



"НАДІЙНІСТЬ ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИН"

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	Другий (магістерський)
Галузь знань	G - Інженерія, виробництво та будівництво
Спеціальність	G3 "Електрична інженерія"
Освітня програма	"Електроенергетика та електромеханіка" (Electric power engineering and electromechanics)
Статус дисципліни	Вибіркова ОК циклу практичної підготовки
Форма навчання	Денна/прискорена/дистанційна
Рік підготовки, семестр	I курс, осінній семестр
Обсяг дисципліни	120 годин / 4 кредити ECTS (лекції – 30 год., практичні заняття – 14 год., лабораторні заняття – 0 год., СРС – 76 год.)
Семестровий контроль/ контрольні заходи	Залік/МКР
Розклад занять	http://rozklad.kpi.ua/Schedules/ViewSchedule.aspx?v=a85999b3-d50c-41f1-be38-6616d9c511ca
Мова викладання	Українська
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектори: к.т.н., доц. Гераскін Олександр Анатолійович, Fegasusr@gmail.com Комп'ютерні практикуми: к.т.н., доц. Гераскін Олександр Анатолійович Лабораторні роботи: -
Розміщення курсу	https://do.ipk.kpi.ua/course/view.php?id=3146

Програма навчальної дисципліни

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

Програма навчальної дисципліни «Надійність електричних машин» складена відповідно до освітньо-професійної програми підготовки магістрів з галузі знань G - Інженерія, виробництво та будівництво за спеціальністю G3 "Електрична інженерія".

Метою навчальної дисципліни є формування здатностей: об'єктивно оцінити переваги та недоліки електричних машин, технологічні та експлуатаційні впливи на вузли та конструкцію електричних машин з точки зору якості та надійності; спланувати та провести випробування електричних машин на надійність і оцінити результати випробовувань; розрахувати надійність основних вузлів електричних машин; системно-цільового підходу до вирішення практичних інженерних та наукових проблем надійності електричних машин; вирішення проблем надійності, які виникають при розробці та експлуатації нових, більш ефективних електромеханічних систем та вмінь застосовувати методи і основні правила експлуатації електричних машин та трансформаторів; термінологію і аналізувати: характеристики та показники надійності електричних машин; основні математичні моделі для розрахунку показників

надійності електричних машин та їх експериментальної оцінки; вплив технології виробництва та експлуатації в різних умовах на процеси розвитку відмов елементів, систем та електричних машин в цілому; використання сучасних методів проектування електричних машин: визначення видів ушкоджень електричних машин за результатами аналізу їх вібрації та шуму; розуміння сучасних підходів в обробці сигналів датчиків вібрації; користуватися поняттями з області віброакустики; використовувати сучасні методи розрахунків вібрації і шумів, а також зменшувати віброакустичну активність електричних машин різних типів на стадії їх проектування; користуватися сучасними методами експериментального дослідження вібрації і шуму електричних машин різних типів; оволодіння навичками використання ефективного віброзахисту різних типів електричних машин.

Предметом навчальної дисципліни є взаємозв'язок надійності, якості та ефективності електричних машин, специфічних математичних методів, елементів математичної та фізичної теорії надійності щодо електричних машин, методи математичного моделювання та аналізу дифузних систем, ймовірнісні характеристики міцності, старіння, механізмів розвитку відмов найслабших елементів електромеханічних систем; система властивостей фізичних процесів збудження шуму і вібрації в електричних машинах різних типів, а також сучасні засоби вимірювання вібрацій і діагностування ушкоджень в електричних машинах.

Програмні результати навчання:

Компетенції загальні:

ЗК7. Здатність виявляти та оцінювати ризики.

ЗК10. Здатність спілкуватися з представниками інших професійних груп різного рівня.

Компетенції фахові:

ФК1. Здатність застосовувати отримані теоретичні знання, наукові і технічні методи для вирішення науково-технічних проблем і задач електроенергетики, електротехніки та електромеханіки.

ФК4. Здатність розробляти та впроваджувати заходи з підвищення надійності, ефективності та безпеки при проектуванні та експлуатації обладнання та об'єктів електроенергетики, електротехніки та електромеханіки.

ФК11. Здатність оцінювати показники надійності та ефективності функціонування електроенергетичних, електротехнічних та електро-механічних об'єктів та систем.

ФК 17. Здатність розробляти фізичні й математичні моделі робочих процесів в досліджуваних електричних машинах та апаратах, електричних приводах та системах, розробляти методики та організовувати проведення натурних експериментів з подальшим аналізом отриманих результатів.

Програмні результати навчання:

ПРН01. Знаходити варіанти підвищення енергоефективності та надійності електроенергетичного, електротехнічного та електромеханічного обладнання й відповідних комплексів і систем.

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

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

ПРН04. Окреслювати план заходів з підвищення надійності, безпеки експлуатації та продовження ресурсу електроенергетичного, електротехнічного та електромеханічного обладнання і відповідних комплексів і систем.

ПРН06. Реконструювати існуючі електричні мережі, станції та підстанції, електротехнічні і електромеханічні комплекси та системи з метою підвищення їх надійності, ефективності експлуатації та продовження ресурсу.

ПРН10. Презентувати матеріали досліджень на міжнародних наукових конференціях та семінарах, присвячених сучасним проблемам в області електроенергетики, електротехніки та електромеханіки.

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

ПРН24. Проводити моніторинг та діагностування електроенергетичного та електромеханічного обладнання і устаткування, встановлювати основні причини виходу з ладу в процесі їх експлуатації.

