



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ГЕОДЕЗИИ И КАРТОГРАФИИ
(МИИГАиК)

Факультет оптического приборостроения
Кафедра прикладной оптики



**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**

Сертификат: 5387FD2AF5B17FED816FDE9A1D4973B1
Владелец: Степанченко Алексей Леонидович
Действителен: с 21.07.2025 по 14.10.2026

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор
А. Л. Степанченко
24 марта 2025 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)
«Б1.В.11 ОРТОГОНАЛЬНЫЕ АБЕРРАЦИИ»**

Уровень высшего образования: магистратура

Направление подготовки: 12.04.02 Оптотехника

Направленность(профиль) подготовки: Оптико-электронные приборы и системы

Квалификация (степень) выпускника: магистр

Форма обучения: очная

Год набора (приема на обучение): 2025

Срок получения образования: 2 года

Объем:
в зачетных единицах: 3 з.е.
в академических часах: 108 ак.ч.

Москва, 2025

Разработчики:

Профессор кафедры Прикладной оптики, д.н., профессор
Бездидько С. Н.

Рабочая программа дисциплины (модуля) составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 12.04.02 Опотехника, утвержденного приказом Минобрнауки от 19.09.2017 № 941

Согласование и утверждение

№	Подразделение	Ответственное лицо	ФИО	Виза	Дата, протокол (при наличии)
1	факультет Оптического приборостроения	Председатель ученого совета факультета	Торшина И. П.	Рассмотрено	15.01.2025, № 2/24-25

Содержание

1. Цель и задачи освоения дисциплины (модуля)
2. Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы
3. Место дисциплины в структуре ОП
4. Объем дисциплины и виды учебной работы
5. Содержание дисциплины
 - 5.1. Разделы, темы дисциплины и виды занятий
 - 5.2. Содержание разделов, тем дисциплины и формы текущего контроля
6. Оценочные материалы текущего контроля
7. Оценочные материалы промежуточной аттестации
8. Порядок проведения промежуточной аттестации
9. Материально-техническое и учебно-методическое обеспечение дисциплины
 - 9.1. Перечень основной и дополнительной учебной литературы
 - 9.2. Профессиональные базы данных и ресурсы «Интернет», к которым обеспечивается доступ обучающихся
 - 9.3. Программное обеспечение и информационно-справочные системы, используемые при осуществлении образовательного процесса по дисциплине
 - 9.4. Оборудование и технические средства обучения
10. Методические указания по освоению дисциплины (модуля)

1. Цель и задачи освоения дисциплины (модуля)

Цель освоения дисциплины - освоение обучающимися компетенций в области теории ортогональных аберраций и ее применения при анализе и проектировании оптических систем

Задачи изучения дисциплины:

- освоение студентами теоретических и практических знаний, приобретение умений и навыков в области теории ортогональных аберраций оптических систем и ее применения при анализе, расчету и проектировании оптических систем, их узлов и отдельных элементов..

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Компетенции, индикаторы и результаты обучения

ПК-4 Способность к разработке структурных и функциональных схем оптических и оптико-электронных приборов, систем и комплексов с определением их физических принципов действия, структур и установлением технических требований на отдельные блоки и элементы

ПК-4.1 Определяет перечень проблем в области получения, хранения и обработки информации с использованием оптических и оптико-электронных приборов и систем

Знать:

ПК-4.1/Зн6 Взаимосвязь классических и ортогональных волновых аберраций. Методы оценки аберраций высших порядков и потенциальных возможностей оптических систем в зависимости от их основных характеристик.

Уметь:

ПК-4.1/Ум5 Анализировать технические требования, предъявляемые к разрабатываемым оптическим системам, Анализировать аберрационные характеристики оптических систем и основные характеристики качества изображения. Использовать профессиональные пакеты прикладных программ для проектирования оптических систем и анализа их аберрационных свойств.

Владеть:

ПК-4.1/Нв6 Методикой составления технического задания на проектирование новых оптических систем и основными принципами их построения и расчета.

ПК-4.2 Осуществляет поиск имеющихся технологий получения, хранения и обработки информации с использованием оптических и оптико-электронных приборов и систем

Знать:

ПК-4.2/Зн6 Методы проведения патентных исследований с использованием автоматизированных баз данных готовых оптических систем LensView и Zebase

Уметь:

ПК-4.2/Ум6 Производить патентный поиск. Работать с научно-технической информацией Анализировать предъявляемые технические требования к параметрам разрабатываемого оптико-электронного прибора и оптического тракта. Работать с базами данных и источниками информации

Владеть:

ПК-4.2/Нв6 Методикой составления технического задания на проектирование новых оптических систем и основными принципами их построения и расчета.

