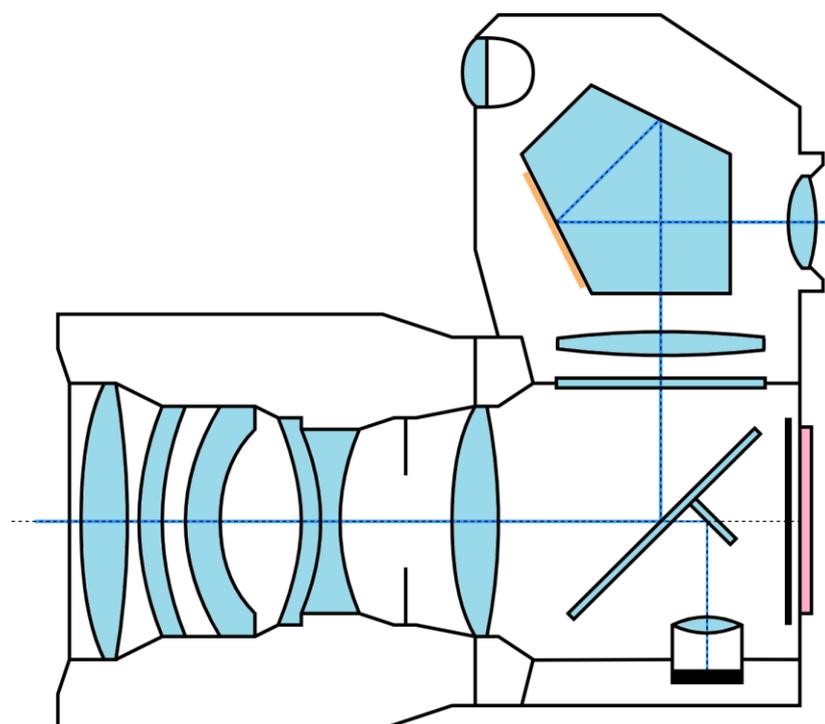


**А.О. Вознесенская, К.В. Ежова, Д.И. Быков,  
Н.П. Клепач, О.К. Козлова, А.Г. Корепанова,**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К  
ВЫПОЛНЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ ПО  
ДИСЦИПЛИНЕ «СВЕТОВЫЕ СИСТЕМЫ»**



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ

УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

**А.О. Вознесенская, К.В. Ежова, Д.И. Быков,  
Н.П. Клепач, О.К. Козлова, А.Г. Корепанова**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К  
ВЫПОЛНЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ ПО  
ДИСЦИПЛИНЕ «СВЕТОВЫЕ СИСТЕМЫ»**

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ

РЕКОМЕНДОВАНО К ИСПОЛЬЗОВАНИЮ В УНИВЕРСИТЕТЕ ИТМО  
по направлениям подготовки 01.03.02, 05.03.06, 09.03.01, 09.03.02, 09.03.03,  
09.03.04, 10.03.01, 11.03.02, 11.03.03, 12.03.01, 12.03.02, 12.03.03, 12.03.04,  
12.03.05, 12.05.01, 13.03.01, 13.03.02, 15.03.04, 15.03.06, 16.03.01, 18.03.01,  
18.03.02, 19.03.01, 24.03.02, 27.03.04, 27.03.05, 38.03.05, 44.03.04, 45.03.04

в качестве Учебно-методического пособия  
для реализации основных образовательных программ высшего образования  
бакалавриата и специалитета

 УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

Санкт-Петербург  
2022

А.О. Вознесенская, К.В. Ежова, Д.И. Быков, Н.П. Клепач, О.К. Козлова, А.Г. Корепанова, Методические указания к выполнению практических работ по дисциплине «Световые системы». – СПб: Университет ИТМО, 2022. – 107 с.

Рецензент: Смирнова Ирина Геннадьевна, кандидат технических наук, доцент, доцент (квалификационная категория "ординарный доцент") института перспективных систем передачи данных, Университет ИТМО.

Учебно-методическое пособие предназначено для обучающихся по дисциплине «Световые системы», реализуемой в Университете ИТМО для программ бакалавриата и специалитета всех направлений подготовки в рамках элективных и факультативных модулей дисциплин. Предлагаемые задания содержат теоретические сведения, порядок и пример выполнения работы и направлены на выработку практического опыта расчета, проектирования и анализа качества световых систем различного назначения. Рекомендовано федеральным учебно-методическим объединением высшего образования по укрупненной группе специальностей и направлений подготовки 12.00.00 Фотоника, приборостроение, оптические и биотехнические системы и технологии для реализации образовательных программ высшего образования бакалавриата и специалитета.



**Университет ИТМО** – национальный исследовательский университет, ведущий вуз России в области информационных, фотонных и биохимических технологий. Альма-матер победителей международных соревнований по программированию – ICPC (единственный в мире семикратный чемпион), Google Code Jam, Facebook Hacker Cup, Яндекс.Алгоритм, Russian Code Cup, Topcoder Open и др. Приоритетные направления: IT, фотоника, робототехника, квантовые коммуникации, трансляционная медицина, Life Sciences, Art&Science, Science Communication. Входит в ТОП-100 по направлению «Автоматизация и управление» Шанхайского предметного рейтинга (ARWU) и занимает 74 место в мире в британском предметном рейтинге QS по компьютерным наукам (Computer Science and Information Systems). С 2013 по 2020 гг. – лидер Проекта 5–100.

© Университет ИТМО, 2022

© Вознесенская А.О., Ежова К.В., Быков Д.И., Клепач Н.П., Козлова О.К., Корепанова А.Г., 2022

## Содержание

ВВЕДЕНИЕ .....	4
Лабораторная работа №1. Самодиагностика дефектов зрения .....	5
Лабораторная работа №2. Знакомство с цветовыми пространствами и разработка цветowych схем .....	14
Лабораторная работа №3. Оптические иллюзии и стереопары .....	26
Лабораторная работа №4. Построение хода луча в оптической системе. Основные соотношения параксиальной оптики .....	36
Лабораторная работа №5. Анализ характеристик, подбор фотообъективов и цифровых камер .....	61
Лабораторная работа №6. Фотометрический расчет световозвращателей .....	72
Лабораторная работа №7. Знакомство с DIALux. Моделирование освещения жилых помещений.....	85
Лабораторная работа №8. Проектирование освещения общественных помещений.....	97
Список источников .....	106

## **ВВЕДЕНИЕ**

Дисциплина «Световые системы» ориентирована на студентов бакалавриата и специалитета, направление подготовки которых напрямую не связано с фотоникой. Дисциплина ориентирована на знакомство студентов с базовыми понятиями прикладной оптики и позволяет расширить кругозор, получить дополнительные сведения о природе оптических явлений и изучить принципы действия многих современных технических устройств, основанных на световых преобразованиях.

Курс предусматривает выборность тем практических заданий – кейсов, касающихся многих повседневных ситуаций, например, как правильно выполнить светотехнический расчет и смоделировать освещение своей комнаты или общественного пространства; как подобрать цифровую фотокамеру взамен пленочного фотоаппарата и оценить качество оптической системы; как провести самодиагностику зрения и понимать медицинскую терминологию и др.

Результаты обучения по дисциплине включают разработку моделей и выполнение колориметрических, фотометрических и оптических расчетов с применением средств компьютерного моделирования, таких как DIALux, MathCAD и др. Обучающиеся, успешно освоившие дисциплину, в дальнейшем смогут эффективно участвовать в междисциплинарных проектах, связанных с разработкой визуальных систем и их интеграцией в интеллектуальные инженерные комплексы.

# Лабораторная работа №1. Самодиагностика дефектов зрения

## 1. Цель работы

Знакомство с основными дефектами зрения и базовыми способами их самодиагностики.

## 2. Основные теоретические сведения

Глаз – это оптический прибор, созданный самой природой. Одной из характеристик глаза является **острота зрения** – способность глаза различать две светящиеся точки раздельно. Для раздельного видения двух точек необходимо, чтобы между возбужденными фоторецепторами находился как минимум один невозбужденный фоторецептор. Так как диаметр, например, колбочек равен 3 мкм, то для раздельного видения двух точек необходимо, чтобы расстояние между изображениями этих точек на сетчатке составляло не менее 4 мкм, а такая величина изображения получается при угле зрения  $1'$ . При рассматривании под углом зрения менее  $1'$  две светящиеся точки сливаются в одну.

Для определения остроты зрения используют различные стандартные таблицы. Наиболее распространенные – с буквенными знаками, которые расположены в 12 строк (Рисунок 1.1).



Рисунок 1.1 – Буквенная таблица Головина – Сивцева

Величина букв в каждой строке убывает сверху вниз. Сбоку каждой строки стоит цифра, обозначающая расстояние, с которого нормальный глаз различает буквы данной строки под углом зрения  $1'$ .

Используя эту таблицу, можно рассчитать остроту зрения по формуле:

$$V = \frac{d}{D}, \#(1.1)$$

где  $V$  – острота зрения;  $d$  – расстояние от испытуемого до таблицы;  $D$  – расстояние, с которого нормальный глаз должен отчетливо видеть данную строку.

При **эмметропии**, то есть нормальной рефракции глаза, дальняя точка глаза находится в бесконечности. **Аметропия** – несовпадение дальней точки с бесконечно удаленной (Рисунок 1.2):

- **Миопия** (близорукость) – лучи от бесконечно удаленного точечного источника фокусируются перед сетчаткой;
- **Гиперметропия** (дальнозоркость) – лучи от бесконечно удаленного точечного источника фокусируются за сетчаткой;
- **Астигматизм** – преломляющая способность глаза различна в разных плоскостях, проходящих через его оптическую ось.



Рисунок 1.2 – Примеры дефектов зрения

Для определения наличия близорукости или дальнозоркости проводят дуохромный тест, в котором таблицу с оптотипами размещают на красно-зеленом фоне (Рисунок 1.3). При эмметропии глаз одинаково четко различает объекты на обоих фонах. При миопии более четкими кажутся символы на красном фоне, а при гиперметропии – на зеленом.



Рисунок 1.3 – Изображение для дуохромного теста

Тесты на астигматизм представляют собой различные изображения с разнонаправленными радиальными или параллельными линиями равной толщины (Рисунок 1.4 а). При наличии астигматизма человек видит линии с неравномерным размытием (Рисунок 1.4 б).

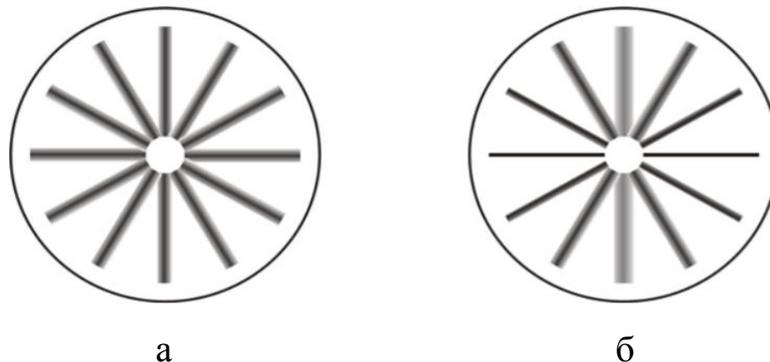


Рисунок 1.4 – Пример изображения для проверки астигматизма

Глаз человека формирует цветное изображение при помощи трех типов колбочек, различающих основные цвета – красный, зеленый и синий. Благодаря этому человек способен видеть все цвета радуги и различать их оттенки (Рисунок 1.5 а). Однако встречаются люди с нарушением цветового восприятия:

- **Монохромазия**, то есть полная цветовая слепота, встречается крайне редко. Люди, страдающие этой формой расстройства цветового зрения, видят только различные оттенки одного тона, в зависимости от вида дефекта.

Если не работает ни один тип колбочек, то человек видит мир в оттенках серого. Такой вариант называется **ахромазия**.

- **Дихромазия**, то есть неспособность восприятия одного из трех основных цветов, встречается чаще. Различают три основных вида частичной цветовой слепоты:
  - **Протанопия** – невозможность идентифицировать цвета красного спектра. Предметы красного цвета выглядят чрезмерно темными, а замещающими цветами являются желтый, коричневый, серый (Рисунок 1.5 б);
  - **Дейтеранопия** – наиболее частый вариант частичной цветовой слепоты, при котором человек не воспринимает зеленый спектр, а также оттенки красного. Синий и желтый спектры замещают цвета, не подлежащие восприятию (Рисунок 1.5 в);
  - **Тританопия**, крайне редкий вид дихромазии, при котором человек полностью не воспринимает синий спектр (Рисунок 1.5 г).



(а) нормальное зрение



(б) протанопия



(в) дейтеранопия



(г) тританопия

Рисунок 1.5 – Пример восприятия изображения при различных видах цветовой слепоты

Проверка цветовосприятия выполняется с помощью специального прибора – аномалоскопа, или при помощи полихроматических таблиц Рабкина или Ишихары (Рисунок 1.6 а и б соответственно).

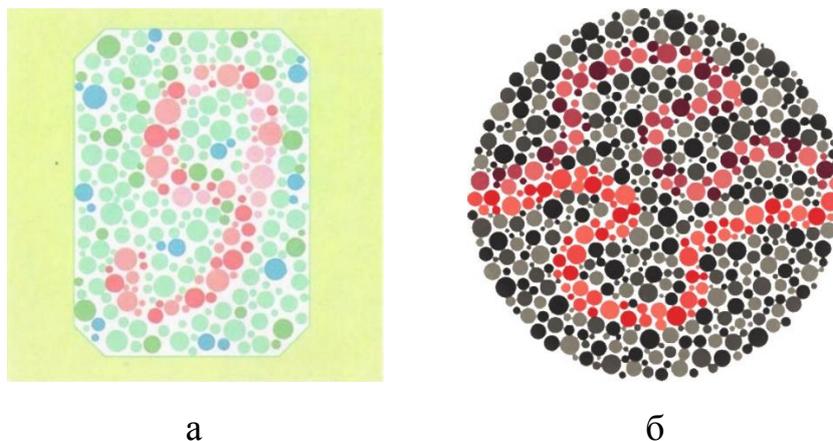


Рисунок 1.6 – Примеры изображений из таблиц Рабкина (а) и Ишихары (б) для проверки цветовосприятия

**Сетчатка** – тонкая внутренняя оболочка глаза, с внутренней стороны прилежащая к стекловидному телу, а с наружной – к сосудистой оболочке глазного яблока. Отвечает за восприятие изображения и обладает чувствительностью к свету. Для общей проверки патологий центрального отдела сетчатки используется тест Амслера, представляющий собой сетку из 10–15 взаимно перпендикулярных вертикальных и горизонтальных линий, расположенных на расстоянии 5 мм друг от друга (Рисунок 1.7 а). При наличии патологий человек видит различные искажения сетки (Рисунок 1.7 б).

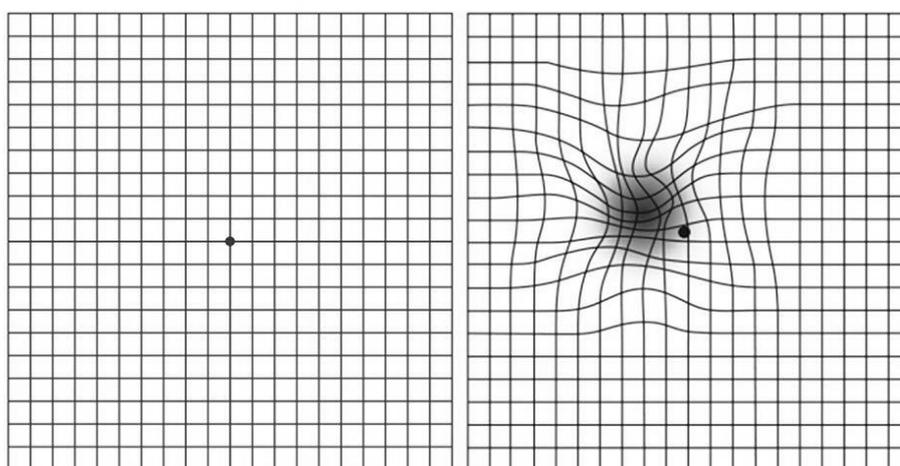


Рисунок 1.7 – Тест Амслера (а) и пример того, как его видит человек при патологии центрального отдела сетчатки (б)

### 3. Задание

Для каждого глаза, не используя корректирующие средства (очки, линзы), выполнить следующие задания и заполнить таблицу 1.1:

1. На сайте <https://visionexpert.tv/acuity-check-ru> пройти проверку зрения на дальнозоркость и близорукость по таблице Сивцева;
2. На сайте <https://crizal.ru/vision-screening> пройти 6 проверок:
  - 1) На остроту зрения по таблице Пфлюгера;
  - 2) На контрастную чувствительность по таблице Головина;
  - 3) На цветовосприятие;
  - 4) На возможное наличие близорукости и дальнозоркости;
  - 5) На возможное наличие астигматизма;
  - 6) На возможное наличие патологий центрального отдела сетчатки.

Таблица 1.1 – Оформление результатов

№	Название	Результат	
		Левый глаз	Правый глаз
Задание 1			
1	Острота зрения вблизи		
2	Острота зрения вдали		
Задание 2			
1	Острота зрения		
2	Контрастная чувствительность		
3	Цветовосприятие		
4	Близорукость и дальнозоркость		
5	Астигматизм		
6	Патологии центрального отдела сетчатки		

Данная работа носит **ознакомительный** характер и направлена на знакомство с методиками базового определения основных наиболее распространённых дефектов зрения. Важно помнить, что пройденные тесты не заменяют обследование у специалиста, а лишь дают общее представление о состоянии зрительной системы. Врача-офтальмолога важно посещать минимум **раз в 2 года** для профилактического осмотра, а также не забывать регулярно делать гимнастику для глаз.

## 4. Содержание отчета

- Цель и задачи работы;
- Краткие теоретические сведения;
- Описание хода выполнения работы с примерами выполнения заданий и кратким описанием тестов;
- Заполненная таблица 1.1:
  - Для задания 1 – числовые значения, соответствующие остроте зрения;
  - Для задания 2 – количество верных ответов и максимальное количество возможных ответов для каждого из тестов;
- Развернутый вывод с анализом полученных результатов.

## 5. Пример выполнения

### 5.1. Проверка зрения на дальнюю зоркость и близорукость

Первое задание выполняется на сайте <https://visionexpert.tv/acuity-check-ru>. Первый тест представляет собой изображение с текстом различного размера (Рисунок 1.8).

<b>№ 1 (острота зрения 1,0) шрифт 05</b> <small>Шелухами ударили в ладоши и потяжи, же звенела крошечная пастушка и пастушки, окитинки и окитинки, такие крошечки и болели, что можно было подорвать, будто они из чистого сахара. Когда они и рухнули по-лему, Марк их раньше почему-то не заметил. Они принесли чудо, какое хорошее золотое кресло</small>	<b>№ 2 (острота зрения 0,9) шрифт 06</b> <small>... в середине цветка что-то щелкнуло, и он раскрылся. Это был в самом деле большой тополь, но в чашечке его сидела живая девочка. Она была маленькая-маленькая, всего в дюйм ростом, поэтому не так и провалил – Доймовичка</small>
<b>№ 3 (острота зрения 0,8) шрифт 07</b> <small>Это были славные, бравые ребята: ружье на плече, гряд колесом мундир: красный, отвороты синие, пуговицы блестят... Ну словом, чудо, что за солдатик! Все двадцать пять лежали рядом в картонной коробке. В ней было темно и тесно.</small>	<b>№ 4 (острота зрения 0,7) шрифт 08</b> <small>На закате увидела Элиза одиннадцать диких лебедей в золотых коронах. Они летели к суше, следуя один за другим, и похоже было, что небо колыхнется длинная белая лента. Элиза взобралась наверх береговой...</small>
<b>№ 5 (острота зрения 0,6) шрифт 09</b> <small>... Там растут невиданные деревья и цветы с такими гибкими стеблями и листьями, что шевелятся, словно живые от малейшего движения воды. А между ветвями сплужут рыбы, большие и маленькие, совсем как птицы в воздухе у нас наверху. В самом глубоком месте стоит дворец морского царя – стены его из кораллов, высокие стрельчатые окна...</small>	
<b>№ 6 (острота зрения 0,5) шрифт 10</b> <small>Посреди зали вода бежала широким потоком, и в нем танцевали под свое чудное пение водяные и русалки. Таких прекрасных голосов не бывает у людей. Таких прекрасных голосов не бывает у людей. Русалочка пела лучше всех, и все хлопали ей в ладоши. На минуту ей было сделалось весело при мысли о том, что ни у кого и нигде, ни в море, ни на земле.</small>	
<b>№ 7 (острота зрения 0,4) шрифт 11</b> <small>Видали вы когда-нибудь старинный-старинный шкаф, почерневший от времени и украшенный резными завитушками и листьями? Такой вот шкаф–прабабушкино наследство-стоял в гостиной. Он был весь покрыт резьбой-розами, тюльпанами и самыми незатейливыми завитушками.</small>	
<b>№ 8 (острота зрения 0,3) шрифт 12</b> <small>А лесные девы уже кружились на волшебном холме. Они разучивали танец с попокрывалом, сотканным из тумана и лунного света, и тем, кто находит вкус в таких вещах...</small>	
<b>№ 9 (острота зрения 0,2) шрифт 14</b> <small>СНАЧАЛА МЫ СЛЫШАЛИ И ШЕЛЕСТ ЛИСТВЫ ВОКРУГ, И ВСПЛЕСКИ ВОДЫ В ОЗЕРЕ, ЧУВСТВОВАЛИ ПОД СОБОЙ ЗЕМЛЮ...ПОТОМ ПОСТЕПЕННО ГОЛУБОЕ НЕБО.</small>	
<b>№ 10 (острота зрения 0,1) шрифт 18</b> <b>ПЛОТЫ ПЛЫЛИ ДАЛЬШЕ</b>	

Рисунок 1.8 – Изображение для проверки остроты зрения вблизи

Следуя инструкции на сайте, для каждого глаза определяется минимальный читаемый шрифт, по которому фиксируется значение для остроты зрения.

Второй тест представляет собой аналог таблицы Сивцева (Рисунок 1.9). Перед началом необходимо выбрать один из вариантов, наиболее подходящий для вашего экрана по диагонали и разрешению. Затем, соблюдая указанные инструкции на сайте, выполняется проверка для каждого глаза.



Рисунок 1.9 – Таблица для проверки остроты зрения вдаль

## 5.2. Проверка различных параметров зрения

Второе задание выполняется на сайте <https://crizal.ru/vision-screening>. Для начала необходимо ознакомиться с общей инструкцией, проверить расстояние до экрана в зависимости от диагонали. Затем необходимо пройти все 6 тестов. Для каждого из них есть небольшие пояснения, размещенные под полем теста (Рисунок 1.10).

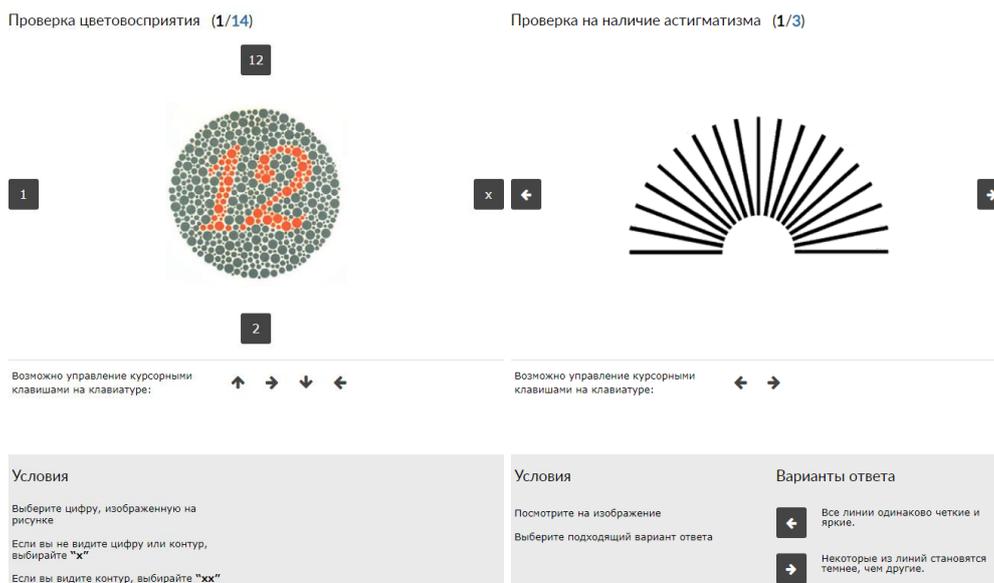


Рисунок 1.10 – Пример тестовых экранов с инструкциями для тестов на цветовосприятие (слева) и астигматизм (справа)

После прохождения всех тестов необходимо просмотреть результаты. По каждому из тестов будет представлено количество «правильных» ответов (Рисунок 1.11).

Результаты тестирования	Верные ответы
Проверка остроты зрения	18 из 18
Проверка контрастной чувствительности	17 из 18
Проверка цветовосприятия	14 из 14
Проверка близорукости/дальнозоркости	1 из 1
Проверка на астигматизм	3 из 3
Проверка патологий центрального отдела сетчатки	1 из 1

Рисунок 1.11 – Пример результатов прохождения тестирования

Полученные результаты необходимо оформить в виде таблицы (см. таблицу 1.1). Затем необходимо повторить тесты для второго глаза.

## Лабораторная работа №2. Знакомство с цветовыми пространствами и разработка цветowych схем

### 1. Цель работы

Знакомство с цветовыми моделями и вариантами подбора цветowych схем для базовых цветов.

