



ПРОЄКТУВАННЯ ОПТИЧНИХ СИСТЕМ

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Другий (магістерський)</i>
Галузь знань	<i>15 Автоматизація та приладобудування</i>
Спеціальність	<i>151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології</i>
Освітня програма	<i>Комп'ютерно-інтегровані системи та технології в приладобудуванні</i>
Статус дисципліни	<i>Вибіркова</i>
Форма навчання	<i>Очна(денна)</i>
Рік підготовки, семестр	<i>1, весняний семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>4 кр. (120 год.)</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>Екзамен/поточний контроль, МКР</i>
Розклад занять	<i>Згідно розкладу rozklad.kpi.ua</i>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	<i>Лектор: проф., д.т.н. Чиж Ігор Генріхович, i.g.chizh@gmail.com Практичні д.т.н., проф, Чиж Ігор Генріхович</i>
Розміщення курсу	<i>Посилання на дистанційний ресурс (Moodle - Платформа Сікорський, Кампус КПІ) https://do.ipk.kpi.ua/course/view.php?id=3339</i>

Програма навчальної дисципліни

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

Дисципліна «Проектування оптичних систем» призначена для підготовки спеціалістів, здатних створювати оптичні системи для нових оптичних та оптико-електронних вимірювальних, військових, медичних, технологічних, наукових та інших приладів. Оптична система виконує основні функції оптичних приладів, тому розробник оптичних систем є одним з ключових спеціалістів, задіяних в процесах створення, виготовлення, експлуатації,

ремонті технічних засобів та систем, де функціонально використовується оптичне випромінювання. Оптичні системи сучасних оптико-електронних комплексів інтегруються з електронною мікропроцесорною і комп'ютерною технікою, де вони є джерелами первинної інформації. Тому функціональні можливості цих комплексів значною мірою залежать від технічних можливостей їх оптичних систем. Поява нових базових елементів, нових оптичних матеріалів, нових методів, методик та інструментарію проектування оптичних систем вимагає нового, більш високого рівня підготовки спеціалістів в цій галузі. Саме на це і спрямована дана дисципліна.

Метою дисципліни є поглиблення у студентів здатностей:

- ЗК01. Здатність проведення досліджень на відповідному рівні;
- ЗК03. Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу;
- СК2. Здатність проектувати та впроваджувати високонадійні системи автоматизації та їх прикладне програмне забезпечення, для реалізації функцій управління та опрацювання інформації, здійснювати захист прав інтелектуальної власності на нові проектні та інженерні рішення;
- СК 9. Здатність використовувати поглиблені знання спеціального математичного інструментарію для моделювання, аналізу та ідентифікації приладів і систем автоматизації, та процесів, що в них протікають;

а також формування здатностей:

- проектувати оптичні системи згідно логіки та порядку, встановленому державними та галузевими стандартами;
- використовувати сучасну теорію оптичних систем, практику, методи і автоматизовані комп'ютерні програми, які створені і призначені для проектування оптичних систем оптичних та оптико-електронних приладів і систем.

Основні завдання дисципліни

По завершенню вивчення дисципліни студенти повинні продемонструвати такі результати навчання:

- РН03. Застосовувати спеціалізовані концептуальні знання, що включають сучасні наукові здобутки, а також критичне осмислення сучасних проблем у сфері автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій для розв'язування складних задач професійної діяльності;
- РН 13. Використовувати спеціальний математичний інструментарій для моделювання, аналізу та ідентифікації приладів і систем автоматизації, та процесів, що в них протікають;

та мати такі

ЗНАННЯ: логіки та порядку виконання головних етапів проектування; методів призначення допусків на відхилення значень конструктивних параметрів оптичної

системи від їх номінальних значень; правил складання конструкторської документації до проекту оптичної системи.

УМІННЯ: складати технічне завдання на проектування оптичної системи, застосовувати методи структурного та параметричного синтезу оптичної системи з структурною та параметричною оптимізацією системи, користуватися методами композиції та методами із теорії аберацій 3-го степеневого порядку, використовувати сучасні комп'ютерні програми для автоматизації процедур параметричного синтезу, оптимізації конструктивних параметрів та для розрахунків допустимих відхилень конструктивних параметрів оптичної системи від номінальних значень, складати згідно міжнародних стандартів оптичну схему та робочу конструкторську документацію на оптичні елементи.

