



Інженерія експерименту в електроніці

Силабус

● Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Другий (освітньо-науковий) - магістр</i>
Галузь знань	<i>15 Автоматизація та приладобудування</i>
Спеціальність	<i>153 Мікро- та наносистемна техніка</i>
Освітня програма	<i>Мікро- та наносистемна техніка</i>
Статус дисципліни	<i>Нормативна</i>
Форма навчання	<i>очна(денна)</i>
Рік підготовки, семестр	<i>2 курс, осінній семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>4 кредити ЕКТС (120 год: лекцій – 36 год, лабораторних – 18, СРС – 66)</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>Іспит, модульна контрольна робота, розрахункова робота</i>
Розклад занять	<i>http://rozklad.kpi.ua/</i>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	<i>Лектор: к.т.н., доцент, Вунтесмері Юрій Володимирович, yv-ee@iit.kpi.ua Практичні: к.т.н., доцент, Вунтесмері Юрій Володимирович, yv-ee@iit.kpi.ua</i>
Розміщення курсу	<i>https://classroom.google.com/</i>

● Програма навчальної дисципліни

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

Дисципліна займає належне місце у структурно-логічній схемі програми підготовки фахівця, та забезпечує підготовку студентів до свідомого планування експерименту та підходів щодо обробки експериментальних даних.

Міждисциплінарні зв'язки:

Програму навчальної дисципліни «Інженерія експерименту» складено відповідно до стандарту вищої освіти підготовки магістрів з галузі знань 15–«Автоматизація та приладобудування» за спеціальністю 153 «Мікро- та наносистемна техніка».

Навчальна дисципліна «Інженерія експерименту» належить до циклу професійної та практичної підготовки магістрів за вибором студентів.

Предметом навчальної дисципліни є результати експериментальних досліджень та методи їх планування та побудови статистичних моделей. Передумовою його вивчення є освоєння дисциплін циклу підготовки бакалаврів за спеціальністю «Мікро- та наносистемна техніка». Даною навчальною дисципліною забезпечуються наступні курси магістерської підготовки та наукові дослідження за темою магістерської дисертації.

Метою дисципліни є формування у студентів здатностей:

- знати сучасні підходи до обробки та аналізу даних, отриманих в результаті експериментальних досліджень в електроніці при вивченні живих та штучних об'єктів, освоєння методів отриманого планування багатofакторного експерименту;
- вміти вибирати необхідні методи дослідження даних експерименту з урахуванням їх переваг та недоліків, адаптувати методи до конкретних задач в практичній діяльності, аналізувати та інтерпретувати отримані дані;
- набути основ моделювання та оптимізації процесів причинно-наслідкові зв'язки в яких невідомі і керуванню такими процесами.
- набути компетенції щодо самостійного здійснення наукових досліджень та отримання нових знань.

Згідно з вимогами програми навчальної дисципліни, студенти в результаті вивчення матеріалів кредитного модуля мають продемонструвати такі **результати навчання**:

знання:

- сучасних підходів до обробки та аналізу даних, отриманих в результаті експериментальних досліджень в електроніці при вивченні живих та штучних об'єктів, освоєних методів отриманого планування багатofакторного експерименту;

уміння:

- вибирати необхідні методи дослідження даних експерименту з урахуванням їх переваг та недоліків, адаптувати методи до конкретних задач в практичній діяльності, аналізувати та інтерпретувати отримані дані;

досвід вірного виконання:

- моделювання та оптимізації процесів причинно-наслідкові зв'язки в яких невідомі і керуванню такими процесами.