### 2. Основные теоретические сведения

**Цвет** – это субъективная характеристика восприятия света определенной длины волны и яркости, попавшего на сетчатку глаза человека. Для описания цветов существуют различные **цветовые модели**. Их можно классифицировать следующим образом:

- Эталонные – описания восприятия (XYZ, Lab);
- Аддитивные – синтез цвета от излучаемого света (RGB);
- Субтрактивные – синтез цвета от отраженного света (CMY, CMYK);
- Интуитивные – аппаратно-независимая цветокоррекция (HSV).

**Модель XYZ** представляет собой описанную строго математически эталонную трехкомпонентную цветовую модель, основанную на результатах измерения характеристик человеческого глаза. Визуальным представлением этой модели является хроматическая диаграмма (Рисунок 2.1).

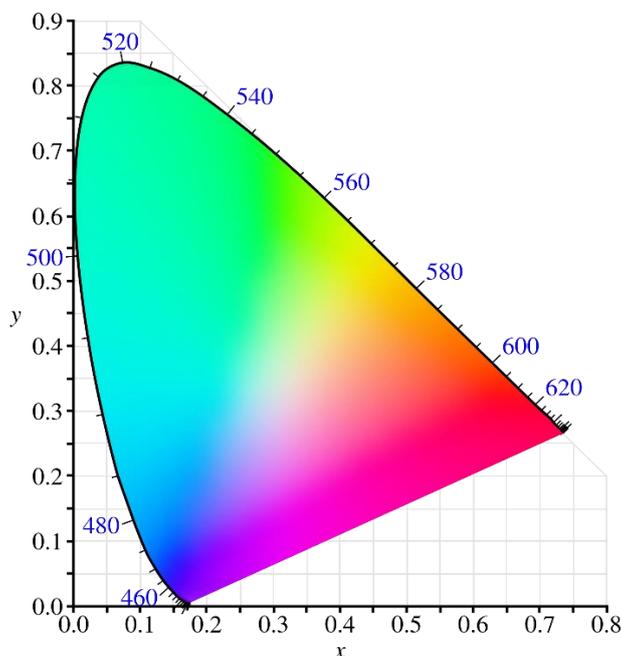


Рисунок 2.1 – Хроматическая диаграмма

По ее дуге располагаются все основные цвета и оттенки: от фиолетового в левом углу через зеленый сверху к красному в правом углу. По нижней грани диаграммы расположены розовые оттенки.

За единичные основные цвета принимают такие их количества, которые в смеси дают некоторый заданный (опорный, чаще всего белый) цвет. Линии, соединяющие точки единичных основных цветов, образуют цветовой треугольник, а точки, лежащие в плоскости этого треугольника, определяют качественную характеристику цвета, называемую **цветностью**. Положение точки цветности в треугольнике определяется любыми двумя (из трёх) координатами цветности, т. к. каждая из них равна частному от деления одной из цветовых координат на сумму всех трёх цветовых координат, то есть сумма трёх координат цветности всегда равна единице.

Координаты цветов монохроматических излучений одинаковой мощности в любой цветовой координатной системе называются ординатами кривых сложения (удельными координатами), а совокупность этих координат определяет три **функции сложения цветов** (Рисунок 2.2). Функции сложения взаимосвязаны с функциями спектральной чувствительности рецепторов сетчатки глаза человека.

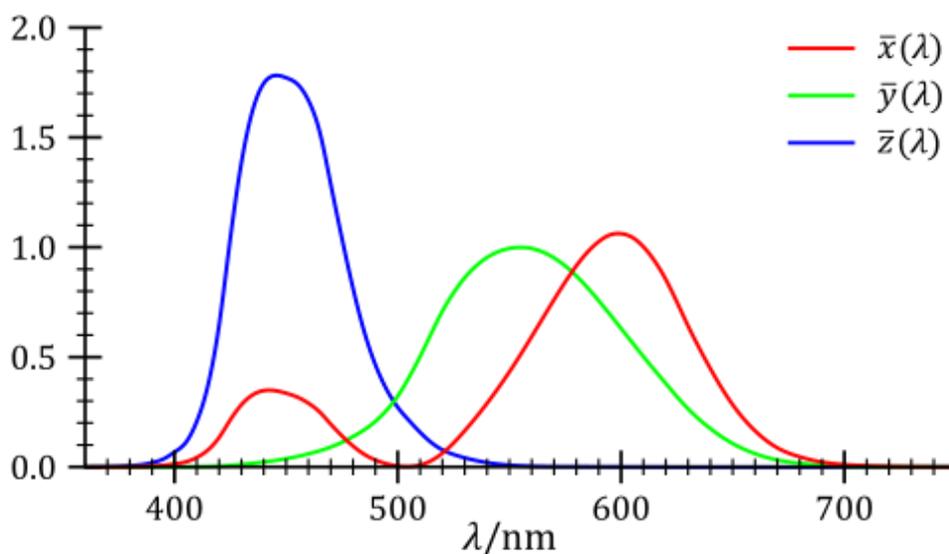


Рисунок 2.2 – Функции сложения цветов для цветовой модели XYZ

Координаты цвета XYZ и координаты цветности  $x_{yz}$  связаны между собой следующими соотношениями:

$$x = \frac{X}{X+Y+Z}; y = \frac{Y}{X+Y+Z}; z = \frac{Z}{X+Y+Z} \#(2.1)$$

На хроматической диаграмме по оси абсцисс указывается координата цветности  $x$ , а по оси ординат  $y$ . Чтобы определить, какому цвету соответствуют значения координат  $x$  и  $y$ , необходимо определить цвет точки с соответствующими координатами на хроматической диаграмме.

**Модель RGB** – это аддитивная модель, в которой цвет формируется сложением трех составляющих: красной, зеленой и синей (Рисунок 2.3).

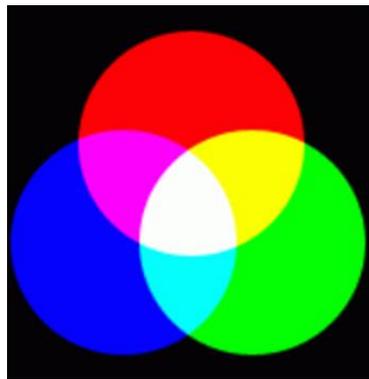


Рисунок 2.3 – Аддитивное смешение цветов

Наиболее распространенный вариант данной модели – пространство sRGB (Рисунок 2.4).

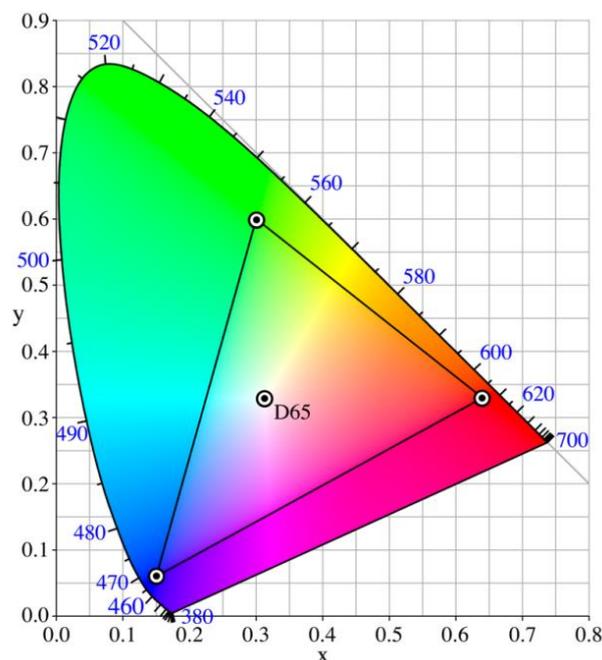


Рисунок 2.4 – Цветовой охват пространства sRGB

Связь между пространствами sRGB и XYZ выражается следующими формулами:

$$X = 0,4124 \cdot R + 0,3576 \cdot G + 0,1805 \cdot B, \#(2.2)$$

$$Y = 0,2126 \cdot R + 0,7152 \cdot G + 0,0722 \cdot B, \#(2.3)$$

$$Z = 0,0193 \cdot R + 0,1192 \cdot G + 0,9505 \cdot B \#(2.4)$$

В полиграфии используется **модель СМУК**. Эта модель является субтрактивной и состоит из трех базовых цветов (голубой, пурпурный, желтый) и дополнительного черного для более точной передачи цветов при печати (Рисунок 2.5).

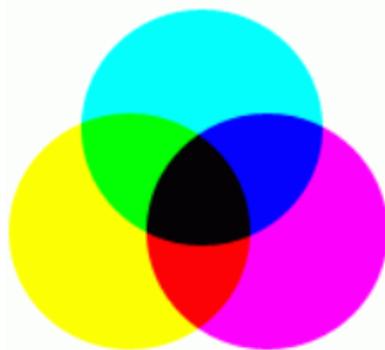


Рисунок 2.5 – Субтрактивное смешение цветов

Связь между моделями RGB и CMY можно представить в виде единичного куба (Рисунок 2.6) и выразить следующей формулой:

$$[R \ G \ B] = [1 \ 1 \ 1] - [C \ M \ Y] \#(2.5)$$

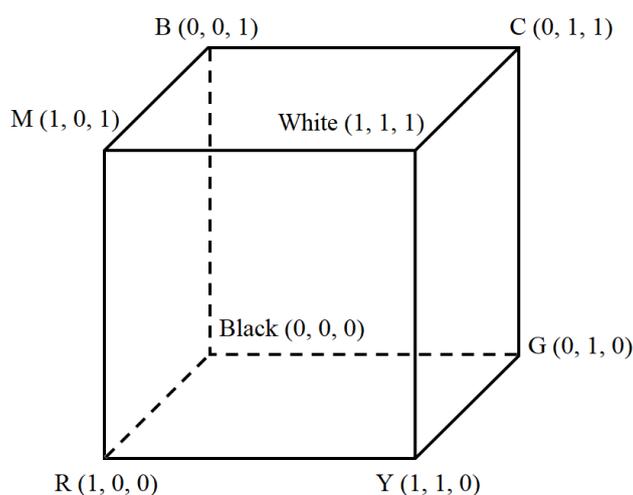


Рисунок 2.6 – Единичный куб для цветковых моделей RGB и CMY

**Цветовой круг** – это вариант представления видимого спектра цветов в виде круга (Рисунок 2.7).



Рисунок 2.7 – Цветовой круг Иттена

Цветовой круг удобно использовать для составления различных цветовых схем (Рисунок 2.8):

- **Комплементарная** (а) – составляется из цветов, противоположных друг другу на цветовом круге. Подвидом является **предельно удаленная пара** (б);
- **Триадическая или триадная** (в, г) – представляет собой треугольник из контрастных цветов. В классической триаде цвета выбираются на равном удалении друг от друга;
- **Тетрадиические или тетраидная** (д, е) – используют 4 цвета, расположенных по углам прямоугольника или квадрата и являющихся 2 парами комплиментарных цветов;
- **Аналоговая** (ж) – сочетание трех соседних цветов;
- **Монохроматическая** (з) – сочетает в себе оттенки одного цвета.

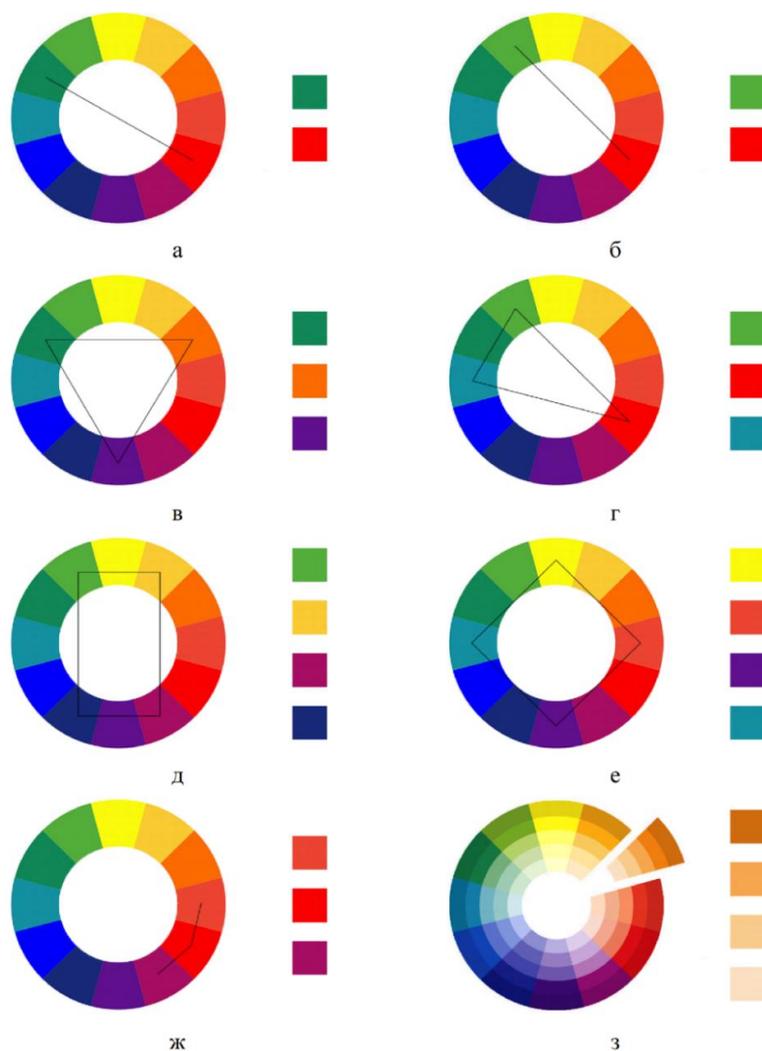


Рисунок 2.8 – Варианты цветowych схем

### 3. Задание

Выбрать изображение, определить 3 основных цвета и выполнить следующие задания:

#### 1. Работа с цветовыми пространствами:

- 1) Указать координаты выбранных цветов в цветовом пространстве RGB;
- 2) Перевести координаты цветов в цветовые пространства CMY, XYZ;
- 3) Рассчитать координаты цветности  $x_{yz}$ ;
- 4) Отметить по полученным координатам цвета на хроматической диаграмме;
- 5) Заполнить таблицу 2.1
- 6) Сравнить полученные цвета с исходными, сделать выводы.

Таблица 2.1 – Таблица для задания 1

	Цвет №1	Цвет №2	Цвет №3
Исходный цвет в RGB			
Координаты RGB			
Координаты CMY			
Координаты XYZ			
Координаты хуz			
Цвета на хроматической диаграмме			

2. Работа с цветовыми схемами – для каждого из выбранных основных цветов составить 5 цветовых схем:

- Монохроматическую;
- Комплементарную;
- Аналоговую;
- Триадическую;
- Тетрадическую.

Для каждого цвета заполнить таблицу 2.2, указав координаты всех цветов в системе RGB.

Выполнять задание возможно в любом ПО с возможностью выбора цветов на цветовом круге и определения координат RGB.

Таблица 2.2 – Таблица для задания 2

Монохроматическая схема – 4 цвета			
Комплементарная схема – 2 цвета			
Аналоговая схема – 3 цвета			
Триадическая схема – 3 цвета			
Тетрадическая схема – 4 цвета			

#### 4. Содержание отчета

- Цель и задачи работы;
- Краткие теоретические сведения;
- Описание хода выполнения работы с демонстрацией всех вычислений (для задания 1) и иллюстраций с выбором цветовых схем (для задания 2);
- Заполненные таблицы:
  - Для задания 1 – таблица 2.1 с указанием исходных цветов, всех цветовых координат и цветов, полученных на хроматической диаграмме;
  - Для задания 2 – таблица 2.2 в трех вариантах для каждого из основных цветов с указанием цвета и его цветовых координат;
- Развернутый вывод с анализом полученных результатов.

#### 5. Пример выполнения

Перед выполнением задания необходимо выбрать изображение, из которого будут выбираться 3 основных цвета. Для примера будет использоваться изображение, представленное на рисунке 2.9.



Рисунок 2.9 – Исходное изображение

Выбрать цвета можно при помощи инструмента «Пипетка» в любом графическом редакторе. Пусть основными цветами будут следующие оттенки:



##### 5.1. Работа с цветовыми пространствами

В качестве примера будут показаны вычисления для одного цвета.

Определить координаты цвета в пространстве RGB необходимо на этапе выбора цветов. Например, в графическом редакторе «Paint» это можно сделать через изменение палитры (Рисунок 2.10).

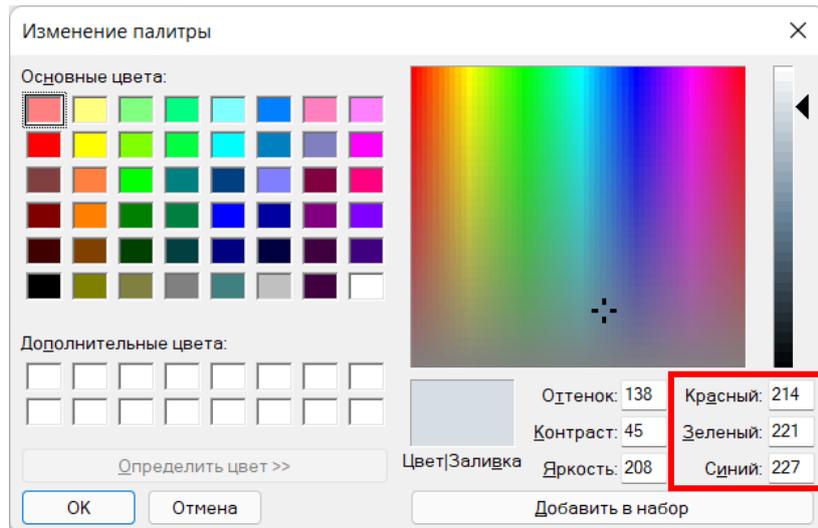


Рисунок 2.10 – Изменение палитры в графическом редакторе «Paint»

Перевод в пространство CMY выполняется по формуле (2.5) следующим образом:

$$C = 255 - 214 = 41, \#(2.6)$$

$$M = 255 - 221 = 33, \#(2.7)$$

$$Y = 255 - 227 = 28 \#(2.8)$$

Для перевода в пространство XYZ применяются формулы (2.2) – (2.4):

$$X = 0,4124 \cdot 214 + 0,3576 \cdot 221 + 0,1805 \cdot 227 \approx 208,26, \#(2.9)$$

$$Y = 0,2126 \cdot 214 + 0,7152 \cdot 221 + 0,0722 \cdot 227 \approx 219,95, \#(2.10)$$

$$Z = 0,0193 \cdot 214 + 0,1192 \cdot 221 + 0,9505 \cdot 227 \approx 246,24 \#(2.11)$$

По формуле (2.1) производятся вычисления координат цветности:

$$x = \frac{208,26}{208,26 + 219,95 + 246,24} \approx 0,309, \#(2.12)$$

$$y = \frac{219,95}{208,26 + 219,95 + 246,24} \approx 0,326, \#(2.13)$$

$$z = \frac{246,24}{208,26 + 219,95 + 246,24} \approx 0,365 \#(2.14)$$

По полученным значениям необходимо отметить цвет на хроматической диаграмме (Рисунок 2.11).

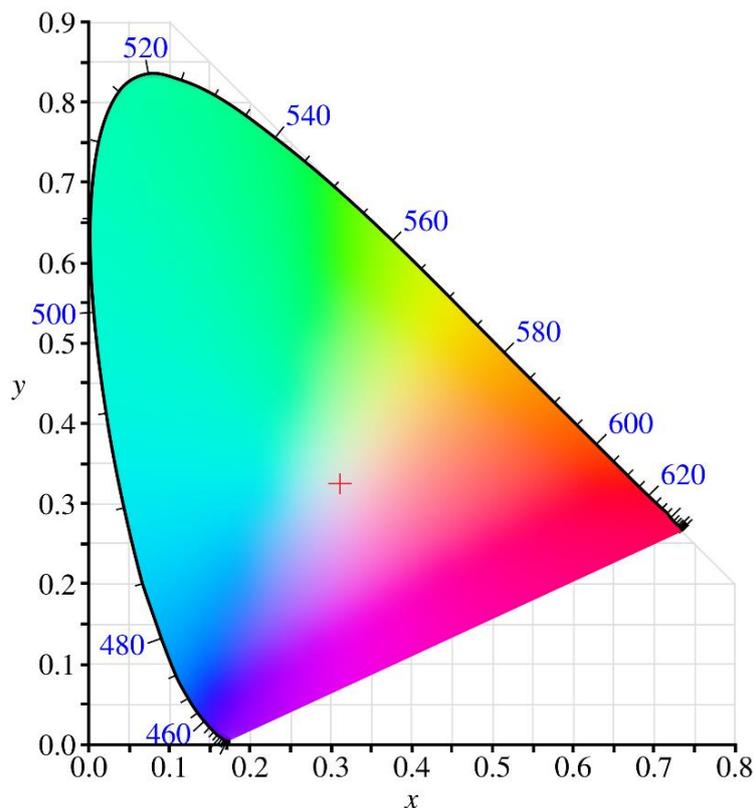


Рисунок 2.11 – Хроматическая диаграмма с отмеченным на ней цветом

Аналогичным образом выполняются вычисления для **каждого** цвета. Полученные результаты заносятся в таблицу 2.1. Пример заполнения таблицы:

	Цвет №1	Цвет №2	Цвет №3
Исходный цвет в RGB			
Координаты RGB	214; 221; 227	163; 117; 39	100; 118; 34
Координаты CMY	41; 33; 28	92; 138; 217	156; 138; 222
Координаты XYZ	208,26; 219,95; 246,24	116,10; 121,15; 54,16	89,57; 108,11; 48,31
Координаты хуz	0,309; 0,326; 0,365	0,398; 0,416; 0,186	0,364; 0,439; 0,196
Цвета на хроматической диаграмме			

## 5.2. Работа с цветовыми схемами

Составление цветовых схем выполняется при помощи цветового круга. В качестве примера будет показан подбор схем для одного цвета через встроенное представление цветового круга в Microsoft Word.

В диалоговом окне «Цвета» есть две вкладки. Для выбора цветов монохроматической схемы необходимо воспользоваться изменением яркости цвета на вкладке «Спектр» (Рисунок 2.12).

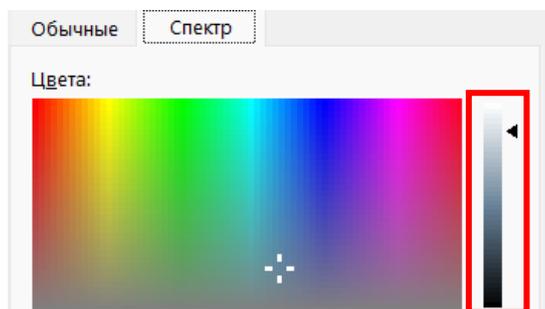


Рисунок 2.12 – Выбор цветов для монохроматической схемы

Для составления остальных схем необходимо на вкладке «Обычные» выбрать наиболее подходящий цвет к вашему и затем, используя методы на рисунке 2.8, выбрать необходимые цвета (Рисунок 2.13).

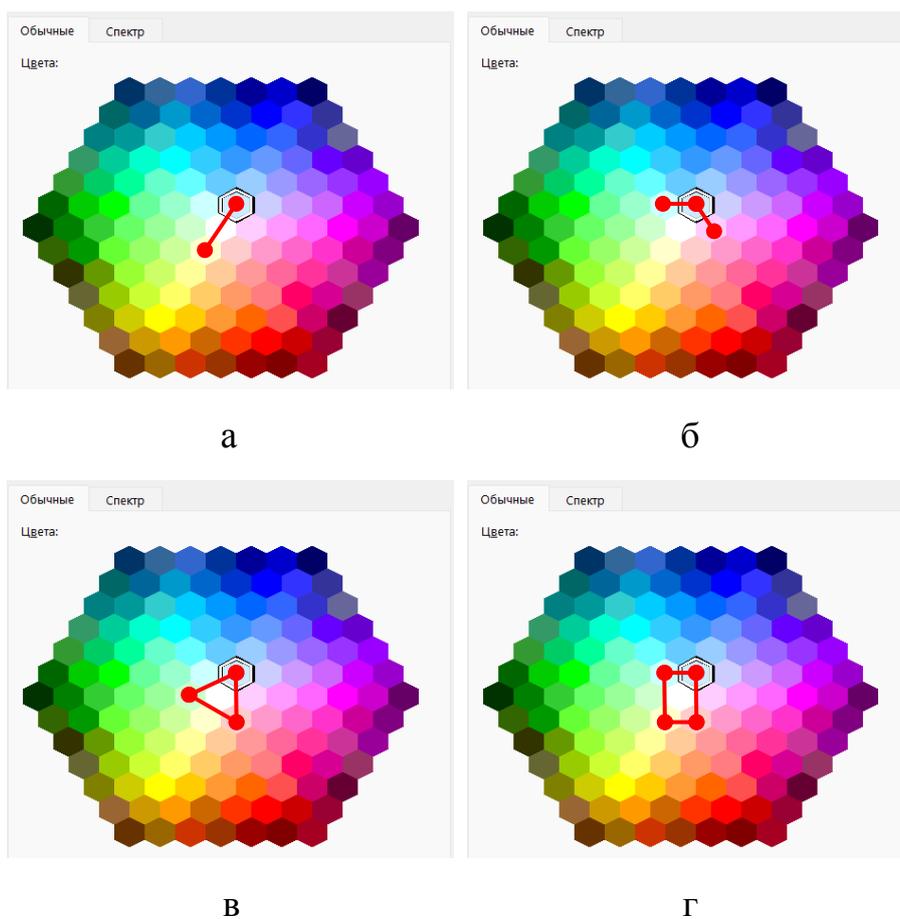


Рисунок 2.13 – Выбор цветов для комплементарной (а), аналоговой (б), триадической (в) и тетрадической (г) схем

В отчете необходимо представить подобные иллюстрации для **каждого цвета**, а также заполнить три таблицы 2.2. Пример заполнения:

Монохроматическая схема – 4 цвета			
214; 221; 227	180; 193; 204	133; 155; 173	76; 96; 112
Комплементарная схема – 2 цвета			
214; 221; 227		255; 255; 204	
Аналоговая схема – 3 цвета			
214; 221; 227	204; 255; 255	255; 204; 255	
Триадическая схема – 3 цвета			
214; 221; 227	204; 255; 204	255; 204; 204	
Тетрадическая схема – 4 цвета			
214; 221; 227	204; 255; 255	255; 255; 204	255; 204; 204

## Лабораторная работа №3. Оптические иллюзии и стереопары

### 1. Цель работы

Практическое знакомство со способами создания оптических иллюзий и анализ стереопар.

