



## Силабус освітнього компонента

Програма навчальної дисципліни

# Прикладне математичне та фізичне моделювання в електроізоляційній, кабельній та оптоволоконній техніці

### Шифр та назва спеціальності

141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

### Інститут

ІНІ Енергетики, електроніки та електромеханіки

### Освітня програма

Електроенергетика

### Кафедра

Електроізоляційна та кабельна техніка

### Рівень освіти

Магістр

### Тип дисципліни

Спеціальна (фахова), Обов'язкова

### Семестр

2

### Мова викладання

Українська

## Викладачі, розробники



### Щебенюк Леся Артемівна

Lesia.Shchebeniuk@khpri.edu.ua

Кандидат технічних наук, доцент, професор НТУ ХПІ, професор

Кількість публікацій 102, основні курси: Основи кабельної техніки, Прикладне математичне та фізичне моделювання в електроізоляційній, кабельній та оптоволоконній техніці, Надійність та діагностика.

[Детальніше про викладача на сайті кафедри](#)

## Загальна інформація

### Анотація

В рамках курсу "Прикладне математичне та фізичне моделювання в електроізоляційній, кабельній та оптоволоконній техніці" забезпечується надання студентам фундаментальних знань про сучасний рівень вирішення задач прикладного математичного та фізичного моделювання в електроізоляційній, кабельній та оптоволоконній техніці для забезпечення працездатності електроізоляційних, кабельних та оптоволоконних систем і пристроїв у поєднанні з практичною спрямованістю застосування цих знань для забезпечення розвитку електроенергетичних і електромеханічних систем і пристроїв. Досягнення означеної мети ґрунтується на фундаментальності наукового знання про фізико-хімічні процеси, що відбуваються в електроенергетичних і електромеханічних системах і пристроях під впливом постійних і змінних електромагнітних і механічних навантажень, хімічно активних середовищ, використанні цих знань для моделювання кількісних показників працездатності для застосування в конкретному електротехнічному та електроенергетичному обладнанні в заданих умовах експлуатації.

## Мета та цілі дисципліни

Мета - надання фундаментальних знань про сучасний рівень вирішення задач прикладного математичного та фізичного моделювання в електроізоляційній, кабельній та оптоволоконній техніці для забезпечення працездатності електроізоляційних, кабельних та оптоволоконних систем і пристроїв у поєднанні з практичною спрямованістю застосування цих знань для забезпечення розвитку електроенергетичних і електромеханічних систем і пристроїв.

## Формат занять

Лекції, практичні роботи, лабораторні роботи, курсова робота, самостійна робота, консультації. Підсумковий контроль – іспит.

## Компетентності

- K01. Здатність до абстрактного мислення, аналізу і синтезу.
- K02. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.
- K05. Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел.
- K06. Здатність виявляти, ставити та вирішувати проблеми.
- K11. Здатність вирішувати практичні задачі із застосуванням систем автоматизованого проектування і розрахунків (САПР).
- K12. Здатність вирішувати практичні задачі із залученням методів математики, фізики та електротехніки.
- K23 Здатність розробляти прості конструкції електроенергетичних і електротехнічних об'єктів та оцінити механічну міцність розроблених конструкцій.
- K27. Отримання та використання професійних знань та розумінь, пов'язаних з процесами створення і використання безпечних та ефективних електроізоляційних, кабельних та оптоволоконних систем.

## Результати навчання

- ПР05. Знати основи теорії електромагнітного поля, методи розрахунку електричних кіл та уміти використовувати їх для вирішення практичних проблем у професійній діяльності.
- ПР06. Застосовувати прикладне програмне забезпечення, мікроконтролери та мікропроцесорну техніку для вирішення практичних проблем у професійній діяльності.
- ПР07. Здійснювати аналіз процесів в електроенергетичному, електротехнічному та електромеханічному обладнанні, відповідних комплексах і системах.
- ПР10. Знаходити необхідну інформацію в науково-технічній літературі, базах даних та інших джерелах інформації, оцінювати її релевантність та достовірність.
- ПР19. Застосовувати придатні емпіричні і теоретичні методи для зменшення втрат електричної енергії при її виробництві, транспортуванні, розподіленні та використанні.
- ПР20. Вирішувати професійні задачі з проектування, монтажу та експлуатації електроенергетичних, електротехнічних, електромеханічних комплексів та систем.
- ПР26. Знати і розуміти процеси створення і використання безпечних та ефективних електроізоляційних, кабельних та оптоволоконних систем.

