, 201 с.
6. Сегерлинд Л. Применение метода конечных элементов. М., Мир, 1975, 392 с.
7. Сильвестер П., Феррари Р. Метод конечных элементов для радиоинженеров и инженеров-электриков. - М., Мир, 1986, 230 с.

#### **Додаткові інформаційні ресурси:**

8. Ильин В.П. Численные методы решения задач электрофизики, - М., Наука, 1985, 334с.
9. Бенерджи П., Баттерфилд Р. Методы граничных элементов в прикладных науках. - М., Мир, 1984, 495 с.
10. Домбровский В.В. Справочное пособие по расчету электромагнитного поля в электрических машинах. - Л.: Энергоатомиздат, 1983, 256с

### Навчальний контент

#### **5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)**

##### **Лекційні заняття:**

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань (посилання на літературу та завдання на СРС)
1	<p><b>Лекція 1. Вступ.</b> Місце дисципліни «Технічна електродинаміка» в системі сучасних електротехнічних дисциплін і її задачі для поглибленого аналізу параметрів і процесів електричних машин і апаратів. Система рівнянь Максвелла – теоретична основа для аналізу електромагнітних полів.</p> <p>Література: [1 - 7, Вступ].</p> <p>Завдання на СРС: Історія експериментального та математичного обґрунтування системи рівнянь Максвелла.</p>
2	<p><b>Лекція 2. Система рівнянь електромагнітного поля.</b> Види польових функцій та отримання диференціальних рівнянь у часткових похідних. Література: [1], с. 7 - 26.</p> <p>Завдання на СРС: Диференціальні рівняння у часткових похідних для магнітної індукції та векторного магнітного потенціалу.</p>
3	<p><b>Лекція 3. Граничні та початкові умови.</b> Завдання граничних умов 1-го, 2-го роду і умов періодичності та початкових умов. Формування припущень при визначенні розрахункової області об'єкта досліджень.</p> <p>Література : [3, с.13 - 46].</p> <p>Завдання на СРС: Визначення та класифікація електромагнітних полів: нелінійні, нестационарні, квазістационарні поля.</p>
4	<p><b>Лекція 4. Постановка задачі розрахунку електромагнітного поля в електричних машинах та пристроях.</b> Опис геометрії розрахункової області. Опис джерел електромагнітного поля. Фізичні характеристики матеріальних середовищ.</p> <p>Завдання на СРС: Визначення просторового розміру поля: дво - і тривимірні поля.</p> <p>Література: [7,с.40 - 79], [9, с.6 - 31].</p>
5	<p><b>Лекція 5. Поверхневий ефект в електропровідних середовищах.</b> Визначення еквівалентної глибини проникнення електромагнітного поля в електропровідне середовище та математичне обґрунтування її виразу.</p>