Дисципліна формує **загальні та фахові компетентності**:

ЗК1 – Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу;

ФК1 – Здатність ефективно використовувати складне контроль-вимірювальне, технологічне та дослідницьке обладнання при дослідженнях та виробництві матеріалів, компонентів, приладів і пристроїв мікро- та наносистемної техніки різноманітного призначення;

ФК2 – Здатність здійснювати тестування та діагностику приладів та обладнання, а також оброблення і аналіз отриманих результатів;

ФК5 – Здатність аргументувати вибір методів розв'язання складних задач і проблем мікро- та наносистемної техніки, критично оцінювати отримані результати та аргументувати прийняті рішення

ФК9 – Здатність використовувати технічне обладнання й устаткування, системи прийняття рішень, програмні засоби та інструменти для проведення наукового експерименту та обробки результатів експериментальних досліджень;

ФК11 – Здатність до участі у розробці та удосконаленні наукової, проектно-конструкторської, технологічної, метрологічної та організаційно-управлінської документації;

ФК12 – Здатність використовувати інформаційні технології, методи інтелектуалізації та візуалізації, штучного інтелекту, методи машинного навчання, хмарні технології для дослідження та аналізу процесів в мікро- та наносистемній техніці, включаючи електронні біомедичні системи;

ФК13 – Здатність до системного мислення, розв'язання задач розробки, оптимізації та оновлення конструктивних елементів мікроелектроніки та структурних блоків приладів фізичного та біомедичного призначення.

Програмні результати навчання:

ПРН1 – Формулювати і розв'язувати складні інженерні, виробничі та/або наукові задачі під час проектування, виготовлення і дослідження мікро- та наносистемної техніки різноманітного призначення та створення конкурентоспроможних розробок, втілення результатів у бізнес-проектах;

ПРН4 – Застосовувати спеціалізовані концептуальні знання, що включають сучасні наукові здобутки, а також критичне осмислення сучасних проблем у сфері мікро- та наноелектроніки, для розв'язування складних задач професійної діяльності;

ПРН6 – Розробляти вироби та компоненти мікро- та наносистемної техніки, враховуючі вимоги до їх характеристик, технологічні та ресурсні обмеження; використовувати сучасні інструменти автоматизації проектування;

ПРН7 – Розв'язувати задачі синтезу та аналізу приладів та пристроїв мікро- та наносистемної техніки;

ПРН9 – Забезпечувати якість виробництва; обирати технології, що гарантують отримання необхідних характеристик твердотільних пристроїв; застосовувати сучасні методи контролю мікро- та наносистемної техніки;

ПРН11 – Досліджувати процеси у мікро- та наноелектронних системах, приладах й компонентах з використанням сучасних експериментальних методів та обладнання, здійснювати статистичну обробку та аналіз результатів експериментів;

ПРН13 – Керувати складними робочими процесами у сфері виробництва та/або досліджень мікро- та наноелектронних систем, об'єктивно оцінювати результати діяльності колективу та окремих працівників, визначати заходи щодо покращення результатів діяльності;

ПРН16 – Планувати і виконувати наукові і прикладні дослідження у сфері мікро- та наноелектроніки, обирати ефективні методи досліджень, аргументувати висновки, презентувати результати досліджень фахівцям і нефахівцям;

ПРН18 – Досліджувати нові та використовувати існуючі методи аналізу, синтезу і ідентифікації характеристик і параметрів засобів мікро- та наносистемної техніки, біомедичних електронних приладів і систем;

2. Пререквізити та постреквізити дисципліни

Для засвоєння дисципліни щодо обробки експериментальних даних, побудови статистичних моделей та планування експерименту необхідними є здатності застосування знань та практичних навичок щодо теорії імовірності та математичної статистики, обробки масивів даних, розуміння методів та засобів експериментальних досліджень в електроніці. Дисципліна «Інженерія експерименту» забезпечується дисциплінами бакалаврської підготовки «Вища математика», «Основи техніки вимірювань», «Схемотехніка», «Теорія сигналів», «Імовірнісні основи обробки даних».

3. Зміст навчальної дисципліни

Перелік тем навчальної дисципліни:

Тема 1. Необхідність планування експерименту у електроніці та основні поняття статистики.

Тема 2. Введення у факторні експерименти

Тема 3. Кореляційний, коваріаційний і регресійний аналізи при обробці експериментальних даних досліджень.

Тема 4. Застосування контрольних карт у електроніці.

Тема 5. Повний і дробний факторний експеримент

Тема 6. Оптимізація процесів у електроніці методом багатофакторного експерименту.

