



Теорія аберацій оптичних систем

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Перший (бакалаврський)</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 (2023-2024 н.р.)</i>
Форма навчання	<i>очна(денна)</i>
Рік підготовки, семестр	<i>3 курс , весняний (2023-2024 н.р.)</i>
Обсяг дисципліни	<i>4 кредити (120 годин)</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>Залік /модульна контрольна робота, поточний контроль</i>
Розклад занять	<i>Згідно з розкладом на сайті http://rozklad.kpi.ua/</i>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	<i>Лектор д.т.н., проф., Чиж Ігор Генріхович, Практичні / д.т.н., проф., Чиж Ігор Генріхович, Лабораторні: д.т.н., проф., Чиж Ігор Генріхович , i.g.chizh@gmail.com</i>
Розміщення курсу	<i>https://do.ipr.kpi.ua/course/view.php?id=2506</i>

Програма навчальної дисципліни

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

Дисципліна «Теорія аберацій оптичних систем» є прикладною частиною геометричної оптики, на якій базуються методи та методики проектування оптичних систем. Тому вкрай важливим є надбання студентами умінь і навичок застосовувати теорію цієї дисципліни на практиці при вирішенні конкретних інженерних задач, пов'язаних із розробкою оптичних систем їх оптичних компонентів та елементів, які здатні забезпечувати вимоги до параметрів та характеристик якості зображень.

Глибоке засвоєння теоретичного матеріалу та надбання відповідних умінь та навичок є можливим при умові, що студент додатково працює з лекційним матеріалом, на

практичних заняттях оволодіває методами і методиками розв'язання розрахункових завдань, вчиться використовувати сучасні комп'ютерні програми для абераційного аналізу конкретних оптичних систем.

Метою навчальної дисципліни є формування у студентів здатності:

- використовувати теорію аберацій оптичних систем при розрахунках параметрів якості зображень, які формують оптичні елементи та оптичні системи;
- застосовувати методи абераційних розрахунків оптичних систем, а також технічні засоби, що дозволяють автоматизувати трудомісткі процедури абераційного аналізу оптичних систем.

Основні завдання дисципліни.

Згідно з вимогами програми навчальної дисципліни студенти після завершення навчання повинні продемонструвати такі результати навчання:

ЗНАННЯ :

- факторів та причин, які породжують аберації в оптичних елементах та оптичних системах;
- методів математичного моделювання аберацій оптичних систем;
- теорії аберацій 3-го степеневого порядку монохроматичних аберацій центрованих оптичних систем;
- теорії аберацій 1-го степеневого порядку хроматичних аберацій центрованих оптичних систем.

УМІННЯ:

- розраховувати параметри і характеристики монохроматичних та хроматичних аберацій оптичних систем;
- використовувати довідкові матеріали про фізичні параметри оптичних матеріалів при розрахунках монохроматичних та хроматичних аберацій оптичних систем;
- здійснювати аналіз залишкових монохроматичних та хроматичних аберацій оптичних систем за допомогою сучасної комп'ютерної техніки та сучасних спеціалізованих комп'ютерних програм.

2. Пререквізити дисципліни

Вивчення дисципліни базується на знаннях з дисциплін «Фізика», «Вища математика».

У подальшому знання та вміння, одержані при вивченні цієї дисципліни, використовуються у спеціальних і професійно-орієнтованих дисциплінах, курсовому проектуванні та при виконанні випускної кваліфікаційної роботи.

3. Зміст навчальної дисципліни

РОЗДІЛ 1 Загальні уявлення про аберації оптичних систем

Визначення аберацій оптичних систем як явища. Природні фактори, що породжують аберації оптичних систем. Хвильові аберації. Геометричні (променеві) аберації. Методи математичного опису аберацій оптичних систем.

РОЗДІЛ 2 Монохроматичні аберації оптичних систем

Монохроматичні аберації першого та третього степеневого порядку центрованих оптичних систем. Суми Зейделя в представленні Ланге, умови нормування допоміжних променів.

Сферична аберація, умови виправлення сферичної аберації в оптичній системі. Сферична аберація тонкої лінзи та сферичного дзеркала.

Кома, умова виправлення коми в оптичній системі. Кома тонкої лінзи та сферичного дзеркала.

Астигматизм, умова виправлення астигматизму в оптичній системі. Астигматизм тонкої лінзи та дзеркала.