	<i>Література: [1] с. 38 - 43.</i>
6	<b>Лекція 6. Асинхронні машини з масивним ротором. Поверхневий ефект в масивному роторі асинхронного двигуна (АД).</b> <i>Література: [1], с. 43 - 45.</i> <i>Завдання на СРС: Визначення пускового моменту АД з масивним ротором.</i>
7	<b>Лекція 7. Оптимізація характеристик АД з масивним ротором. Обґрунтування технічних рішень щодо підвищення ККД і коефіцієнта потужності АД з масивним ротором.</b> <i>Література: [3], с.87-89, [9] с. 125 - 128.</i> <i>Завдання на СРС: Кінцевий ефект в масивному роторі та використання торцевих коротко замикаючих кілець.</i>
8	<b>Лекція 8. Екранування магнітних полів в електричних машинах. Способи екранування магнітних полів за допомогою магнітних шунтів.</b> <i>Література: [1], с. 50-56, [9] с. 83 - 89.</i> <i>Завдання на СРС: Конструкція та виконання магнітних шунтів і екранів.</i>
9	<b>Лекція 9. Оцінка ефективності екранування магнітних полів.</b> Екранування магнітних полів за допомогою електромагнітних екранів. Екранування магнітних полів в торцевих зонах турбогенераторів. <i>Література: [1], с. 50-56, [9] с. 83 - 89.</i> <i>Завдання на СРС: Конструкція електромагнітних екранів.</i>
10	<b>Лекція 10. Метод скінченних різниць.</b> Метод скінченних різниць і його практична реалізація в програмно-обчислювальних комплексах. Література: [10] с. 37- 43. <i>Завдання на СРС: Класифікація чисельних методів розв'язання польових задач.</i>
11	<b>Лекція 11. Теоретичні основи методу скінченних елементів (МСЕ) (частина 1).</b> Історія виникнення і розвитку МСЕ. Поняття скінченого елемента (СЕ) і апроксимаційних функцій. Типи СЕ і дискретизація розрахункової області - побудова сітки скінчених елементів (ССЕ). <i>Література: [10] с. 43-61.</i> <i>Завдання на СРС: Скінченні елементи 1-го і 2-го роду.</i>
12	<b>Лекція 12. Теоретичні основи методу скінченних елементів (МСЕ) (частина 2).</b> Методи і процедури побудови і розв'язання системи алгебраїчних рівнянь відносно функції поля у вузлах ССЕ. Особливості матриці системи - її симетричність і стрічкова структура. <i>Література: [10] с. 43-61.</i> <i>Завдання на СРС: Метод Ньютона-Рафсона для розв'язання нестационарних задач поля.</i>
13	<b>Лекція 13. Практична реалізація МСЕ в програмно-обчислювальних комплексах.</b> Використання програмно-обчислювальних комплексів FEMM, Comsol. Візуалізація отриманої картини поля на моніторі ПЕОМ. <i>Література: [7] с. 41-61.</i>
14	<b>Лекція 14. Альтернативні чисельні методи технічної електродинаміки і електрофізики.</b> Метод граничних елементів. Метод інтегральних рівнянь. <i>Література: [10] с. 61 - 78.</i> <i>Завдання на СРС: Безкінечні та граничні елементи.</i>
15	<b>Лекція 15. Визначення інтегральних параметрів та характеристик електричних машин.</b> Визначення магнітних поточозчеплень обмоток та їх індуктивних параметрів. <i>Література: [7] с. 41 - 69.</i> <i>Завдання на СРС: Визначення пазового розсіювання обмотки електричної машини.</i>
16	<b>Лекція 16. Визначення електромагнітних сил та моментів в електричних машинах.</b> Визначення сил за допомогою методів об'ємної густини сили, енергетичного методу та методу тензора магнітного натягу.

	<i>Література: [7] с.73 - 85. Завдання на СРС: Розрахунок електромагнітного моменту електричної машини.</i>
17	<b>Лекція 17. Фізичні поля іншої природи в електричних машинах. Визначення взаємозв'язку електромагнітних, теплових і механічних полів в електричних машинах. Математична аналогія розрахунку електромагнітних і теплових полів.</b> <i>Література: [7] с.127 - 149. Завдання на СРС: Фізичний зміст граничних умов 1-го, 2-го і 3-го роду для теплових полів.</i>
18	<b>Лекція 18. Аналіз взаємопов'язаних фізичних полів. Система диференціальних рівнянь взаємопов'язаних фізичних полів та методи її розв'язання.</b> <i>Література: [7] с.127 - 149. Завдання на СРС: Приклади розрахунків теплових полів (теплове поле ротора потужного турбогенератора).</i>

**Практичні заняття:** Практичні заняття дозволяють розвинути і закріпити у студентів теоретичні знання, набуті при вивченні лекційного курсу, а також отримати практичні навички щодо розрахунків параметрів, характеристик і режимів роботи електричних машин методами теорії електромагнітного поля. В ході виконання завдань студенти навчаються робити чисельні оцінки параметрів машин, вивчають та засвоюють методологію практичного використання сучасних обчислювальних програм та комп'ютерних комплексів.

