



# МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ ПОЛЬОВОГО АНАЛІЗУ ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИН

## Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

### Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Другий (магістерський) - магістр професійного 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>Вибіркова освітня компонента</i>
Форма навчання	<i>Заочна</i>
Рік підготовки, семестр	<i>І курс, весняний</i>
Обсяг дисципліни	<i>165 годин / 5,5 кредитів ECTS</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>Залік/МКР</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 «Методи та засоби польового аналізу електричних машин» складено відповідно до Освітньо-професійної програми другого (магістерського) рівня вищої освіти підготовки магістрів професійного спрямування за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» та освітньо-професійною програмою «Електричні машини і апарати».

**Метою навчальної дисципліни** є формування у студентів наступних компетентностей і отримання наступних програмних результатів навчання:

#### Загальні компетентності:

ЗК1. Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел.

ЗК3. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.

ЗК5. Здатність приймати обґрунтовані рішення.

ЗК6. Здатність вчитися та оволодівати сучасними знаннями.

#### Фахові компетентності:

ФК6. Здатність демонструвати знання і розуміння математичних принципів і методів, необхідних для використання в електроенергетиці, електротехніці та електромеханіці.

ФК14. Здатність використовувати програмне забезпечення для комп'ютерного моделювання, автоматизованого проектування, автоматизованого виробництва і автоматизованої розробки

або конструювання елементів електроенергетичних, електротехнічних та електромеханічних систем

ФК18. Здатність моделювати та досліджувати за допомогою сучасних програмних та апаратних засобів характеристики фізичних (електромагнітних, теплових, вібраційних тощо) полів в електричних машинах і апаратах.

ФК20. Здатність аналізувати і використовувати отримані результати розробок новітніх типів електричних машин та апаратів для подальшої їх комерціалізації в складі стартап-проектів, у тому числі для продажу ліцензій і трансферу технологій.

ФК21. Здатність до критичного аналізу та оцінки сучасних світових науково-технічних досягнень в сфері електричних машин та апаратів та прогноз створення та розвитку нових ефективних технічних рішень.

**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:**

ПРН02. Відтворювати процеси в електроенергетичних, електротехнічних та електромеханічних системах при їх комп'ютерному моделюванні.

ПРН03. Опанувати нові версії або нове програмне забезпечення, призначене для комп'ютерного моделювання об'єктів та процесів у електроенергетичних, електротехнічних та електромеханічних системах.

ПРН05. Аналізувати процеси в електроенергетичному, електротехнічному та електромеханічному обладнанні і відповідних комплексах і системах.

ПРН07. Володіти методами математичного та фізичного моделювання об'єктів та процесів в електроенергетичних, електротехнічних та електромеханічних системах.

ПРН11. Обґрунтовувати вибір напряму та методики наукового дослідження з урахуванням сучасних проблем в області електроенергетики, електротехніки та електромеханіки.

ПРН12. Планувати та виконувати наукові дослідження та інноваційні проекти в сфері електроенергетики, електротехніки та електромеханіки.

ПРН21. Знати сучасні методи математичного моделювання електричних машин і апаратів, електромеханічних перетворювачів енергії та електромеханічних комплексів.

## **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.** Чисельні методи розрахунку рівнянь електромагнітних полів.

Тема 2.1. Метод скінченних різниць і особливості його практичної реалізації.

Тема 2.2. Метод скінченних елементів і особливості його практичної реалізації.

Тема 2.3. Особливості вибору параметрів сітки скінченних елементів (густина і розмір елементів тощо) в залежності від очікуваного характеру розподілу електромагнітного поля.

Тема 2.4. Визначення інтегральних параметрів та характеристик електричних машин за результатами розрахунку поля.

Тема 2.5. Методи визначення електромагнітних сил та моментів в електричних машинах за результатами розрахунку поля.

**Змістовий модуль 3.** Практична реалізація методу скінченних елементів в сучасних програмно-обчислювальних комплексах.

Тема 3.1 Практична реалізація методу скінченних елементів для аналізу електромагнітних полів в пакеті програм FEMM.