2 Пререквізити дисципліни

Вивчення дисципліни базується на знаннях отриманих на попередньому рівні вищої освіти.

У подальшому знання та вміння, одержані при вивченні цієї дисципліни, використовуються у наукових дослідженнях за темою магістерської дисертації та при виконанні випускної кваліфікаційної роботи.

3. Зміст навчальної дисципліни

Розділ 1. Загальні відомості про проектування технічних засобів та проектування оптичних приладів. Технічне завдання на проектування оптичної системи. Технічна пропозиція.

Розділ 2. Ескізне проектування оптичної системи
Тема 2.1 Структурний синтез оптичної системи
Тема 2.2 Розрахунки оптичної системи на стадії ескізного проектування

Розділ 3. Параметричний синтез оптичної системи
Тема 3.1 Суть параметричного синтезу оптичної системи
Тема 3.2 Параметричний синтез ОС методом композиції із поверхонь, що мають відомі властивості
Тема 3.3 Параметричний синтез ОС на базі теорії аберації 3-го порядку
Тема 3.4 Методи синтезу типових лінзових компонентів

Розділ 4. Оптимізація конструктивних параметрів оптичної системи

Розділ 5. Визначення допусків на конструктивні параметри ОС, перевірка технологічності оптичної системи

Розділ 6. Конструкторська документація технічного проекту ОС

4. Навчальні матеріали та ресурси

Базова

1. Теорія оптичних систем : підручник / І. Г. Чиж. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2022. – 426 с. <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/46029>
2. Проектування оптичних систем. Конспект лекцій: навчальний посібник / І.Г. Чиж.– Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 256 с.

Додаткова

3. ДСТУ 2756-94 Геометрична оптика. Терміни, визначення та літерні позначення основних величин.
4. ДСТУ ISO 10110-1:2018 (ISO 10110-1:2006, IDT).
5. Програма ZEMAX комп'ютерного аналізу, оптимізації та розрахунків допусків на конструктивні параметри оптичних систем.
6. Програма ASOC комп'ютерного синтезу лінзових компонентів оптичних систем.

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни

Основні форми навчання - лекції, практичні заняття та самостійна робота студентів. Самостійна робота студентів передбачає закріплення знань за матеріалами лекцій та їх поглиблення, підготовка до виконання модульної контрольної роботи, а також самостійне виконання індивідуальних завдань за темами практичних занять.

Лекційні заняття:

Розділ 1. Загальні відомості про проектування технічних засобів та проектування оптичних приладів

Лекція 1 Проект. Проектування оптичних приладів. Особливості проектування оптичних систем оптичних приладів. Порядок проектування оптичних приладів, що встановлений державними стандартами.

Лекція 2 Науково-дослідна робота (НДР). Дослідно-конструкторська робота (ДКР). Порядок проведення НДР та ДКР. Місце проектування оптичної системи при проведенні НДР та ДКР на розробку оптичного приладу. Логічна схема проектування оптичної системи оптичного приладу.

Лекція 3 Технічне завдання на проектування оптичної системи. Склад технічного завдання. Загальні рекомендації до складання технічного завдання.

Розділ 2. Ескізне проектування оптичної системи

Тема 2.1 Структурний синтез оптичної системи

Лекція 4 Про структурний синтез оптичної системи. Дивергенція . Трансформація. Конвергенція. Методи пошуку існуючих варіантів структури оптичних систем. Методи пошуку нових структур оптичної системи. Метод мозкового штурму. Метод аналогій. Морфологічний метод.

Лекція 5 Структурна оптимізація оптичної системи. Методи вибору структури оптичної системи – по домінуючому показнику, диференційний метод, багатокритеріальний метод експертних оцінок.

Тема 2.2 Розрахунки оптичної системи на стадії ескізного проектування

Лекція 6 Габаритний та енергетичний розрахунки на стадії ескізного проектування. Габаритна оптична схема.

Розділ 3. Параметричний синтез оптичної систем

Тема 3.1 Суть параметричного синтезу оптичної системи

Лекція 7 Параметри та характеристики якості оптичного зображення, які використовуються при параметричному синтезі оптичної системи. Про параметричний синтез оптичної системи. Головні процедури параметричного синтезу оптичної системи. Вихідні дані для параметричного синтезу ОС. Зовнішні характеристики та параметри оптичних систем.