## Обсяг дисципліни

Загальний обсяг дисципліни 150 год. (5 кредитів ECTS): лекції – 32 год., лабораторні роботи – 12 год., практичні заняття – 16 год, самостійна робота – 86 год.

## Передумови вивчення дисципліни (пререквізити)

Знання та навички, необхідні для успішного проходження курсу, сформовані при вивченні попередніх дисципліни: "Вища математика", "Фізика діелектриків", "Хімія діелектриків", "Математичне моделювання в електроізоляційній, кабельній та оптоволоконній техніці", "Розрахунок та конструювання електроізоляційних конструкцій", "Кабельна техніка", "Прикладне програмування в електроізоляційній та кабельній техніці".

## Особливості дисципліни, методи та технології навчання

Особливості дисципліни в першу чергу пов'язані з особливостями функціонування електроізоляційних пристроїв в сучасних електроенергетичних системах, які є настільки складні і інтегровані, що аналіз їх надійності як єдиного цілого спеціалісти визнають практично неможливим. Тому загальний підхід до аналізу надійності функціонування цих систем – це розділення на підсистеми: електричні станції, системи генерації, електричні мережі, лінії електропередачі, електроенергетичні системи об'єднані з лініями зв'язку (приклади адекватної оцінки надійності відомі для замкнених систем), підстанції і пункти переключень. В більшості названих підсистем електроізоляційні пристрої є найбільш вразливими елементами, показники надійності яких мають бути серед основних врахованих при аналізі надійності функціонування цих підсистем.

Саме основним методом прикладного моделювання електроізоляційних елементів електроенергетичних підсистем на етапах проектування і конструкторської і технологічної підготовки виробництва присвячено теоретичну складову дисципліни. При цьому на основі теорії подібності складних об'єктів, явищ чи процесів виділено три види: фізичне моделювання, аналогове моделювання, математичне моделювання відповідно до наявних результатів наукових і прикладних досліджень працездатності електроізоляційних, кабельних та оптоволоконних систем і пристроїв у поєднанні з практичною спрямованістю застосування цих знань для забезпечення розвитку електроенергетичних і електромеханічних систем.

На основі цих результатів з використанням діючої нормативної документації базуються лабораторні роботи і індивідуальна курсова робота, тема якої може бути вибрана студентом індивідуально.

## Програма навчальної дисципліни

### Теми лекційних занять

**Тема 1. Вступ. Оновлення електроенергетичних і електромеханічних систем і пристроїв – основний напрям вирішення проблеми зростання експлуатаційних затрат в електроенергетичних системах. Моделювання як метод дослідження складних об'єктів, явищ чи процесів на основі теорії подібності.**

Data Mining – інтелектуальний аналіз даних.

**Тема 2. Основні види моделювання електроенергетичних систем і пристроїв. Аналогове, фізичне, математичне моделювання ефективності роботи**

Роль структурних схем. Поняття системи і її елементів.

**Тема 3. Профілактичний і ремонтний способи експлуатації обладнання електроенергетичних систем. Види відмов і моделювання експлуатаційних затрат.**

Роль нормативної документації.

**Тема 4. Моделювання структури оптоволоконних ліній ближнього і середнього зв'язку за фізичними характеристиками матеріалів оптичного волокна.**

Аналіз вибору коефіцієнтів переломлення світла для матеріалів оптичного волокна в практиці відомих виробників.

**Тема 5. Проблеми сучасних автоматизованих технологічних процесів у кабельному виробництві: необхідність організації і аналізу результатів технологічного контролю в режимі реального часу.**

Особливості виробництва кабельних виробів: гнучкість, матеріалоемність, нерозривність конструкції та технології виготовлення .

**Тема 6. Аналіз результатів моделювання сучасного автоматизованого технологічного процесу нанесення термореактивної поліімідної ізоляції на мідну проволочку.**

Засоби представлення результатів моделювання.

**Тема 7. Фізичне моделювання в електроізоляційній, кабельній та оптоволоконній техніці. Фізичні процеси в конструкціях ізоляції під дією комплексу електромагнітних, теплових і механічних навантажень, які не мають точного математичного опису.**

Моделювання фізично подібної конструкції пристрою.

**Тема 8. Фізичне моделювання систем ізоляції: моделювання конструкції, експлуатаційних факторів, критеріїв відмови.**

Роль нормативної документації.