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

Дисциплінами, що передують вивченню дисципліни «Надійність електричних машин» та складають її теоретичну базу є: «Вища математика», «Фізика», «Теоретичні основи електротехніки», «Електричні машини». Дисципліна становить основу проходження переддипломної практики та виконання магістерської дисертації.

Зміст навчальної дисципліни

Кредитний модуль структурно розділено на розділи, а саме:

- **Надійність електричних машин**, до якого ввійшли питання: основні поняття та складові надійності, основні етапи забезпечення надійності, елементи теорії ймовірностей та математичної статистики, кількісні показники надійності, структурна надійність, закони розподілу відмов, оцінка надійності за даними випробувань та експлуатації.
- **Вібрації та шуми електричних машин**, до якого ввійшли питання: основні параметри звуку, шуму і вібрації; джерела шуму та вібрації електричних машин; розрахунок вібрації і випромінюваного шуму; магнітний шум асинхронних двигунів; магнітний шум синхронних машин; магнітний шум машин постійного струму; аеродинамічний шум електричних машин; вібрація електричних машин, що збуджується джерелами механічного походження; вимірювання шуму і аналіз сигналів датчиків вібрації електричних машин.

3. Навчальні матеріали та ресурси

Основні інформаційні ресурси:

1. Губаревич О.В. Надійність і діагностика електрообладнання: Підручник / О.В. Губаревич. – Сєвєродонецьк: вид-во СНУ ім. В. Даля, 2016. – 248 с.
2. Дискретні вейвлет-перетворення в діагностуванні гідроагрегатів : монографія / В. В. Кухарчук, С. Ш. Кацев, В. Ф. Граняк, С. О. Биковський. – Вінниця : ВНТУ, 2018. – 112 с.
3. Грабко В. В. Експериментальні дослідження електричних машин.: навчальний посібник (5 частин)/ В. В. Грабко, М. П. Розводюк, С. М. Левицький, І. В. Грабенко. – Вінниця : ВНТУ, 2014. – 137 с.
4. Лут М.Т., Наливайко В.А., Радько І.П. Діагностування енергетичного обладнання: Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів. 2-е вид., перероб. і доп. - К.: Вид – во ТОВ «Аграр Медіа Груп», 2014.- 590 с.

5. Кухарчук В. В. Моніторинг, діагностування та прогнозування вібраційного стану гідроагрегатів : монографія / В. В. Кухарчук, С. Ш. Кацев, В. В. Усов. – Вінниця : ВНТУ, 2013. – 169 с.
6. Elias G. Strangas, Fault Diagnosis, Prognosis, and Reliability for Electrical Machines and Drives / Elias G. Strangas, Guy Clerc, Hubert Razik, Abdenour Soualhi // Wiley-IEEE Press. – 2021. - 443 p.
7. Shahriyar Kaboli, Reliability in Power Electronics and Electrical Machines: Industrial Applications and Performance Models / Shahriyar Kaboli. // IGI Global. – 2016. – 481 p.
8. Надійність електричних машин: Вібрації та шуми електричних машин: комп'ютерний практикум [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ., які навчаються за освітньою програмою "Електричні машини і апарати" / КПІ ім. І. Сікорського; уклад.: О.А. Гераскін. – Електронні текстові дані (1 файл: 10 Мбайт). – Київ: КПІ ім. І. Сікорського, 2019. – 108 с.
9. Reliability of Electric Machines: Vibrations and Noises of Electric Machines: computer workshop [Electronic resource]: educational tutorial for students studying on specialty 141 "Electric power engineering, electrical engineering and electromechanics" / KPI named after Igor Sikorsky; Authors: Oleksandr GERASKIN, Evgen DUBCHAK. – Electronic text data (1 file: 6 MB). - Kyiv: KPI named after Igor Sikorsky, 2021. - 103 p.
10. Надійність електричних машин [Електронний ресурс] : методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни «Надійність електричних машин» для галузі знань «Електрична інженерія» спеціальності «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» для студентів спеціалізації «Електричні машини і апарати» / НТУУ «КПІ» уклад.: М. О. Реуцький, М. Г. Анпілогов, А. А. Шиманська, С. С. Цивінський. – Електронні текстові дані (1 файл: 5,51 Мбайт). – Київ : НТУУ «КПІ», 2017. – 61 с. <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/38787>
11. Дистанційний курс «Надійність електричних машин» <https://do.ipk.kpi.ua/course/view.php?id=3146>

Додаткові інформаційні ресурси:

12. Яцун, М. А. Експлуатація та діагностування електричних машин і апаратів: навч. посібник для студ. вищ. навч. закладів, що навч. за напрямом підготовки "Енергетика та електротехнічні системи в агропромисловому комплексі" / М. А. Яцун, А. М. Яцун; Львівський нац. аграрний ун-т, Нац. ун-т "Львівська політехніка". - Львів: Вид-во Львів. політехніки, 2010. - 228 с.
13. Шумілов Ю. А. Шум і вібрація електричних машин. Конспект лекцій – електронний варіант. – 2006. – 76 с: ил.
14. Яцейко А. Я. Діагностика ізоляції високовольних трансформаторів струму під робочою напругою : автореф. дис. на здоб. наук. ступ. канд. техн. наук : спец.: 05.14.02 – «Електричні станції, мережі і системи» / А. Я. Яцейко. — К., 2008. — 18 с.