Тема 3.2 Параметричний синтез ОС методом композиції із поверхонь, що мають відомі властивості

Лекція 8 Параметричний синтез ОС методом композиції із поверхонь, що мають відомі властивості систем. Композиція оптичної системи із поверхонь з відомими абераційними властивостями. Анабераційні поверхні, що відповідають умовам безабераційного зображення осьової точки. Синтез анабераційних лінз, дзеркал, систем дзеркал. Умови анабераційного зображення відрізка, умова ізопланатизма.

Лекція 9 Апланатичні поверхні. Синтез оптичних систем з апланатичними поверхнями. Анастигматичні поверхні. Синтез анастигматичних лінз і лінзових систем.

Лекція 10 Особливості складання ОС невеликої світлосили з поверхонь при вимозі великого кута поля зору. Симетричні та пропорційні системи. виправлення кривизни поля за допомогою спеціальних лінз.

Тема 3.3 Параметричний синтез ОС на базі теорії аберації 3-го порядку

Лекція 11 Про метод параметричного синтезу оптичних систем на базі теорії аберації 3-го степеневого порядку. Підготовка даних до параметричного синтезу.

Лекція 12 Про параметри P, W, C, π оптичної системи та її компонентів. Суми Зейделя і хроматичні суми Оптичної системи з тонких компонентів. Алгебраїчний метод синтезу оптичних систем на базі теорії аберацій 3-го степеневого порядку. Ахроматизація оптичних систем.

Лекція 13 Теорія Г.Г.Слюсарєва про основні параметри оптичної системи. Зв'язок між поточними і основними параметрами оптичної системи.

Тема 3.4 Методи синтезу типових лінзових компонентів

Лекція 14 Параметричний синтез однолінзового компонента. Параметричний синтез дволінзового склеєного компонента при наперед визначеній парі оптичних матеріалів.

Лекція 15 Параметричний синтез дволінзового склеєного компонента при вільному виборі будь-якої пари оптичних матеріалів. Програма ASOC для параметричного синтезу дволінзових компонентів.

Розділ 4. Оптимізація конструктивних параметрів оптичної системи

Лекція 16 Сутність параметричної оптимізації ОС. Вибір функцій, що коригуються. Цільова функція. Вибір корекційних параметрів. Обмеження при оптимізації. Параметрична оптимізація, як мінімізація цільової функції при обмеженнях.

Розділ 5. Визначення допусків на конструктивні параметри ОС, перевірка технологічності оптичної системи

Лекція 17 Відхилення конструктивних параметрів ОС від їх номінальних значень як результат технологічних похибок оптичного виробництва. Допуски на залишкові аберації типових ОС. Методи призначення допусків на конструктивні параметри ОС

Розділ 6. Конструкторська документація технічного проєкту ОС

Лекція 18 . Оптична схема. Оптичний випуск. Робочі креслення оптичних деталей. Пояснювальна записка.

5.2. Практичні заняття (ПЗ) аудиторні

ПЗ-1 Складання Технічного завдання на проєктування оптичних систем.

ПЗ-2 Пошук варіантів оптичної системи зорової труби.

ПЗ-3 Структурна оптимізація оптичної системи.

ПЗ-4 Відтворення параметрів якості зображень RMS_r , числа Штреля , RMS_w в ZEMAX.

ПЗ-5 Відтворення характеристик якості зображень ФРТ, ФКЕ, МПФ в ZEMAX.

ПЗ-6 Параметричний синтез лінз і систем із анабераційними поверхнями.

ПЗ-7 Параметричний синтез анабераційних дзеркальних систем.

ПЗ-8 Параметричний синтез апланатичних лінз та систем для збільшення відносного отвору

ПЗ-9 Параметричний синтез анастигматичних лінз і систем

ПЗ-10 Підготовка оптичної системи до складання абераційних рівнянь

ПЗ-11 Складання і розв'язання абераційних рівнянь

ПЗ-12 Перехід від поточних P , W до основних параметрів P^* , W^* .

ПЗ-13 Параметричний синтез однолінзового компонента

ПЗ-14 Параметричний синтез дволінзових компонентів. Синтез дволінзових компонентів за допомогою програми ASOC

ПЗ-15 Оптимізація оптичних систем за допомогою програми ZEMAX

ПЗ-16 Розрахунки допусків на конструктивні параметри ОС за допомогою програми ZEMAX

ПЗ-17 Кресленики до проекту оптичних систем згідно правил і вимог міжнародного стандарту ISO 10100

ПЗ-18 Модульна контрольна робота

Індивідуальні завдання

Індивідуальні завдання полягають у накопиченні та систематизації знань за тематикою навчальної дисципліни. Модульна контрольна робота передбачає перевірку базових знань за п'ятьма лекційними розділами, а саме: загальні відомості про проектування технічних засобів, ескізне проектування оптичних систем, параметричний синтез оптичних систем, оптимізація конструктивних параметрів оптичних систем, визначення допусків на конструктивні параметри оптичних систем.