Тема 9. Сучасні методи ресурсних випробувань високовольтних силових кабелів із зшитою поліетиленовою ізоляцією.

Оброблення, аналіз і використання результатів ресурсних випробувань електричної ізоляції на моделях систем ізоляції.

Тема 10. Двох стадійна модель маршруту сучасного автоматизованого технологічного процесу нанесення термореактивної поліімідної ізоляції на мідну проволочку.

Дослідження впливу поверхні мідної проволочки на електричну міцність емальізоляції.

Тема 11. Аналіз результатів моделювання неруйнівного технологічного контролю дефектності емаль ізоляції на швидкісних емаль агрегатах в режимі on line.

Електричне поле в емальізоляції при динамічних випробуваннях на прохід.

Тема 12. Використання нормативних моделей для прийняття економічно виправданих рішень щодо навантажувальної здатності в/в сил кабелів

Роль умов експлуатації.

Тема 13. Принцип аналогій в моделюванні процесів переносу зарядів і процесу переносу тепла в енергетичних кабелях в стаціонарному тепловому режимі.

Електротеплові схеми заміщення в кабельній техніці.

Тема 14. Моделювання процесів нагрівання і охолодження енергетичних кабелів за допомогою принципу аналогій процесів переносу зарядів і тепла.

Математичні моделі для визначення перевантажувальної спроможності силових кабелів у заданому режимі.

Тема 15. Моделювання електричного поля в ізоляції шляхом оберненого перетворення системи координат.

Моделювання тангенційної складової електричного поля в кабелях з поясною ізоляцією.

Тема 16. Моделювання динаміки зміни електричного поля в емаль ізоляції впродовж маршруту емальювання шляхом оберненого перетворення системи координат.

Фізичні та хімічні процеси при наявності тангенційної складової електричного поля в ізоляції.

## Теми практичних занять

Тема 1. Роль баз даних про спостереження за відмовами електроенергетичних і електромеханічних систем і пристроїв в експлуатації. Загальна класифікація відмов.

Тема 2. Ефективність роботи систем і пристроїв електроенергетики на основі співставлення параметрів надійності в експлуатації, з одного боку, і експлуатаційних затрат з іншого.

Тема 3. Модель параметру потоку відмов силових кабельних ліній середньої напруги на основі бази даних про відмови кабелів в експлуатації.

Тема 4. Особливості схем типових технологічних процесів для виробництва оптичних кабелів.

Тема 5. Засоби представлення результатів спостереження за відмовами. Графічні методи зображення результатів спостережень.

Тема 6. Застосування методу максимальної правдоподібності для визначення емпіричних параметрів моделі потоку відмов.

Тема 7. Моделювання параметрів втрат в системі ізоляції високовольтного кабелю з твердою полімерною ізоляцією.

Тема 8. Підсумкове заняття: аналіз результатів застосування методу максимальної правдоподібності для визначення емпіричних параметрів моделі потоку відмов.

## Теми лабораторних робіт

Лабораторна робота № 1. Аналіз особливостей результатів вимірювань щодо відповідності основним елементам концепції класичних ймовірнісних моделей, за якими створені статистичні оператори інтегрованих пакетів програм. Аналіз статистичної сталості результатів еталонного вимірювання електричного опору  $R$  зразків алюмінієвих провідників однакового номінального перерізу в умовах виробництва.

Лабораторна робота № 2. Фізичне моделювання ізоляції статора асинхронного двигуна для визначення температурного індексу конкретної системи ізоляції за результатами нормативних ресурсних випробувань на основі теорії Арреніуса-Ейринга.

Лабораторна робота № 3: Аналогове моделювання залежності кількості відмов в мережі кабельних ліній середньої напруги заданої довжини за результатами спостережень за відмовами даного типу кабелю.

Лабораторна робота № 4: Математичне моделювання параметрів втрат в системі ізоляції високовольтного силового кабелю з полімерною ізоляцією.

Лабораторна робота № 5: Математичне моделювання теплового навантаження на кабельну систему електропостачання споживача першої категорії (компресорної станції підприємства).

Лабораторна робота № 6: Математичне моделювання форми вирівнюючого конусу в високовольтній кабельній муфті.

Лабораторна робота № 7: Застосування принципу аналогії процесів переносу зарядів і процесу переносу тепла в енергетичних кабелях для моделювання розподілу градієнту теплового поля в елементах конструкції високовольтного силового кабелю із термореактивною полімерною ізоляцією.

Лабораторна робота № 8: Математичне моделювання розвитку відмови складної системи на прикладі відмови косинусного конденсатора.