Тема 7. Дослідження електронних приладів на основі багатофакторних експериментів.

Тема 8. Дослідження параметричної недійсності електронної апаратури і побудови допусків за допомогою факторних експериментів.

4. Навчальні матеріали та ресурси

Базова література:

1. Синькоп, Ю.С. Біометрія / Ю.С. Синькоп, О.П. Мінцер, К.В. Ружицька, В.Б. Мілін. – к. : НВФ «March-A», 2008. – 332 с.
2. Ціделко В.Д. Невизначеність вимірювання. Обробка даних та подання результату вимірювання: Монографія / В.Д. Ціделко, Н.А. Яремчук. – К.: ІВЦ “Видавництво «Політехніка»”, 2002. –176 с.
3. Бабак В.П. Статистична обробка даних: Монографія. / В.П.Бабак, А.Я.Білецький, П.О.Приставка, О.П. Приставка – К.: МІВВЦ, 2001. – 388 с.
4. *Монтгомери, Д.К. Планирование эксперимента и анализ данных / Д.К. Монтгомери. – Л. : Судостроение, 1980. – 75 с.*

Допоміжна література:

1. Точність (правильність і прецизійність) методів та результатів вимірювання. Частина 1 . Основні положення та визначення (ГОСТ ИСО 5725-1–2003, IDT): ДСТУ ГОСТ ИСО 5725-1:2005. – [чин. від 2007-07-01]. – К.: Держспоживстандарт України, 2007. – 23 с.
2. Точність (правильність і прецизійність) методів та результатів вимірювання. Частина 2. Основний метод визначення повторюваності і відтворюваності стандартного методу вимірювання (ГОСТ ИСО 5725-22003, IDT) : ДСТУ ГОСТ ИСО 5725-2:2005. – [чин. від 2006-07-01]. – К.: Держспоживстандарт України, 2006. – 59 с.
3. Основні одиниці фізичних величин міжнародної системи одиниць. Основні положення, назви та позначення: ДСТУ 3651.0-9 .– [чин. від 2010-01-01]. – К.: Держстандарт України, 1998. –9 с.
4. Статистичне опрацювання даних. Частина 7. Медіана. Оцінювання і довірчі інтервали: ДСТУ ISO 16269-7:2006.– [чин. від 200009-25].– К.: Держспоживстандарт України, 2008. – 19 с.
5. *Грін Г. В. Економетричний аналіз / Г. В. Грін –К.: Основи, 2005. –1198с.*
6. *Антонов, М.Ю. Математическая обработка и анализ методикобиологических данных / М.Ю.Антонов. – К., 2006. – 558 с.*

7. Тюрини, Ю.Н. Статистический анализ данных на компьютере / Ю.Н. Тюрин, А.А. Макаров. – М. : ИНФА, 1998. – 528 с.
8. Егоров, А.Е. Исследование устройств и систем автоматики методом планирования эксперимента / А.Е. Егоров, Г.Н. Азаров, А.В. Коваль. – Х. : издательство при Харьковском госуниверситете «Высшая школа», 1987. – 390 с.
9. Болл, Р.М. Руководство по биометрии / Р.М.Болл, Дж.Х.Коннел, Ш. Пакантини, Н.К. Рахта, Э.У. Сеньор. – М. : Техносфера, 2007. – 332 с.
10. Дружинин, Г.В. Надежность автоматизированных систем, 1977, с. 535
11. Пугачев, В.С. Теория вероятностей и математическая статистика / В.С. Пугачев. – М.: Наука, 1979. – 496 с.
12. Планирование эксперимента в исследованиях технологических процессов под. Редакцией Э.К. Лецкого. – М. : Мир, 1977. – 552 с.
13. Мінцер, О.П. Обробка клінічних та експериментальних даних в медицині / О.П., Мінцер, Ю.В. Вороненко, В.В. Власов. – К. : «Вища школа», 2003. – 345 с.
14. Полохинский, Н.А. Математические методы в биологии / Н.А. Полохинский. – М. : Изд-во МГУ. 1978. – 265 с.
15. Полохинський, Н.А. Биометрия / Н.А. Полохинський. – М. : Изд-во МГУ, 1970. – 367 с.
16. Петренко, А.И. Автоматизация проектирования технологических процессов производства БИС / А.И. Петренко, Ю.С. Синекон, Э. Бонат, М.Б, Погребинский, В.Н. Шеткин. – К. : УМВ ВО, 1988. – 186 с.
17. Иванов, Ю.И. Обработка результатов медико-биологических исследований / Ю.И. Иванов, О.Н. Погорелюк. – М. : Медицина, 1990. – 218 с.