### 2. Основные теоретические сведения

**Оптические иллюзии** – неправильные представления о цвете, размере, движении и положении в пространстве объектов, вызванные природой зрительной системы и восприятием человека. Их можно классифицировать следующим образом:

- *Иллюзии восприятия известного образа* (перцептивной готовности) – возникают вследствие предрасположенности или готовности воспринимать визуальную информацию определенным способом;
- *Иллюзии восприятия глубины пространства* – восприятие мозгом 2D-изображений, обрабатываемых сетчаткой, как 3D;
- *Иллюзии движения* – восприятие движения неподвижных объектов, т. е. восприятие движения при его отсутствии, эффект достигается преимущественно из-за микродвижений глаз;
- *Визуальное искажение* – восприятие различных форм и объектов в искривленном виде;
- *Иллюзии восприятия размера* – неверная оценка восприятия размера геометрических величин, возникающая из-за характера фона изображения;
- *Иллюзии восприятия цвета и контраста* – иллюзии, обусловленные зависимостью восприятия цвета от фона;
- *Эффект последствия* – иллюзия, возникающая при наблюдении контрастных изображений: зрительные ощущения сохраняются после снятия раздражения;
- *Двойные изображения* – иллюзия, в основе которой лежат графическая схожесть и интерпретация двух и более различных форм изображения зрительной системой;

- *Невозможные иллюзии* – иллюзии, представляющие собой двумерную проекцию трехмерных объектов с противоречивыми соединениями элементов фигуры.

**Бинокулярное (стереоскопическое) зрение** – способность одновременно чётко видеть одно изображение предмета обоими глазами. Обеспечивается в корковом отделе зрительного анализатора благодаря сложнейшему физиологическому механизму зрения – фузии, слиянию зрительных образов, возникающих отдельно в каждом глазу (монокулярное изображение), в единое зрительное восприятие (Рисунок 3.1).

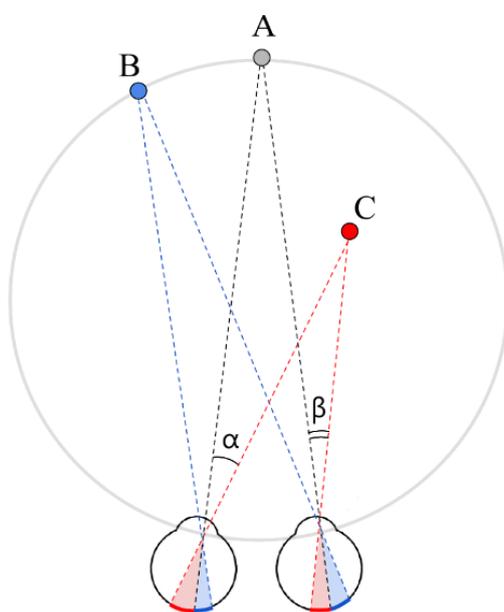


Рисунок 3.1 – Принцип бинокулярного зрения

Бинокулярное зрение позволяет определять положение объекта в пространстве, воспринимать его объемно, рельефно.

### **Создание стереоизображений**

Стереоизображения формируются путем создания двух фотографий одного и того же объекта, сделанных с двух разных точек обзора примерно на том же расстоянии друг от друга, что и человеческие глаза (Рисунок 3.2).

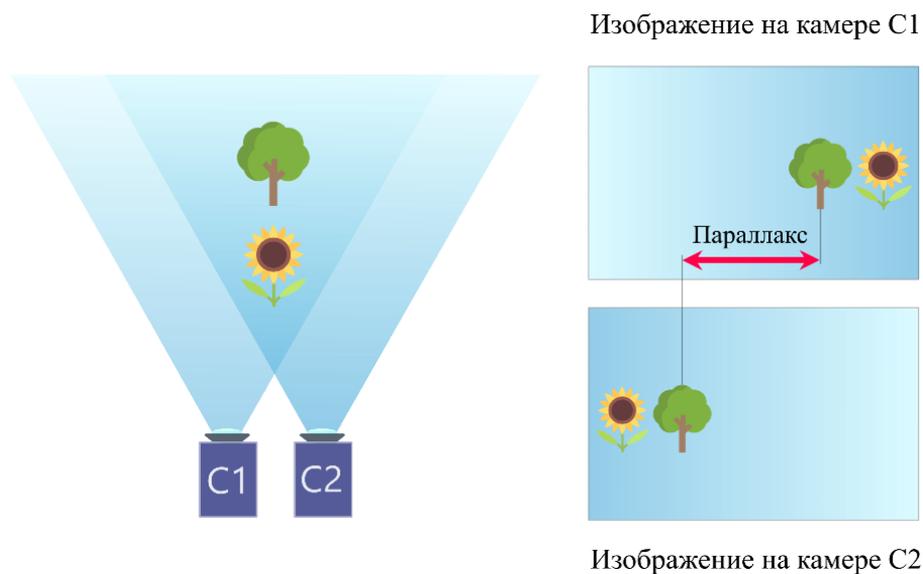


Рисунок 3.2 – Создание стереоизображения

**Параллакс** – величина взаимного смещения сопряженных точек на сетчатках глаз или в изображениях стереопары. Это смещение хорошо видно в анаглифных стереоизображениях (Рисунок 3.3).



Рисунок 3.3 – Параллакс на анаглифном стереоизображении

Выделяется несколько видов параллакса (Рисунок 3.4):

- Нулевой параллакс – восприятие объекта в плоскости изображения;
- Положительный параллакс – восприятие объекта за плоскостью изображения;
- Отрицательный параллакс – восприятие объекта перед изображением.

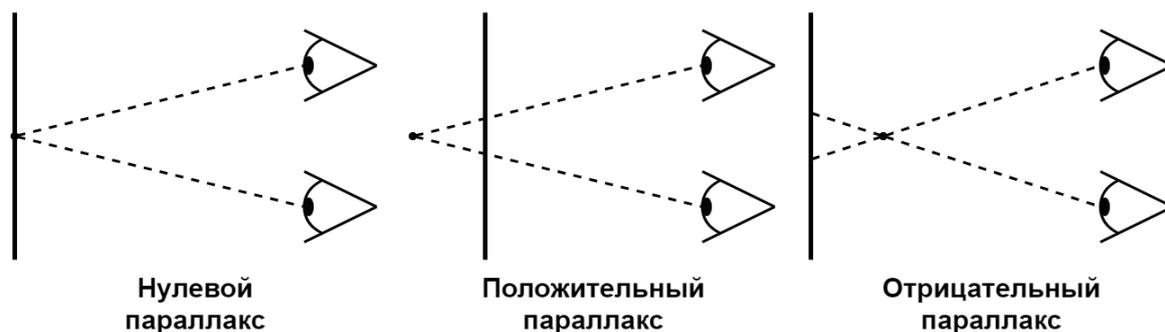


Рисунок 3.4 – Виды параллакса

Для **корреляционного анализа стереоизображений** производится вычисление коэффициента взаимной корреляции по формуле Пирсона:

$$r_{1,2} = \frac{\sum(x_1 - \bar{x}_1)(x_2 - \bar{x}_2)}{\sqrt{\sum(x_1 - \bar{x}_1)^2} \sqrt{\sum(x_2 - \bar{x}_2)^2}}, \#(3.1)$$

где  $\bar{x}$  – среднее по изображению,  $x_1, x_2$  – значения яркости в точке первого и второго изображений соответственно.

Максимум корреляции позволяет определить параллакс. Полному совпадению соответствует коэффициент 1, максимальному расхождению – коэффициент  $-1$ , ноль означает отсутствие корреляции.

**Комфортность восприятия стереоизображения** (к.в.с.) – совокупное ощущение естественности объемного изображения, возникающее у зрителя при максимальном приближении условий формирования сетчаточных изображений кадров стереопары к условиям формирования сетчаточных изображений реальных объектов.

Комфортность восприятия стереоизображения достигается при выполнении ряда специфических требований, предъявляемых к стереоизображению:

- *Соблюдение диапазонов положительного и отрицательного горизонтальных параллаксов:*

Положительный горизонтальный параллакс  $P_{\max}^+$  не должен превышать величину базиса зрения  $V_{\text{зр}} = 65$  мм. Превышение вызывает дивергенцию (расхождение) зрительных осей;

Величина отрицательного горизонтального параллакса  $P_{\max}^-$  определяется из следующей формулы:

$$\alpha = 2 \arctan \frac{|P_{\max}^-| + B_{\text{зр}}}{2L}, \#(3.2)$$

где  $\alpha$  – угол конвергенции, предельное значение которого составляет  $30^\circ$ ,  $B_{\text{зр}}$  – базис зрения,  $L$  – расстояние от плоскости изображения до глаз наблюдателя в мм;

- *Отсутствие вертикальных параллаксов* – величина вертикальных смещений всегда должна равняться нулю.
- *Одинаковость фотографических и геометрических параметров левого и правого изображений стереопары* – резкость, яркость, масштаб и т.д.

### 3. Задание

1. Для заданной оптической иллюзии:
  - 1) Определить тип, описать принцип работы.
  - 2) Повторить иллюзию при помощи подручных средств.
  - 3) Показать и/или описать ее разоблачение.
2. Для заданных матриц интенсивности пары изображений:
  - 1) Вычислить при помощи коэффициентов корреляции Пирсона сдвиг матриц друг относительно друга.
  - 2) Определить, могут ли изображения быть стереопарой.

Задание можно выполнять в любой программе и с использованием любых языков программирования.

### 4. Содержание отчета

- Цель и задачи работы;
- Краткие теоретические сведения;
- Описание хода выполнения работы;
- Для задания 1 показать реализованную иллюзию и пояснения по ее выполнению.
- Для задания 2 показать:
  - Все параметры, используемые в вычислениях;

- Программную среду, в которой выполняются вычисления;
  - Визуализацию матрицы коэффициентов корреляции Пирсона;
  - Вычисленную величину сдвига изображений;
  - Пояснения о возможности данных изображений быть стереопарой.
- Развернутый вывод с анализом полученных результатов.

## 5. Варианты заданий

Для задания №1:

№ варианта	Иллюзия
1	Стена кафе
2	Иллюзия падающей башни
3	Иллюзия Геринга
4	Иллюзия Дельбёфа / Иллюзия Эббингауза
5	Иллюзия Поггендорфа
6	Иллюзия Уайта
7	Иллюзия Понцо
8	Иллюзия цвета и контраста на основе фотографии.
9	Иллюзия Адельсона
10	Иллюзия Цёлльнера
11	Иллюзия Ястрова
12	Лестница Шрёдера
13	Куб Эшера
14	Бливет
15	Решётка Германа
16	Эффект Бецольда
17	Иллюзия Эренштейна
18	Иллюзия Корнsvита
19	Иллюзия периферического движения
20	Треугольник Пенроуза

Файлы для задания №2 необходимо получить у преподавателя.

## 6. Пример выполнения

### 6.1. Оптические иллюзии

Первое задание подразумевает самостоятельное **ручное** повторение иллюзии и ее описание.

Для примера будет рассмотрено два варианта: *иллюзия Сандера* и *иллюзия цвета и контраста на основе фотографии*.

В первом случае иллюзия относится к **иллюзии восприятия размера**. Она заключается в том, что одинаковые по длине диагонали двух параллелограммов кажутся разной величины.

Для повторения иллюзии можно воспользоваться любым графическим редактором. Вариант алгоритма повторения может выглядеть так:

- Исходная диагональная линия отображается по горизонтали, чтобы создать две равные по длине линии.
- Обе диагонали помещаются в параллелограммы для получения эффекта разности длин (Рисунок 3.5 а).

Для разоблачения иллюзии достаточно, например, под основным рисунком разместить изображение с теми же диагоналями, но без параллелограммов (Рисунок 3.5 б).

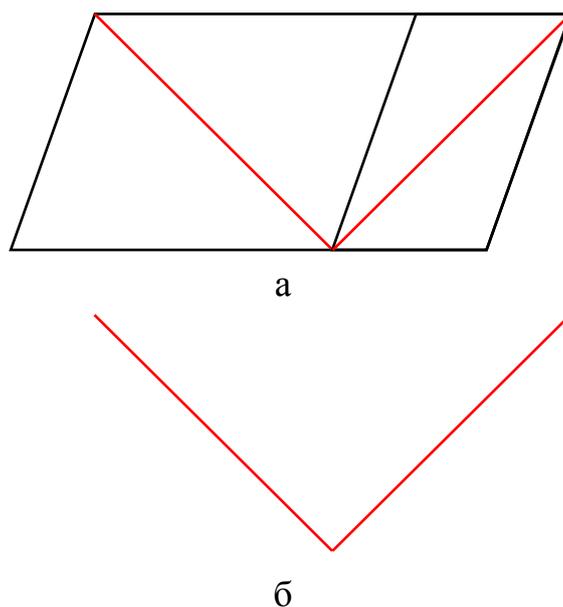


Рисунок 3.5 – Демонстрация иллюзии Сандера (а) и ее разоблачение (б)

Во втором случае тип иллюзии соответствует ее названию – **иллюзия восприятия цвета и контраста**. Данный тип иллюзии удобнее всего реализовать в графическом редакторе с поддержкой работы с несколькими слоями.

Для начала необходимо представить исходное изображение в градациях серого. Затем создается «маска» для изображения – поле в виде решетки (Рисунок 3.6).

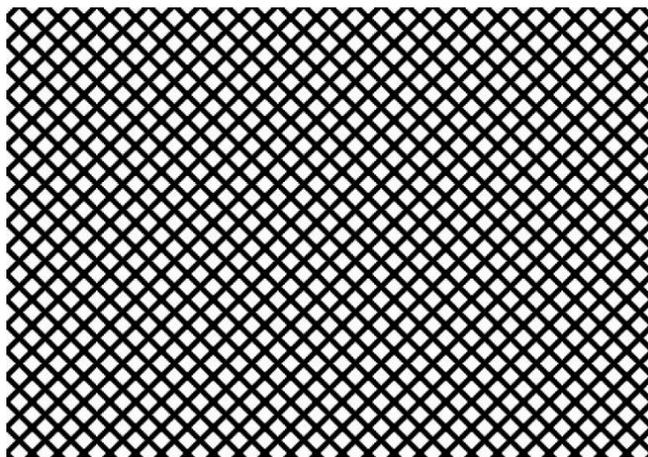


Рисунок 3.6 – Пример маски

После этого в графическом редакторе необходимо наложить цветное изображение на «маску», а ее – на изображение в градациях серого, получив итоговое изображение (Рисунок 3.7).



Рисунок 3.7 – Исходное изображение (слева)  
и итоговое изображение иллюзии (справа)

## 6.2.Стереопары

*Важно: пример выполнения данного задания выполнен в Excel. Аналогичные вычисления также легко выполняются с использованием различных языков программирования.*

Для каждого варианта подготовлены два файла, содержащих матрицы интенсивности двух схожих изображений в градациях серого размером  $128 \times 128$ .

Для вычисления сдвига при помощи Excel необходимо выполнить следующие действия:

1) Загрузить в таблицу обе матрицы. Удобнее выполнить это на разных листах таблицы.

2) Для дальнейших вычислений необходимо выбрать число, заведомо большее сдвига (обозначим его  $S_{max}$ ) и область сравнения, размер которой можно описать следующим выражением:

$$D = L - 2S_{max}, \#(3.3)$$

где  $L$  – размерность квадратной матрицы интенсивностей.

В примере  $S_{max} = 20$ ,  $D = 128 - 2 \cdot 20 = 88$ .

3) На новом листе таблицы подготовить поле, пронумеровав строки и столбцы в интервале  $[-S_{max}; S_{max}]$ . Это необходимо для последующего определения величины сдвига.

4) В левом верхнем углу ввести формулу:

$$= PEARSON(M_1; M_2), \#(3.4)$$

где  $M_1$  – область первой матрицы, содержащая элементы от  $[S_{max} + 1; S_{max} + 1]$  до  $[S_{max} + D; S_{max} + D]$ ;  $M_2$  – область второй матрицы в содержащая элементы от  $[1; 1]$  до  $[D; D]$ .

Координаты  $M_1$  необходимо зафиксировать, чтобы при протягивании функции первый массив оставался неизменным.

5) Протянуть формулу (3.3) на всё поле, чтобы получить матрицу коэффициентов корреляции Пирсона.

6) Для определения сдвига по полученной матрице необходимо найти элемент с максимальным значением и определить его координаты по осям, созданным в п.3. Сделать это можно при помощи встроенных возможностей форматирования Excel:

- Выделить все ячейки матрицы;
- В разделе «Главное» выбрать пункт «Условное форматирование»;
- Выбрать необходимый вариант или создать правило форматирования для выделения конкретной ячейки.



## Лабораторная работа №4. Построение хода луча в оптической системе. Основные соотношения параксиальной оптики

### 1. Цель работы

Практическое знакомство с правилами построения хода луча в оптических системах и с основными соотношениями параксиальной оптики.

### 2. Основные теоретические сведения

Оптическая система делит все пространство на пространство предметов и пространство изображений. Элементы, относящиеся к пространству изображений, графически всегда обозначаются штрихом '.

В параксиальной области (бесконечно близко к оптической оси) любая реальная система ведет себя как идеальная:

- Каждой точке пространства предметов можно поставить в соответствие сопряженную ей точку в пространстве изображений.
- Каждая прямая линия имеет сопряженную ей прямую линию в пространстве изображений.
- Каждая плоскость пространства предметов имеет сопряженную ей плоскость в пространстве изображений.

**Предмет** ( $y$ ) – это совокупность точек, из которых выходят лучи, попадающие в оптическую систему.

**Изображение** ( $y'$ ) – это совокупность точек, в которые приходят лучи из оптической системы.

**Линейное увеличение оптической системы** – это отношение линейного размера изображения в направлении, перпендикулярном оптической оси, к соответствующему размеру предмета в направлении перпендикулярном оптической оси:

$$\beta = \frac{y'}{y} \quad \#(4.1)$$

#### Правило знаков

Положительным направлением света считается распространение слева направо. Соответственно, любые отрезки вдоль оптической оси, отмеряемые в

положительном направлении, считаются также положительными. Любые же отрезки, отмеряемые в противоположном направлении, считаются отрицательными.

Отрезки, перпендикулярные оптической оси считаются положительными, если они располагаются над осью.

### Кардинальные точки

На рисунке 4.1 показаны кардинальные точки центрированной оптической системы.

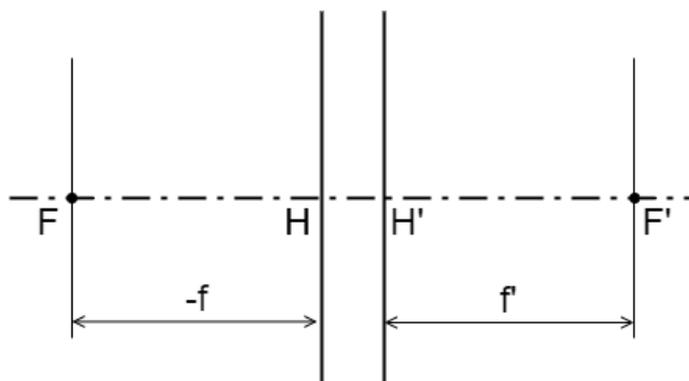


Рисунок 4.1 – Кардинальные точки оптической системы

**Главными плоскостями** системы называется пара сопряженных плоскостей, в которых линейное увеличение равно единице ( $\beta = 1$ ). Точки пересечения главных плоскостей с оптической осью называются *главными точками* и обозначаются  $H$  и  $H'$ .

**Передняя фокальная плоскость** – плоскость в пространстве предметов, сопряженная с бесконечно удаленной плоскостью в пространстве изображений.

**Задняя фокальные плоскости** – плоскость в пространстве изображений, сопряженная с бесконечно удаленной плоскостью в пространстве предметов.

**Передний ( $F$ ) и задний ( $F'$ ) фокусы** – это точки пересечения соответствующих фокальных плоскостей с оптической осью.

**Переднее фокусное расстояние ( $f$ )** – это расстояние от передней главной точки до переднего фокуса. На рисунке 1 это расстояние отмечено с минусом, так как оно отсчитывается против положительного хода.

**Заднее фокусное расстояние ( $f'$ )** – это расстояние от задней главной точки до заднего фокуса.

## Правила построения хода лучей в оптической системе

1. Лучи, идущие параллельно оптической оси, после линзы пройдут через точку заднего фокуса (Рисунок 4.2).

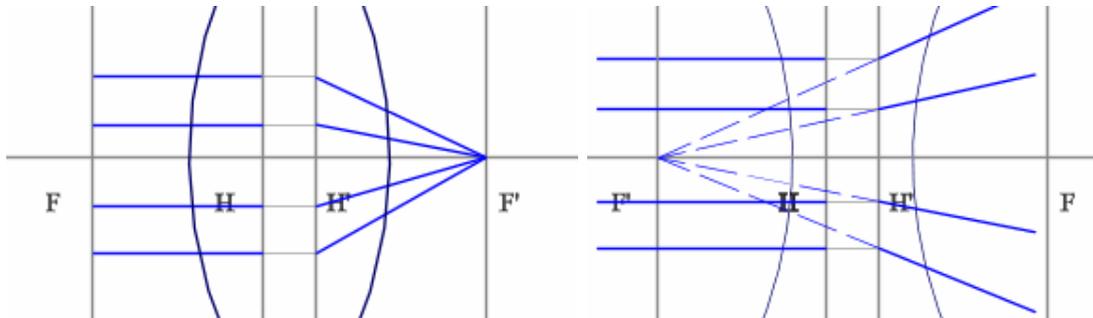


Рисунок 4.2 – Иллюстрация хода лучей для собирающей (слева) и рассеивающей (справа) линз

2. Лучи, проходящие через точку переднего фокуса, после линзы пойдут параллельно оптической оси (Рисунок 4.3).

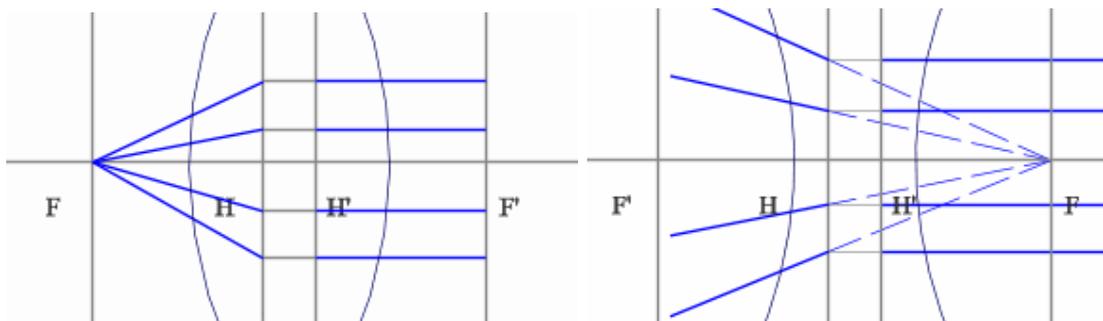


Рисунок 4.3 – Иллюстрация хода лучей для собирающей (слева) и рассеивающей (справа) линз

3. Лучи, идущие параллельно друг другу, сойдутся в одной точке на задней фокальной плоскости (Рисунок 4.4).

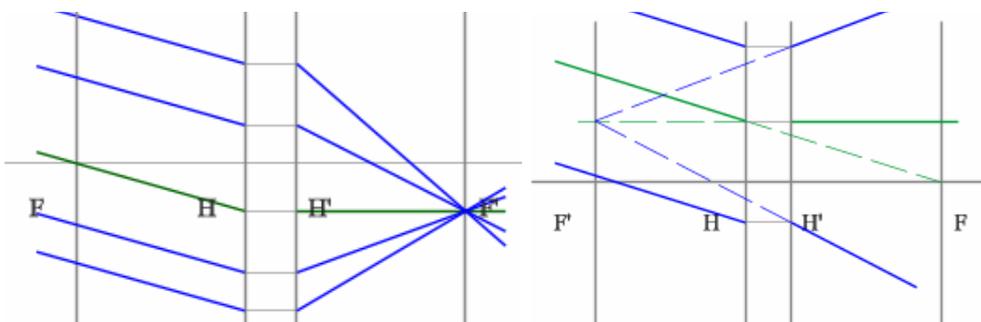


Рисунок 4.4 – Иллюстрация хода лучей для собирающей (слева) и рассеивающей (справа) линз

4. Лучи, идущие из одной точки на передней фокальной плоскости, пойдут после линзы параллельно друг другу (Рисунок 4.5).

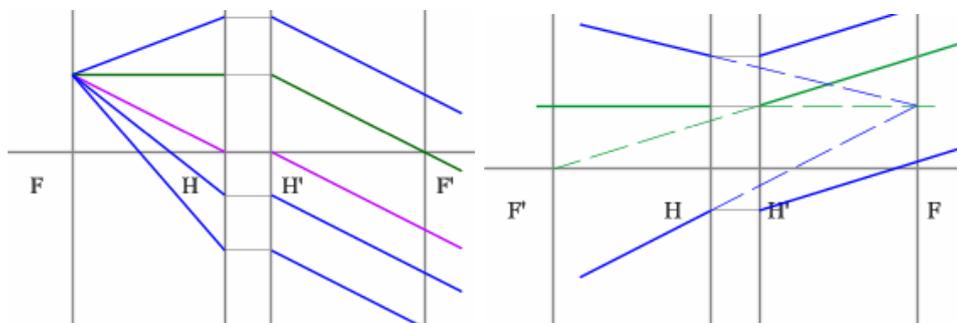


Рисунок 4.5 – Иллюстрация хода лучей для собирающей (слева) и рассеивающей (справа) линз

На рисунках 4.4–4.5 зеленым отмечены лучи, согласующиеся с правилами 1–2. При построении лучей через систему дополнительное построение зеленых лучей помогает определить точку, в которой должны оказаться лучи. Также на рисунке 4.5 стоит отметить фиолетовый луч: для системы, находящейся в однородной среде (то есть, при одинаковых средах до и после линзы), луч, проходящий через центр линзы, не преломляется.