Кривизна поля поверхні зображення, радіус Пецваля, умови виправлення кривизни поля в оптичній системі. Кривизна поля лінзи та дзеркала.

Дисторсія, умова виправлення дисторсії в оптичній системі

РОЗДІЛ 3 Хроматичні аберації оптичних систем

Хроматизму положення. Хроматизм збільшення. Хроматизм положення першого степеневого порядку оптичної системи, тонкої лінзи. Хроматизм положення першого степеневого порядку оптичної системи двох тонких лінз, умова виправлення хроматизму положення в дволінзовій системі. Хроматизм положення лінзи з кінцевою осьюовою товщиною, ахроматичний меніск. Хроматизм збільшення першого степеневого порядку оптичної системи, тонкої лінзи та системи тонких лінз. Умови виправлення хроматизму збільшення тонкої лінзи і системи лінз. Сферохроматична аберація.

4. Навчальні матеріали та ресурси

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни(освітнього компонента)

Основні форми навчання - лекції, комп'ютерні практикуми та самостійна робота студентів.

На лекціях студентам викладаються теоретичні основи дисципліни

Лекційні заняття:

РОЗДІЛ 1 Загальні уявлення про аберації оптичних систем

Лекція 1 *Визначення явища аберацій в оптичних системах Фактори, що породжують аберації оптичних систем.*

Лекція 2

Методи математичного опису аберацій оптичних систем. Функція хвильової аберації. Апроксимація функції хвильової аберації за допомогою поліномів Церніке.

РОЗДІЛ 2 Монохроматичні аберації оптичних систем

Лекція 3

Аберация променя. Степеневий розклад поперечних абераций променів в гауссовій площині зображень. Поперечні аберации променя першого степеневого порядку. Поперечні аберации променя третього степеневого порядку.

Лекція 4

Монохроматичні аберации третього степеневого порядку променя, представлені сумами Зейделя. Форма Ланге представлення монохроматичних аберации третього степеневого порядку. Нормування 1-го та 2-го допоміжних нульових променів для нормування сум Зейделя у формі Ланге.

Лекція 5 *Сферична аберация. Властивості сферичної аберации. Умова усунення сферичної аберации. Форма аберацийної плями (абераційного зображення точки) при наявності сферичної аберации. Форма аберацийної плями (абераційного зображення точки) при наявності сферичної аберации. Поздовжня сферична аберация променя. Розрахунок сферичної аберации лінзи.*

Лекція 6 *Сферична аберация тонкої лінзи. Мінімізація сферичної аберации тонкої лінзи. Сферична аберация сферичного дзеркала.*

Лекція 7 *Аберация кома, її властивості. Умова усунення аберации кома. Форма аберацийного зображення точки при наявності коми.*

Лекція 8 *Кома тонкої лінзи. Способи виправлення коми тонкої лінзи. Кома сферичного дзеркала, способи виправлення коми сферичного дзеркала*

Лекція 9 *Астигматизм, властивості астигматизму. Форма аберацийного зображення точки при наявності астигматизму. Астигматичні відрізки. Астигматична різниця. Умова виправлення астигматизму в оптичній системі. Еволюція форми плями вздовж оптичної осі.*

Лекція 10 *Астигматизм тонкої лінзи. Виправлення астигматизму тонкої лінзи. Астигматизм сферичного дзеркала. Способи виправлення астигматизму сферичного дзеркала*

Лекція 11 *Кривизна поля (кривизна поверхні зображення. Умови виправлення кривизни поля в оптичній системі. Кривизна поля при виправленому астигматизмі. Поверхня Пецваля. Радіус кривизни поверхні Пецваля. Умова виправлення кривизни поверхні Пецваля.*

Лекція 12 *Кривизна поверхні Пецваля безкінечно тонкої лінзи. Кривизна поверхні Пецваля лінзи з кінцевою осьовою товщиною. Кривизна поверхні Пецваля сферичного дзеркала.*

Лекція 13 *Дисторсія. Властивості дисторсії. Дисторсія тонкої лінзи. Дисторсі сферичного дзеркала.*

РОЗДІЛ 3 Хроматичні аберации оптичних систем

Лекція 14 *Хроматичні аберации оптичної системи. Хроматизм положення. Хроматизм збільшення. Формула розрахунку хроматизму положення. Перша хроматична сума. Порядок розрахунку хроматизму положення оптичної системи. Хроматизм положення тонкої лінзи. Умова виправлення.*