6. Самостійна робота студента

Самостійною роботою студентів є виконання окремих процедур проектування оптичних систем відповідно до тем практичних занять. Мета – поглиблене вивчення лекційного матеріалу, придбання навичок та умінь виконання найбільш важливих етапів проектування оптичних систем оптичних приладів – структурного та параметричного синтезу систем, перевірки систем на технологічність, виготовлення конструкторської документації на оптичну систему.

Типові оптичні системи для виконання самостійної роботи:

- 1. Візуальна телескопічна система для роботи в горизонтальній площині.*
- 2. Візуальна телескопічна система для роботи об'єктів у зеніті.*
- 4. Дзеркально-лінзовий телескоп.*
- 5. Об'єктив інфрачервоний.*
- 6. Проекційна система для формування зображення світлодіодного цифрового індикатора.*

Кожен студент отримує індивідуальне завдання на виконання самостійної роботи.

Задачі завдання :

- 1. Складання технічного завдання на проектування оптичної системи*
- 2. Обґрунтований вибір структури оптичної системи.*
- 3. Синтез анабераційної лінзи.*
- 4. Синтез анабераційних дводзеркальних об'єктивів*
- 5. Синтез апланатичної лінзи*
- 6. Синтез анастигматичної лінзи*
- 7. Синтез дволінзової склейки*
- 8. Параметрична оптимізація синтезованих компонентів оптичної системи.*

9. Обґрунтування допусків на конструктивні параметри, допусків на децентрацію поверхонь, призначення показників якості оптичних матеріалів та оптичних поверхонь.

Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Перед студентом ставляться наступні вимоги:

- **правила відвідування занять:** Zoom (посилання на конференцію)
- <https://us04web.zoom.us/j/4779159933?pwd=ZHFtRUdlMGJHYVdnam1mZTduR2wzUT09>
- **правила поведінки на заняттях:**
 - забороняється займатися будь-якою діяльністю, яка прямо не стосується дисципліни;
 - дозволяється використання засобів зв'язку для пошуку необхідної для виконання завдань інформації в інтернеті;
 - забороняється будь-яким чином зривати проведення занять;
- **правила виконання індивідуальних завдань за темами практичних занять:**
 - Індивідуальні завдання полягають у накопиченні та систематизації знань за тематикою навчальної дисципліни.
 - захисти індивідуальних завдань здійснюються на практичних заняттях (комп'ютерних практикумах), попередньо студенти надсилають оформлене завдання на електронну адресу викладача, або в месенджер Telegram
 - у окремих випадках (за наявності документально підтверджених у окремих випадках (за наявності документально підтверджених вагомих причин) допускається можливість індивідуального захисту;
- **правила призначення заохочувальних та штрафних балів:**
 - максимальна кількість заохочувальних та штрафних балів визначається відповідно до Положення про систему оцінювання результатів навчання в КПІ ім. Ігоря Сікорського, Положення про поточний, календарний та семестровий контроль результатів навчання в КПІ ім. Ігоря Сікорського, а також інших Положень та рекомендацій, які діють в КПІ ім. Ігоря Сікорського;
- **політика дедлайнів та перескладань:**
 - перескладання будь-яких контрольних заходів передбачено тільки за наявності документально підтверджених вагомих причин;
- **політика округлення рейтингових балів:**
 - округлення рейтингового балу відбувається до цілого числа;
 - при округленні до цілого числа всі цифри, що йдуть за наступним розрядом замінюються нулями;
 - якщо цифра розряду, що залишився, 5 або більша, то ціле число збільшується на одиницю, а розряд прирівнюється до нуля;
 - якщо цифра розряду, що залишився, менша за 5, то ціле число не змінюється, а розряд прирівнюється до нуля.
- **політика оцінювання контрольних заходів:**
 - оцінювання контрольних заходів відбувається відповідно до Положення про систему оцінювання результатів навчання в КПІ ім. Ігоря Сікорського,

Положення про поточний, календарний та семестровий контролі результатів навчання в КПІ ім. Ігоря Сікорського, а також інших Положень та рекомендацій, які діють в КПІ ім. Ігоря Сікорського;

- нижня межа позитивного оцінювання кожного контрольного заходу має бути не менше 60% від балів, визначених для цього контрольного заходу;
- негативний результат оцінюється в 0 балів.