### Зависимость между положением и размером предмета и изображения

На рисунке 4.6 представлена схема, из которой можно вывести соотношения, связывающие между собой фокусные расстояния, положение и размеры предмета и изображения.

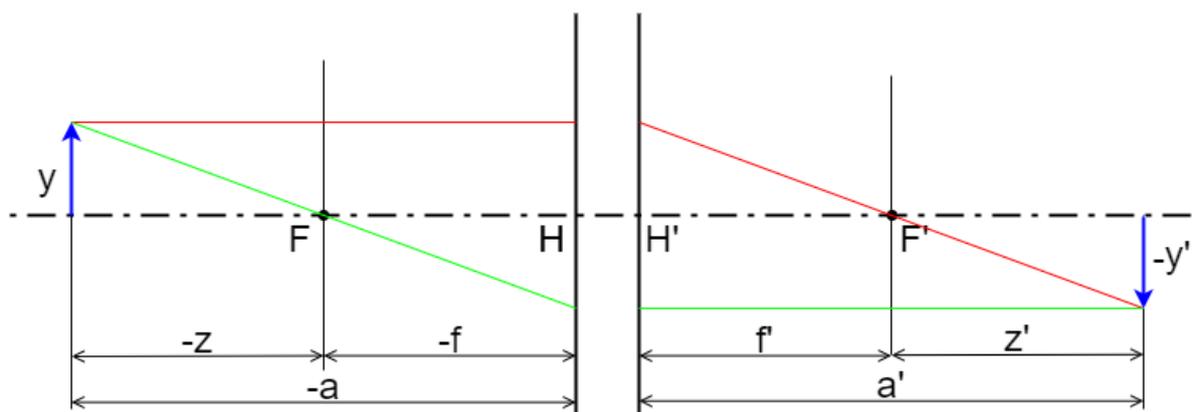


Рисунок 4.6 – Схема для вывода некоторых соотношений параксиальной оптики

Здесь помимо уже рассмотренных фокусных расстояний отмечены следующие отрезки:

- $a$  ( $a'$ ) – расстояние между главной плоскостью и предметом (изображением).
- $z$  ( $z'$ ) – расстояния между передней (задней) фокальной плоскостью и предметом (изображением).

Используя подобие треугольников по рисунку 4.6, можно вывести зависимости между положением и размером предмета и изображения:

$$\frac{y}{-y'} = \frac{-z}{f'} \#(4.2)$$

Преобразовав выражение, его можно соотнести с формулой (4.1):

$$\beta = \frac{y'}{y} = -\frac{f}{z} \#(4.3)$$

Аналогично выводится следующее выражение:

$$\beta = -\frac{z'}{f'} \#(4.4)$$

А из формул (4.3) и (4.4) можно получить *формулу Ньютона*:

$$z \cdot z' = f \cdot f' \#(4.5)$$

Далее можно выразить отрезки  $z$  и  $z'$  следующим образом:

$$z' = a' - f'; z = a - f \#(4.6)$$

Подставив (4.6) в (4.5), получится:

$$(a - f) \cdot (a' - f') = f \cdot f' \#(4.7)$$

А преобразовав это выражение, получится *формула отрезков* или *формула Гаусса*:

$$\frac{f'}{a'} + \frac{f}{a} = 1 \#(4.8)$$

### 3. Задание

Решить три задачи на построение хода лучей:

- 1) По заданным условиям определить положение и величину изображения графически и аналитически.
- 2) Графически определить положение изображения.

3) Построить ход луча через оптическую систему.

#### 4. Содержание отчета

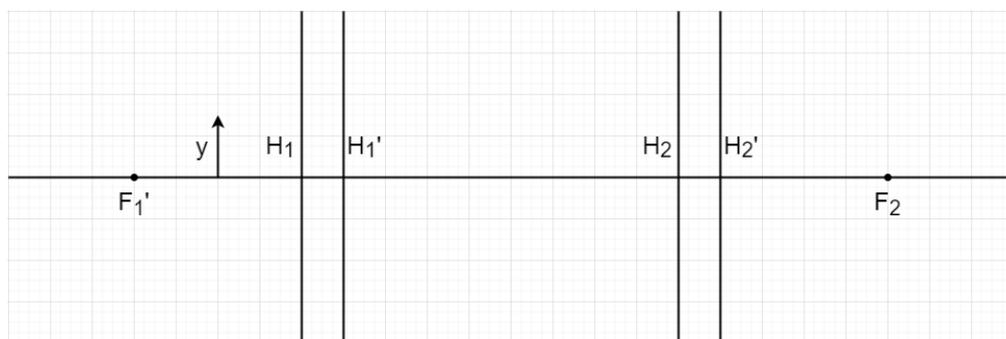
- Цель и задачи работы;
- Краткие теоретические сведения;
- Описание хода выполнения работы;
- Для задачи 1 показать подробные аналитические расчеты с указанием использованных формул и графическое решение задачи с правильно обозначенными элементами рисунка. В конце отдельно указать ответ.
- Для задач 2–3 показать графическое решение с правильно обозначенными элементами чертежа.
- Развернутый вывод с анализом полученных результатов.

Графическая часть выполняется от руки или на компьютере. В первом случае желательно использовать миллиметровку или обычную клетчатую бумагу, а результат в отчете представить в виде сканов или качественных фотографий. Во втором случае при наличии навыков и возможностей работу стоит выполнять в КОМПАС 3D или аналогах. При отсутствии возможности рекомендуется воспользоваться порталом <https://app.diagrams.net/>

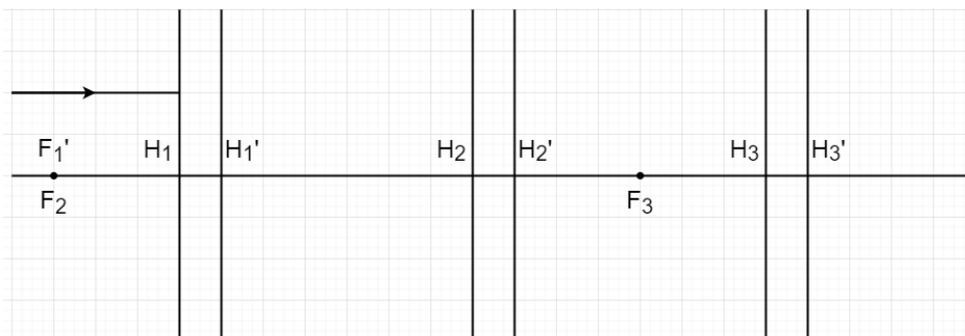
#### 5. Варианты заданий

##### Вариант 1

1. Предмет размером  $y = 10$  мм расположен на расстоянии  $a = 100$  мм от линзы с фокусным расстоянием  $f' = 100$  мм. Определить положение и величину изображения графически и аналитически.
2. Определить  $y'$  :



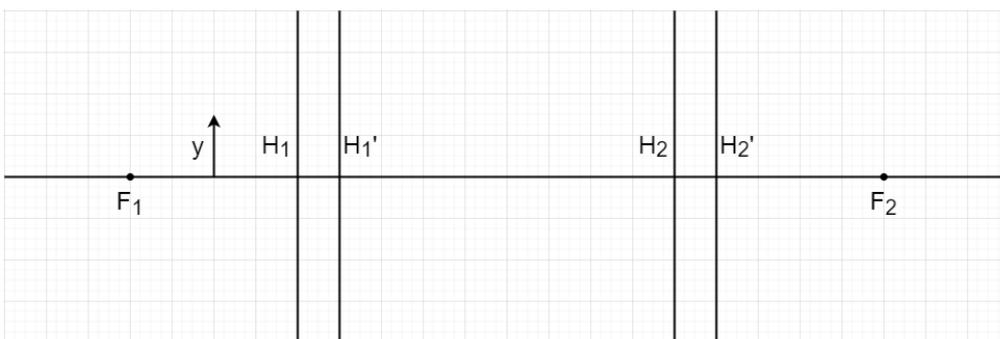
3. Построить луч через оптическую систему:



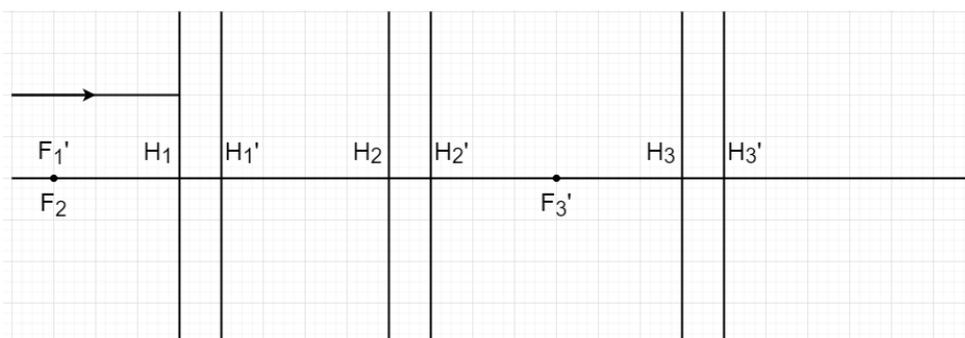
**Вариант 2**

1. Предмет размером  $y = 10$  мм расположен на расстоянии  $a = 50$  мм от линзы с фокусным расстоянием  $f' = -100$  мм. Определить положение и величину изображения графически и аналитически.

2. Определить  $y'$  :

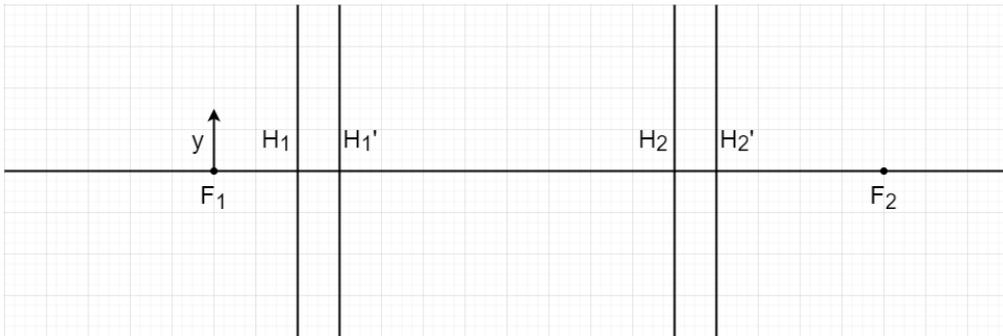


3. Построить луч через оптическую систему:

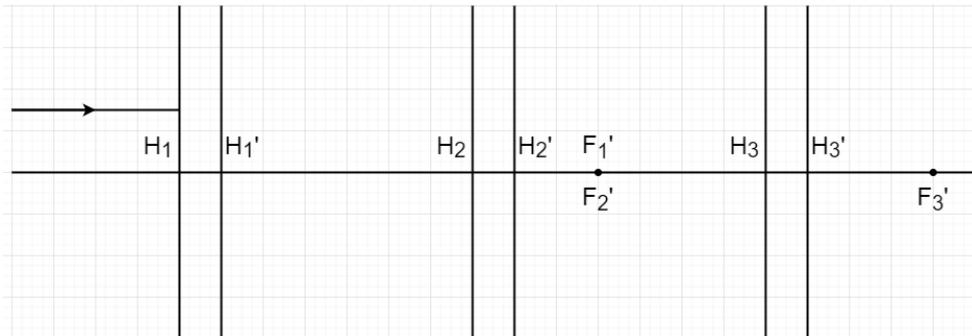


### Вариант 3

1. Предмет размером  $y = 10$  мм расположен на расстоянии  $a = -180$  мм от линзы с фокусным расстоянием  $f' = 90$  мм. Определить положение и величину изображения графически и аналитически.
2. Определить  $y'$  :

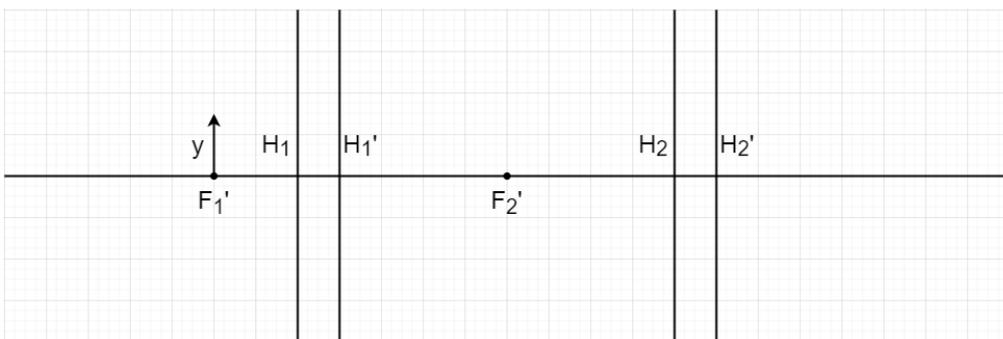


3. Построить луч через оптическую систему:

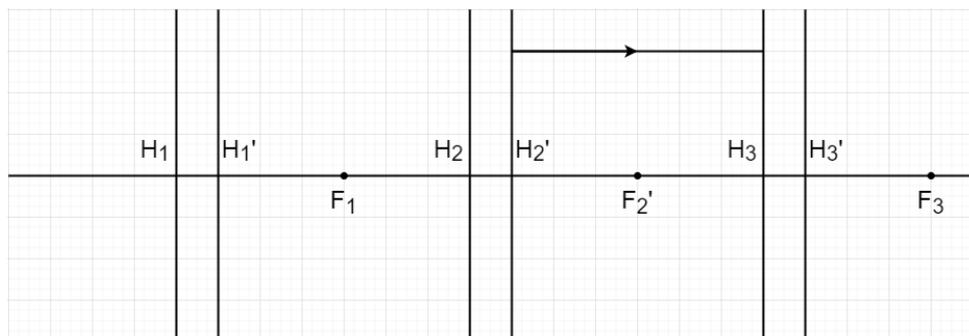


### Вариант 4

1. Предмет размером  $y = 10$  мм расположен на расстоянии  $a = -40$  мм от линзы с фокусным расстоянием  $f' = -80$  мм. Определить положение и величину изображения графически и аналитически.
2. Определить  $y'$  :

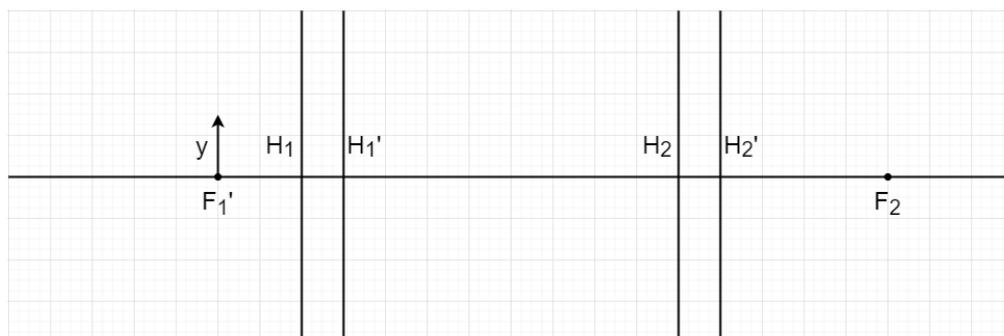


3. Построить луч через оптическую систему:

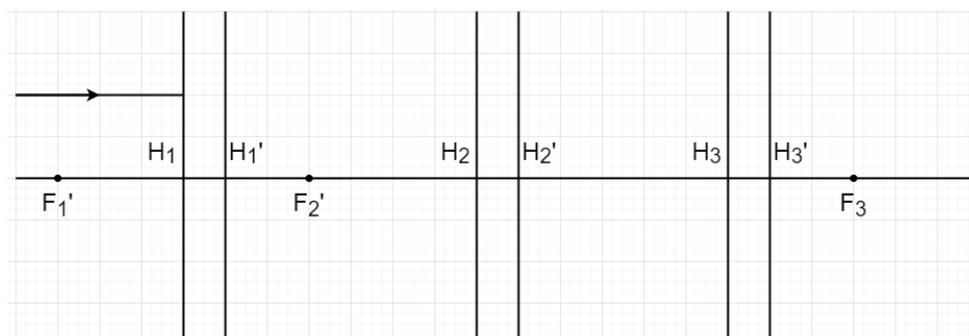


### Вариант 5

1. Предмет размером  $y = 5$  мм расположен на расстоянии  $a = 20$  мм от линзы с фокусным расстоянием  $f' = 20$  мм. Определить положение и величину изображения графически и аналитически.
2. Определить  $y'$  :



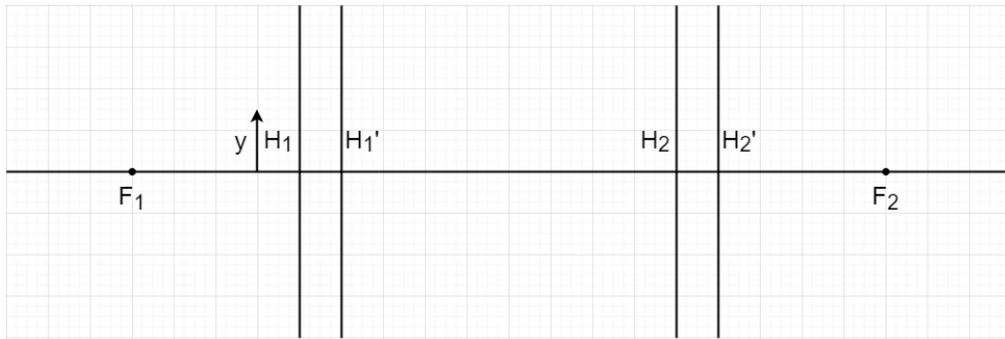
3. Построить луч через оптическую систему:



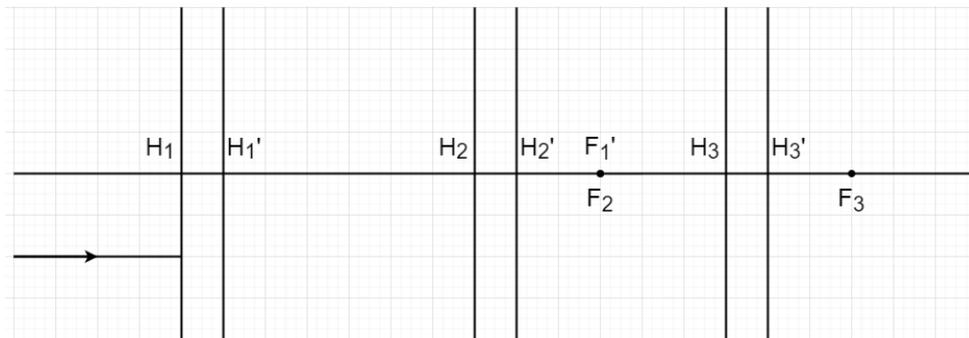
### Вариант 6

1. Предмет размером  $y = 10$  мм расположен на расстоянии  $a = 40$  мм от линзы с фокусным расстоянием  $f' = -80$  мм. Определить положение и величину изображения графически и аналитически.

2. Определить  $y'$  :



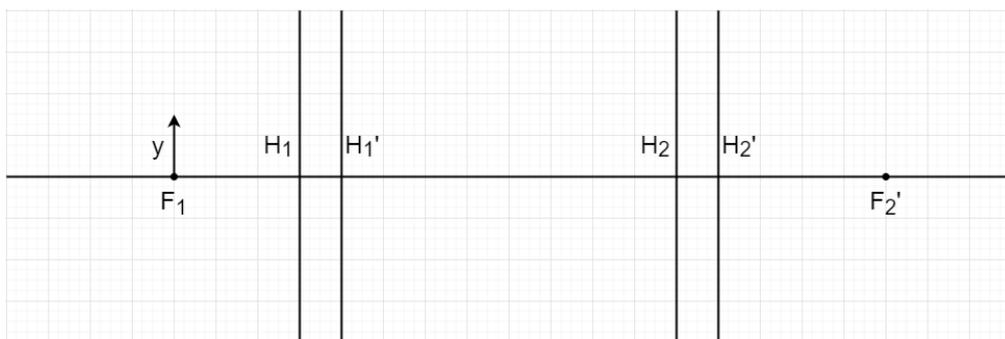
3. Построить луч через оптическую систему:



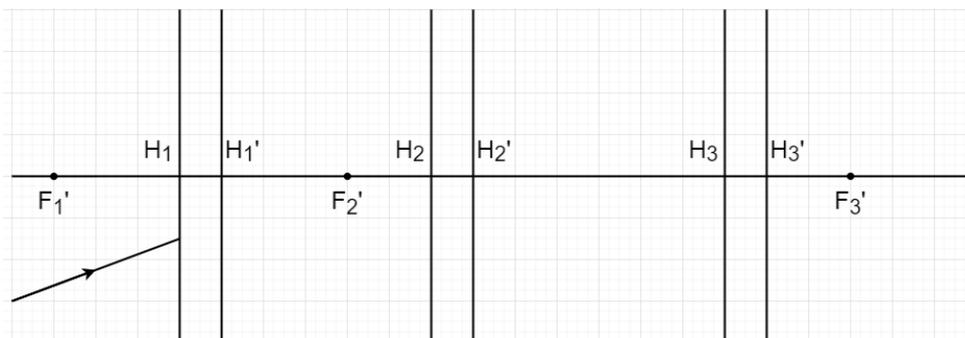
### Вариант 7

1. Предмет размером  $y = 10$  мм расположен на расстоянии  $a = -150$  мм от линзы с фокусным расстоянием  $f' = 100$  мм. Определить положение и величину изображения графически и аналитически.

2. Определить  $y'$  :



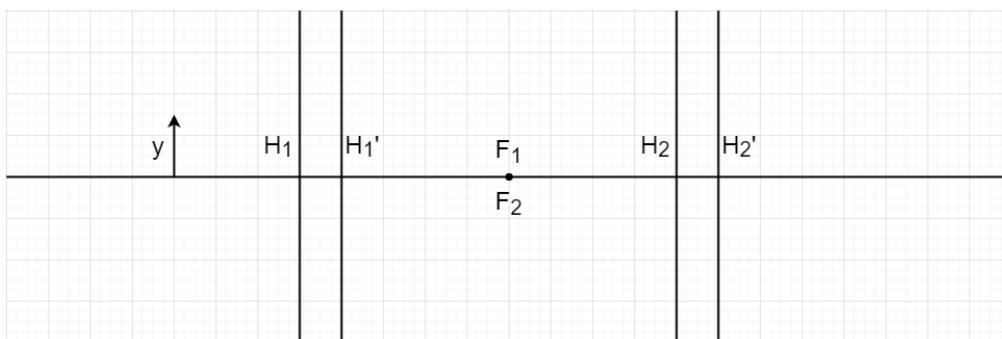
3. Построить луч через оптическую систему:



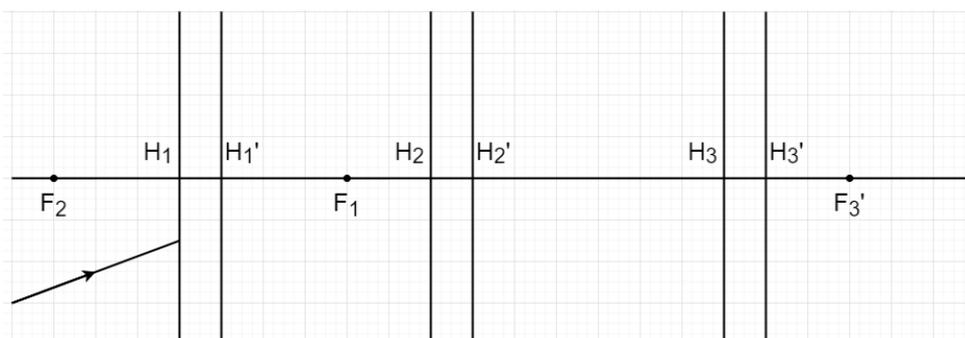
### Вариант 8

1. Предмет размером  $y = 5$  мм расположен на расстоянии  $a = -40$  мм от линзы с фокусным расстоянием  $f' = -100$  мм. Определить положение и величину изображения графически и аналитически.