Тема 3.2. Практична реалізація методу скінченних елементів для аналізу електромагнітних полів в пакеті програм Comsol Multhysics .

**Змістовий модуль 4.** Моделювання електричних машин з постійними магнітами.

Тема 4.1. Рівняння електромагнітного поля з урахуванням наявності намагнічених середовищ. Математична модель постійного магніту.

Тема 4.2. Приклади моделювання електричних машин з постійними магнітами. Синхронний двигун з колекторною конструкцією ротора.

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

Тема 5.1. Система рівнянь для аналізу взаємопов'язаних фізичних полів та методи їх розв'язання.

Тема 5.2. Практична реалізація методу скінченних елементів для аналізу теплових полів в пакеті програм Comsol Multhysics .

Тема 5.3. Практична реалізація методу скінченних елементів для аналізу взаємопов'язаних електромагнітних і теплових полів в пакеті програм Comsol Multhysics .

Тема 5.4. Коло-польові математичні моделі для аналізу електричних машин.

#### 4. Навчальні матеріали та ресурси

##### **Основні інформаційні ресурси:**

##### Основні інформаційні ресурси:

1. Васьковський Ю.М., Гайденок Ю.А., Коваленко М.А. Математичне моделювання електричних машин з постійними магнітами. Навчальний посібник з грифом Вченої Ради КПІ, Київ, наш формат, 2017, 192 с.
2. Васьковський Ю.М. Математичне моделювання електромеханічних перетворювачів енергії. Навчальний посібник для вузів з грифом МОН України, Київ, НТУУ "КПГ, ФЕА, 2013, 164с.
3. Васьковський Ю.М. Польовий аналіз електричних машин. Навчальний посібник для вузів з грифом МОН України, Київ, НТУУ "КПІ", ВПІ ВПК "Політехніка"2007, 191с.
4. Курс: Методи та засоби польового аналізу електричних машин (kpi.ua) <https://do.ipk.kpi.ua/course/view.php?id=3942>
5. Чорний О.П., Луговой А.В., Родькін Д.Й., Сисюк Г.Ю., Садовой О.В. Моделювання електромеханічних систем. Підручник.– Кременчук, 2011. – 410 с.

##### Додаткові інформаційні ресурси:

1. Подольцев А.Д., Кучерява И.Н. Мультифізичне моделювання в електротехніці. – Київ, Наш формат, 2015. – 306 с.
2. Туровський Я. Технічна електродинаміка. М., Энергия, - 1974, 488 с.
3. Фальковський О.И. Технічна електродинаміка. М., "Связь", - 1978, 430 с.
4. Туровський Я. Електромагнітні розрахунки елементів електричних машин. М., Энергоатомиздат, - 1986, 201 с.
5. Сильвестер П., Феррари Р. Метод скінченних елементів для радіоінженерів і інженерів-електриків. - М., Мир, 1986, 230 с.