ПК-4.3 Проводит сравнительный анализ изделий-аналогов

Знать:

ПК-4.3/Зн6 Основные области и специфика применения оплотехники, оптических и оптико-электронных приборов и комплексов Принципы построения и состав оптических и оптико-электронных приборов и комплексов Принципы конструирования оптико-электронных приборов Компьютерные технологии проектирования и конструирования оптических и оптико-электронных приборов и комплексов

Уметь:

ПК-4.3/Ум7 Производить патентный поиск Работать с научно-технической информацией Обосновывать предлагаемые решения Анализировать предъявляемые технические требования к параметрам разрабатываемого оптико-электронного прибора с учетом известных экспериментальных и теоретических результатов

Владеть:

ПК-4.3/Нв7 Методикой составления технического задания на проектирование новых оптических систем и основными принципами их построения и расчета.

ПК-4.5 Разрабатывает и исследует новые способы и принципы функционирования оптических и оптико- электронных приборов и систем получения, хранения и обработки информации

Знать:

ПК-4.5/Зн6 Основные области и специфика применения оплотехники, оптических и оптико-электронных приборов и комплексов Принципы построения и состав оптических и оптико-электронных приборов и комплексов Принципы конструирования оптико-электронных приборов Компьютерные технологии проектирования и конструирования оптических и оптико-электронных приборов и комплексов

Уметь:

ПК-4.5/Ум6 Производить патентный поиск Работать с научно-технической информацией Обосновывать предлагаемые решения Анализировать предъявляемые технические требования к параметрам разрабатываемого оптико-электронного прибора с учетом известных экспериментальных и теоретических результатов

Владеть:

ПК-4.5/Нв7 Методикой составления технического задания на проектирование новых оптических систем и основными принципами их построения и расчета.

3. Место дисциплины в структуре ОП

Дисциплина (модуль) Б1.В.11 «Ортогональные аберрации» относится к формируемой участниками образовательных отношений части образовательной программы и изучается в семестре(ах): 1.

В процессе изучения дисциплины студент готовится к решению типов задач профессиональной деятельности, предусмотренных ФГОС ВО и образовательной программой.

4. Объем дисциплины (модуля) и виды учебной работы

Период	доемкость сы)	доемкость ЭТ)	ие занятия сы)	нная работа сы)	ая аттестация сы)
--------	------------------	------------------	-------------------	--------------------	----------------------

обучения	Общая труд (час)	Общая труд (ЗЕ)	Практические (час)	Самостоятельная (час)	Промежуточные (час)
1 семестр	108	3	34	74	Зачет
Всего	108	3	34	74	

5. Содержание дисциплины (модуля)

5.1. Разделы, темы дисциплины и виды занятий

(часы промежуточной аттестации не указываются)

Наименование раздела, темы	Всего	Практические занятия	Самостоятельная работа	Планируемые результаты обучения, соответствующие результатам освоения программы
Раздел 1. Этапы процесса проектирования. Классическое представление абберационной функции и отдельные абберации различных порядков. Ортогональные полиномы Цернике.	12	4	8	ПК-4.1 ПК-4.2 ПК-4.3 ПК-4.5
Тема 1.1. Введение. Общий анализ аббераций оптических систем	12	4	8	
Раздел 2. Определение ортогональных аббераций. Методы вычисления ортогональных аббераций и определение основных абберационных характеристик качества изображения оптических систем.	34	10	24	ПК-4.1 ПК-4.2 ПК-4.3 ПК-4.5
Тема 2.2. Определение ортогональных аббераций.	18	6	12	
Тема 2.3. Вычисления абберационных коэффициентов и характеристик качества изображения	16	4	12	
Раздел 3. Основные свойства ортогональных аббераций. Методы определения коррекционных возможностей оптических систем.	26	8	18	ПК-4.1 ПК-4.2 ПК-4.3 ПК-4.5