*Теми практичних занять:*

№ з/п	Назва теми і зміст практичного заняття	Кількість аудитор. годин
1	<b>Заняття 1-2. Диференціальні рівняння електромагнітного поля.</b> Виконання аналітичних перетворень, отримання диференціальних рівнянь в часткових похідних відносно різних польових функцій (напруженості магнітного і електричного полів, векторного магнітного потенціалу) та їх аналіз. <i>Література: [7] с. 15 - 19</i>	4
2	<b>Заняття 3-4. Постановка задачі та завдання вихідних даних для розрахунку електромагнітного поля в електричних машинах різного типу.</b> Вибір розрахункової області, завдання джерел електромагнітного поля та властивостей активних матеріалів для: а) асинхронного двигуна; б) синхронного генератора. <i>Література: [1] с.20-46, [7] с.19 – 25.</i>	4
3	<b>Заняття 5. Розрахунок еквівалентної глибини проникнення поля.</b> Розрахунок та дослідження впливу фізичних параметрів середовища та частоти струму на глибину проникнення поля. <i>Література: [1] с.47-55.</i>	2
4	<b>Заняття 6-7. Дослідження характеристик АД з масивним ротором.</b> Чисельне визначення параметрів ротора АД при різних ковзаннях (при пуску і в номінальному режимі). <i>Література: [3] с.111-123.</i>	4
5	<b>Заняття 8-9. Електромагнітні екрани і екранування магнітних полів.</b> Чисельне дослідження коефіцієнтів екранування поля за допомогою електромагнітних екранів. <i>Література: [3] с.46-71.</i>	4
6	<b>Заняття 10. Метод скінченних різниць.</b> Чисельна реалізація методу на прикладі прямокутної розрахункової області. <i>Література: [3] с.28-33.</i>	2
7	<b>Заняття 11-13. Метод скінченних елементів.</b> Приклади реалізації МСЕ в	6

	програмно-обчислювальних комплексах FEMM і Comsol Multiphysics.	
8	<b>Заняття 14.</b> Модульна контрольна робота.	2
9	<b>Заняття 15-16. Розрахунки інтегральних параметрів та характеристик електричних машин.</b> Розрахунки магнітних потокозчеплень обмоток та їх індуктивних параметрів. <i>Література: [7] с. 41 - 69.</i>	4
10	<b>Заняття 17-18. Розрахунки електромагнітних сил та моментів в електричних машинах.</b> Розрахунки сил за допомогою методів об'ємної густини сили, енергетичного методу та методу тензора магнітного натягу. <i>Література: [7] с.73 - 85.</i>	4

**Самостійна робота студента:** В таблиці наведено основні завдання, що виносяться на самостійну роботу студентів

№ з/п	Назва теми, що виносяться на самостійне опрацювання	Кількість годин СРС
1	<b>Завдання для СРС 1.</b> Історія експериментального та математичного обґрунтування системи рівнянь поля Максвелла.	2
2	<b>Завдання для СРС 2.</b> Диференційні рівняння у часткових похідних для магнітної індукції та векторного магнітного потенціалу.	2
3	<b>Завдання для СРС 3.</b> Визначення та класифікація електромагнітних полів: нелінійні, нестационарні, квазістационарні поля.	4
4	<b>Завдання для СРС 4.</b> Визначення просторового розміру поля: дво - і тривимірні поля.	4
5	<b>Завдання для СРС 5.</b> Визначення пускового моменту АД з масивним ротором.	8
6	<b>Завдання для СРС 6.</b> Кінцевий ефект в масивному роторі та використання торцевих коротко замикаючих кілець.	8
7	<b>Завдання для СРС 7.</b> Конструкція та виконання магнітних шунтів і екранів.	8
8	<b>Завдання для СРС 8.</b> Конструкція електромагнітних екранів.	8
9	<b>Завдання для СРС 9.</b> Класифікація чисельних методів розв'язання крайових задач.	8
10	<b>Завдання для СРС 10.</b> Скінченні елементи 1-го і 2-го роду.	12
11	<b>Завдання для СРС 11.</b> Метод Ньютона–Рафсона для розв'язання нестационарних задач поля.	14
12	<b>Завдання для СРС 12.</b> Безкінечні та граничні елементи.	8
13	Підготовка до модульної контрольної роботи	6
14	<b>Завдання для СРС 13.</b> Визначення пазового розсіювання обмотки електричної машини.	12
15	<b>Завдання для СРС 14.</b> Розрахунок електромагнітного моменту електричної машини.	12
16	<b>Завдання для СРС 15.</b> Фізичний зміст граничних умов 1 - го, 2 - го і 3 - го роду для теплових полів.	8
17	<b>Завдання для СРС 16.</b> Приклади розрахунків теплових полів (теплове поле ротора потужного турбогенератора).	10
18	Виконання реферату	10