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. Основні рівняння технічної електродинаміки.</b> Система рівнянь Максвелла. Види польових функцій та отримання диференційних рівнянь у часткових похідних. Граничні умови 1-го, 2-го роду, умови періодичності та початкові умови. Постановка задачі розрахунку електромагнітного поля в електричних машинах та пристроях.</p> <p>Література: [3], с. 13 - 19.</p> <p>Завдання на СРС: Диференційні рівняння у часткових похідних для магнітної індукції та векторного магнітного потенціалу.</p>
2	<p><b>Лекція 2. Методи чисельного розв'язання рівнянь електромагнітного поля.</b> Метод скінченних різниць і метод скінченних елементів та їх практична реалізація в програмно-обчислювальних комплексах. Визначення інтегральних параметрів та характеристик електричних машин за результатами розрахунку електромагнітного поля.</p> <p>Література: [3, с.41-46], [2, с.69-98],</p> <p>Завдання на СРС: Класифікація чисельних методів розв'язання польових задач.</p>
3	<p><b>Лекція 3. Особливості практичної реалізації методу скінченних елементів в пакетах програм FEMM і Comsol Multiphysics.</b> Інтерфейс і обчислювальні можливості програмно-обчислювального комплексу Comsol Multiphysics.</p> <p>Література: [3, с.41 - 46].</p> <p>Завдання на СРС: Вивчення інтерфейсу програмно-обчислювального комплексу Comsol Multiphysics.</p>
4	<p><b>Лекція 4. Моделювання електричних машин з постійними магнітами.</b> Рівняння електромагнітного поля з урахуванням наявності намагнічених середовищ. Математична модель постійного магніту. Приклади моделювання електричних машин з постійними магнітами. Синхронний двигун з колекторною конструкцією ротора.</p> <p>Література: [1] с.24-43.</p> <p>Завдання на СРС: Основні характеристики постійних магнітів.</p>
5	<p><b>Лекція 5. Аналіз взаємопов'язаних фізичних полів в електричних машинах.</b> Визначення взаємозв'язку електромагнітних, теплових і механічних полів в електричних машинах. Математична аналогія розрахунку електромагнітних і теплових полів. Приклади моделювання - електро-тепло-механічний перетворювач енергії.</p> <p>Література: [3] с.127 - 149.</p> <p>Завдання на СРС: Приклади розрахунків теплових полів (теплове поле ротора потужного турбогенератора).</p>
6	<p><b>Лекція 6. Практична реалізація методу скінченних елементів для аналізу взаємопов'язаних електромагнітних і теплових полів в пакеті програм Comsol Multiphysics .</b></p> <p>Особливості завдання вхідних даних для аналізу взаємопов'язаних електромагнітних і теплових полів.</p> <p>Література: [3] с.127 - 149.</p> <p>Завдання на СРС: Математична модель електро-тепло-механічного перетворювача енергії.</p>
7	<p><b>Лекція 24. Поняття про коло-польові математичні моделі електричних машин, методи та засоби їх розв'язання.</b> Завдання джерел поля у вигляді прикладених до обмоток напруг живлення. Динамічні параметри електричних машин.</p>

	<i>Література: [3], с. 157 - 180.</i> <i>Завдання на СРС: Динамічні індуктивності обмоток електричних машин</i>
Усього годин	14

**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. 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>	2
2	<b>Заняття 2. Практична реалізація методу скінченних елементів в пакетах програм FEMM і Comsol Multiphysics.</b> Інтерфейс і послідовність застосування пакетів прикладних програм. <i>Література: [3, с.41 - 46].</i>	2
3	<b>Заняття 3. Практична реалізація аналізу взаємопов'язаних електромагнітних і теплових полів в пакеті програм Comsol Multiphysics .</b> Особливості завдання вхідних даних для аналізу взаємопов'язаних електромагнітних і теплових полів. <i>Література: [3] с.127 - 149.</i>	2
Усього годин		6

**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.	5
2	<b>Завдання для СРС 2.</b> Диференціальні рівняння у часткових похідних для магнітної індукції та векторного магнітного потенціалу.	5
3	<b>Завдання для СРС 3.</b> Визначення та класифікація електромагнітних полів: нелінійні, нестационарні, квазістационарні поля.	5
4	<b>Завдання для СРС 4.</b> Визначення просторового розміру поля: дво - і тривимірні поля.	5
5	<b>Завдання для СРС 5.</b> Класифікація чисельних методів розв'язання польових задач.	5
6	<b>Завдання для СРС 6.</b>	5