Тема 3.4. Основные свойства ортогональных аберрации	14	4	10	
Тема 3.5. Аберрационные свойства оптических систем	12	4	8	
Раздел 4. Определение предельно достижимых аберрационных характеристик исследуемых оптических систем. Основные принципы построения баз знаний по оптическим системам	24	8	16	ПК-4.1 ПК-4.2 ПК-4.3 ПК-4.5
Тема 4.6. Методика определение предельно возможных значений углового поля зрения и относительного отверстия исследуемых оптических систем.	12	4	8	
Тема 4.7. Основные принципы построения интеллектуальных баз знаний по оптическим системам.	12	4	8	
Раздел 5. Локальная ограниченность программ оптимизации оптических систем и использование ортогональных аберраций при создании новых глобальных методов оптимизации.	12	4	8	ПК-4.1 ПК-4.2 ПК-4.3 ПК-4.5
Тема 5.8. Ортогональные аберрации и построение эффективных методов оптимизации оптических систем.	12	4	8	
Итого	108	34	74	

5.2. Содержание разделов, тем дисциплин и формы текущего контроля

Раздел 1. Этапы процесса проектирования. Классическое представление аберрационной функции и отдельные аберрации различных порядков. Ортогональные полиномы Цернике.

Тема 1.1. Введение. Общий анализ аберраций оптических систем

Практическое занятие № 1.

Этапы процесса проектирования оптических систем

Практическое занятие № 2.

Классическое представление волновой аберрации и отдельные аберрации различных порядков.

Полиномы Цернике.

Текущий контроль

Вид (форма) контроля

Раздел 2. Определение ортогональных aberrаций. Методы вычисления ортогональных aberrаций и определение основных aberrационных характеристик качества изображения оптических систем.

Тема 2.2. Определение ортогональных aberrаций.

Практическое занятие № 3.

Определение четырехмерных ортогональных полиномов в области поле зрения-светосила.

Практическое занятие № 4.

Определение ортогональных aberrаций.

Практическое занятие № 5. Структура ортогональных aberrаций и связь между классическими и ортогональными aberrациями. Классификация aberrаций.

Текущий контроль

Вид (форма) контроля
Практическая работа

Тема 2.3. Вычисления aberrационных коэффициентов и характеристик качества изображения

Практическое занятие № 6.

Методы вычисления aberrационных коэффициентов ортогональных aberrаций.

Практическое занятие № 7. Определение интегральной характеристики качества изображения - среднего квадрата волновой aberrации по области поле зрения-светосила (aberrационный функционал).

Практическое занятие № 8. Вклад волновых aberrаций низшего и высшего порядков в ухудшение качества изображения.

Текущий контроль

Вид (форма) контроля
Практическая работа

Раздел 3. Основные свойства ортогональных aberrаций. Методы определения коррекционных возможностей оптических систем.

Тема 3.4. Основные свойства ортогональных aberrации

Практическое занятие № 9. Основные свойства ортогональных aberrаций. Влияние изменения конструктивных параметров оптических систем на изменение aberrаций различных порядков.

Практическое занятие № 10. Фундаментальное свойство ортогональных aberrаций высших порядков - малая зависимость (инвариантность) от изменения конструктивных параметров оптической системы.

Текущий контроль

Вид (форма) контроля
Практическая работа

Тема 3.5. Aberrационные свойства оптических систем

Практическое занятие № 11.

Методы определения коррекционных возможностей оптических систем.

Практическое занятие № 12.

Сравнение оптических систем по их абберационным свойствам. Коэффициент подобия оптических систем.

Текущий контроль

Вид (форма) контроля
Практическая работа

Раздел 4. Определение предельно достижимых абберационных характеристик исследуемых оптических систем. Основные принципы построения баз знаний по оптическим системам

Тема 4.6. Методика определение предельно возможных значений углового поля зрения и относительного отверстия исследуемых оптических систем.

Практическое занятие № 13.

Свойства абберационного функционала оптической системы в зависимости от изменения формы области угловое поле зрения - светосила при сохранении постоянства объема области.

Практическое занятие №14.

Методика определение предельно возможных значений углового поля зрения и относительного отверстия исследуемых оптических систем.

Текущий контроль

Вид (форма) контроля
Практическая работа

Тема 4.7. Основные принципы построения интеллектуальных баз знаний по оптическим системам.

Практическое занятие №15. Определение показателя сложности оптической системы в зависимости от ее внешних характеристик.

Практическое занятие №16. Методы определение предельной абберационной коррекции различных типов конкретных оптических систем. Основные принципы построения интеллектуальных баз знаний по оптическим системам

Текущий контроль

Вид (форма) контроля
Практическая работа

Раздел 5. Локальная ограниченность программ оптимизации оптических систем и использование ортогональных аббераций при создании новых глобальных методов оптимизации.

Тема 5.8. Ортогональные абберации и построение эффективных методов оптимизации оптических систем.

Практическое занятие № 17. Использование ортогональных аббераций при создании новых глобальных методов оптимизации оптических систем

Практическое занятие № 18. Численные методы минимизации функций многих переменных при наличии ограничений.