2. Определить  $y'$  :



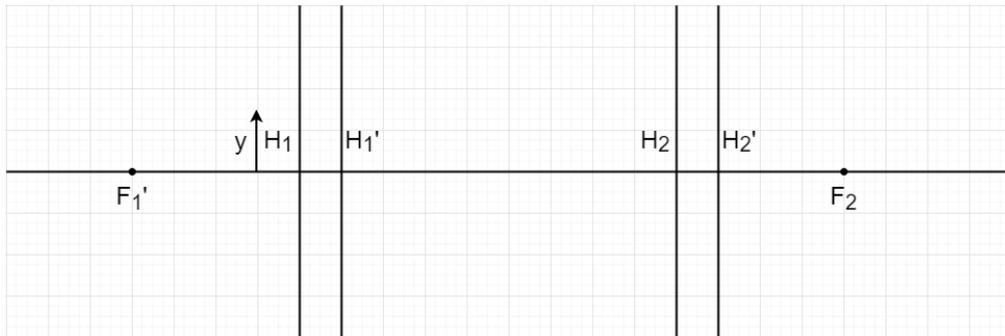
3. Построить луч через оптическую систему:



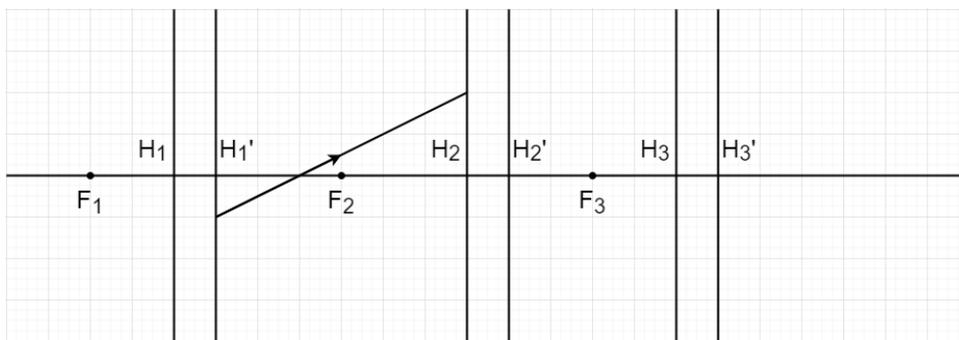
### Вариант 9

1. Предмет размером  $y = 5$  мм расположен на расстоянии  $a = 30$  мм от линзы с фокусным расстоянием  $f' = 30$  мм. Определить положение и величину изображения графически и аналитически.

2. Определить  $y'$  :



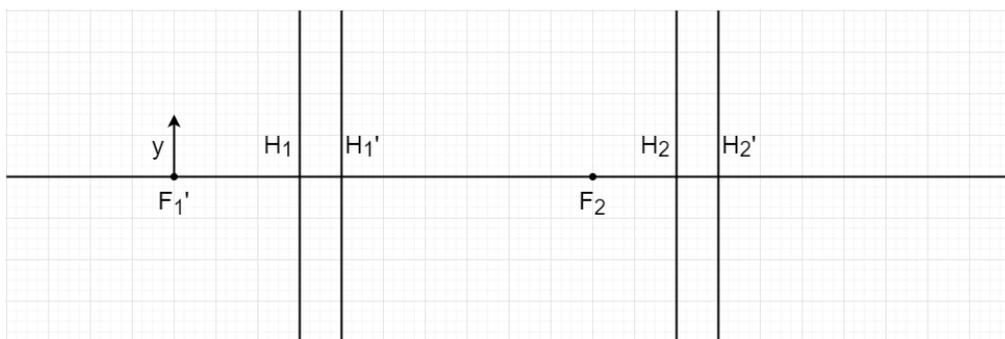
3. Построить луч через оптическую систему:



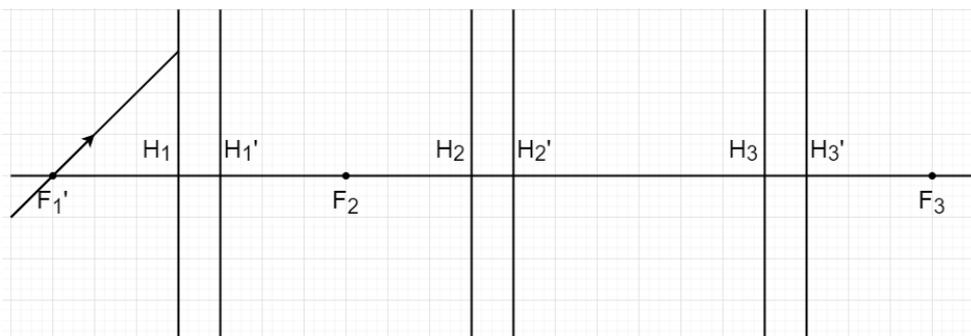
### Вариант 10

1. Предмет размером  $y = 10$  мм расположен на расстоянии  $a = 100$  мм от линзы с фокусным расстоянием  $f' = -120$  мм. Определить положение и величину изображения графически и аналитически.

2. Определить  $y'$  :

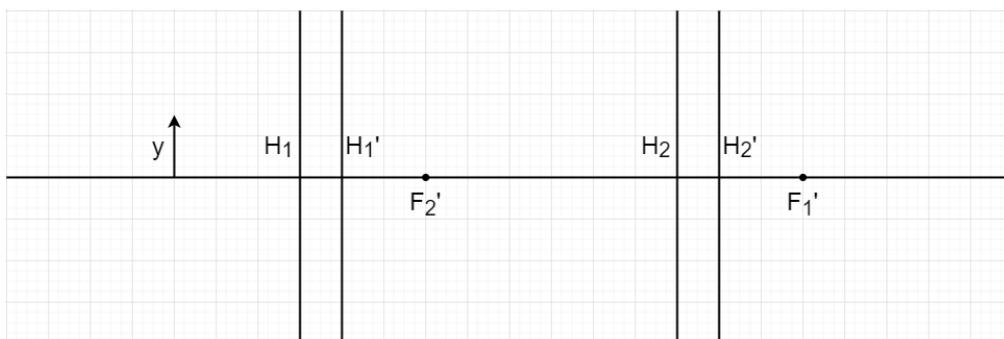


3. Построить луч через оптическую систему:

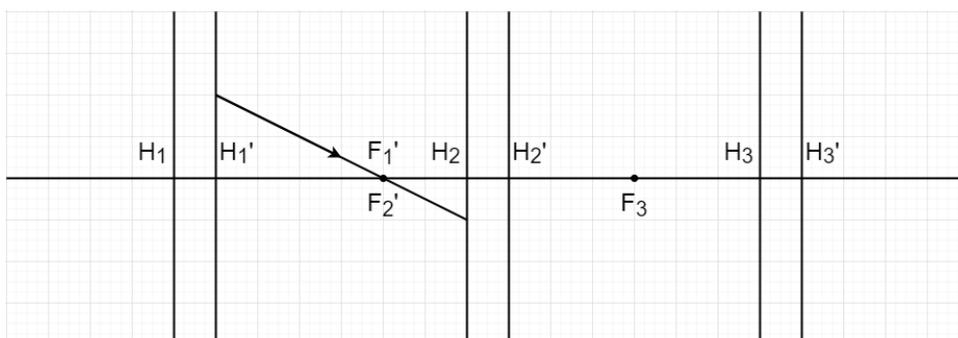


**Вариант 11**

1. Предмет размером  $y = 10$  мм расположен на расстоянии  $a = -80$  мм от линзы с фокусным расстоянием  $f' = 60$  мм. Определить положение и величину изображения графически и аналитически.
2. Определить  $y'$  :



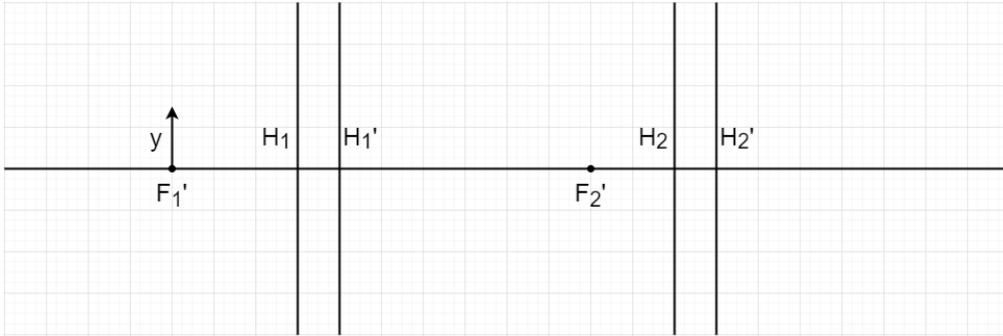
3. Построить луч через оптическую систему:



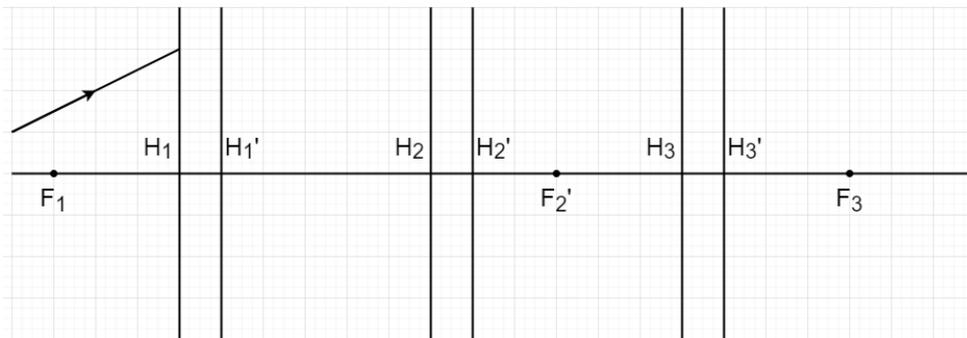
**Вариант 12**

1. Предмет размером  $y = 10$  мм расположен на расстоянии  $a = -30$  мм от линзы с фокусным расстоянием  $f' = -60$  мм. Определить положение и величину изображения графически и аналитически.

2. Определить  $y'$  :



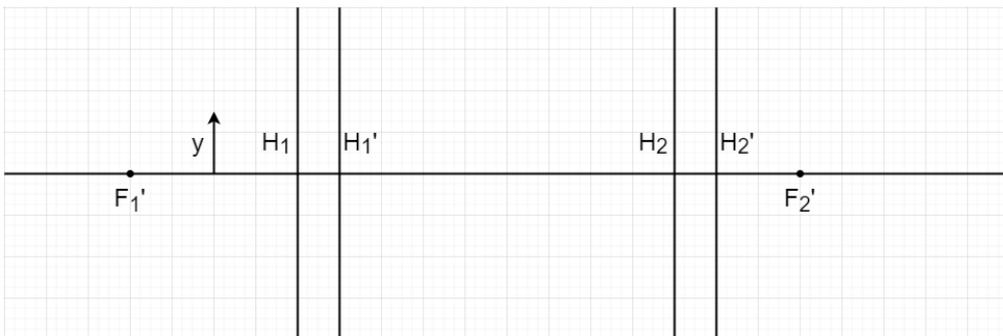
3. Построить луч через оптическую систему:



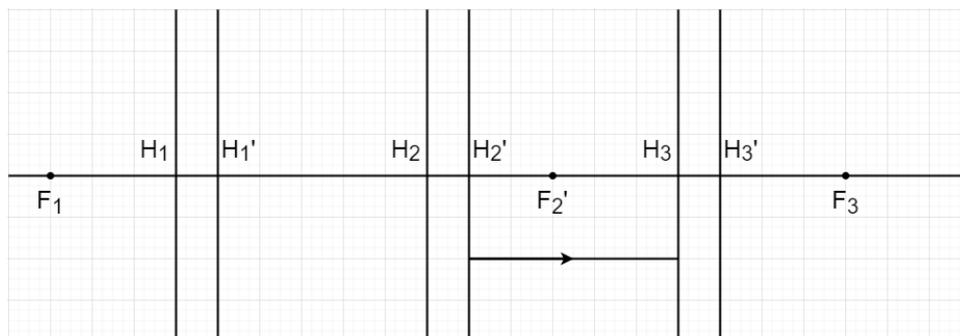
### Вариант 13

1. Предмет размером  $y = 15$  мм расположен на расстоянии  $a = 50$  мм от линзы с фокусным расстоянием  $f' = 50$  мм. Определить положение и величину изображения графически и аналитически.

2. Определить  $y'$  :

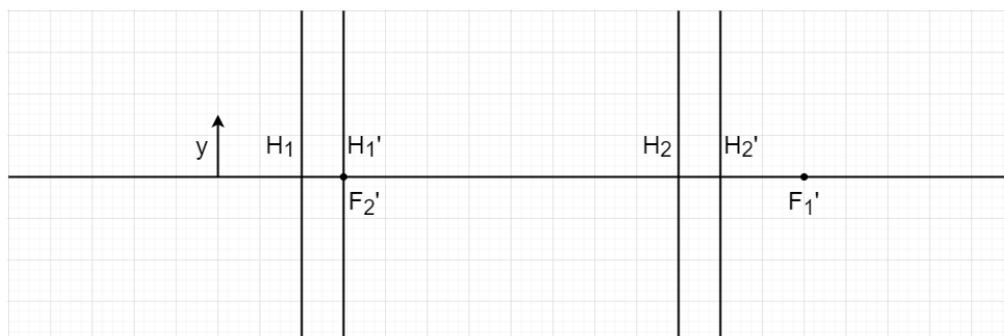


3. Построить луч через оптическую систему:

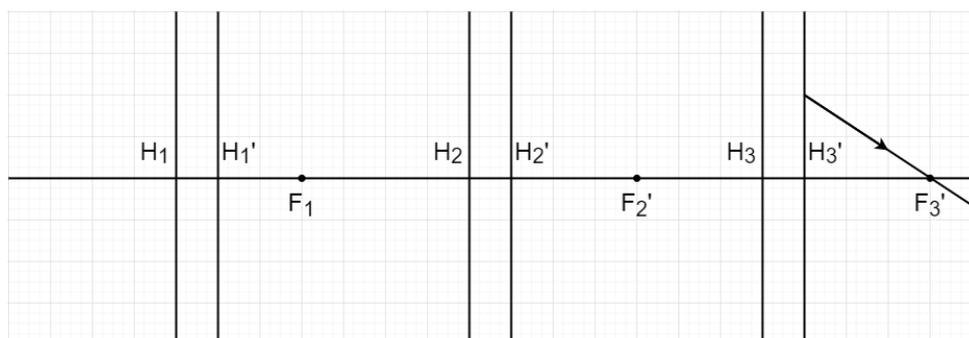


### Вариант 14

1. Предмет размером  $y = 5$  мм расположен на расстоянии  $a = 30$  мм от линзы с фокусным расстоянием  $f' = -60$  мм. Определить положение и величину изображения графически и аналитически.
2. Определить  $y'$  :



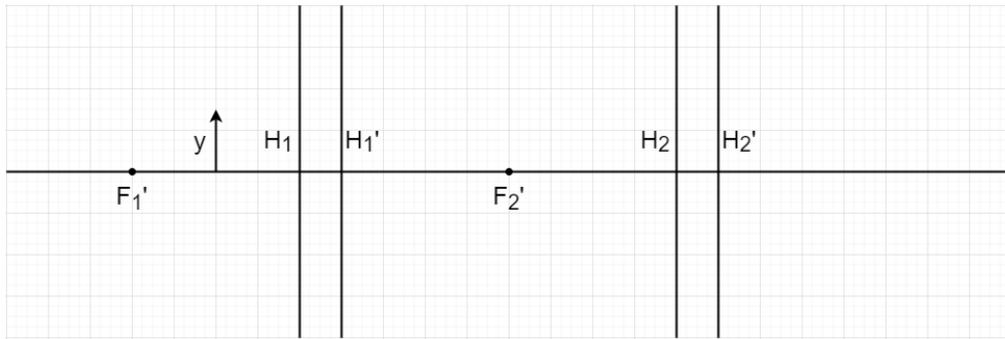
3. Построить луч через оптическую систему:



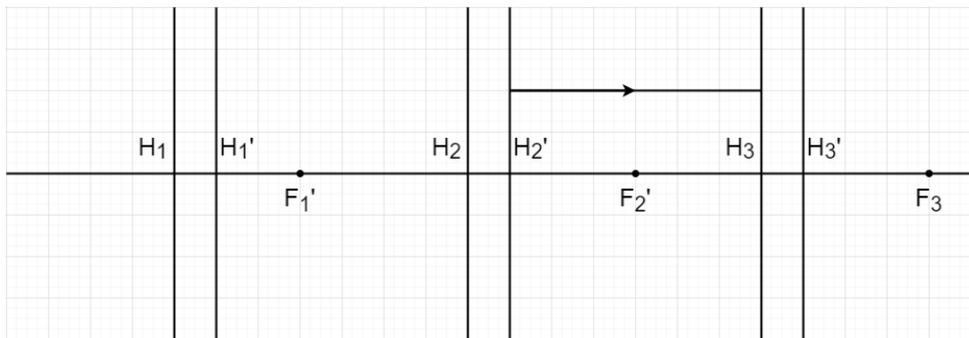
### Вариант 15

1. Предмет размером  $y = 10$  мм расположен на расстоянии  $a = -80$  мм от линзы с фокусным расстоянием  $f' = 40$  мм. Определить положение и величину изображения графически и аналитически.

2. Определить  $y'$  :



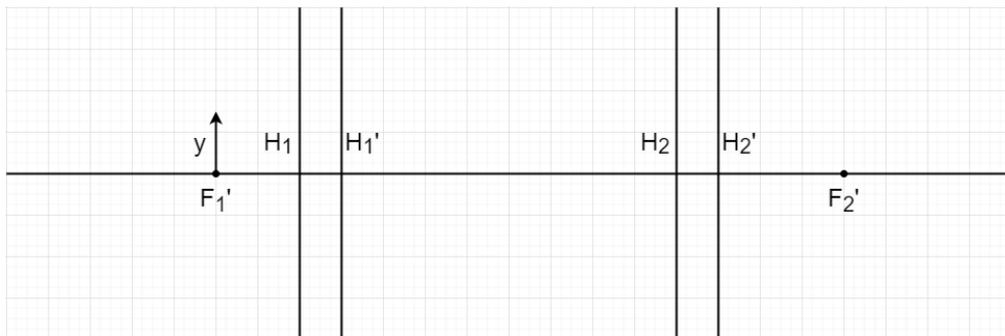
3. Построить луч через оптическую систему:



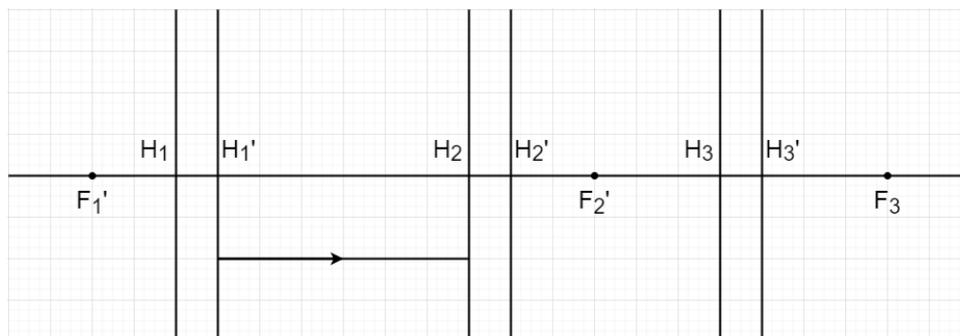
### Вариант 16

1. Предмет размером  $y = 10$  мм расположен на расстоянии  $a = -20$  мм от линзы с фокусным расстоянием  $f' = -40$  мм. Определить положение и величину изображения графически и аналитически.

2. Определить  $y'$  :



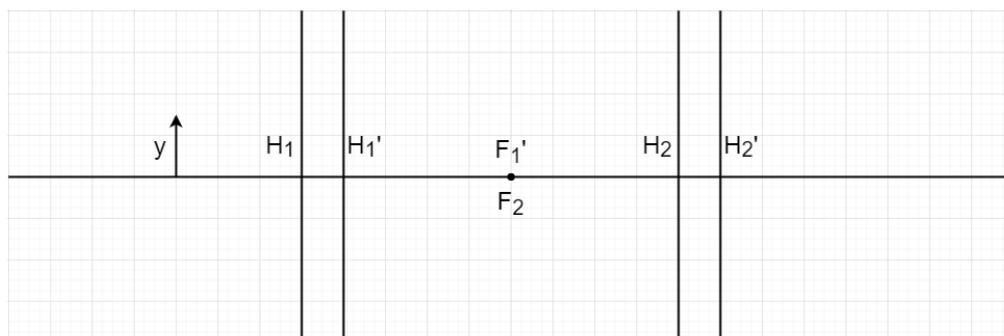
3. Построить луч через оптическую систему:



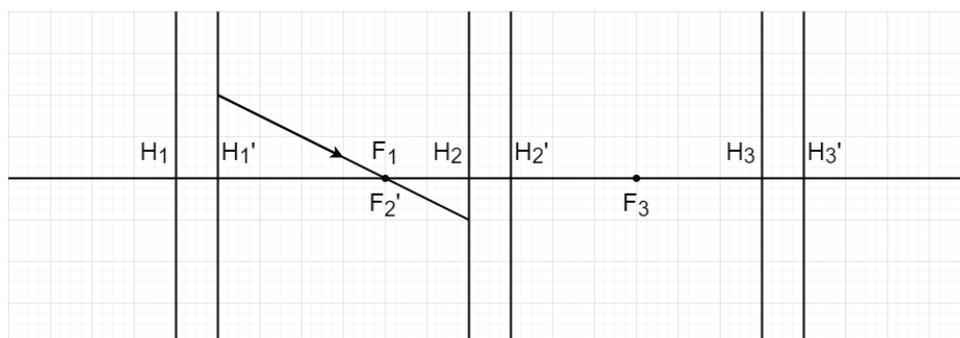
**Вариант 17**

1. Предмет размером  $y = 10$  мм расположен на расстоянии  $a = 80$  мм от линзы с фокусным расстоянием  $f' = 80$  мм. Определить положение и величину изображения графически и аналитически.

2. Определить  $y'$  :



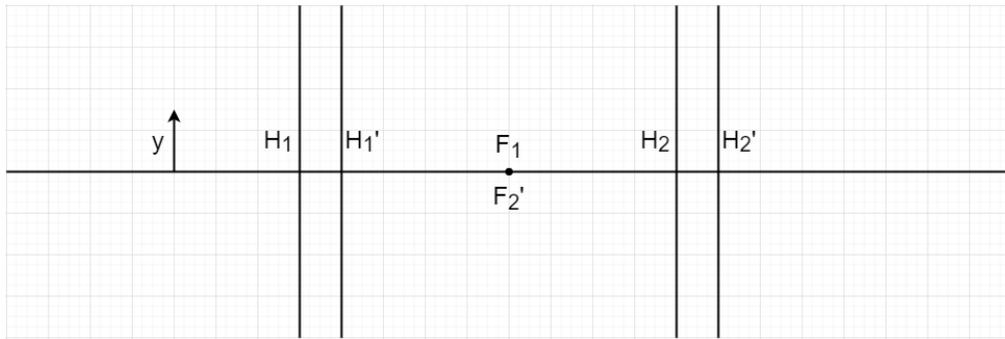
3. Построить луч через оптическую систему:



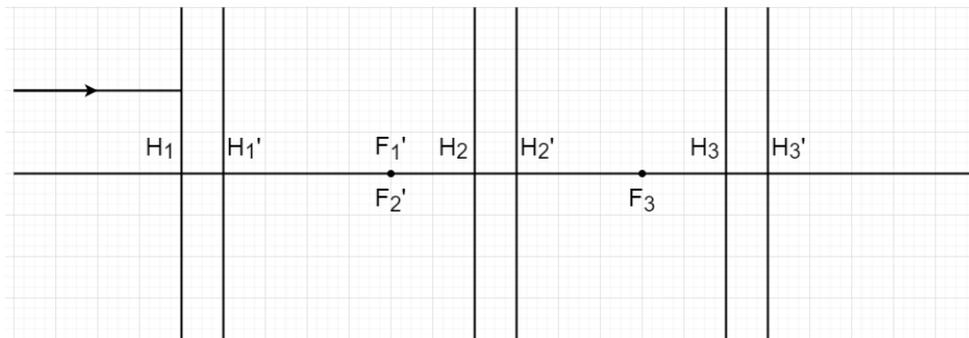
**Вариант 18**

1. Предмет размером  $y = 10$  мм расположен на расстоянии  $a = 20$  мм от линзы с фокусным расстоянием  $f' = -40$  мм. Определить положение и величину изображения графически и аналитически.

2. Определить  $y'$  :



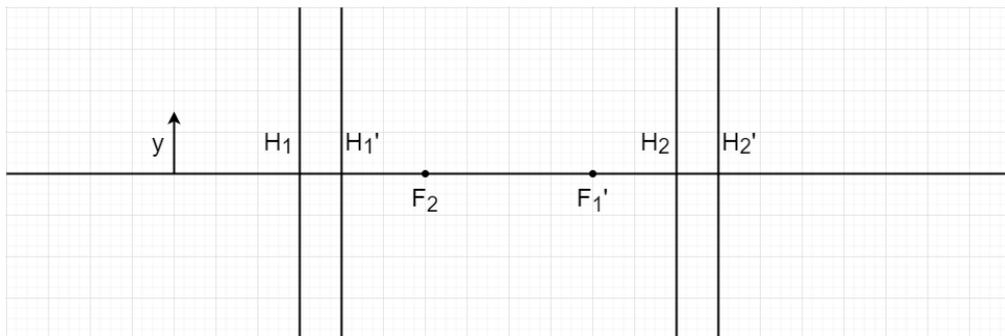
3. Построить луч через оптическую систему:



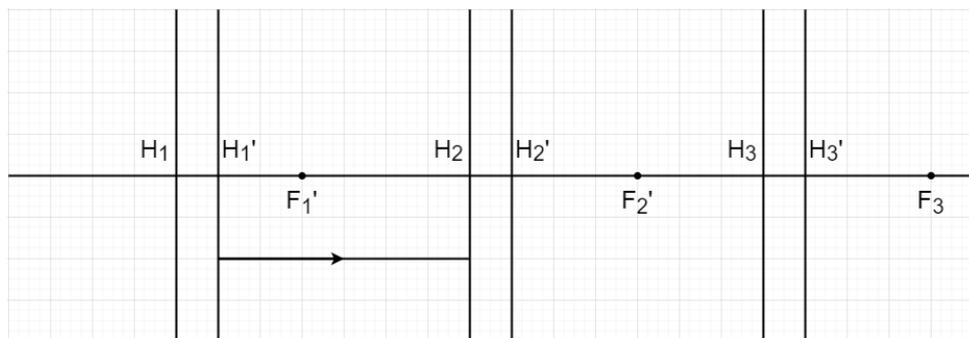
### Вариант 19

1. Предмет размером  $y = 10$  мм расположен на расстоянии  $a = -60$  мм от линзы с фокусным расстоянием  $f' = 30$  мм. Определить положение и величину изображения графически и аналитически.