	Скінченні елементи 1-го і 2-го роду.	
7	<b>Завдання для СРС 7.</b> Метод Ньютона–Рафсона для розв’язання нестационарних задач поля.	5
8	<b>Завдання для СРС 8.</b> Візуалізація отриманої картини поля на моніторі ПЕОМ. Конструкція електромагнітних екранів.	5
9	<b>Завдання для СРС 9.</b> Визначення пазового розсіювання обмотки електричної машини.	5
10	<b>Завдання для СРС 10.</b> Розрахунок електромагнітного моменту електричної машини.	5
11	<b>Завдання для СРС 11.</b> Основні характеристики постійних магнітів.	5
12	<b>Завдання для СРС 12.</b> Приклади моделювання електричних машин з постійними магнітами.	5
13	<b>Завдання для СРС 13.</b> Вивчення інтерфейсу комплексу FEMM.	5
14	<b>Завдання для СРС 14.</b> Вивчення інтерфейсу програмно-обчислювального комплексу Comsol Multiphysics.	5
15	<b>Завдання для СРС 15.</b> Особливості аналізу нестационарних електромагнітних і теплових полів.	5
16	<b>Завдання для СРС 16</b> Вимоги до ресурсів комп’ютерних засобів при моделюванні фізичних полів	5
17	<b>Завдання для СРС 17.</b> Приклади постановки задачі розрахунків теплових полів.	5
18	<b>Завдання для СРС 18.</b> Теплове поле ротора потужного турбогенератора.	5
19	<b>Завдання для СРС 19.</b> Обґрунтування вимог при визначенні просторового розміру фізичного поля: дво - і тривимірні поля.	5
20	<b>Завдання для СРС 20.</b> Послідовність завдання вхідних даних при аналізі взаємопов’язаних електромагнітного і теплового полів	5
21	<b>Завдання для СРС 21.</b> Математична модель електро-тепло-механічного перетворювача енергії.	5
22	<b>Завдання для СРС 22.</b> Особливості моделювання електромагнітних полів при завданні джерел поля у вигляді прикладених напруг живлення обмоток	5
23	<b>Завдання для СРС 23.</b> Поняття про статичні і динамічні індуктивності обмоток електричних машин	5
24	<b>Завдання для СРС 24.</b> Коло-польові математичні моделі машин з динамічними параметрами.	5
25	<b>Завдання для СРС 25.</b> Огляд методів розв’язання коло-польових математичних моделей.	5
26	<b>Завдання для СРС 26</b> Узагальнення набутих знань щодо використання засобів та методів польового аналізу електричних машин	5
28	Підготовка до заліку	15
	Всього годин	145

**Домашня контрольна робота.** Для одержання студентами стійких знань передбачено виконання домашньої контрольної роботи, на яку виносяться основні теми дисципліни.

## 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)

РСО розроблена згідно з «Положенням про систему оцінювання результатів навчання в КПІ ім. Ігоря Сікорського» (затверджено та уведено в дію наказом № 1/273 від 14.09.2020 р.)

**Поточний контроль:** експрес-опитування, ДКР.

**Семестровий контроль:** залік.

РСО передбачає оцінювання результатів навчання здобувача вищої освіти впродовж семестру – проходження або виконання певних видів робіт, передбачених заходами поточного контролю. Оцінювання результатів навчання здійснюється за 100-бальною шкалою.

**Умови допуску до семестрового контролю:** обов'язковими умовами допуску до семестрового контролю є: виконання та захист домашньої контрольної роботи.

Поточний семестровий рейтинг студента складається з балів, отриманих за:

- відповіді під час проведення експрес-опитувань на лекціях;
- виконання домашньої контрольної роботи (ДКР);

**Бальне оцінювання певних видів робіт, передбачених заходами поточного контролю:**

**Відповіді під час проведення експрес-опитувань на лекціях**

Ваговий бал за одне експрес-опитування – 10 балів.

Максимальна кількість балів на одного студента дорівнює: 1 балів \* 4 опитування = 40 балів.

Критерії оцінювання

- повністю правильна відповідь на задані запитання – 10 балів;
- неповна відповідь на запитання (від 50 до 90% матеріалу) – 5...9 балів;
- відповідь містить менше 50 % правильних відповідей – 0...4 бали.



## **Домашня контрольна робота**

Максимальна кількість балів за виконання ДКР дорівнює 60 балів.