Лекція 15 *Хроматизм положення лінзи з кінцевою осьовою товщиною. Виправлення хроматизму положення в системі двох лінз.*

Лекція 16 Хроматизм збільшення. Формула хроматизму збільшення. Друга хроматична сума. Хроматизм збільшення тонкої лінзи. Умова виправлення хроматизму збільшення у тонкої лінзи. Сферохроматична аберація

РОЗДІЛ 4 Аберації 3-го степеневого порядку тонких компонентів та систем з тонких компонентів

Лекція 17 Оптична система, складена з тонких компонентів. Суми Зейделя монохроматичних аберацій тонких компонентів. Хроматичні суми аберацій тонких компонентів. Суми Зейделя і хроматичні суми багатокомпонентних оптичних систем.

РОЗДІЛ 5 Параметри та характеристики якості зображення, сформованого оптичною системою

Лекція 18 Параметри та характеристики хвильової аберації оптичної системи. Параметри та характеристики аберацій променів, що формують оптичне зображення точки. Геометричні параметри абераційного зображення точки. Геометричні характеристики абераційного зображення точки

Практичні заняття:

ПЗ-1 Хвильова та геометричні аберації оптичної системи. Відтворення абераційних мод хвильової аберації. Порушення гомоцентричності пучків променів, що проходять через оптичну систему. Порушення геометричної подібності між предметом та його зображенням.

ПЗ-2 Сферична аберація лінзи. Сферична аберація сферичного дзеркала. Розрахунки діаметра абераційного зображення точки

ПЗ-3 Кома тонкої лінзи. Розрахунок форми лінзи, виправленої на кому. Виправлення коми положенням вхідної зіниці

ПЗ-4 Астигматизм лінзи. Розрахунок астигматичної різниці лінзи. Астигматизм сферичного дзеркала.

ПЗ-5 Кривизна поля тонкої лінзи. Розрахунок радіусу поверхні Пецваля. Виправлення кривизни поверхні Пецваля лінзи з кінцевою осью товщиною

ПЗ-6 Дисторсія тонкої лінзи. Розрахунок абсолютного та відносного значення дисторсії лінзи.

ПЗ-7 Хроматизм положення тонкої лінзи. Виправлення хроматизму положення у дволінзової склейки.

ПЗ-8 Хроматизм збільшення тонкої лінзи. Виправлення хроматизму збільшення у дволінзової симетричної системи

ПЗ-9 Оптичний випуск оптичної системи

Лабораторні заняття/комп'ютерний практикум:

ЛЗ-1 Сферична аберація лінзи. Поперечний вимір. Поздовжній вимір.

ЛЗ-2 Комп'ютерне моделювання і аналіз сферичної аберації лінзи.

ЛЗ-3 Астигматизм лінзи. Вимірювання астигматичної різниці.

ЛЗ-4 Комп'ютерне моделювання і аналіз астигматичної різниці лінзи.

ЛЗ-5 Кривизна поля лінзи. Вимірювання радіусу кривизни.

ЛЗ-6 Комп'ютерне моделювання і аналіз кривизни поля лінзи з відтворенням значення радіусу кривизни поля лінзи.

ЛЗ-7 Поздовжній хроматизм лінзи. Вимірювання хроматичної різниці.

ЛЗ-8 Комп'ютерне моделювання і аналіз поздовжнього хроматизму лінзи.

ЛЗ-9 Залікове заняття

Індивідуальні завдання

Індивідуальні завдання передбачають розв'язання практичних завдань для закріплення теоретичного матеріалу та підготовки до комп'ютерного моделювання і аналізу хвильових та геометричних аберацій оптичних систем з використанням сучасних комп'ютерних програм. Модульна контрольна робота призначена для контролю знань і вмінь використовувати комп'ютерну програму для аналізу спот-діаграм, астигматизму, радіусу Пецваля та хроматизму положення заданої оптичної системи.

6. Самостійна робота (СР) студента

Самостійна робота студентів передбачає закріплення знань за матеріалами лекцій та їх поглиблення, самостійне вивчення окремих питань за рекомендованими навчально-методичними матеріалами.

На самостійну роботу студентів виділяється 48 годин, з яких, 6 годин - на підготовку до заліку і 42 годин - на опрацювання матеріалів лекцій, комп'ютерних практикумів та навчальної літератури відповідно до структури дисципліни.