2. Определить  $y'$  :



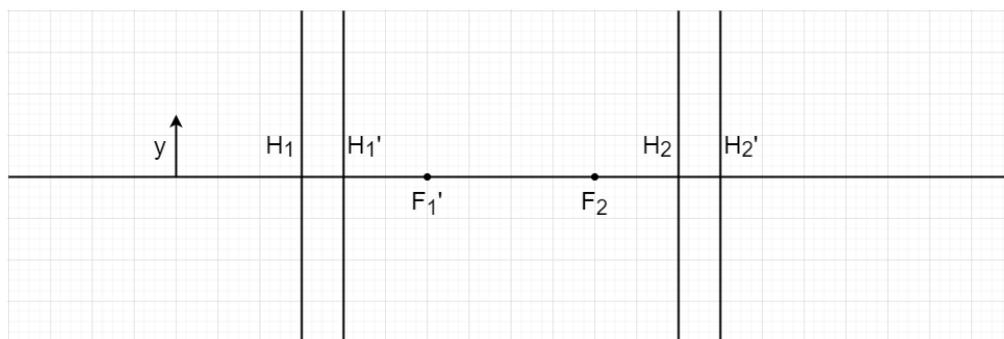
3. Построить луч через оптическую систему:



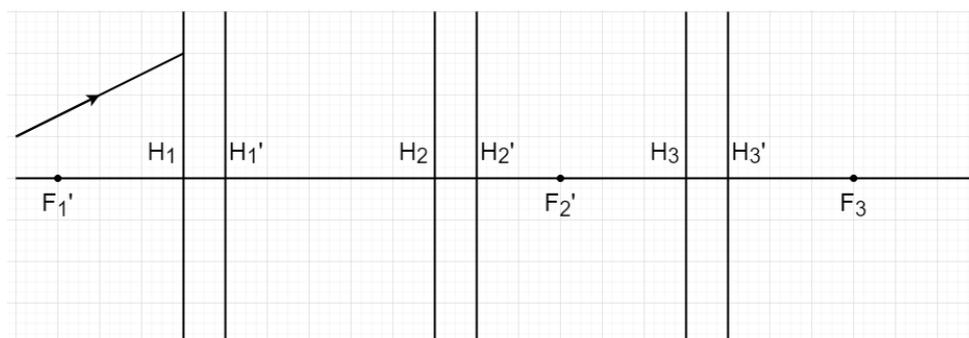
**Вариант 20**

1. Предмет размером  $y = 10$  мм расположен на расстоянии  $a = -70$  мм от линзы с фокусным расстоянием  $f' = -120$  мм. Определить положение и величину изображения графически и аналитически.

2. Определить  $y'$  :



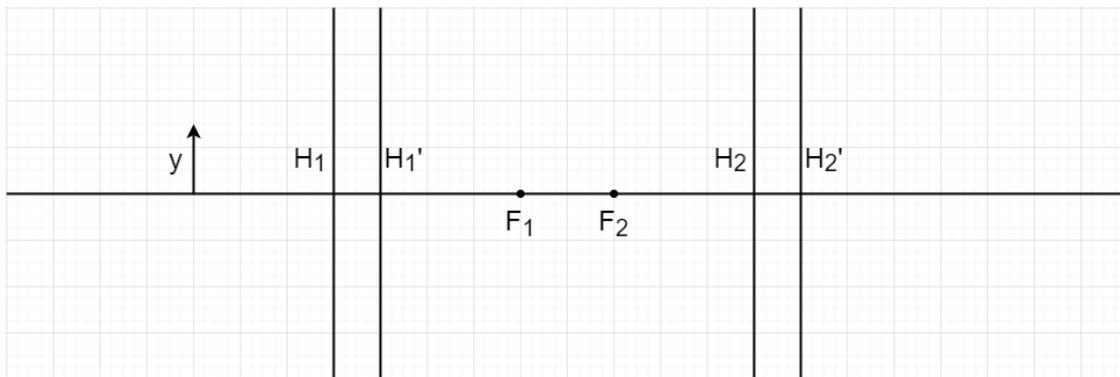
3. Построить луч через оптическую систему:



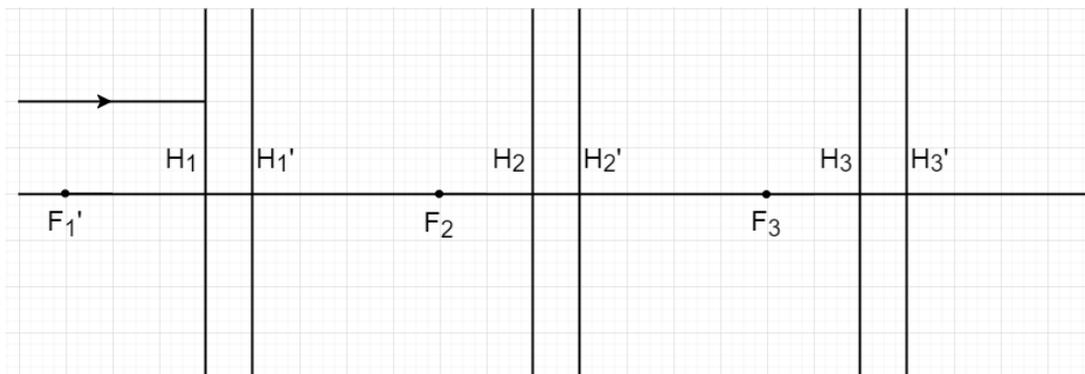
## 6. Пример выполнения

Вариант задач для примера:

- 1) Предмет размером  $y = 10$  мм расположен на расстоянии  $a = -50$  мм от линзы с фокусным расстоянием  $f' = -70$  мм. Определить положение и величину изображения графически и аналитически.
- 2) Определить  $y'$  :



- 3) Построить ход луча через оптическую систему:



### Задача №1

Аналитическое решение:

*Дано:*  $f' = -70$  мм;  $y = 10$  мм;  $a = -50$  мм;

*Найти:*  $a'$ ;  $y'$ .

Для определения положения изображения можно представить формулу (4.8) в следующем виде:

$$\frac{1}{a'} - \frac{1}{a} = \frac{1}{f'} \quad \#(4.9)$$

Отсюда можно выразить искомый параметр:

$$a' = \frac{a \cdot f'}{a + f'} = \frac{-50 \cdot (-70)}{-50 - 70} \approx -29,17 \text{ мм} \#(4.10)$$

Для определения величины изображения необходимо воспользоваться выражением (4.4):

$$\beta = \frac{y'}{y} = -\frac{z'}{f'}, \quad z' = a' - f' \#(4.11)$$

Отсюда можно выразить  $y'$ :

$$y' = \frac{y \cdot (-a' + f')}{f'} = \frac{10 \cdot (29,17 - 70)}{-70} \approx 5,83 \text{ мм} \#(4.12)$$

Ответ:  $a' = -29,17 \text{ мм}$ ;  $y' = 5,83 \text{ мм}$

Графическое решение:

Основные требования к оформлению графической части:

- 1) Соблюдение всех размеров, данных в условии.
- 2) Ровность, аккуратность всех графических элементов.
- 3) Ясные обозначения, позволяющие точно понять график.

На рисунке 4.7 представлен пример выполнения графического решения задачи:

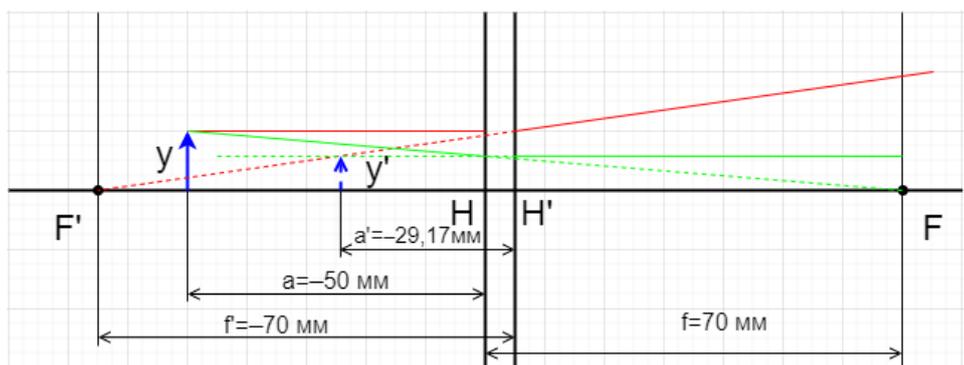


Рисунок 4.7 – Пример графического решения задачи

Алгоритм построения:

- 1) Провести оптическую ось. Обозначить главные плоскости и параметры, данные в условии задачи.

- 2) Исходя из положения заднего фокуса обозначить так же положение переднего фокуса системы симметрично относительно линзы.
- 3) Построить два луча в соответствии с правилами построения хода лучей в оптической системе.
- 4) В точке пересечения построенных лучей расположить изображение. Проверить правильность построения, соотнеся полученные расстояния с рассчитанными значениями.

### Задача №2

В задаче №2 дана оптическая система из двух линз, обозначенных главными плоскостями, передние или задние фокусы этих линз, а также предмет (Рисунок 4.8). Необходимо найти положение изображения.

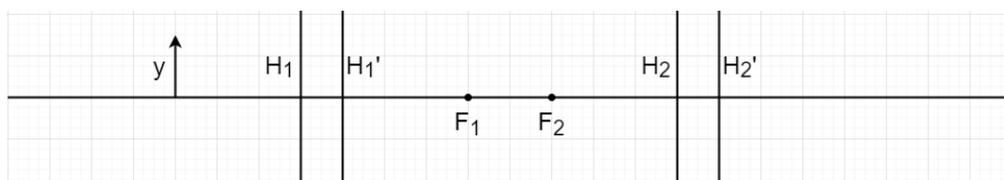
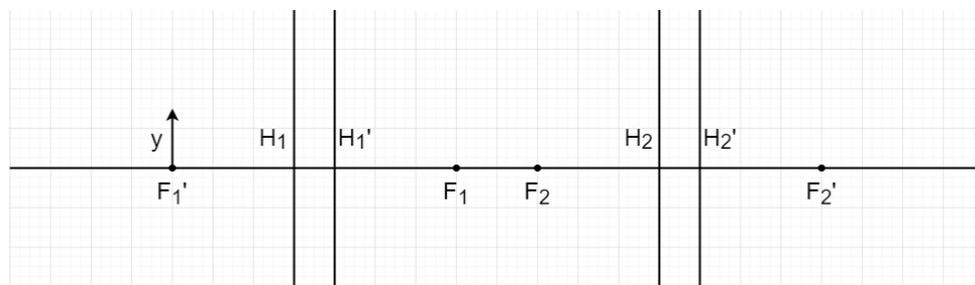


Рисунок 4.8 – Условие задачи №2

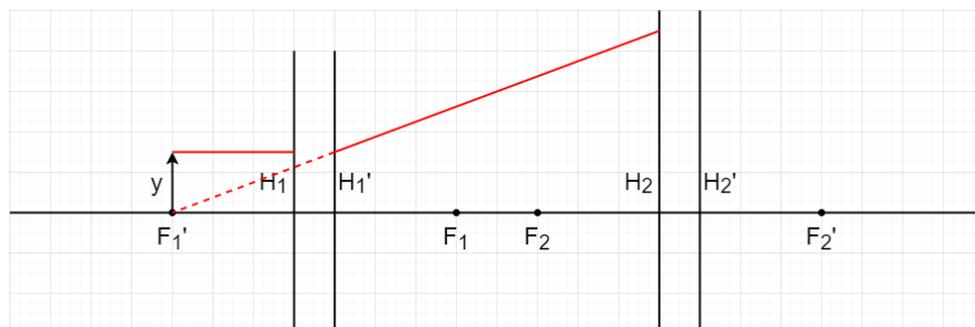
Чтобы выполнить эту задачу, необходимо, пользуясь правилами построения хода лучей в оптической системе, построить ход двух лучей. Их пересечение после второй линзы покажет положение изображения. Разберем алгоритм на пример:

- 1) Сначала нужно расставить недостающие точки фокусов (Рисунок 4.9 а).
- 2) Первый луч удобно направить параллельно оптической оси. Тогда после первой линзы он пройдет через задний фокус (Рисунок 4.9 б).
- 3) Чтобы определить направление луча после второй линзы, необходимо дополнительное построение: нужно провести дополнительный луч так, чтобы он был параллелен основному и пересекал передний фокус второй линзы. Тогда в пространстве изображений второго элемента он пройдет параллельно оптической оси. Проведя через задний фокус фокальную плоскость, получим точку пересечения, через которую и пройдет основной луч (Рисунок 4.9 в).
- 4) Вторым лучем удобно направить через передний фокус первой линзы. Тогда после нее луч пойдет параллельно оптической оси, а после второй линзы –

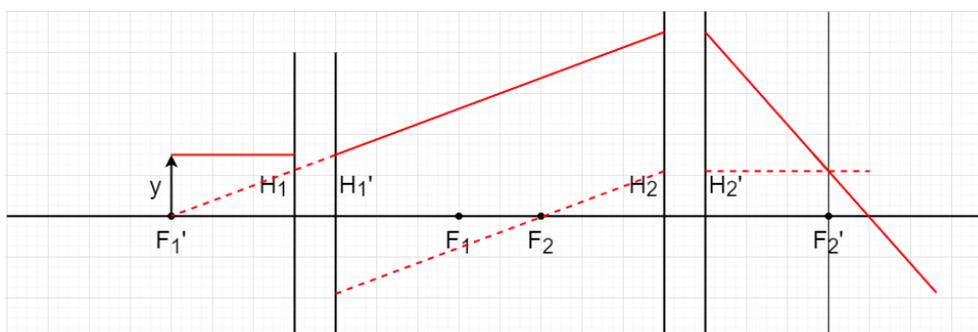
через ее задний фокус. Таким образом, в месте пересечения двух лучей строится изображение (Рисунок 4.9 г).



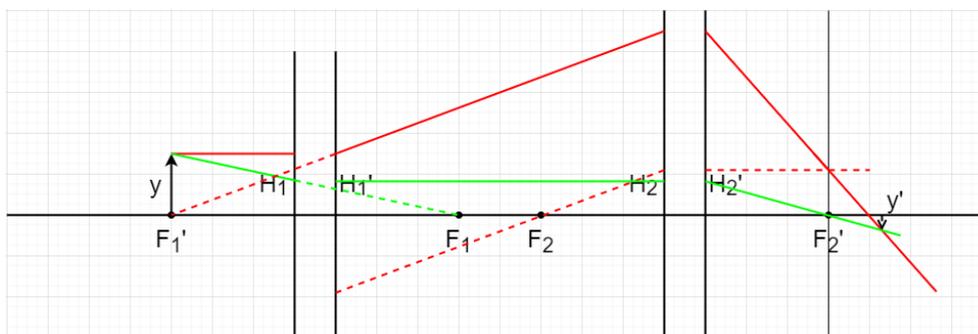
а



б



в



г

Рисунок 4.9 – Ход выполнения задачи №2

### Задача №3

Задача №3 представляет собой оптическую систему из 3 компонентов и заданную часть луча (Рисунок 4.10). Необходимо достроить луч через всю оптическую систему.

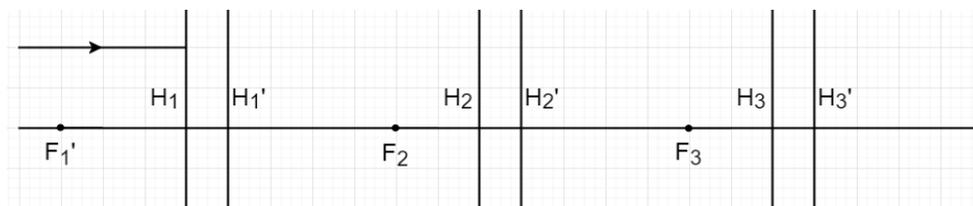
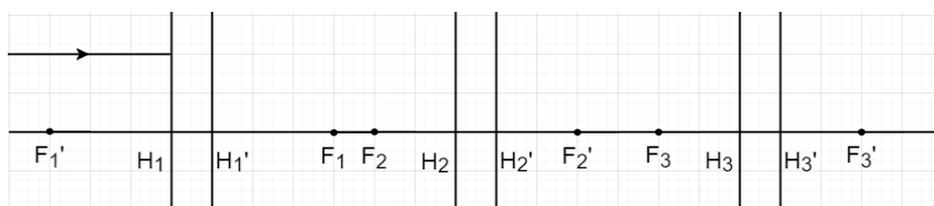


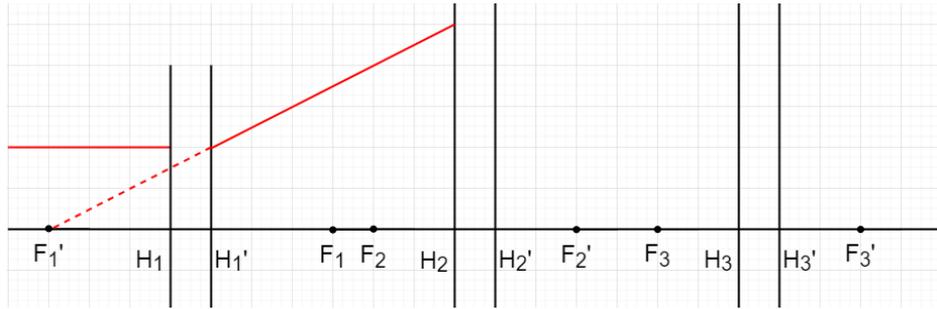
Рисунок 4.10 – Условие задачи №3

Для выполнения задания необходимо снова воспользоваться правилами построения хода лучей. В представленной задаче алгоритм выполнения выглядит так:

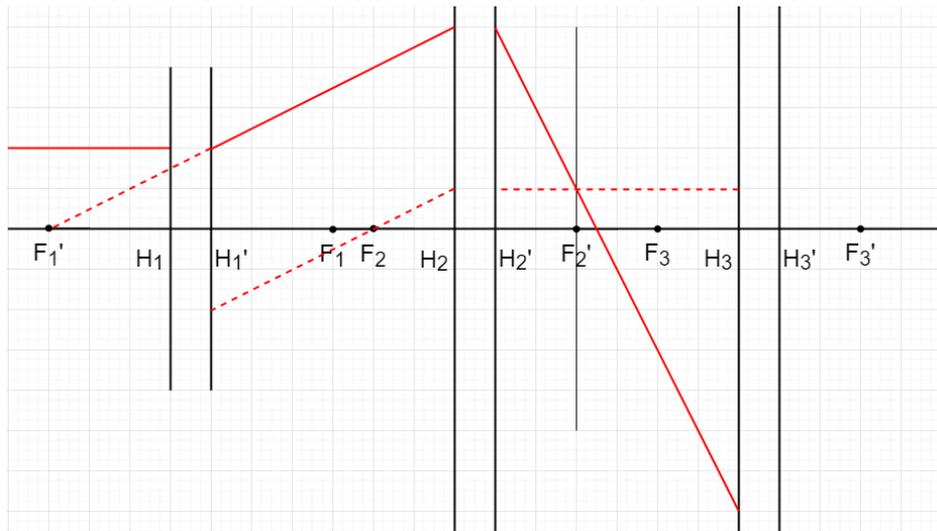
- 1) Обозначить недостающие точки фокусов (Рисунок 4.11 а).
- 2) Так как заданный луч до первой линзы идет параллельно оптической оси, то после он пройдет через задний фокус (Рисунок 4.11 б).
- 3) Для построения продолжения луча после второй линзы необходимо выполнить построение дополнительного луча, параллельного основному и проходящего через передний фокус второй линзы. После нее дополнительный луч идет параллельно оси, а его пересечение с задней фокальной плоскостью второй линзы покажет точку, через которую пройдет основной луч (Рисунок 4.11 в).
- 4) Аналогичные действия необходимы далее для прохождения третьей линзы (Рисунок 4.11 г).



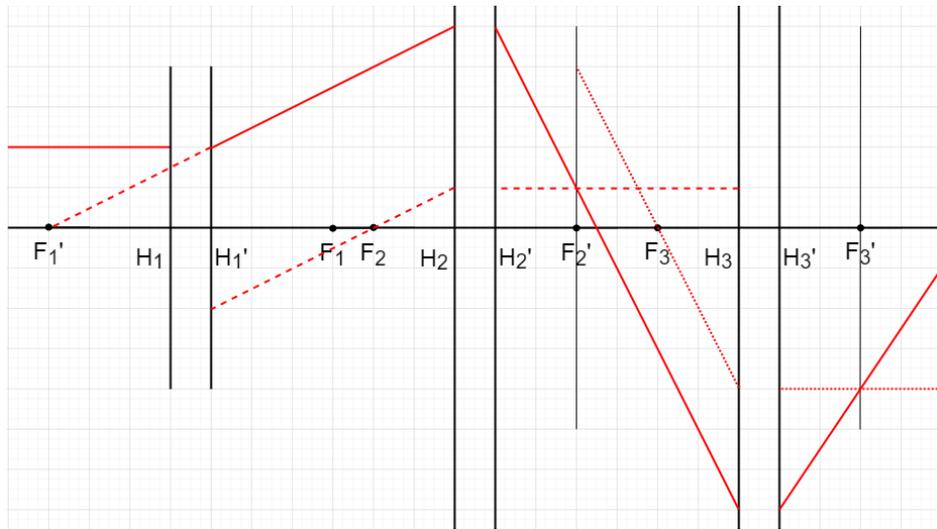
а



б



в



г

Рисунок 4.11 – Ход выполнения задачи №3

# Лабораторная работа №5. Анализ характеристик, подбор фотообъективов и цифровых камер

## 1. Цель работы

Выполнить анализ характеристик пленочных фотообъективов и подобрать цифровые камеры.

## 2. Основные теоретические сведения

### Оптическая система

Принципиальная схема любого оптического прибора содержит три основных составляющих: *предмет*, *оптическая система* и *изображение* (Рисунок 5.1).

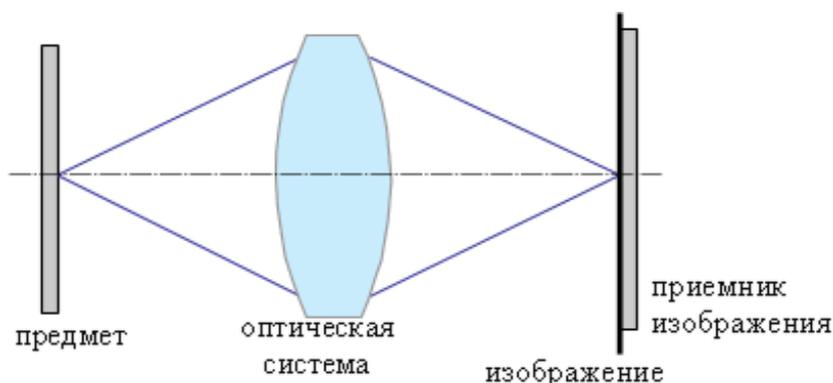


Рисунок 5.1 – Принципиальная схема оптического прибора

**Оптическая система** – это совокупность *оптических сред*, разделенных *оптическими поверхностями*, которые ограничиваются *диафрагмами*. Оптическая система предназначена для формирования изображения путем перераспределения в пространстве электромагнитного поля, исходящего из предмета (преобразования световых пучков).

В наиболее общем случае оптическая система может состоять из следующих функциональных элементов:

- Оптические среды;
- Оптические поверхности;
- Зеркала;
- Диафрагмы;
- Дифракционные оптические элементы.

**Оптические среды** – это прозрачные однородные среды (воздух, оптические стекла, кристаллы и т.п.) с точным значением показателя преломления.

**Оптическая поверхность** – это гладкая регулярная поверхность точно известной формы: плоская, сферическая или асферическая.

**Диафрагма** – это экран с круглым отверстием. На оптических схемах диафрагмы могут быть заданы явно как самостоятельный элемент оптической системы, или неявно – роль диафрагмы будет играть край или оправа линзы.

Предмет и изображение могут быть *ближнего* или *дальнего* типов:

- **Ближний тип** – предмет или изображение расположены на конечном расстоянии, измеряются в миллиметрах.
- **Дальний тип** – предмет или изображение расположены в бесконечности, измеряются в угловой мере.

В зависимости от типа предмета и изображения выделяют 4 типа оптических систем (Таблица 5.1).

Таблица 5.1 – Типы оптических систем

Предмет Изображение	Ближний тип	Дальний тип
Ближний тип	Проекционная (репродукционная) система	Фотографический объектив
Дальний тип	Микроскоп	Телескопическая система

**Разрешающая способность** оптической системы – это способность изображать отдельно два близко расположенных точечных предмета. Для оценки разрешающей способности применяют различные критерии.

**Критерий Рэля** применяется в оптических системах, для которых предметом являются точки или линии. При провале в распределении интенсивности изображения двух близких точек в 20% эти точки будут восприниматься как отдельные. Для этого необходимо, чтобы центральный максимум в изображении одной точки приходился бы на первый минимум в изображении другой (Рисунок 5.2).

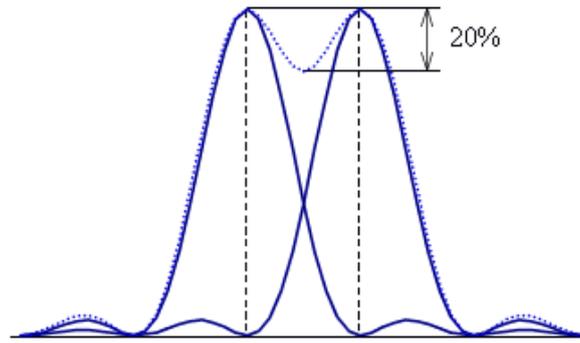


Рисунок 5.2 – Разрешение двух близких точек

**Критерий Фуко** применяется в оптических системах, передающих объекты сложной структуры. Для определения разрешающей способности по Фуко используется тест-объект (мира Фуко), который состоит из черно-белых штрихов разной толщины (Рисунок 5.3).