Критерії оцінювання:

- повне правильне виконання ДКР (більше 90% матеріалу) 58...60 балів;
- неповна виконання ДКР (від 50 до 90% матеріалу) - 15... 57 балів;
- ДКР містить менше 50 % правильних відповідей – 0...14 балів;

Максимальна сума вагових балів контрольних заходів, які студент може отримати протягом семестру складає:

$$R_c = 40 + 60 = 100 \text{ балів.}$$

Здобувачі, які виконали всі умови допуску до заліку та мають рейтингову оцінку 60 і більше балів, отримують відповідну до набраного рейтингу оцінку без додаткових випробувань.

Зі здобувачами, які виконали всі умови допуску до заліку але мають рейтингову оцінку менше 60 балів, а також з тими здобувачами, хто бажає підвищити свою рейтингову оцінку, викладач проводить семестровий контроль у вигляді **залікової контрольної роботи (ЗКР) або співбесіди.**

У разі проведення ЗКР (співбесіди), результуюча сума балів по дисципліні визначається як сума балів безпосередньо за результатами ЗКР (співбесіди) та балів за виконання ДКР. У цьому випадку розмір шкали оцінювання безпосередньо ЗКР (співбесіди) зменшується на максимальне значення балів, передбачених за виконання ДКР і складає у даному випадку  $100 - 60 = 40$  балів. Таким чином при проведенні ЗКР студент максимально може отримати також 100 балів (40 балів ЗКР і 60 балів за ДКР).

Якщо оцінка за залікову контрольну роботу менша ніж за рейтингом, то попередній рейтинг здобувача скасовується і він отримує оцінку з урахуванням результатів залікової контрольної роботи (співбесіди). Цей варіант формує відповідальне ставлення здобувача до прийняття рішення про виконання залікової контрольної роботи, змушує його критично оцінити рівень своєї підготовки та ретельно готуватися до заліку.

### **Критерії оцінювання ЗКР**

- повні і правильні відповіді на усі поставлені запитання  $R_3 = 38... 40$  балів;
- відповіді з певними несуттєвими похибками  $R_3 = 30...37$  бали (в залежності від кількості похибок);
- відповідь без суттєвих помилок, але не з повним обсягом потрібної інформації  $R_3 = 20...26$  бали;
- неповна відповідь з певними помилками  $R_3 = 10-19$  балів;
- неповна відповідь зі значною кількістю помилок, але які не є принциповими  $R_3 = 5-9$  балів;
- повністю неправильна відповідь або відсутність відповіді – 0 балів.

Таблиця відповідності сумарних рейтингових балів оцінкам за наступною шкалою:

Сумарна кількість балів $R_p$	Оцінка	Результат
95-100	Відмінно	зараховано
85-94	Дуже добре	
75-84	Добре	
65-74	Задовільно	
60-64	Достатньо	
Менше 60	Незадовільно	Не зараховано
Не виконані умови допуску	Не допущено	Не допущено



## **8. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)**

### ***Перелік тем, які виносяться на семестровий контроль***

1. Система рівнянь Максвелла – теоретична основа для аналізу електромагнітних полів.
2. Постановка задачі розрахунку електромагнітного поля в електричних машинах та пристроях.
3. Методи чисельного розв'язання рівнянь електромагнітного поля.
4. Визначення інтегральних параметрів та характеристик електричних машин за результатами розрахунку електромагнітного поля.
5. Визначення електромагнітних сил та моментів в електричних машинах.
6. Екранування електромагнітних полів в електричних машинах
7. Рівняння електромагнітного поля з урахуванням наявності намагнічених середовищ. Математична модель постійного магніту.
8. Постановка задачі розрахунку теплового поля в електричних машинах та пристроях.
9. Аналіз взаємопов'язаних електромагнітних і теплових полів.
10. Характеристика параметрів сучасних програмно-обчислювальних комплексів для моделювання фізичних полів.
11. Поняття про коло-польові математичні моделі електричних машин.

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

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

**Ухвалено** кафедрою електромеханіки ФЕА (протокол № 10 від 19.05.2023 р.)

**Погоджено** Методичною комісією факультету (протокол № 10 від 16.06.2023 р.)