7. Політика навчальної дисципліни

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 завдань на практичних заняттях**
- на практичних заняттях студент повинен мати конспект лекцій з дисципліни, зошит, де записуються розв'язки задач, калькулятор;

- **правила виконання та захисту лабораторних робіт/комп'ютерних практикумів**
 - лабораторна робота, присвячена дослідженню одного типу аберацій, складається з двох частин – експериментальної (2 години) та розрахункової комп'ютерній (2 години) з подальшим порівнянням отриманих результатів за двома частинами
 - перед виконанням лабораторної роботи та комп'ютерного практикуму студентом оформлюється протокол із завданням роботи чи практикуму, на захисті пред'являється протокол, з результатами виконання двох частин роботи;
- **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 контролі 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)	6	10	60
2	Виконання і захист пари лабораторних робіт, що стосуються одного типу аберацій (відповідно до п.5 «Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)» силабусу)	4	5	20
3.	Виконання модульної контрольної роботи (відповідно до п.5 «Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)» силабусу)	1	20	20
Усього:				100

Шкала оцінювання індивідуальних завдань:

- повністю вірне виконання завдання – 10 балів;
- вірне виконання завдання з незначними неточностями - 8 балів;
- вірно виконано більше 60% завдання, але є суттєві недоліки - 6 балів;
- завдання не виконано - 0 балів.

Шкала оцінювання кожної з двох лабораторних робіт, об'єднаних в одну тематичну лабораторну роботу

Виконання та захист лабораторних робіт, кожен практикум оцінюється в 7 балів:

- повне і безпомилкове правильне виконання завдання, повні та обґрунтовані відповіді на запитання – 5 балів;
- повне виконання завдання з деякими помилками (правильно вирішено не менше 75% завдання), відповіді достатньо обґрунтовані – 4 бали;

- завдання виконано з суттєвими помилками (правильно вирішено не менше 60% завдання), відповіді неточні, пояснення обмежені – 3 бали;
- завдання не виконано, або виконано з помилками (правильно виконано менше 60% завдання), – 0 балів.

Виконання та захист модульної контрольної роботи, оцінюється в 20 балів:

- повністю правильно виконано завдання з поясненням, повні та правильні відповіді на запитання за виконаними завданнями – 19-20 балів;
- роботу виконано без помилок з незначними недоліками/обмеженим поясненням (правильно виконано не менше 75% завдання), відповіді правильні з деякими помилками – 15-18 балів;
- роботу виконано з певними помилками (правильно виконано не менше 60% завдання), відповіді неповні, з помилками – 12-14 балів;
- роботу не зараховано (завдання не виконане або є грубі помилки, правильно виконано менше 60% завдання) – 0 балів.

Календарний контроль: провадиться 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: залік

Умова допуску до семестрового контролю: сумарна оцінка з модульної контрольної роботи та з виконання індивідуальних завдань та практичних і лабораторно-комп'ютерних занять не менш 60 балів

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

Зі здобувачами, які виконали всі умови допуску до заліку та мають рейтингову оцінку менше 60 балів, а також з тими здобувачами, хто бажає підвищити свою рейтингову оцінку, на останньому за розкладом занятті з дисципліни в семестрі викладач проводить семестровий контроль у вигляді залікової контрольної роботи.

На заліку студенти виконують письмову контрольну роботу. Кожне завдання 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:

Оцінки теоретичних питань

«відмінно» повна відповідь (не менше 95% потрібної інформації) за кожне теоретичне питання –12 балів

«добре», наявність у відповіді на теоретичне питання не менше (80-75)% потрібної інформації – 10 -9 балів

«задовільно», неповна відповідь (60 – 50)% потрібної інформації за кожне теоретичне питання – (7-6) балів

«незадовільно», неправильна або відсутня відповідь хоч на одне теоретичне питання

Оцінки розв'язку задачі

«відмінно» за правильне розв'язання задачі –16 балів

«добре» при правильній методиці, але при незначних (до 5%) похибках результату розрахунку по завданню задачі – 15 балів ;

«задовільно» при суттєвих помилках отримання результату розрахунку, але при правильній по завданню методиці розрахунку задачі – 10-8 балів;

«незадовільно» при неправильній по завданню методиці розрахунку задачі – 0 балів

Сумарний максимальний рейтинговий бал 100 балів:

Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою:

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

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

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

Ухвалено кафедрою КІОНС (протокол № 12 від 31.05.2023)

Погоджено Методичною комісією приладобудівного факультету (протокол № 7/23 від 22.06 2023 р.)