Академічна доброчесність

Політика та принципи академічної доброчесності визначені у розділі 3 Кодексу честі КПІ ім. Ігоря Сікорського. Детальніше: <https://kpi.ua/code>.

Норми етичної поведінки

Норми етичної поведінки студентів і працівників визначені у розділі 2 Кодексу честі КПІ ім. Ігоря Сікорського. Детальніше: <https://kpi.ua/code>.

Оскарження результатів контрольних заходів

Студенти мають право підняти будь-яке питання, яке стосується процедури проведення або оцінювання контрольних заходів та очікувати, що воно буде розглянуто комісією.

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

Поточний контроль:

№	Назва контрольного заходу	Кількість	Ваговий бал	Усього
1	Виконання індивідуальних завдань за темами практичних занять (відповідно до п.5 «Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)» силабусу)	9	5	45
2	Виконання модульної контрольної роботи (відповідно до п.5 «Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)» силабусу)	1	15	15
Усього:				60

Шкала оцінювання індивідуальних завдань:

- повністю вірне виконання завдання - 5 балів;
- вірне виконання завдання з незначними неточностями - 4 бали;
- вірно виконано більше 60% завдання, але є суттєві недоліки - 3 бали;
- задання не виконано, або виконано вірно менше 60% завдання - 0 балів.

Шкала оцінювання модульної контрольної роботи:

- повністю вірне виконання завдання - 15 балів;
- вірне виконання завдання з незначними неточностями – 12-14 балів;
- вірно виконано більше 60% завдання, але є суттєві недоліки – 9-11 балів;
- задання не виконано, або вірно виконано менше 60% завдання - 0 балів.

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

Для отримання «зараховано» з першої проміжної атестації (8 тиждень) студент матиме на менш ніж 15 балів (за умови, якщо на початок 8 тижня згідно з календарним

планом «ідеальний» студент має отримати 20 балів).

Для отримання «зараховано» з другої проміжної атестації (14 тиждень) студент матиме не менш 30 балів (за умови, якщо на початок 14 тижня згідно з календарним планом «ідеальний» студент має отримати 45 балів).

Семестровий контроль: екзамен

№	Назва контрольного заходу	Кількість	Ваговий бал	Усього
1	Екзамен	1	40	40

Умовою допуску до екзамену є позитивна оцінка з МКР та стартовий рейтинг не менше, ніж 36 балів.

На екзамені студенти виконують письмову контрольну роботу. Кожен екзаменаційний білет містить два теоретичних питання і одне практичне (задачу). Перелік питань та теми задач доводяться до відома студентів в кінці семестру. Кожне теоретичне питання оцінюється максимально у 12 балів, а розв'язання задачі – максимально у 16 балів:

1. Система оцінювання теоретичних питань:

- повна відповідь (не менше 95% потрібної інформації) – 12 балів;
- достатньо повна відповідь (не менше 75% потрібної інформації, або незначні неточності) – 9-11 балів;
- неповна відповідь (не менше 60% потрібної інформації та деякі помилки) – 7-8 балів;
- незадовільна відповідь (менше 60% потрібної інформації) – 0 балів.

2. Система оцінювання практичного запитання:

- повне безпомилкове розв'язання завдання – 15-16 балів;
- повне розв'язання завдання з незначними помилками – 12-14 балів;
- завдання виконане за правильною методикою розрахунку, але з помилками (не менше 60% завдання виконано вірно) – 10- 11 балів;
- завдання не виконано/ завдання виконано з суттєвими помилками (вірно виконано менше 60% завдання) – 0 балів.

Сумарний максимальний рейтинговий бал:

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

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
---------------------------	-------------

9. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компоненту)

Під час дистанційного навчання останній термін надсилання виконаного практичного завдання електронною поштою – 21:00 напередодні наступного заняття

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Склав проф., д.т.н., проф. Чиж Ігор Генріхович

Ухвалено кафедрою КІОНС (протокол № 14 від 06.07.2022)

Погоджено Методичною комісією приладобудівного факультету (протокол № 7/22 від 07.07 2022 р.)