Навчальний контент

4. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Лекційні заняття

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на інформаційні джерела)
4.1	"Надійність електричних машин в контексті теорії ймовірностей та математичної"

статистики"	
1	ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ ТА СКЛАДОВІ НАДІЙНОСТІ. Показники надійності та якості. Об'єкт. Якість. Показники якості. Пошкодження. Відмова. Працездатність. Непрацездатність. Надійність. Безвідмовність. Ремонтпридатність. Довговічність. Термін служби. Ресурс. Граничний стан. Зберігаємість. Дослідження. Науковий метод підвищення надійності ЕМ. Аналіз апіорної (первинної) інформації, отриманої експертним опитуванням, вивченням літературних джерел, роздумів. Уточнення найближчих цілей, висунення робочих гіпотез. Планування, підготовка і проведення дослідів. Аналіз результатів дослідів, порівняння їх з апіорною інформацією і гіпотезами. Формулювання висновків – уточнення моделей, оцінка гіпотез, отримання апостерорної інформації. Ухвалення рішення про доцільність і можливість подальшого руху на наступний виток спіралі. Літературні джерела: [1-5]; Завдання на СРС: Опрацювання матеріалу за конспектом та літературою, пошук прикладів технічного вирішення проблем надійності в техніці. Дистанційний курс «Надійність електричних машин» лекція 1 https://do.ipk.kpi.ua/course/view.php?id=3146
2	Проектування. Розробка конструкції. Структурні поняття: елемент, вузол, виріб, система. Конструкційна надійність. Конструкторський промах. Загальні рекомендації конструкторам. Виробництво. Загальні властивості сучасної технології. Виробництво електричних машин. Загальні закономірності. Засоби та плани контролю якості. Випробування на надійність. Прискорені випробування. Технологічні експерименти. Руйнівні і неруйнівні методи контролю. ОТК. ОСНОВНІ ЕТАПИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ. Експлуатація. Аналіз першопричини та місць відмов. Захист, профілактика та резервування. Статистичний аналіз першопричин і місць відмови в ЕМ. Оптимізація захисту, профілактики та резервування ЕМ. Планові огляди. Безвідмовність обмоток. Випробування на надійність. Ресурсні випробування. Прискорені випробування. Визначальні та контрольні випробування на надійність. Літературні джерела: [1-5]; Завдання на СРС: Опрацювання матеріалу за конспектом та літературою, Дистанційний курс «Надійність електричних машин» лекція 2 https://do.ipk.kpi.ua/course/view.php?id=3146
3	ЕЛЕМЕНТИ ТЕОРІЇ ЙМОВІРНОСТЕЙ ТА МАТЕМАТИЧНОЇ СТАТИСТИКИ. Елементи теорії ймовірностей та математичної статистики. Ймовірності випадкових випадків. Причини відмов електричних машин. Випадкова подія, величина, процес. Ймовірність. Ймовірність події. Властивості ймовірності. Статистичне визначення. Відносна частота. Практичне застосування результатів статистичних спостережень. Випадкові величини. Випадкові величини дискретного та безперерного типу. Зв'язок між значенням випадкових величин та їх ймовірностями. Способи завдання випадкових величин. Статистичні характеристики: інтегральна та диференціальна функції розподілення. Закон розподілу випадкових величин. Диференціальний закон розподілу. Щільність розподілу. Практичне застосування результатів статистичних спостережень. Літературні джерела: [1-5]; Завдання на СРС: Опрацювання матеріалу за конспектом та літературою. Дистанційний курс «Надійність електричних машин» лекція 4 https://do.ipk.kpi.ua/course/view.php?id=3146

4	Точкові оцінки випадкових величин. Істотні властивості розподілів вірогідних величин. Математичне очікування, мода, медіана, дисперсія, коефіцієнт варіації, розмах середньоарифметичне відхилення ВВ. Коефіцієнт форми розподілу. Показники, які оцінюють форму розподілу випадкових величин: коефіцієнт асиметрії та коефіцієнт ексцесу. КІЛЬКІСНІ ПОКАЗНИКИ НАДІЙНОСТІ. Кількісні показники надійності. Ймовірність безвідмовної роботи. Ймовірності відмови. Частота відмов. Інтенсивність відмов. Середній час безвідмовної роботи. Середнє напрацювання на відмову. Практичне застосування результатів статистичних спостережень. СТРУКТУРНА НАДІЙНІСТЬ Структурна надійність. Послідовне з'єднання елементів. Резервування. Дублювання. Ймовірність відмови. Практичні розрахунки надійності систем з послідовним з'єднанням елементів. Літературні джерела: [1-5]; Завдання на СРС: Опрацювання матеріалу за конспектом та літературою. Дистанційний курс «Надійність електричних машин» лекція 5 https://do.ipk.kpi.ua/course/view.php?id=3146
5	Паралельне з'єднання елементів. Збільшення надійності елементів та систем за рахунок резервування та дублювання. Ймовірність відмови системи. Ймовірність безвідмовної роботи. Практичні розрахунки надійності систем з паралельним з'єднанням елементів. Паралельно-послідовне з'єднання елементів. Паралельне з'єднання послідовних кіл. Послідовне з'єднання паралельних блоків. Ймовірність відмови системи. Ймовірність безвідмовної роботи. Практичні розрахунки надійності систем з паралельно-послідовним з'єднанням елементів. Літературні джерела: [1-5]; Завдання на СРС: Опрацювання матеріалу за конспектом та літературою. Дистанційний курс «Надійність електричних машин» лекція 7 https://do.ipk.kpi.ua/course/view.php?id=3146
6	Періоди роботи технічних пристроїв. Період припрацювання. Період нормальної експлуатації. Період зносу. Виникнення відмов технічних пристроїв в період припрацювання, нормальної роботи та в період старіння. Закони розподілу відмов. Експоненційний розподіл. Ознаки експоненціального розподілу. Ймовірність безвідмовної роботи при експоненціальному розподілі. Практичні розрахунки надійності з експоненційним розподілом. Нормальний розподіл. Нормальний розподіл випадкових величин, або розподіл Гауса, або крива Лапласа. Зростання інтенсивності відмов. Перший початковий момент розподілу. Середнє квадратичне відхилення. Функція розподілу випадкової величини. Правило трьох сил. Інтеграл Лапласа. Табульовані функції. Щільність ймовірності розподілу табульованих функцій. Нормований та центрований розподіл. Розрахунок надійності систем, розподіл ймовірності яких підпорядковується нормальному закону розподілу. Практичні розрахунки надійності з нормальним розподілом. Розподіл Релея. Ознаки розподілу Релея. Ймовірність безвідмовної роботи при розподілі Релея. Практичні розрахунки надійності з розподілом Релея. Літературні джерела: [1-5]; Завдання на СРС: Опрацювання матеріалу за конспектом та літературою. Дистанційний курс «Надійність електричних машин» лекція 8 https://do.ipk.kpi.ua/course/view.php?id=3146
7	Гамма-розподіл. Ознаки гамма-розподілу. Ймовірність безвідмовної роботи при гамма-