Література може бути знайдена в бібліотеці та мережі інтернет.

5. Методика опанування навчальної дисципліни

Лекційні заняття.

Тема 1. Необхідність планування експерименту у біології та електроніці. Основні поняття статистики.

Лекція 1. Причина варіювання результатів спостережень. Форма обліку результатів експериментальних спостережень. Способи угруповання первинних експериментальних даних: таблиці, статистичні ряди, варіаційні ряди. Техніка побудови варіаційних рядів. Графіки варіаційних рядів: полігон частот, гістограма, комуляційні ряди. Основні принципи планування експерименту: реплікація й рандомізація. Приклади планування експерименту.

Лекція 2. Завдання й методи математичної статистики. Вибірка й вибіркові розподіли. Статистичне оцінювання параметрів розподілу. Найбільш важливі розподіли, які застосовуються при плануванні експерименту. Точкове і інтервальне оцінювання невідомих параметрів. Перевірка статистичних гіпотез: відносно середніх, відносно дисперсій, законів розподілу. Імовірність помилки 1-го й 2-го типів. Приклади.

Тема 2. Введення в факторні експерименти.

Лекція 3. Елементарні визначення і принципи. Переваги факторних експериментів. Однофакторний дисперсійний аналіз. Модель постійних ефектів: статичний аналіз; оцінка параметрів моделі; незбалансований випадок. Потужність дисперсійного аналізу. Підбір кривої відгуку при одно факторному аналізі.

Лекція 4. Двох факторний дисперсійний аналіз. Загальний випадок факторного експерименту – модель трьохфазного дисперсійного аналізу. Приклади. Завдання.

Тема 3. Кореляційний, коваріаційний і регресійний аналіз при обробці експериментальних даних досліджень

Лекція 5. Функціональна та кореляційна залежності. Коефіцієнт кореляції і його обчислення. Мінімальний обсяг вибору для точної оцінки коефіцієнта кореляції. Кореляційне відношення. Непараметричні показники зв'язку. Рангова кореляція. Коефіцієнт кореляції знаків. Множинна кореляція.

Лекція 6. Аналіз кореляційних зв'язків за допомогою комп'ютерного моделювання. Кореляційні зв'язки між виробничими похибками параметрів елементів функціональних вузлів. Однофакторний аналіз із однією супутньою змінною. Коваріаційні моделі. Поняття регресії. Лінійна регресія. Нелінійна регресія. Оцінка вірогідності регресії. Множинна лінійна регресія. Інтервальне оцінювання при простій лінійній регресії. Приклади.

Тема 4. Застосування контрольних карт у електроніці

Лекція 7. Застосування контрольних карт для оцінки чисельних показників стану електронних об'єктів і технологічних процесів. Контрольні карти індивідуальних, середніх значень, розмахів. Мультиваріаційні контрольні карти. Аналіз роботи контрольних карт у електроніці за допомогою комп'ютерного моделювання. Приклади, завдання.

Тема 5. Повний і дробовий факторний експеримент.

Лекція 8. Багатофакторний експеримент. Формулювання мети експерименту й вибір відгуків. Вибір і кодування факторів. Вплив інтервалу варіювання на помилку апроксимації. Організація

варіювання факторів. Теоретична поліноміальна модель і рівняння регресії. Повний факторний експеримент і матриця планування. Дробовий факторний експеримент.