19	Підготовка до екзамену	36
Всього годин		180

**Реферат.** Для закріплення та узагальнення отриманих знань студенти виконують індивідуальне завдання – реферат за темою досліджень. В рамках реферату студент на базі аналітичного огляду літературних джерел та результатах власних досліджень виконує докладний аналіз проблеми, що розглядається.

Тематика реферату має бути пов'язана з темою досліджень, які студент проводить в рамках власної магістерської дисертації. Тему реферату студент обирає самостійно та узгоджує її з керівником магістерської дисертації і викладачем дисципліни «Технічна електродинаміка».

**Модульна контрольна робота.** Для одержання студентами стійких знань передбачено виконання модульної контрольної роботи, на яку виносяться основні питання дисципліни.

Модульна контрольна робота складається з двох частин (контрольних робіт):

- контрольна робота 1 по темам 1.1 – 3.3.
- контрольна робота 2 по темам 4.1 –5.2.

## Політика та контроль

### 6. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

*Система вимог, які викладач ставить перед студентом:*

- *правила відвідування занять: відповідно до Наказу 1-273 від 14.09.2020 р. заборонено оцінювати присутність або відсутність здобувача на аудиторному занятті, в тому числі нараховувати заохочувальні або штрафні бали. Відповідно до РСО даної дисципліни бали нараховують за відповідні види навчальної активності на лекційних та практичних заняттях.*

- *правила поведінки на заняттях: студент має можливість отримувати бали за відповідні види навчальної активності на лекційних та практичних заняттях, передбачені РСО дисципліни. Використання засобів зв'язку для пошуку інформації на гугл-диску викладача, в інтернеті, в дистанційному курсі на платформі Сікорський здійснюється за умови вказівки викладача;*

- *правила захисту індивідуальних завдань: захист реферату з дисципліни здійснюється індивідуально і лише у випадку, коли студент не погоджується із нарахованими балами за результатами перевірки реферату;*

- *політика дедлайнів та перескладань: якщо студент не проходив або не з'явився на МКР (без поважної причини), його результат оцінюється у 0 балів. Перескладання результатів МКР не передбачено;*

- *політика щодо академічної доброчесності: Кодекс честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут» <https://kpi.ua/files/honorcode.pdf> встановлює загальні моральні принципи, правила етичної поведінки осіб та передбачає політику академічної доброчесності для осіб, що працюють і навчаються в університеті, якими вони мають керуватись у своїй діяльності, в тому числі при вивченні та складанні контрольних заходів з даної дисципліни;*

- *при використанні цифрових засобів зв'язку з викладачем (мобільний зв'язок, електронна пошта, переписка на форумах та у соцмережах тощо) необхідно дотримуватись загальноприйнятих етичних норм, зокрема бути ввічливим та обмежувати спілкування робочим часом викладача.*

### 7. Види контролю та рейтингова система оцінювання результатів навчання (РСО)

**Поточний контроль:** експрес-опитування на практичних заняттях.

**Календарний контроль:** провадиться один раз на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог силабусу.

**Семестровий контроль:** екзамен.

Рейтингова система оцінювання результатів навчання студентів передбачає визначення кількості балів, отриманих студентом під час вивчення дисципліни.