	розподілі. Практичні розрахунки надійності з гамма-розподілом. Розподіл Вейбулла. Ознаки розподілу Вейбулла. Ймовірність безвідмовної роботи при розподілі Вейбулла. Практичні розрахунки надійності з розподілом Вейбулла. Біноміальний розподіл. Ознаки біноміального розподілу. Ймовірність безвідмовної роботи при біноміальному розподілі. Практичні розрахунки надійності з біноміальним розподілом. Літературні джерела: [1-5]; Завдання на СРС: Опрацювання матеріалу за конспектом та літературою. Дистанційний курс «Надійність електричних машин» лекція 8 https://do.ipk.kpi.ua/course/view.php?id=3146
8	Оцінка надійності за даними випробовувань та експлуатації. Основні методи оцінки надійності. Визначальні випробування. Контрольні випробування. Випробування. Коефіцієнт прискорення. Загальна характеристика контрольних випробувань. Помилка першого роду. Помилка другого роду. Методика контрольних випробувань на надійність. Спрощений план випробувань. Практичне застосування плану випробувань для розрахунків надійності. Приємочний та браковочний рівні ВБР. Визначаючи випробування та оцінка надійності по даним експлуатації. Методика проведення контрольних випробувань на надійність. Методика та приклади проведення контрольних випробувань. Визначальні випробування та оцінка надійності за даними експлуатації. Ймовірно теоретичний розподіл. Рівень значущості. Критерії згоди. Графічний метод оцінки прямолінійності Надійність ізоляції обмоток електричних машин. Руйнування ізоляції. Тепловий, електричний, іонізаційний пробій діелектрика. Модель надійності ізоляції обмоток електричних машин. Математичні моделі надійності міжвиткової ізоляції. Розрахунок надійності міжвиткової, корпусної та міжфазової ізоляції обмоток електричних машин. Економічні питання надійності. Витрати на підвищення надійності. Завдання на СРС: Опрацювання матеріалу за конспектом та літературою. Літературні джерела: [1-5]; Дистанційний курс «Надійність електричних машин» лекція 8 https://do.ipk.kpi.ua/course/view.php?id=3146
	для ч.2 "Вібрації та шуми електричних машин":
9	ОСНОВНІ ПАРАМЕТРИ ЗВУКУ, ШУМУ І ВІБРАЦІЇ Тема 1. Звук. Основні поняття. Визначення поняття "Звук". Характеристики звуку. Література: [1-5]. Тема 2. Фізичні параметри звуку. Гучність звуку. Рівень гучності. Одиниці вимірювання звуку. Закон Вебера-Фехнера. Основні акустичні одиниці вимірювання звуку. Довжина звукової хвилі. Тема 3. Шум. Класифікація шуму. Тема 4. Вібрація.

	Параметри вібрації. Тема 5. Загальні відомості про генерування шуму і вібрації. Повний акустичний опір. Питомий акустичний опір. Коливальний тиск. Взаємозв'язок між гармонічними зміщенням, швидкістю і прискоренням. Випромінювання шуму. Література: [1-5]. Завдання на СРС: Вплив шуму і вібрації на організм людини. дистанційний курс "Надійність електричних машин" ч. 2 "Вібрації та шуми електричних машин", лекція 4, https://do.ipk.kpi.ua/course/view.php?id=3143
10	ДЖЕРЕЛА ШУМУ ТА ВІБРАЦІЇ ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИН Тема 1. Загальна характеристика випромінювання шуму електричними машинами. Характеристика джерел шуму та вібрації електричних машин. Тема 2. Методи розділення джерел шуму та вібрації. Характеристика методів розділення джерел шуму та вібрації. РОЗРАХУНОК ВІБРАЦІЇ І ВИПРОМІНЮВАНОВОГО ШУМУ Тема 1. Динамічна модель електричної машини. Метод електромеханічної аналогії. Поняття "вибірковий резонанс". Методи "відлаштування" від резонансів. Завдання на СРС: Одномасова, двомасова і трьохмасова коливальні системи. Література: [1-5].
11	Тема 2. Вібрація статорів, що збуджується електромагнітними силами. Тема 3. Випромінювання магнітного шуму корпусом машини. МАГНІТНИЙ ШУМ АСИНХРОННИХ ДВИГУНІВ Тема 1. Магнітне поле в повітряному проміжку АД Радіальні і тангенціальні сили, що створюються магнітними полями. Тангенціальні сили, що створюються магнітними полями. Завдання на СРС: Вибір кількості пазів короткозамкнутого ротора. Література: [1-5].
12	Тема 2. Магнітострижність. Особливості магнітострижційних процесів в АД. Тема 3. Вплив технологічних і конструктивних факторів на магнітний шум. Тема 4. Вібрація крупних багатополюсних асинхронних двигунів. Література: [1-5]. Модульна контрольна робота МАГНІТНИЙ ШУМ СИНХРОННИХ МАШИН Тема 1. Вібрація статора дво полюсного турбогенератора.