6. Порядок проведения промежуточной аттестации

Порядок проведения промежуточной аттестации регламентируется локальными нормативными актами Университета:

- Положением о формах, периодичности, порядке текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся по основным образовательным программам высшего образования – программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Московский государственный университет геодезии и картографии», п.6 «Организация и проведение промежуточной аттестации».
- Положением о порядке осуществления образовательного процесса, проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся с применением электронного обучения и дистанционных образовательных технологий в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Московский государственный университет геодезии и картографии», п.8 «Проведение промежуточной аттестации с применением ЭО и ДОТ».

Промежуточная аттестация: Зачет, 1 семестр.

при проведении промежуточной аттестации, применяется среднее арифметическое значения оценок, полученных за каждый элемент оценивания, указанный в билете (вопрос и два практических задания). Итоговая оценка по дисциплине (модулю) рассчитывается как отношение суммы оценок, полученных обучаемым за каждый вопрос и задания в билете (вопрос и 2 задания, далее элемент контроля) поделенное на количество полученных оценок (3). При проведении оценивания по вопросам и заданиям, указанным в билете, в ходе промежуточной аттестации, преподаватель может учитывать результаты текущего контроля

7. Оценочные материалы текущего контроля

Раздел 1. Этапы процесса проектирования. Классическое представление абберационной функции и отдельные абберрации различных порядков. Ортогональные полиномы Цернике. Контролируемые ИДК: ПК-4.1 ПК-4.2 ПК-4.3 ПК-4.5

Тема 1.1. Введение. Общий анализ аббераций оптических систем

Форма контроля/оценочное средство: Практическая работа

Вопросы/Задания:

1. Разбор конкретных ситуаций, компьютерные симуляции

Раздел 2. Определение ортогональных аббераций. Методы вычисления ортогональных аббераций и определение основных абберационных характеристик качества изображения оптических систем.

Контролируемые ИДК: ПК-4.1 ПК-4.2 ПК-4.3 ПК-4.5

Тема 2.2. Определение ортогональных аббераций.

Форма контроля/оценочное средство: Практическая работа

Вопросы/Задания:

1. Разбор конкретных ситуаций, компьютерные симуляции

Тема 2.3. Вычисления абберационных коэффициентов и характеристик качества изображения

Форма контроля/оценочное средство: Практическая работа

Вопросы/Задания:

1. Разбор конкретных ситуаций, компьютерные симуляции

Раздел 3. Основные свойства ортогональных аберраций. Методы определения коррекционных возможностей оптических систем.

Контролируемые ИДК: ПК-4.1 ПК-4.2 ПК-4.3 ПК-4.5

Тема 3.4. Основные свойства ортогональных аберрации

Форма контроля/оценочное средство: Практическая работа

Вопросы/Задания:

1. Разбор конкретных ситуаций, компьютерные симуляции

Тема 3.5. Аберрационные свойства оптических систем

Форма контроля/оценочное средство: Практическая работа

Вопросы/Задания:

1. Разбор конкретных ситуаций, компьютерные симуляции

Раздел 4. Определение предельно достижимых аберрационных характеристик исследуемых оптических систем. Основные принципы построения баз знаний по оптическим системам

Контролируемые ИДК: ПК-4.1 ПК-4.2 ПК-4.3 ПК-4.5

Тема 4.6. Методика определения предельно возможных значений углового поля зрения и относительного отверстия исследуемых оптических систем.

Форма контроля/оценочное средство: Практическая работа

Вопросы/Задания:

1. Разбор конкретных ситуаций, компьютерные симуляции

Тема 4.7. Основные принципы построения интеллектуальных баз знаний по оптическим системам.

Форма контроля/оценочное средство: Практическая работа

Вопросы/Задания:

1. Разбор конкретных ситуаций, компьютерные симуляции

8. Оценочные материалы промежуточной аттестации

1 семестр, Зачет

Контролируемые ИДК: ПК-4.1 ПК-4.2 ПК-4.3 ПК-4.5

Вопросы/Задания:

1. Способность к разработке структурных и функциональных схем оптических и оптико- электронных приборов, систем и комплексов с определением их физических принципов действия, структур и установлением технических требований на отдельные блоки и элементы¶

1. Полиномы Цернике и их применение в вычислительной оптике.
2. Структура и свойства ортогональных полиномов Цернике.
3. Коэффициент Штреля и его представление в случае малых аберра-ций.
4. Вид классического представления волновых аберраций. Порядок отдельной классической аберрации.
5. Ортогональность функций. Определение ортогональных полиномов в трехмерной области.
6. Ортогональное представление волновой аберрации.
7. Отдельные ортогональные аберрации и их порядок.
8. Структура отдельных ортогональных аберраций.
9. Методика вычисления коэффициентов A_{lkm} разложения волновой аберрации по

ортогональным полиномам.