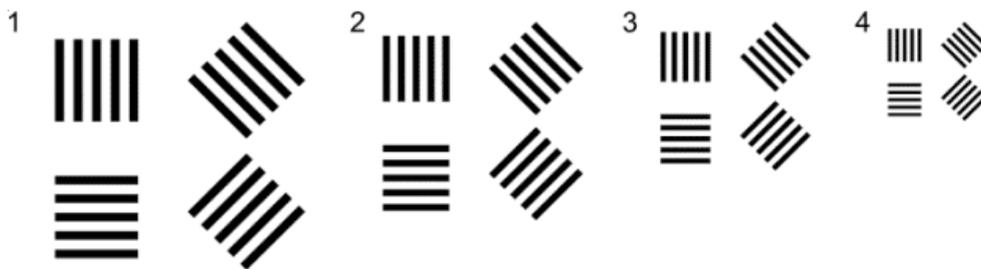


Рисунок 5.3 – Штриховая мира Фуко

Разрешающая способность определяется как максимальная *пространственная частота* периодического тест-объекта, в изображении которого еще различимы штрихи. Пространственная частота измеряется:

- Для удаленного изображения – в количестве линий на единицу угла (лин/рад);
- Для близкого изображения – в количестве линий на единицу длины (лин/мм).

### Фотоаппарат

Фотоаппарат как оптическая система состоит из следующих элементов (Рисунок 5.4):

- Объектив;
- Видоискатель;
- Система фокусировки;
- Диафрагма;
- Затвор;
- Система экспонометрии;
- Приемник изображения (пленка, ПЗС-матрица);

- Дополнительные устройства (система перемотки пленки, вспышка и т.д.).

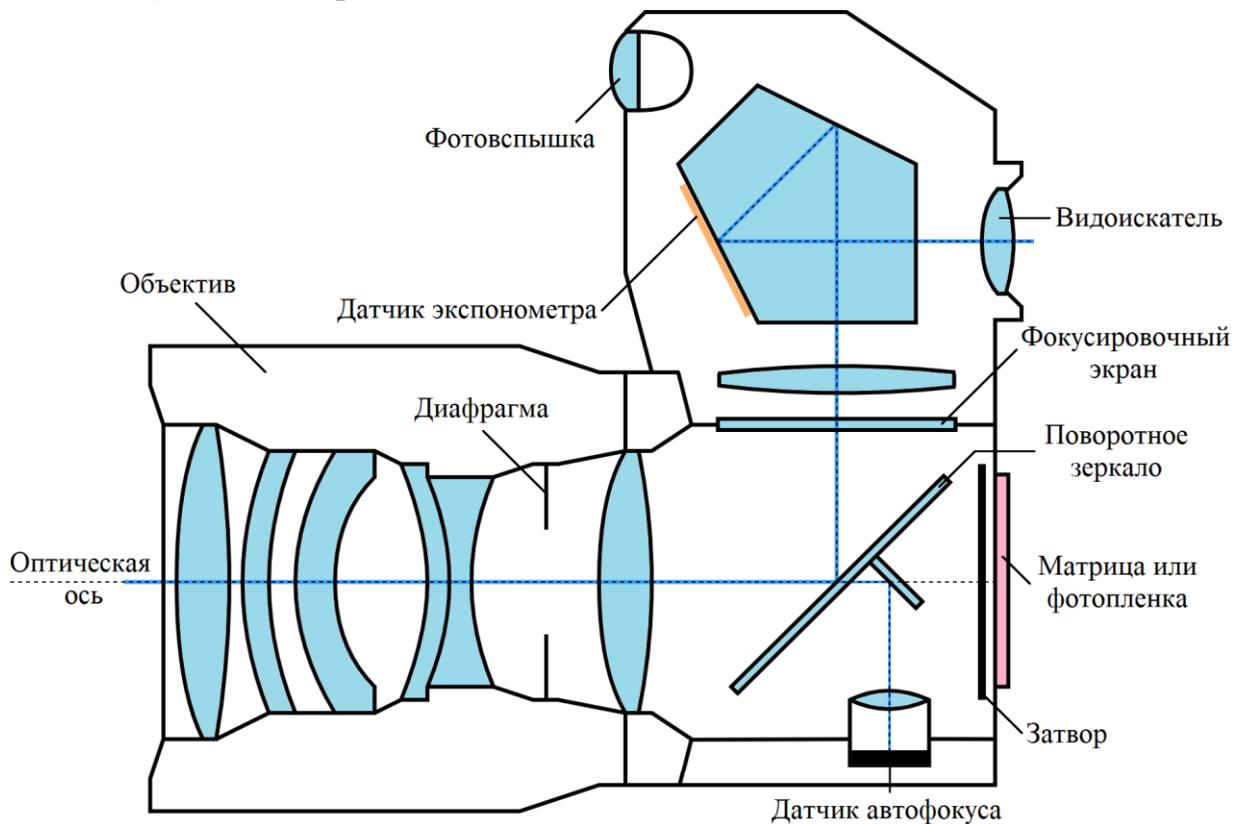


Рисунок 5.4 – Общая схема зеркального фотоаппарата

Объектив – самая важная часть фотоаппарата. Он формирует действительное обратное изображение предмета на поверхности приемника изображения.

Основные характеристики объектива показаны на рисунке 5.5.

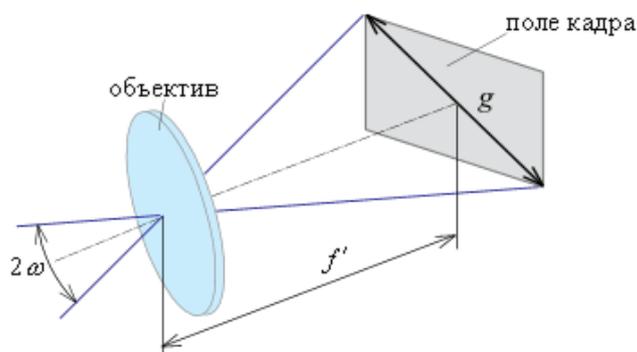


Рисунок 5.5 – Основные характеристики объектива

**Фокусное расстояние  $f'$**  фотообъектива определяется увеличением объектива и его полем зрения:

$$y' = f \cdot \operatorname{tg} \omega = -f' \cdot \operatorname{tg} \omega, \#(5.1)$$

где  $\omega$  – поле зрения объектива,  $y'$  – размер изображения.

Размер изображения определяется диагональю кадра  $g$ :

$$y' = \frac{g}{2} \#(5.2)$$

У стандартной пленки с размером кадра  $36 \times 24$  мм диагональ равна примерно 43,3 мм.

**Поле зрения** объектива – наибольший угол с вершиной в оптическом центре объектива, при котором все предметы, находящиеся в его пределах, будут изображены объективом в плоскости его кадрового окна. За пределами этого угла лежит изображение со значительно уменьшающимися резкостью и яркостью. Угловое поле зрения определяется отношением диагонали кадра к фокусному расстоянию объектива:

$$2 \operatorname{tg} \omega = \frac{g}{f'} \#(5.3)$$

По полю зрения фотообъективы классифицируются на:

- Узкоугольные (длиннофокусные):  $2\omega \leq 40^\circ$  ( $f' > 50$  мм);
- Нормальные:  $40^\circ < 2\omega \leq 60^\circ$  ( $f' = 40 \div 50$  мм);
- Широкоугольные (короткофокусные):  $60^\circ < 2\omega \leq 100^\circ$  ( $f' = 20 \div 35$  мм);
- Сверхширокоугольные:  $2\omega > 100^\circ$  ( $f' < 20$  мм).

**Относительное отверстие** – это абсолютное значение отношения диаметра апертурной диафрагмы  $D$  к заднему фокусному расстоянию объектива  $f'$ . Обычно относительное отверстие записывается в следующем виде:

$$\frac{D}{f'} = 1:k, \#(5.4)$$

где  $k$  – диафрагменное число.

**Светосила объектива** – способность объектива передавать яркость объекта. **Геометрическая светосила** выражается квадратом относительного отверстия:

$$H_r = \left(\frac{D}{f'}\right)^2 = \left(\frac{1}{k}\right)^2 \quad \#(5.5)$$

**Эффективная светосила** учитывает коэффициент светопропускания фотообъектива:

$$H_{эф} = H_r \cdot \tau, \quad \#(5.6)$$

где  $\tau$  – коэффициент светопропускания.

По светосиле фотообъективы делятся на:

- Малосветосильные:  $k \geq 5,6$ ;
- Светосильные:  $k = 2,8 \div 4,5$ ;
- Сверхсветосильные:  $k \leq 2$ .

**Глубина резкости объектива** – это расстояние между самым ближним и самым дальним предметом, которые при данной диафрагме будут резкими. Зависит от относительного отверстия и фокусного расстояния.

В пленочных фотоаппаратах размер изображения зависит от диагонали пленки, в цифровых – от диагонали ПЗС-матрицы. **Кроп-фактор** – условный коэффициент, отражающий изменение поля зрения объектива при его использовании с кадровым окном уменьшенного размера. Выражается отношением диагонали стандартного кадра к диагонали используемого:

$$k_f = \frac{g_{ст.к}}{g_{исп.к}} \quad \#(5.7)$$

**Эквивалентное фокусное расстояние** фотообъектива – условная характеристика, показывающая, какое фокусное расстояние имел бы объектив для стандартного кадра, который создавал бы изображение с такими же углами обзора. Вычисляется параметр через кроп-фактор:

$$f'_{эkv} = k_f \cdot f' \quad \#(5.8)$$

### 3. Задание

- 1) По заданным характеристикам подобрать объектив из каталогов [1–2]. При выборе объектива следует руководствоваться следующими требованиями:
  - Угловое поле объектива – не менее заданного;
  - Диафрагменное число – не более заданного;
  - Фокусное расстояние объектива – отличается не более чем в 2 раза от заданного.
- 2) Для выбранного объектива выполнить следующие действия:
  - Скопировать схему;
  - Указать основные характеристики;
  - Рассчитать геометрическую и эффективную светосилу;
  - Охарактеризовать объектив по размеру поля и светосиле, обосновать результат и указать сферу применения.

Характеристики и светосилу занести в таблицу 5.2.

- 3) По заданным размерам ПЗС матрицы определить ее диагональ, вычислить кроп-фактор и эквивалентное фокусное расстояние.
- 4) Подобрать 2–3 цифровые камеры с подходящим кроп-фактором.

Таблица 5.2 – Характеристики пленочного фотообъектива

<b>Марка объектива</b>		
<b>Фокусное расстояние <math>f'</math>, мм</b>		
<b>Диафрагменное число <math>k</math></b>		
<b>Угловое поле <math>2\omega</math>, °</b>		
<b>Рабочее расстояние, мм</b>		
<b>Коэффициент пропускания, не менее, %</b>		
<b>Пределы фокусировки, м</b>		
<b>Число линз</b>		
<b>Разрешающая способность, лин/мм</b>	<b>Центр</b>	
	<b>Край</b>	
<b>Световой диаметр, мм</b>	<b>На первой поверхности</b>	
	<b>На последней поверхности</b>	
<b>Светосила</b>	<b>Геометрическая</b>	
	<b>Эффективная</b>	

#### 4. Содержание отчета

- Цель и задачи работы;
- Краткие теоретические сведения;
- Описание хода выполнения работы с пояснением всех действий и вычислений;
- Схема выбранного объектива;
- Заполненная таблица 5.2 с основными характеристиками объектива;
- Развернутый вывод с анализом полученных результатов.

#### 5. Варианты задания

№ варианта	$2\omega_{об}, ^\circ$	Относительное отверстие, 1: $k_{об}$	Фокусное расстояние $f'_{об},$ мм	Размер ПЗС матрицы, мм
1	20	1:5	100	8 × 6
2	40	1:4	50	35 × 24
3	30	1:6	50	4,8 × 3,6
4	20	1:4	120	8 × 6
5	20	1:3	40	4 × 3
6	35	1:4	50	27 × 18
7	20	1:2	15	5,8 × 4,3
8	25	1:4	200	8 × 6
9	10	1:4	250	7,6 × 5,7
10	15	1:3	55	4 × 3
11	10	1:3	200	4,8 × 3,6
12	15	1:6	140	8 × 6
13	40	1:3	40	5,8 × 4,3
14	15	1:3	120	7,6 × 5,7
15	10	1:4	150	12,8 × 9,6
16	14	1:6	290	8 × 6
17	30	1:2,8	18	20,7 × 13,8
18	15	1:4	50	5,8 × 4,3
19	22	1:3	102	4 × 3
20	10	1:3	210	8 × 6
21	25	1:2	15	4,8 × 3,6
22	28	1:4	70	7,6 × 5,7
23	35	1:4	50	27 × 18
24	25	1:3	50	8 × 6
25	20	1:5	13	12,8 × 9,6
26	36	1:2,8	56	36 × 24
27	25	1:2	12	5,8 × 4,3
28	28	1:4	190	8 × 6
29	15	1:3	40	4,8 × 3,6

30	12	1:3	200	7,6 × 5,7
31	25	1:2,8	85	12,8 × 9,6
32	15	1:8	145	8 × 6
33	36	1:3	50	20,7 × 13,8
34	10	1:4	150	5,8 × 4,3
35	14	1:6	300	4 × 3
36	10	1:5	130	8 × 6
37	20	1:4	110	4,8 × 3,6
38	34	1:4	50	27 × 18
39	24	1:3	40	36 × 24
40	16	1:4	60	8 × 6

## 6. Пример выполнения

Вариант для примера:

$2\omega_{об}, ^\circ$	$1:k_{об}$	$f'_{об}, \text{мм}$	ПЗС матрица, мм
25	1:6	50	8 × 6

Выбор объектива из каталога выполняется согласно требованиям из задания:  $2\omega_{об} \geq 25^\circ$ ,  $k_{об} \leq 6$ ,  $25 \text{ мм} \leq f'_{об} \leq 100 \text{ мм}$ . Таким параметрам соответствует, например, объектив ИНДУСТАР-69.

Необходимо перенести из каталога схему объектива (Рисунок 5.6) и основные параметры (Таблица 5.3).

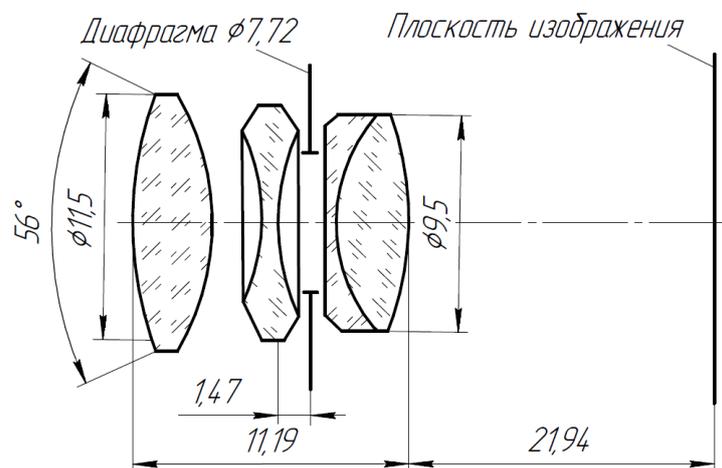


Рисунок 5.6 – Оптическая схема фотообъектива ИНДУСТАР-69

Таблица 5.3 – Основные характеристики фотообъектива ИНДУСТАР-69

<b>Марка объектива</b>		Индустар-69
<b>Фокусное расстояние <math>f'</math>, мм</b>		27,58±2%
<b>Диафрагменное число <math>k</math></b>		2,8
<b>Угловое поле <math>2\omega</math>, °</b>		56
<b>Рабочее расстояние, мм</b>		27,5
<b>Коэффициент светопропускания <math>\tau</math>, не менее, %</b>		0,8
<b>Пределы фокусировки, м</b>		0,2+∞
<b>Число линз</b>		4
<b>Разрешающая способность, лин/мм</b>	<b>Центр</b>	44
	<b>Край</b>	22
<b>Световой диаметр, мм</b>	<b>На первой поверхности</b>	10
	<b>На последней поверхности</b>	8,32
<b>Светосила</b>	<b>Геометрическая</b>	
	<b>Эффективная</b>	

Расчет геометрической и эффективной светосилы производится по формулам (5.5–5.6).

$$H_{\Gamma} = \left(\frac{1}{k}\right)^2 = \left(\frac{1}{2,8}\right)^2 \approx 0,128\#(5.7)$$

$$H_{\text{эф}} = H_{\Gamma} \cdot \tau = 0,128 \cdot 0,8 \approx 0,102\#(5.8)$$

Полученные значения необходимо перенести в соответствующие ячейки таблицы 5.3.

Данный объектив по светосиле можно охарактеризовать как светосильный (так как  $k = 2,8$ ), а по размеру поля его можно назвать промежуточным между нормальным и широкоугольным (так как  $2\omega = 56^\circ$ , но  $f' \approx 28$  мм). Эти параметры позволяют использовать объектив для фотосъемки пейзажных и групповых кадров из-за широкого угла, а также для съемки движущихся объектов и в условиях ограниченной освещенности из-за высокой светосилы.

Для вычисления кроп-фактора и эквивалентного фокусного расстояния нужно определить диагонали стандартного кадра и ПЗС-матрицы:

$$\text{Для кадра } 36 \times 24 \text{ мм: } g_{\text{ст.к}} = \sqrt{36^2 + 24^2} \approx 43,3 \text{ мм.}$$

$$\text{Для ПЗС-матрицы } 8 \times 6 \text{ мм: } g_{\text{исп.к}} = \sqrt{8^2 + 6^2} = 10 \text{ мм.}$$

Тогда кроп-фактор вычисляется по формуле (5.7):

$$k_f = \frac{g_{\text{ст.к}}}{g_{\text{исп.к}}} = \frac{43,3}{10} = 4,33\#(5.9)$$

Эквивалентное фокусное расстояние вычисляется по формуле (5.8):

$$f'_{\text{ЭКВ}} = k_f \cdot f' = 4,33 \cdot 27,58 \approx 119,42\#(5.10)$$

При подборе цифровых фотокамер по кроп-фактору можно также ориентироваться на размер ПЗС-матрицы в дюймовом обозначении. В данном случае стоит смотреть на камеры, в характеристиках матриц которых будут значения 1/1,6". Некоторые соответствующие фотокамеры:

- Panasonic Lumix DMC-LX3;
- Fujifilm FinePix E900;
- Ridian Sportsline 60.

# Лабораторная работа №6. Фотометрический расчет световозвращателей

## 1. Цель работы

Спроектировать световозвращатель, выполнить расчет его яркости и проанализировать возможность его наблюдения водителем транспортного средства.

## 2. Основные теоретические сведения

### Энергетические и световые величины

Для оценки энергии излучения и ее действия на приемники излучения, в том числе и глаз, используют *энергетические* и *световые величины*. Энергетические величины характеризуют излучение всего оптического диапазона: от ультрафиолетового до инфракрасного, тогда как световые описывают, как энергию излучения воспринимает зрительная система глаза с учетом спектрального состава света.

Энергетические и световые величины попарно сопоставлены между собой (Таблица 6.1).

Таблица 6.1 – Энергетические и световые величины и единицы измерения

Энергетические		Световые	
Название	Обозначение и единица измерения	Название	Обозначение и единица измерения
Поток излучения	$\Phi_e, \text{Вт}$	Световой поток	$\Phi, \text{лм}$
Энергетическая сила света	$I_e, \frac{\text{Вт}}{\text{ср}}$	Сила света	$I, \text{кд}$
Энергетическая освещенность	$E_e, \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$	Освещенность	$E, \text{лк}$
Энергетическая светимость	$M_e, \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$	Светимость	$M, \frac{\text{лм}}{\text{м}^2}$
Энергетическая яркость	$L_e, \frac{\text{Вт}}{\text{ср} \cdot \text{м}^2}$	Яркость	$L, \frac{\text{кд}}{\text{м}^2}$

В световых величинах исходная единица – это **сила света**, которая измеряется в канделах [кд]:

$$I = \frac{\partial \Phi}{\partial \Omega}, \#(6.1)$$

где  $d\Phi$  – световой поток в определенном направлении внутри элементарного телесного угла  $d\Omega$ .

Одна кандела определяется как сила света в заданном направлении источника, испускающего монохроматическое излучение частотой  $540 \cdot 10^{12}$  Гц, энергетическая сила света которого в этом направлении составляет 1/683 Вт/ср.

**Телесный угол** – отношение площади поверхности  $S$ , вырезанной на сфере конусом, к квадрату радиуса сферы  $r$  (Рисунок 6.1). Измеряется в *стерадианах* [ср].

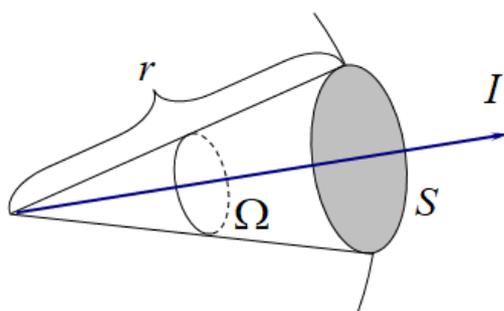


Рисунок 6.1 – Сила света и телесный угол

Из формулы (6.1) можно выразить **световой поток**:

$$\Phi = I \cdot \Omega \quad \#(6.2)$$

Световой поток измеряется в люменах [лм]. *Один люмен* – это поток, который излучается источником с силой света 1 кд в телесном угле 1 ср.

**Освещенность** – это величина светового потока, приходящаяся на единицу площади:

$$E = \frac{\partial \Phi}{\partial S} \quad \#(6.3)$$

Освещенность измеряется в люксах. *Один люкс* – освещенность такой поверхности, на каждый квадратный метр которой равномерно падает поток в 1 лм.

При визуальном наблюдении точечного источника света также применяется такая величина, как блеск  $E_M$  – освещенность, создаваемая точечным источником в плоскости зрачка наблюдателя.

В случае, если необходимо знать распределение светового потока по поверхности источника (когда размерами источника пренебречь нельзя), говорят о **светимости**, за единицу которой принимают светимость такой поверхности, которая излучает с  $1 \text{ м}^2$  световой поток, равный 1 лм.

**Яркость** – это световая величина, за единицу которой принята яркость такой плоской поверхности, которая в перпендикулярном направлении излучает силу света  $1 \text{ кд с } 1 \text{ м}^2$ .

Световые и энергетические величины связаны через **функцию видности  $V(\lambda)$**  – относительную спектральную кривую эффективности монохроматического излучения, показывающую восприятие глазом излучения различного спектрального состава (Рисунок 6.2).

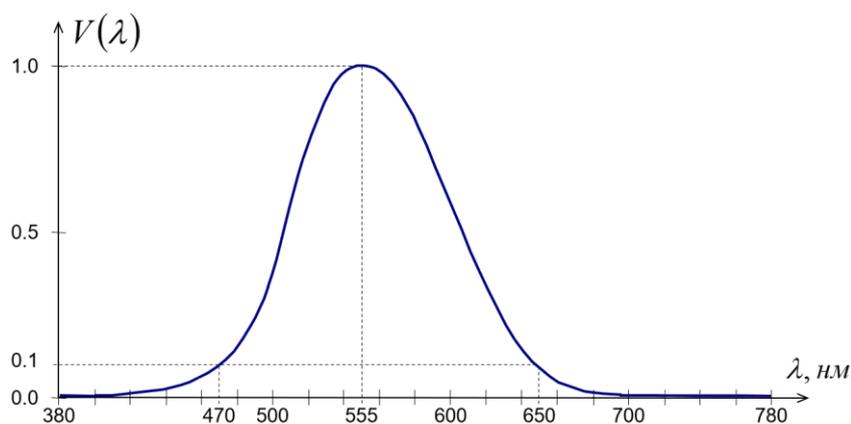


Рисунок 6.2 – Функция видности глаза

Сама формула связи энергетических и световых величин имеет вид:

$$Q = 680 \int_{380}^{770} V(\lambda) Q_{e\lambda}(\lambda) d\lambda, \#(6.4)$$

где 680 – экспериментально установленный коэффициент,  $Q$  и  $Q_{e\lambda}(\lambda)$  – любые световая и энергетическая величина соответственно.

### Источник излучения

**Источник излучения** – это поверхность, излучающая энергию.

**Ламбертовский излучатель** – это такой излучатель, у которого яркость постоянна и не зависит от направления (то есть не зависит от положения точки на поверхности и от угла наблюдения). **Плоский ламбертовский излучатель** –

бесконечно тонкий плоский диск. Диаграмма распределения силы света от такого источника имеет вид окружности.

Сила света такого источника вычисляется через его яркость:

$$I = LS = IS_0 \cos \theta = I_0 \cos \theta, \#(6.5)$$

где  $S$  – проекция источника на плоскость, перпендикулярную направлению излучения,  $S_0$  – источник,  $I_0$  – сила света в направлении нормали к поверхности,  $\theta$  – угол между рассматриваемым направлением и нормалью.

**Ламбертовское рассеяние** – рассеяние света плоской поверхностью происходит по всем направлениям, и не зависит от телесного угла, в пределах которого падает световой поток (Рисунок 6.3).