	Тема 2. Вібрація статора гідрогенератора Завдання на СРС: Результати вимірювання шуму і вібрації синхронних машин. Тема 3. Вібрація статорних обмоток Література: [1-5].
13	МАГНІТНИЙ ШУМ МАШИН ПОСТІЙНОГО СТРУМУ Тема 1. Основні причини магнітного шуму машин постійного струму. Власні коливання ярма. Прямий паз по довжині якоря, ексцентричний повітряний проміжок під полюсом. Тема 2. Додаткові причини магнітного шуму машин постійного струму. Скошений паз по довжині якоря, рівномірний повітряний проміжок під полюсом. Вплив навантаження на магнітний шум машин постійного струму. Вплив деяких технологічних відхилень на магнітний шум машин постійного струму. Література: [1-5]. АЕРОДИНАМІЧНИЙ ШУМ ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИН Тема 1. Утворення аеродинамічного шуму в електричних машинах. Шум вентилятора. Шум, що виникає від обертання ротора. Тема 2. Застосування глушителів шуму. Завдання на СРС: Аеродинамічний шум машин різного виконання. Література: [1-5].
14	ВІБРАЦІЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИН, ЩО ЗБУДЖУЄТЬСЯ ДЖЕРЕЛАМИ МЕХАНІЧНОГО ПОХОДЖЕННЯ Тема 1. Вібрація електричних машин, що збуджується підшипниками. Вимоги до конструкції і виробництва підшипників. Загальні відомості про підшипники кочення. Вимоги до конструкції і виробництва підшипників. Тема 2. Джерела вібрації підшипників кочення. Вплив струмів і магнітних полів на вібрацію підшипників кочення. Вібрація підшипників ковзання. Основні види ушкодження підшипників. Тема 3. Шум щіткового апарата. Причини шуму щіткового апарата Шум ковзного контакту. Тема 4. Віброакустична активність джерел механічного походження. Зниження віброакустичної активності джерел механічного походження. Удари в кінематичних парах. Незрівноваженість обертових мас. Література: [1-5].
15	ВИМІРЮВАННЯ ШУМУ І АНАЛІЗ СИГНАЛІВ ДАТЧИКІВ ВІБРАЦІЇ ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИН Тема 1. Умови і методи вимірювання шуму електричних машин. Вимірювальна апаратура. Встановлення і режим роботи досліджуваної машини.

	Нормування вібрації машин. Тема 2. Інтелектуальні системи моніторингу та діагностики машин по вібрації. Вібрація, її вимір і аналіз Тема 3. Датчики вібрації. Види датчиків вібрації. Основні елементи конструкції і принцип дії датчиків віброприскорення і віброшвидкості. Тема 4. Прилади для вимірювання вібрації електричних машин. Сучасні прилади для вимірювання вібрації електричних машин. Їх основні характеристики. Тема 5. Спектральна обробка сигналів датчиків вібрації в машинах роторного типу Література: [1-5].
--	--

5. Комп'ютерні практикуми

№ з/п	Назва комп'ютерного практикума
1	Комп'ютерний практикум №1. Дослідження методами математичного моделювання спектрів сигналів електромагнітних вібробуджуючих сил асинхронного двигуна: неушкодженого і при наявності ушкоджень стержнів ротора в програмах Comsol Multiphysics і MatLab (4 години).
2	Комп'ютерний практикум №2. Дослідження методами математичного моделювання спектрів електромагнітних вібробуджуючих сил асинхронного двигуна: неушкодженого і при наявності статичного ексцентриситета ротора в програмах Comsol Multiphysics і MatLab (4 години).
3	Комп'ютерний практикум №3. Моделювання і обробка сигналу датчика вібрації АД із використанням основних елементів в програмі National Instruments LabView (2 години).
4	Комп'ютерний практикум №4. Моделювання і обробка сигналу датчика вібрації АД із використанням елементів Simulate Signal і Spectral Measurements в програмі National Instruments LabView (2 години).
5	Колоквіум із захисту комп'ютерних практикумів (2 години)

6. Самостійна робота студента

№з/п	Вид самостійної роботи	Кількість годин СРС
для ч. 1 "Надійність електричних машин":		
1	Завдання для СРС 1. Пошук прикладів технічного вирішення проблем надійності в техніці. Основні поняття та складові надійності. Показники надійності та якості.	1
2	Завдання для СРС 2. Зв'язок між наукоємністю електротехнічних виробів та їх надійністю.	1