Лекція 9. Планування дробових факторних експериментів (ДФЕ). Побудови планів ДФЕ, генеруючи співвідношення й визначальний контраст. Явища змішування оцінок β -коефіцієнтів і його аналіз. Структура і мета обробки даних. Алгоритм обробки: обчислення порядкових середніх і дисперсій.

Лекція 10. Виключення грубих помилок; перевірка однорідності порядкових дисперсій; дисперсія відтворюваності; обчислення β -коефіцієнтів і перевірка їх статичної значимості; перевірка адекватності моделі за критерієм Фішера; перевірка адекватності моделі при $n > 1$ і $n=1$; перевірка адекватності моделі за даними технічного завдання. Точність емпіричної моделі: коваріація β -коефіцієнтів; нерівно точкові виміри; рівноточкові виміри. Інтерпретація отриманих даних. Приклади.

Тема 6. Оптимізація обладнань і систем методом багатфакторного експерименту.

Лекція 11. Особливості експериментальних методів оптимізації. Факторний простір. Вибір критерію оптимізації. Оптимізація методом градієнта. Симплексний метод. Метод крутого сходження, алгоритм методу. Приклад оптимізації методом крутого сходження підсилювача низької частоти.

Лекція 12. Дослідження відгуку в області екстремуму: ортогональне планування другого порядку; обчислення β -коефіцієнтів квадратичної моделі; статичний аналіз рівняння регресії другого порядку. Канонічна форма рівняння другого порядку. Оптимізація відгуку методом диференційного обчислення. Метод невизначених множинної Лагранжа. Приклади.

Тема 7. Дослідження електронних приладів на основі багаторівневих повних факторних експериментів.

Лекція 13. Підсилювач низької частоти. Мета експерименту. Теоретична модель. Вибір відкгуів і факторів. Апаратурне й метрологічне забезпечення. Вибір інтервалів варіювання й кодування факторів. Планування й проведення експерименту. Обробка результатів експерименту. Перевірка статистичної значимості коефіцієнтів і адекватності моделі. Інтерпретація результатів експериментів. Аналіз основної похибки.

Лекція 14. Активний RC-фільтр. Теоретична модель фільтра метрологічне забезпечення та схема експериментальної установки. Вибір інтервалів варіювання і кодування факторів. Обробка даних експерименту й одержання моделі. Порівняння моделей і інтерпретація результатів експерименту. Аналіз чутливості вихідних параметрів фільтра.

Тема 8. Дослідження параметричної надійності електронної системи апаратури і побудови допусків за допомогою факторних експериментів.

Лекція 15. Основні терміни і визначення : методи планування випробувань. Основні кількісні показники надійності і їх визначення за даними експерименту.

Лекція 16. Закони розподілу відмов і їх основні характеристики. Показники надійності і їх визначення заданими експерименту.

Лекція 17. Завдання побудови й дослідження допусків в електроніці, забезпечення взаємозамінності при складанні електронної апаратури. Розрахунки надійності інтегральних схем по поступових відмовах.

Лекція 18. Причинний (фізичний) методи оцінки надійності. Оцінка точності та параметричної надійності функціонального блоку.

Лабораторні роботи (комп'ютерний практикум)

- 1. Аналіз точності при конструюванні та виробництві виробів електроніки за допомогою статистичних методів*
- 2. Дослідження критеріїв оцінки і розрахунок відтворюваності виробів електроніки*
- 3. Дослідження методів контролю та управління біотехнологічними процесами за допомогою контрольних карт*
- 4. Побудова математичних моделей біотехнологічних процесів методом найменших квадратів (МНК)*
- 5. Побудова математичних моделей в електроніці за допомогою повного факторного експерименту(ПФЕ)*
- 6. Побудова математичних моделей за допомогою дробного факторного експерименту (ДФЕ)*

Модульні контрольні роботи

Контрольна робота №1 за матеріалами розділів 1-4. Методологія проведення експерименту. Реплікація, рандомізація. Відзначення головних ефектів і ефектів взаємодії дії. Фактори і параметри оптимізації. Методи оптимізації процесів. Застосування контрольних карт в електроніці.