Интегральная характеристика качества изображения по области по-ле-зрачок.

10. Средний квадрат отклонения волнового фронта (абerrационный функционал) и его представление через ортогональные aberrации.

11. Разделение вклада aberrаций различных порядков в средний квадрат отклонения волнового фронта.

12. Определение степени aberrационного полинома по каждой из пе-ременных (методика выбора наиболее значимых отдельных aberrаций).

13. Влияние изменения конструктивных параметров на изменение aberrаций различных порядков.

14. Влияние локальной оптимизации на aberrационные характери-стики оптических систем.

15. Основные свойства ортогональных aberrаций.

16. Использование ортогональных aberrаций при выборе исходной схемы - прототипа для проектирования оптической системы.

17. Коэффициент подобия оптических систем по aberrационным ха-рактеристикам.

18. Новые подходы к оптимизации оптических систем на базе исполь-зования ортогональных aberrаций.

19. Определение предельных значений углового поля и светосилы для различных типов оптических систем.

20. Определение предельно возможного качества изображения опти-ческих систем различной сложности, используя базы данных опти-ческих систем.

21. Коэффициент сложности требований технического задания на проектирование.

22. Причины локальной ограниченности программ оптимизации.

9. Материально-техническое и учебно-методическое обеспечение дисциплины

9.1. Перечень основной и дополнительной учебной литературы

Основная литература

1. Запрягаева Л.А. Расчет и проектирование оптических систем: Учебник для вузов в 2-х частях. Часть 2. / Л.А. Запрягаева, И.С. Свешникова. - 2-е издание исправленное и дополненное. - МИИГАиК, 2009. - 258 - 978-5-91188-018-7. - Текст: непосредственный.

Дополнительная литература

1. Слюсарев Г.Г. Расчёт оптических систем. / Г.Г. Слюсарев. - Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1975. - 640 - Текст: непосредственный.

9.2. Профессиональные базы данных и ресурсы «Интернет», к которым обеспечивается доступ обучающихся

Профессиональные базы данных

Не используются.

Ресурсы «Интернет»

1. <http://www.complexdoc.ru/> - Электронный фонд правовых и нормативнотехнических документов

2. <https://lib.itmo.ru/?ysclid=mjsjyvrajj48549438> - Библиотека Санкт-Петербургского Университета ИТМО

9.3. Программное обеспечение и информационно-справочные системы, используемые при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

*Перечень программного обеспечения
(обновление производится по мере появления новых версий программы)*
Не используется.

*Перечень информационно-справочных систем
(обновление выполняется еженедельно)*
Не используется.

9.4. Оборудование и технические средства обучения

Компьютерный класс

Автоматизированное рабочее место (АРМ) - 12 шт.

Интерактивная панель - 1 шт.

Маркерная доска - 1 шт.

Меловая доска - 1 шт.

Для практических занятий

Автоматизированное рабочее место (АРМ) - 10 шт.

Меловая доска - 1 шт.

МФУ - 1 шт.

10. Методические указания по освоению дисциплины (модуля)

С целью успешного освоения данного предмета студенту необходимо выполнять домашние работы по указанным преподавателям темам и представленным на занятиях материалам. Для более успешного выполнения работы студенту предлагается использование учебно-методических материалов, соответствующих указанной теме.

Самостоятельная работа студентов описывается и регулируется:

- Методическими рекомендациями по дисциплине;
- Методическими рекомендациями по организации самостоятельной работы студентов МИИГАиК;

Описание возможностей изучения дисциплины лицами с ОВЗ и инвалидами

При необходимости обучения студентов-инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья аудиторные занятия могут быть заменены или дополнены изучением полнотекстовых лекций, презентаций, видео- и аудиоматериалов в электронной информационно-образовательной среде (ЭИОС) университета. Индивидуальные задания подбираются в адаптированных к ограничениям здоровья формах (письменно или устно, в форме презентаций). Выбор методов обучения зависит от их доступности для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья.

Рабочая программа дисциплины для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья разрабатывается индивидуально с учетом особенностей психофизического развития, индивидуальных возможностей и состояния здоровья таких обучающихся.