**Умови допуску до семестрового контролю:** поточний семестровий рейтинг повинен складати не менше 30 балів.

Поточний семестровий рейтинг студента складається з балів, отриманих за:

- 4 відповіді під час проведення експрес-опитувань на лекціях;
- виконання модульної контрольної роботи (МКР);
- виконання реферату

Система стартових рейтингових балів та критерії оцінювання

### 1. Відповіді на практичних заняттях

Ваговий бал - 7. Максимальна кількість балів за всі відповіді на практичних заняттях дорівнює  $4 \times 7 = 28$  балів.

Повна та докладна відповідь	7
Неточна відповідь, або відповідь с помилками	3.. 4
Неправильна відповідь	0

### 2. Модульний контроль

Ваговий бал - 12. Максимальна кількість балів за модульні контрольні роботи дорівнює  $1 \times 12 = 12$  балів.

Повне виконання	12
Відповіді неповні	8... 11
Відповіді з суттєвими похибками	2...7
Відповіді неправильні	0

### 3. Реферат

Ваговий бал - 20. Максимальна кількість балів за реферат дорівнює  $1 \times 20 = 20$  балів.

Повне та докладне розкриття теми реферату	20
Реферат виконаний з незначними похибками	15...18
Реферат виконано з суттєвими похибками	10... 14
Реферат не виконано	0

### Форма семестрового контролю – екзамен

Остаточне оцінювання результатів навчання проводиться за стобальною рейтинговою шкалою. Екзаменаційна складова шкали дорівнює 40% від загальної рейтингової шкали, тобто  $R_e = 40$  балів. Необхідною умовою допуску до екзамену є повний конспект лекцій, виконана і захищений реферат. Для здачі екзамену без проведення семестрового контролю («автоматом») потрібно мати стартовий рейтинг не менше 60 балів, а також виконані інші умови допуску до екзамену.

Екзаменаційна робота складається з двох теоретичних запитань і однієї задачі

Критерії оцінювання екзамену

- повна відповідь (повне, безпомилкове розв'язування завдання)  $R_3 = 39 - 40$  балів;
- відповідь з певними несуттєвими помилками  $R_3 = 30 - 38$  бали;
- відповідь без суттєвих помилок, але не з повним обсягом потрібної інформації  $R_3 = 20 - 29$  бали;
- неповна відповідь з певними помилками  $R_3 = 12-19$  балів;
- неповна відповідь зі значною кількістю помилок, але які не є принциповими  $R_3 = 8-11$  балів;
- повністю неправильна відповідь або відсутність відповіді – 0 балів.

Сумарна кількість рейтингових балів визначається як  $R_p = R_c + R_e$

Таблиця відповідності сумарних рейтингових балів оцінкам за наступною шкалою:

Сумарна кількість балів $R_p$	Оцінка	Результат
95-100	Відмінно	Екзамен здано
85-94	Дуже добре	



<i>75-84</i>	<i>Добре</i>	
<i>65-74</i>	<i>Задовільно</i>	
<i>60-64</i>	<i>Достатньо</i>	
<i>Менше 60</i>	<i>Незадовільно</i>	<i>Екзамен не здано</i>
<i>Менше 30</i>	<i>Не допущений</i>	<i>До екзамену не допущений</i>

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено професором кафедри електромеханіки ФЕА, д.т.н. Васьковським Ю.М.

Ухвалено кафедрою електромеханіки ФЕА (протокол № 11 від 24.06.2021 р.)

Погоджено Методичною комісією ФЕА (протокол № 11 від 25.06.2021 р.)