Контрольна робота №2 за матеріалами розділів 5-10 ПФЕ і ДФЕ. Дослідження відгуку в екстремальній області. Ортогональне планування другого порядку. Дослідження електронних упорядкувань за допомогою ПФУ і ДФЕ.

Розрахункові роботи

РР №1 – Оцінка параметрів розподілу різними методами за масивом експериментальних даних. Порівняння властивостей методів оцінювання.

РР №2 - За допомогою однофакторного дисперсійного аналізу визначити наявність впливу фактора на результати дослідів.

6. Самостійна робота

В дисципліні передбачені такі види самостійної роботи:

- підготовка до аудиторних занять -- протягом семестру,*
- більш глибоке опанування навчальних матеріалів -- протягом всього періоду вивчення дисципліни.*

● Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни

Система вимог до здобувачів вищої освіти:

- правила відвідування занять: відвідування всіх занять є обов'язковим;**

- правила призначення заохочувальних балів: за виконання додаткових завдань нараховуються заохочувальні бали;
- політика дедлайнів та перескладань: відповідно до нормативних документів КПІ ім. Ігоря Сікорського;
- політика щодо академічної доброчесності: відповідно до нормативних документів КПІ ім. Ігоря Сікорського;
- використання змішаного навчання: лекційний матеріал опановується здобувачами самостійно з використання відеозаписів лекцій. Здобувачі можуть опанувати матеріал самостійно у власному режимі з виконанням всіх обов'язкових завдань, з використанням наявних онлайн-ресурсів за погодженням з викладачем і перезарахувати результати навчання;
- правила отримання оцінок за виконання лабораторних робіт: виконується на заняттях шляхом виконання експрес-контрольної роботи;
- політика дедлайнів та перескладань: відповідно до нормативних документів КПІ ім. Ігоря Сікорського;
- політика академічної доброчесності: Дотримання академічної доброчесності здобувачами передбачає, зокрема: самостійне виконання навчальних завдань, завдань поточного та підсумкового контролю результатів навчання (для осіб з особливими освітніми потребами ця вимога застосовується з урахуванням їхніх індивідуальних потреб і можливостей); посилання на джерела інформації у разі використання ідей, розробок, тверджень, відомостей; дотримання норм законодавства про авторське право і суміжні права; надання достовірної інформації про результати власної (наукової, творчої) діяльності, використанні методики досліджень і джерела інформації.

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

Поточний:

Для навчання у очному режимі:

Виконання лабораторних робіт	5	6	30
Виконання РР	5	2	10
Виконання МКР	10	2	20
Відповідь на екзамені	40	1	40

Загалом			100 балів

Для навчання у дистанційному режимі:

Виконання лабораторних робіт	10	6	60
Виконання РР	10	2	20
Виконання МКР	10	2	20

Загалом			100 балів

Календарний контроль: проводиться двічі на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог силябусу.

Семестровий контроль: іспит

<i>Обов'язкова умова допуску до семестрового контролю</i>		<i>Критерій</i>
<i>1</i>	<i>Виконання Лабораторних робіт №1-4</i>	<i>Позитивна оцінка</i>

Вимоги до здачі лабораторних:

Л/р №1 -- перший тиждень жовтня,

Л/р №2-3 -- відповідно до розкладу, до першої атестації,

Л/р №4-6 -- відповідно до розкладу, до другої атестації.

Атестацію отримують ті студенти, які на час атестації (останній термін визначається викладачем) мають мінімум 50% від максимально можливої кількості балів. Максимально можлива кількість балів, яку треба набрати для атестації, оголошується викладачем.

Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою:

<i>Кількість балів</i>	<i>Оцінка</i>
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

9. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

- перелік питань, які виносяться на семестровий контроль: відповідно до тематик лекційних занять*

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено доцент каф. ЕІ, к.т.н., доцент, Вунтесмері Юрій Володимирович

Ухвалено кафедрою ЕІ (протокол № 31 від 21 червня 2023р.)

Погоджено Методичною комісією факультету електроніки (протокол № 06/23 від 29.06.2023р.)