## Самостійна робота

Самостійна робота включає опрацювання лекційного матеріалу, підготовку до практичних та лабораторних занять, самостійне вивчення тем та питань, які не викладаються на лекційних заняттях та виконання курсової роботи, метою якої є визначення і аналіз результатів одного з видів прикладного моделювання, застосовних в електроізоляційній техніці (фізичного, аналогового, математичного) відповідно до наявних результатів наукових і прикладних досліджень з використанням діючої нормативної документації. Тема КР може бути вибрана студентом індивідуально в процесі виконання практичних і лабораторних робіт.

## Література та навчальні матеріали

Рекомендована основна навчальна література (підручники, навчальні посібники, інші видання).

1. Billinton R., Allan R. Reliability Evaluation of Power Systems. – Plenum Press. – 1987. – ISBN 0-273-08485-2
2. О.В. Кириленко, М.С. Сегеда, О.Ф. Буткевич, Т.А. Мазур. Математичне моделювання в електроенергетиці: підручник. Львів: «Львівська політехніка». – 2013.- 608 с.
3. Л.А.Щебенюк, О.В.Голик. Математичні основи надійності ізоляції електрообладнання. Навчально-методичний посібник – Харків: НТУ «ХПІ». – 2005- 102с.
4. В.М. Турчин. Математична статистика: Навч. посібник для студентів ВУЗ`ів.- К.: Академія, 1999.- 240 с.
5. Паранчук Я.С., Мороз В.І. Алгоритмізація та програмування. MathCAD. Навч. Посібник. – 2012. – 312 с.

Додаткова література

6. A Statistical model model of monitoring of insulation breakdown voltage stability in the process of enameled wires production. Gurin A.G., L. A. Shchebeniuk, Zolotarjov V. V., Antonets S.Yu., Grehko O.M. Electrical engineering & electro mechanics, 2019, no. 1, pp. 46-50.
7. Модель динаміки розвитку деформації при механічних випробуваннях наповнених полімерних матеріалів в умовах кабельного виробництва. В.В. Золотарев, Є.С. Москвітін, М.Б. Зиков, А.А. Шурупова, Л.А. Щебенюк, О.В. Васильєва. – Вістник НТУ «ХПІ». – Харків: НТУ «ХПІ», 2021. – № 2(6)
8. Гурін А.Г., Злотарьов В.М., та ін. Електротехнічні матеріали. Лабораторний практикум для студентів електротехнічних і електроенергетичних спеціальностей. Харків: НТУ «ХПІ», 2010 – 110 с.
9. Probability, computers, and a processing of experimental results. Tutubalin V.N. Uspechi Fizicheskikh Nauk, 1993 Vol. 163, No.7.

## Система оцінювання

### Критерії оцінювання успішності студента та розподіл балів

100% фінальної оцінки студента формується за наступними критеріями:  
25% балів формується за результатами самостійної роботи студента (курсова робота);  
50% балів формується за рахунок виконання лабораторних та практичних робіт;  
25% балів формується за рахунок іспиту. Іспит: 2 теоретичних питання + усна відповідь

### Шкала оцінювання

Сума балів	Національна оцінка	ECTS
90–100	Відмінно	A
82–89	Добре	B
75–81	Добре	C
64–74	Задовільно	D
60–63	Задовільно	E
35–59	Незадовільно (потрібне додаткове вивчення)	FX
1–34	Незадовільно (потрібне повторне вивчення)	F

## Норми академічної етики і політика курсу

Студент повинен дотримуватися «Кодексу етики академічних взаємовідносин та доброчесності НТУ «ХПІ»: виявляти дисциплінованість, вихованість, доброзичливість, чесність, відповідальність. Конфліктні ситуації повинні відкрито обговорюватися в навчальних групах з викладачем, а при неможливості вирішення конфлікту – доводитися до відома співробітників дирекції інституту. Нормативно-правове забезпечення впровадження принципів академічної доброчесності НТУ «ХПІ» розміщено на сайті: <http://blogs.kpi.kharkov.ua/v2/nv/akademichna-dobrochesnist/>

## Погодження

Силабус погоджено

Дата погодження, підпис

Завідувач кафедри  
Олександр КЕССАЄВ

Дата погодження, підпис

Гарант ОП  
Олександр ЛАЗУРЕНКО

Дата погодження, підпис

Гарант ОП  
Ганна БЕЗПРОЗВАННИХ