3	<i>Завдання для СРС 3. Загальні принципи проектування. Ідеї рівної міцності та рівної надійності</i>	1
4	<i>Завдання для СРС 4. Експлуатація. Аналіз першопричин та місць відмов. Види пошкоджень та відмов електричних машин в процесі випробувань та експлуатації. Захист, профілактика та резервування. Діагностика відмов.</i>	1
5	<i>Завдання для СРС 5. Випробувальне устаткування. Принципи випробування електричних машин на надійність.</i>	1
6	<i>Завдання для СРС 6. Моделювання випадкових величин. Випадкові величини дискретного та безперервного типів. Зв'язок між значенням випадкових величин та їх ймовірностями. Способи завдання випадкових величин. Статистичні характеристики: інтегральна та диференціальна функції розподілення.</i>	2
7	<i>Завдання для СРС 7. Завдання на СРС: Порівняння випадкових величин. Оцінки крайніх значень випадкових величин.</i>	1
8	<i>Завдання для СРС 8. Розрахунок ІБР, ІВ, інтенсивності відмов за даними статистичного ряду випадкових величин.</i>	1
9	<i>Завдання для СРС 9 Розрахунок надійності систем при послідовному з'єднанні елементів.</i>	1
10	<i>Завдання для СРС 10. Збільшення надійності елементів та систем за рахунок резервування та дублювання. Ймовірність відмови системи. Ймовірність безвідмовної роботи.</i>	1
11	<i>Завдання для СРС 11. Завдання на СРС: Розрахунок надійності при паралельно-послідовному з'єднанні систем.</i>	1
12	<i>Завдання для СРС 12. Виникнення відмов технічних пристроїв в період припрацювання, нормальної роботи та в період старіння.</i>	1
13	<i>Завдання для СРС 13. Застосування нормального розподілу при розрахунках надійності систем електромеханічних пристроїв. Застосування експоненційного розподілу при розрахунках надійності систем електромеханічних пристроїв</i>	1
14	<i>Завдання для СРС 14. Застосування нормального розподілу при розрахунках надійності систем електромеханічних пристроїв.</i>	1
15	<i>Завдання для СРС 15. Застосування розподілу Релея при розрахунках надійності систем електромеханічних пристроїв.</i>	1
16	<i>Завдання для СРС 16. Застосування гамма-розподілу при розрахунках надійності систем електромеханічних пристроїв.</i>	1
17	<i>Завдання для СРС 17. Застосування розподілу Вейбулла при розрахунках надійності систем електромеханічних пристроїв.</i>	1
18	<i>Завдання для СРС 18. Застосування біноміального розподілу при розрахунках надійності систем електромеханічних</i>	1

	<i>пристроїв.</i>	
19	<i>Завдання для СРС 19. Визначаючи випробування та оцінка надійності по даним експлуатації.</i>	2
20	<i>Завдання для СРС 20. Прийомочний та браковочний рівні ВБР.</i>	2
21	<i>Завдання для СРС 21. Визначення об'єму вибірки для проведення контрольних випробувань з заданим ризиком споживача.</i>	2
22	<i>Завдання для СРС 22. Визначення закону розподілу випадкових величин за статистичними даними.</i>	4
23	<i>Завдання для СРС 23. Розрахунок надійності міжвиткової, корпусної та міжфазової ізоляції обмоток електричних машин.</i>	2
24	<i>Завдання для СРС 24. Розрахунок надійності міжвиткової, корпусної та міжфазової ізоляції обмоток електричних машин.</i>	3
25	<i>Завдання для СРС 25. Зв'язок між вартістю та надійністю. Витрати на підвищення надійності електричних машин. Мінімум витрат, який відповідає заданій імовірності відмови.</i>	5
для ч.2 "Вібрації та шуми електричних машин":		
1	<i>Завдання для СРС 1. Вплив шуму і вібрації на організм людини.</i>	1
2	<i>Завдання для СРС 2. Одномасова, двомасова і трьохмасова коливальні системи.</i>	1
3	<i>Завдання для СРС 3. Вибір кількості пазів короткозамкненого ротора.</i>	1
4	<i>Підготовка до модульної контрольної роботи</i>	2
5	<i>Завдання для СРС 4. Результати вимірювання шуму і вібрації синхронних машин.</i>	1
6	<i>Завдання для СРС 5. Аеродинамічний шум машин різного виконання.</i>	1
7	<i>Підготовка до екзамену</i>	30
	<i>Всього</i>	76

Політика та контроль

7. 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. Відпрацювання лабораторних робіт, комп'ютерних практикумів з дисципліни є обов'язковою умовою допуску до заліку;
- 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;

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

8. Види контролю та рейтингова система оцінювання результатів навчання (PCO)

Поточний контроль: написання МКР, виконання лабораторних робіт, комп'ютерних практикумів

Календарний контроль: провадиться двічі на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог силабусу.

Семестровий контроль: екзамен

Умови допуску до семестрового контролю: мінімальна оцінка за кожну МКР 6 балів, виконання і захист усіх лабораторних робіт, комп'ютерних практикумів, семестровий рейтинг більше 40 балів.

Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою:

Кількість балів	Оцінка
100-95	Відмінно
94-85	Дуже добре
84-75	Добре
74-65	Задовільно
64-60	Достатньо
Менше 60	Незадовільно
Не виконані умови допуску	Не допущено

При семестровому контролі у вигляді заліку результати навчальної діяльності студента за семестр оцінюються зі 100 балів без врахування результату залікової контрольної роботи.	
Стартовий рейтинг в 60 балів складається з балів, що студент протягом семестру отримує за:	1. Написання модульної контрольної роботи: 20 балів 2. Виконання та захист 4 лабораторних робіт: 40 балів; 5. Відповідь на екзамені – 40 балів.
Критерії нарахування балів:	
1. Результати написання модульної контрольної роботи: 20 балів.	Інформація про структуру МКР: За повністю правильно написану МКР =20 балів В білеті 5 питань: 1 питання - складне питання 8 балів. 2 питання - питання середньої складності 6 балів. 3 питання – 3 простих питання по 2 балу = 6

	балів. В одному простому питанні може бути декілька простих запитань. Для зарахування МКР необхідно її написати на 60% і більше від максимальної кількості балів за МКР. Оцінювання питання на 8 балів: 8 балів - повна обґрунтована відповідь; 2 ...7 балів – недостатньо обґрунтована відповідь. Студент має можливість переписувати МКР достатню кількість разів, допоки не напише МКР на достатню кількість балів.
2. Виконання та захист 4 комп'ютерних практикумів: 40 балів;	• по 8 балів — повне виконання і вчасний захист кожного комп'ютерного практикума 1, 2. • по 12 балів — повне виконання і вчасний захист кожного комп'ютерного практикума 3, 4. Оцінювання к.п. на 12 балів: • 12 балів — повне виконання і вчасний захист комп'ютерного практикума; • 0...6 балів — неповне або часткове виконання комп'ютерного практикума.
Умови отримання першої атестації:	набрано 50% (13 б) з того, що можна набрати (26 б): • написано МКР 1 на оцінку не менше 6 б: 10 б • зроблено і захищено к.п. 1 і 2: 16 б
Умови отримання другої атестації:	набрано 50% (26 б) з того, що можна набрати (52 б): • написано кожну МКР 1 і МКР 2 на оцінку не менше 6 б: 20 б • зроблено і захищено к.п. 1...3: 32 б
Штрафні та заохочувальні бали: • участь у модернізації комп'ютерного практикума: + 1...6 балів; Сумарна кількість як штрафних, так і заохочувальних балів не повинна перевищувати $0,1R_C = 6$ балів (для PCO-2, екзамен) або $0,1R = 10$ балів (для PCO-1, залік).	
Критерії допуску студентів до екзамену з дисципліни:	• набрати стартовий рейтинг RC не менше 40 балів з 60 балів; • виконати і захистити всі комп'ютерні практикуми і лабораторні роботи з даної дисципліни; • написати МКР на оцінку, не менше 12 балів

	(60% з 20 балів).
Штрафні та заохочувальні бали: - активна участь у виконанні практичних занять: + 1...5 балів; - За часткове виконання або несвоєчасність написання МКР і виконання комп'ютерних практикумів зменшується кількість балів за них. Зокрема, МКР має бути написана до моменту проведення проміжного семестрового контролю (2-ї атестації), а всі завдання з практичних занять мають бути виконані до заліку. При їх виконанні після заліку бали за них зменшуються. - Сумарна кількість як штрафних, так і заохочувальних балів не повинна перевищувати $0,1R_C = 6$ балів (для PCO-2, екзамен) або $0,1R = 10$ балів (для PCO-1, залік).	
Критерії допуску студентів до заліку:	- набрати стартовий рейтинг R_C не менше 40 балів зі 100 балів; - виконати усі проміжні етапи.
Проведення заліку з дисципліни: Якщо сума рейтингових балів, отриманих студентом протягом семестру, більше 60 балів, то 1) він отримує залікову оцінку (залік) так званим “автоматом” відповідно до набраного рейтингу і його оцінка переводиться до підсумкової оцінки згідно з таблицею. Студентам, які протягом семестру набрали більш ніж 60 балів, надається можливість виконувати залікову контрольну роботу з метою підвищення оцінки: 2) рейтинг студента повністю скасовується і він пише залікову роботу, бали за яку складають 100 балів. 2.1) Якщо студент на заліку набрав більше 60 балів, то він може вибрати найбільший з результатів. 2.2) якщо студент на заліку набрав менше 60 балів, такий результат такого заліку скасовується і він може повернутися до своїх набраних попередньо балів. 3) рейтинг студента не скасовується і він пише залікову роботу, бали за яку складають різницю між 100 балами і тим, що студент набрав впродовж семестру (наприклад, студент набрав 65 балів, то максимум за залік він може набрати 35 балів). При цьому в заліку зберігається кількість питань, а оцінка за залік пропорційно зменшується. У цьому разі бали, отримані ним на заліковій контрольній роботі, є остаточними. Якщо сума рейтингових балів, отриманих студентом протягом семестру, менше 60 балів, то студент “надолужує” бали переписуванням конспекту доки не набере 60 або більше балів. На заліку студенти виконують письмову контрольну роботу, в білеті 3 теоретичних питання по 13,4 балів кожне. Критерії оцінювання залікової контрольної роботи Кожне запитання (завдання) оцінюється у 13,4 балів за такими критеріями: «відмінно», повна відповідь, не менше 90% потрібної інформації (повне, безпомилкове розв'язування завдання) – 13,4-11 балів; «добре», достатньо повна відповідь, не менше 75% потрібної інформації або незначні неточності (повне розв'язування завдання з незначними неточностями) – 10-8 балів;	

- «задовільно», неповна відповідь, не менше 60% потрібної інформації та деякі помилки (завдання виконане з певними недоліками) – 7-6 балів;
- «незадовільно», відповідь не відповідає умовам до «задовільно» – 0 балів.

Оцінка автоматом виставляється бо з дисципліни залік (PCO-1).

Сума балів, отриманих протягом семестру та/або балів за залікову контрольну роботу переводиться до залікової оцінки згідно з таблицею.

9. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

Перелік тем, які виносяться на семестровий контроль

для ч. 1 "Надійність електричних машин":

1. Проаналізувати основні етапи забезпечення надійності. Дослідження. Науковий метод.
2. Проаналізувати основні етапи забезпечення надійності. Проектування. Розробка конструкцій.
3. Проаналізувати основні етапи забезпечення надійності. Виробництво. Загальні властивості сучасної технології.
4. Проаналізувати основні етапи забезпечення надійності. Експлуатація Аналіз першопричин та місце відмов. Захист, профілактика та резервування.
5. Елементи теорії імовірностей та математичної статистики. Проаналізувати поняття імовірності випадкових подій.
6. Елементи теорії імовірностей та математичної статистики. Проаналізувати поняття випадкових величини та методи задання випадкових величин.
7. Елементи теорії імовірностей та математичної статистики. Проаналізувати поняття функції розподілення випадкових величин та властивості функції розподілення.
8. Проаналізувати поняття точкових випадкових величин. Середнє, медіана і мода.
9. Проаналізувати поняття точкових випадкових величин. Дисперсія. Коефіцієнт варіації. Розмах. Середньоарифметичне відхилення.
10. Проаналізувати поняття точкових випадкових величин. Коефіцієнт форми. Коефіцієнт ексцесу.
11. Дати оцінку кількісним характеристикам надійності. Імовірність безвідмовної роботи.
12. Дати оцінку кількісним характеристикам надійності. Частота відмов. Інтенсивність відмов.
13. Дати оцінку кількісним характеристикам надійності. Середній час безвідмовної роботи. Середнє напрацювання на відмову.
14. Привести порівняння періодів роботи технічних приладів.
15. Проаналізувати поняття структурна надійність. Послідовне та паралельне з'єднання елементів.
16. Проаналізувати поняття структурна надійність. Послідовно-паралельне з'єднання елементів.
17. Дати оцінку експоненціальному закону розподілення відмов.
18. Дати оцінку нормальному закону розподілення відмов.
19. Дати оцінку закону розподілення Релея.

20. Дати оцінку закону Гамма- розподілення.
21. Дати оцінку закону розподілення Вейбулла.
22. Дати оцінку біноміальному закону розподілення.
23. Дати оцінку надійності за даними дослідження та експлуатації. Загальна характеристика контрольних досліджень.
24. Проаналізувати методику проведення контрольних досліджень на надійність.
25. Проаналізувати означальні дослідження і оцінка надійності за даними експлуатації.
26. Проаналізувати надійність ізоляції обмоток електричних машин.
27. Дати оцінку моделі оцінки ізоляції обмоток електричних машин.
28. Економічні питання надійності. Дати оцінку зв'язку між вартістю та надійністю.
29. Економічні питання надійності. Дати оцінку затратам на підвищення надійності виробів.
30. Дати оцінку надійності елемента , апарату чи системи при імпульсному режимі роботи.

для ч.2 "Вібрації та шуми електричних машин":

- Тема 1. Звук. Основні поняття.
- Тема 2. Фізичні параметри звуку.
- Тема 3. Шум.
- Тема 4. Вібрація.
- Тема 5. Загальні відомості про генерування шуму і вібрації.
- Тема 6. Загальна характеристика випромінювання шуму електричними машинами.
- Тема 7. Методи розділення джерел шуму та вібрації.
- Тема 8. Динамічна модель електричної машини.
- Тема 9. Вібрація статорів, що збуджується електромагнітними силами.
- Тема 10. Випромінювання магнітного шуму корпусом машини.
- Тема 11. Магнітне поле в повітряному проміжку АД
- Тема 12. Магнітострикція.
- Тема 13. Вплив технологічних і конструктивних факторів на магнітний шум.
- Тема 14. Вібрація крупних багатополюсних асинхронних двигунів.
- Тема 15. Вібрація статора дво полюсного турбогенератора.
- Тема 16. Вібрація статора гідрогенератора
- Тема 17. Вібрація статорних обмоток
- Тема 18. Основні причини магнітного шуму машин постійного струму.
- Тема 19. Додаткові причини магнітного шуму машин постійного струму.
- Тема 20. Утворення аеродинамічного шуму в електричних машинах.
- Тема 21. Застосування глушителів шуму.
- Тема 22. Вібрація електричних машин, що збуджується підшипниками.
- Тема 23. Джерела вібрації підшипників кочення.
- Тема 24. Шум щіткового апарата.
- Тема 25. Віброакустична активність джерел механічного походження
- Тема 26. Умови і методи вимірювання шуму електричних машин.
- Тема 27. Інтелектуальні системи моніторингу та діагностики машин по вібрації.
- Тема 28. Датчики вібрації.
- Тема 29. Прилади для вимірювання вібрації електричних машин.
- Тема 30. Спектральна обробка сигналів датчиків вібрації в машинах роторного типу.

Сертифікати проходження дистанційних чи онлайн курсів за відповідною тематикою можуть бути зараховані за умови виконання вимог, наведених у Наказі № 7-177 від 01.10.2020 Про

*затвердження положення про визнання в КПІ ім. Ігоря Сікорського результатів навчання,
набутих у неформальній/інформальній освіті*

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено: доц. к.т.н. Гераскіним О.А., доц. к.т.н. Реуцьким М.О.

Ухвалено кафедрою електромеханіки факультету електроенерготехніки та автоматики (протокол № 14 від 02.06.2026 р.)

Погоджено навчально-методичною комісією факультету електроенерготехніки та автоматики (протокол № 10 від 26.06.2026 р.)