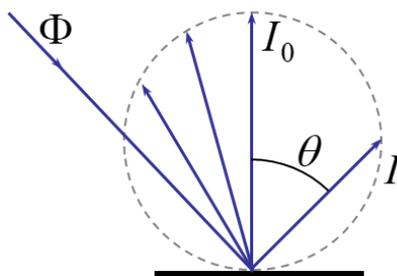


Рисунок 6.3 – Ламбертовское рассеяние

Яркость такой поверхности постоянна по всем направлениям, не зависит от направления падающего света и вычисляется по формуле:

$$L = \frac{\alpha E}{\pi}, \#(6.6)$$

где  $\alpha$  – коэффициент Альбедо, определяющий степень белизны поверхности.

**Точечный источник** – это источник, размерами которого можно пренебречь по сравнению с расстоянием до него, и который излучает поток, равномерный по всем направлениям.

Для точечного источника действует **закон обратных квадратов**: освещенность  $E$ , создаваемая точечным источником обратно пропорциональна квадрату расстояния от источника до поверхности  $r$  и прямо пропорционально косинусу угла  $\theta$  между направлением светового потока и нормалью к освещаемой поверхности:

$$E = \frac{I \cos \theta}{r^2}, \#(6.7)$$

где  $I$  – сила света источника.

### Световозвращатели

Согласно закону отражения, угол падения равен углу отражения. Соответственно, свет отразится в направлении источника излучения только, когда угол падения света на поверхность будет равен  $90^\circ$ . **Световозвращение** – процесс изменения направления луча на  $180^\circ$  с помощью двойного отражения.

Можно выделить два типа светоотражателей: угловые и сферические (Рисунок 6.4).

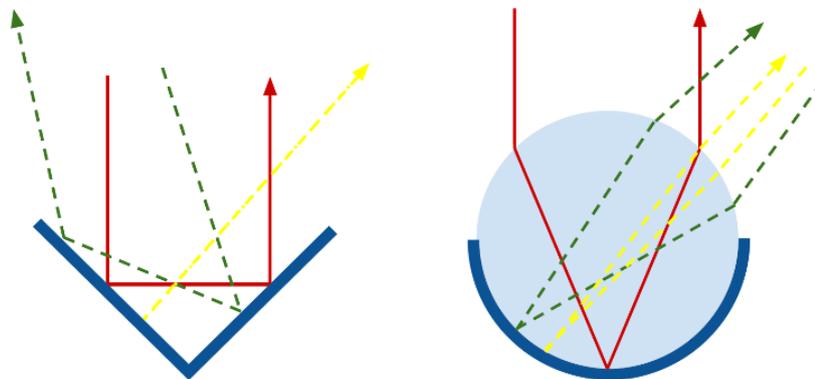


Рисунок 6.4 – Принцип работы углового (слева) и сферического (справа) световозвращателей

На дороге световозвращатель работает следующим образом: когда свет автомобильных фар попадает на световозвращающую поверхность, лучи света преломляются и возвращаются обратно к автомобилю и водитель видит вспышку. Таким образом, водитель видит объект, на котором находится световозвращающий элемент.

### Автомобильные фары

На всех фарах имеется условное обозначение максимальной освещенности (в люксах), которую способна выдать фара или пара фар. Это значение называется **ведущим основным числом** (ВОЧ или Reference number). Чем больше значение ВОЧ, тем интенсивнее свет, выдаваемый фарами, и больше дальность его распространения. Данная маркировка актуальна для фар, имеющих как ближний, так и дальний свет. Стандартный ряд освещенности автомобильных фар (люкс): 7,5; 10; 12,5; 17,5; 20; 25; 27,5; 30; 37,5; 40; 45; 50.

Обычно используется 3 типа освещения (Рисунок 6.5):

- Ближний свет – создает широкую освещенную область перед автомобилем (до 90 м) и не слепит встречных водителей;
- Дальний свет – направлен далеко вдоль оси автомобиля (более 150 м), поэтому светит в том числе и на встречную полосу, ослепляя других водителей;
- Противотуманный свет – освещает как можно более широкую область на небольшом расстоянии (около 20 м).

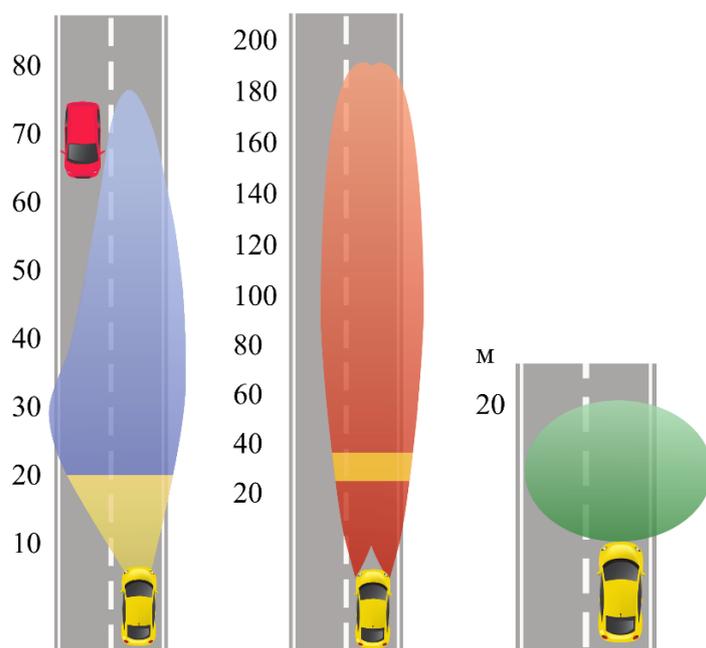


Рисунок 6.5 – Схемы освещения разных типов света: ближнего (слева), дальнего (в центре) и противотуманного (справа)

При настройке фар производитель учитывает сразу несколько параметров, связанных, как с дорогой, так и с особенностями физиологии водителя. Для этого используются фотометрические диаграммы (Рисунок 6.6).

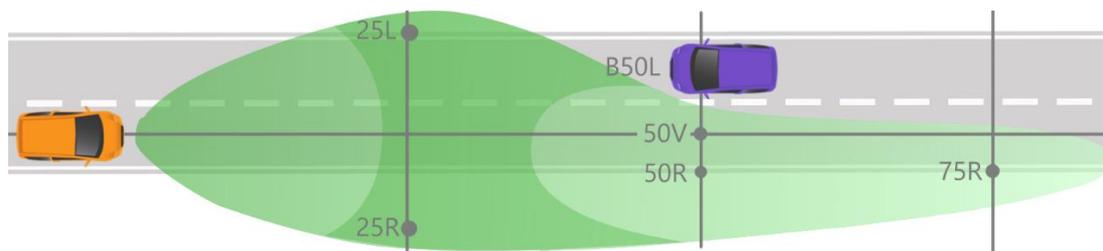


Рисунок 6.6 – Схема освещения дороги с опорными точками

Настройка производится по опорным точкам:

- Точка 75R – расположена в 75 м на правой обочине. Здесь должна быть максимальная освещенность, это место, где взгляду водителя максимально комфортно.
- Точки 50R и 50V – расположены на расстоянии 50 м от автомобиля. Также важно учитывать точку B50L, которая находится на расстоянии 50 метров на встречной полосе— здесь должна быть минимальная освещенность, чтобы не ослеплять встречных водителей.
- Точки 25L и 25R расположены на расстоянии 25 м от автомобиля, это ширина луча.

### 3. Задание

- 1) По заданному значению ведущего основного числа  $E_1$ :
  - Подобрать 2–3 варианта фар, представленных на рынке;
  - Рассчитать номинальную силу света источника  $I$ .
- 2) Предложить световозвращатель оригинальной формы, оформить его эскиз и по предложенным размерам вычислить его площадь.
- 3) При продольном положении пешехода  $r = 50; 75; 100; 150$  м выполнить следующие действия:
  - Вычислить освещенность в зоне нахождения пешехода  $E_2$ ;
  - Вычислить освещенность световозвращателя  $E_c$ ;
  - Оформить эскиз дорожной схемы с указанием следующих параметров:
    - Высота фар  $h_0$ , поперечного положения водителя  $h_1$ , световозвращателя на пешеходе  $h_2$ ;
    - Расстояние  $r$ ;
    - Углы наблюдения  $\alpha$  (между отрезками «край зрачка водителя – световозвращатель» и «световозвращатель – центр зрачка водителя») и  $\beta$  (световозвращатель – оптическая ось глаза водителя) относительно горизонтальной оси;

- Вычислить яркость световозвращателя  $L$  и определить отличия между полезной и фоновой яркостями (фон – ясное ночное небо,  $L^* = 10^{-4}$  кд/м<sup>2</sup>);
  - Вычислить блеск, т.е. освещенность  $E_M$ , создаваемую светоотражателем в плоскости зрачка водителя, и определить возможность заметить светоотражатель водителем (пороговая величина блеска  $E_M^* = 10^{-9}$  лк).
- 4) Результаты расчетов занести в таблицу 6.2, построить зависимости  $E_2(r)$ ,  $E_c(r)$ ,  $L(r)$ ,  $E_M(r)$ .
- 5) Обосновать использование световозвращателей в темное время суток, исходя из величины тормозного пути при различных скоростях движения, погодных условиях (туман, дождь, гололед и т.п.), состоянии дорожного покрытия и типа покрышек.

Таблица 6.2 – Результаты работы

Расстояние от пешехода до водителя $r$ , м	50	75	100	150
Сила света источника излучения $I$ , кд				
Площадь световозвращателя $S_c$ , м <sup>2</sup>				
Освещенность зоны пешехода $E_2$ , лк				
Освещенность световозвращателя $E_c$ , лк				
Яркость световозвращателя $L$ , кд/м <sup>2</sup>				
Блеск световозвращателя $E_M$ , лк				

#### 4. Содержание отчета

- Цель и задачи работы;
- Краткие теоретические сведения;
- Описание хода выполнения работы с пояснением всех действий;
- Расписанные вычисления с указанием всех размерностей;
- Список подобранных автомобильных фар;
- Заполненная таблица 6.2 с рассчитанными параметрами;
- Графики зависимостей  $E_2(r)$ ,  $E_c(r)$ ,  $L(r)$ ,  $E_M(r)$ ;
- Развернутый вывод с анализом полученных результатов.

## 5. Варианты задания

№ в-та	$E_1$ , лк	$\tau$ , отн.ед.	$\rho$ , отн.ед.	№ в-та	$E_1$ , лк	$\tau$ , отн.ед.	$\rho$ , отн.ед.
1	7,5	0,9	0,99	21	37,5	0,9	0,99
2	10	0,5	0,86	22	40	0,5	0,86
3	12,5	0,3	0,91	23	45	0,3	0,91
4	17,5	0,8	0,97	24	50	0,8	0,97
5	20	0,7	0,90	25	7,5	0,7	0,90
6	25	0,9	0,89	26	10	0,9	0,89
7	27,5	0,5	0,98	27	12,5	0,5	0,98
8	30	0,3	0,85	28	17,5	0,3	0,85
9	37,5	0,8	0,92	29	20	0,8	0,92
10	40	0,7	0,95	30	25	0,7	0,95
11	45	0,9	0,99	31	27,5	0,9	0,99
12	50	0,5	0,86	32	30	0,5	0,86
13	7,5	0,3	0,91	33	37,5	0,3	0,91
14	10	0,8	0,97	34	40	0,8	0,97
15	12,5	0,7	0,90	35	45	0,7	0,90
16	17,5	0,9	0,89	36	50	0,9	0,89
17	20	0,5	0,98	37	7,5	0,5	0,98
18	25	0,3	0,85	38	10	0,3	0,85
19	27,5	0,8	0,92	39	12,5	0,8	0,92
20	30	0,7	0,95	40	17,5	0,7	0,95

## 6. Пример выполнения

Вариант для примера:  $E_1 = 25$  лк,  $\tau = 0,8$  отн.ед.,  $\rho = 0,97$  отн.ед.

Данному в варианте ВОЧ соответствуют следующие фары:

- [FERVOR 220 LUM1.50850](#);
- [SCULPTOR N6001 QD](#);
- [Jumbo LED V 1FE 016 773-001](#).

Для расчета номинальной силы света источника можно воспользоваться формулой (6.7), выразив из нее  $I$  и приравняв угол  $\theta$  к нулю. Расчет производится для  $r = 50$  м:

$$I = E_1 r^2 = 25 \cdot 50^2 = 62500 \text{ кд\#} \quad (6.8)$$

Для примера световозвращатель будет простой формы – круг с радиусом 5 см (Рисунок 6.7).

Площадь светоотражателя (в метрах) вычисляется по простой формуле:

$$S_c = \pi r_c^2 = 0,05^2 \pi \approx 0,079 \text{ м}^2 \#(6.9)$$

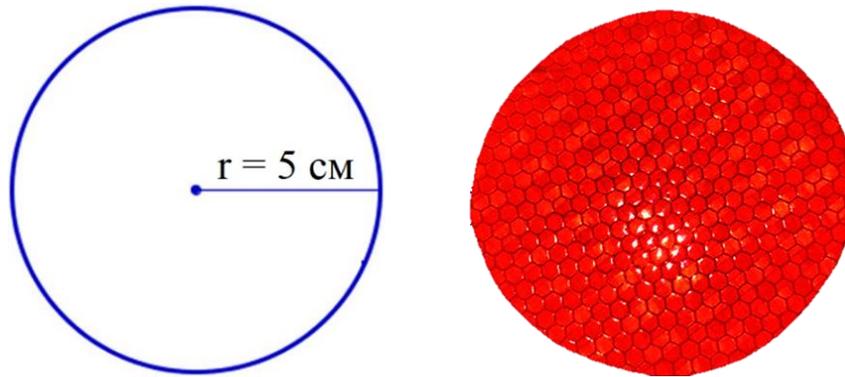


Рисунок 6.7 – Эскиз (слева) и модель (справа) светоотражателя

Следующие вычисления будут приведены для  $r = 50$  м. Аналогичные расчеты следует выполнить для  $r = 75; 100; 150$  метров.

Освещенность в зоне нахождения пешехода  $E_2$  вычисляется по следующей формуле:

$$E_2 = \frac{\tau \cdot E_1 \cdot 50^2 \cos(\delta \cdot 360^\circ)}{r^2}, \#(6.10)$$

где  $\tau$  – величина атмосферного пропускания,  $\delta = 1 \div 1,5\%$  – отклонение оси освещения фар. При  $\delta = 1\%$ :

$$E_2 = \frac{0,8 \cdot 25 \cdot 2500 \cdot \cos(1 \cdot 360^\circ)}{2500} \approx 20 \text{ лк} \#(6.11)$$

Освещенность световозвращателя рассчитывается по формуле:

$$E_c = \frac{S_c}{\pi m^2} E_2 = \frac{0,079 \cdot 20}{\pi \cdot 225} \approx 2,23 \cdot 10^{-4} \text{ лк}, \#(6.12)$$

где  $m = 15$  м – половина зоны освещения.

Далее необходимо предложить расположение фар, водителя и световозвращателя по высоте (параметры  $h_0, h_1, h_2$  соответственно) и оформить эскиз дорожной схемы с указанием этих параметров, а также расстояния  $r$  и углов  $\alpha$  и  $\beta$ . Пример эскиза показан на рисунке 6.8.

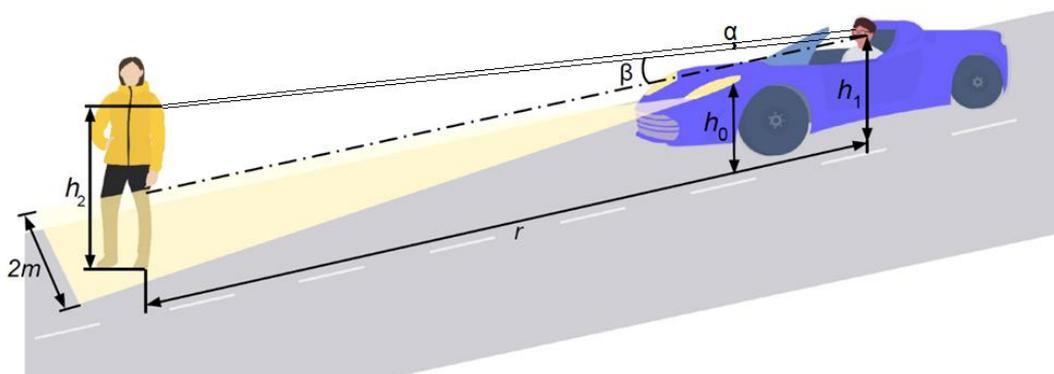


Рисунок 6.8 – Эскиз дорожной схемы

На рисунке 6.9 можно лучше понять, между какими отрезками образуются углы.

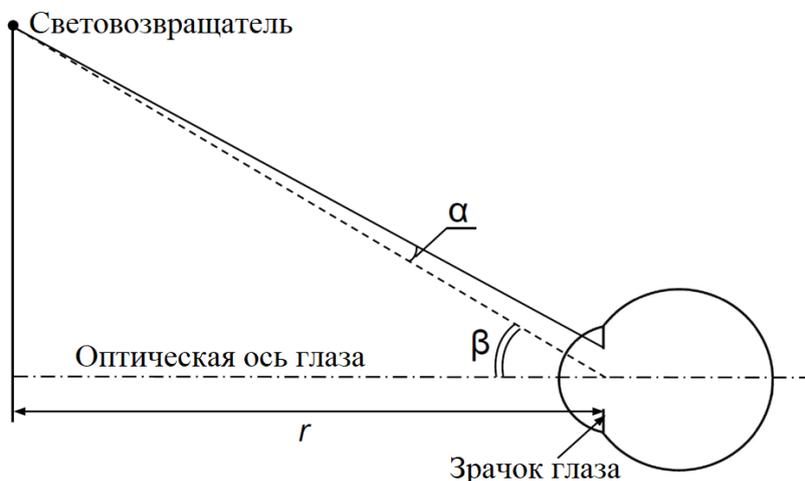


Рисунок 6.9 – Демонстрация углов  $\alpha$  и  $\beta$

С учетом формул (6.5) и (6.6) для плоского ламбертовского излучателя яркость световозвращателя определяется выражением:

$$L = \frac{\rho E_c}{\Omega}, \#(6.13)$$

где  $\rho$  – величины отражательной способности материала световозвращателя, данная в варианте,  $\Omega$  – угол, вычисляемый по формуле:

$$\Omega = \arctg \left[ \frac{b}{r} \right], \#(6.14)$$

где  $b$  – поперечный размер световозвращателя.

В случае примера:

$$L = \frac{0,97 \cdot 2,23 \cdot 10^{-4}}{\operatorname{arctg}\left[0,1/50\right]} \approx 1,89 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кД}}{\text{м}^2} \#(6.15)$$

Это значение необходимо сравнить с фоновой яркостью – яркостью ясного ночного неба ( $L^* = 10^{-4} \text{ кД/м}^2$ ) для последующих выводов.

Наконец, нужно определить блеск:

$$E_M = \tau L \alpha, \#(6.15)$$

где  $\alpha$  – угол, обозначенный ранее на рисунке 6.8. Вычисляется он из геометрических соображений следующей формулой:

$$\alpha = \operatorname{arctg}\left[d_{\text{зр.гл}}/2r\right], \#(6.16)$$

где  $d_{\text{зр.гл}} = 2 \div 5$  мм – диаметр зрачка глаза.

При  $d_{\text{зр.гл}} = 5$  мм  $\alpha \approx 2,86 \cdot 10^{-3} \text{ }^\circ = 10''$ , тогда:

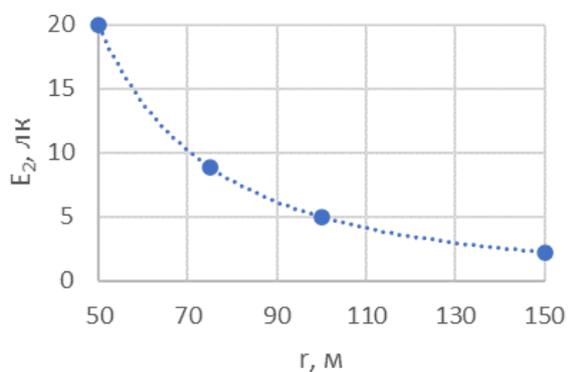
$$E_M = 0,8 \cdot 1,89 \cdot 10^{-3} \cdot 2,86 \cdot 10^{-3} \approx 4,33 \cdot 10^{-6} \text{ лк} \#(6.17)$$

Это значение необходимо сравнить с пороговой величиной блеска  $E_M^* = 10^{-9} \text{ лк}$ . Для этого и предыдущего значений отличие должно быть **не менее, чем на порядок**.

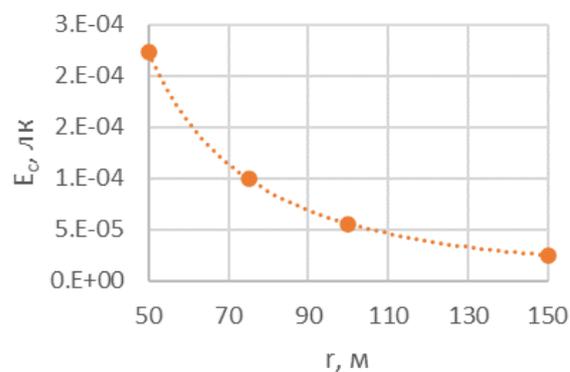
В результате всех вычислений необходимо представить заполненную таблицу с результатами (Таблица 6.3) и графики зависимостей  $E_2(r)$ ,  $E_c(r)$ ,  $L(r)$ ,  $E_M(r)$  (Рисунок 6.10).

Таблица 6.3 – Результаты работы

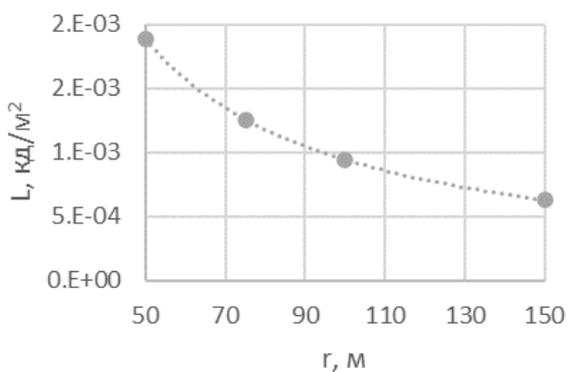
$r, \text{ м}$	50	75	100	150
$I, \text{ кД}$	62500			
$S_c, \text{ м}^2$	0,0079			
$E_2, \text{ лк}$	20	9	5	2
$E_c, \text{ лк}$	$2,23 \cdot 10^{-4}$	$9,91 \cdot 10^{-5}$	$5,58 \cdot 10^{-5}$	$2,48 \cdot 10^{-5}$
$L, \text{ кД/м}^2$	$1,89 \cdot 10^{-3}$	$1,26 \cdot 10^{-3}$	$9,44 \cdot 10^{-4}$	$6,29 \cdot 10^{-4}$
$E_m, \text{ лк}$	$4,33 \cdot 10^{-6}$	$1,92 \cdot 10^{-6}$	$1,08 \cdot 10^{-6}$	$4,81 \cdot 10^{-7}$



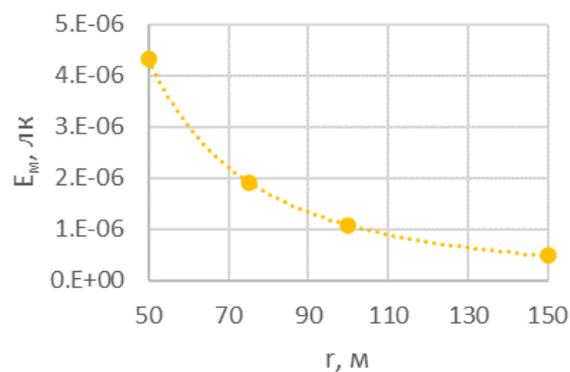
а



б



в



г

Рисунок 6.10 – Графики зависимостей рассчитанных параметров от  $r$

## Лабораторная работа №7. Знакомство с DIALux. Моделирование освещения жилых помещений

### 1. Цель работы

Получение навыков работы в программе DIALux, изучение основных светотехнических документов

### 2. Основные теоретические сведения

#### Программа DIALux

DIALux – программа, позволяющая рассчитывать освещение с учетом окружающего интерьера, геометрии пространства, а также многих других параметров. Результатом работы в программе является 3D вид исследуемой световой среды с получившимся распределением освещенности, а также текстовые отчеты о необходимых характеристиках.

При запуске программы сразу предлагается несколько вариантов начальных сцен (Рисунок 7.1):

- Новый проект интерьера (для работы с внутренними помещениями);
- Новый проект для наружной сцены (для работы с внешними пространствами);
- Новый проект для улицы (для работы с проезжими улицами).

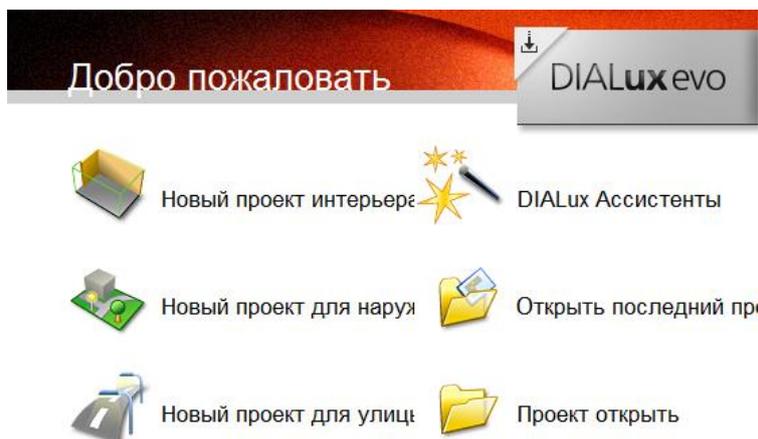


Рисунок 7.1 – Стартовое диалоговое окно

Все основные функции работы со сценой расположены на панели инструментов, она состоит из нескольких частей (Рисунок 7.2):

- 1) **Главное меню.** Содержит основные функции такие, как сохранить файл, отменить действие, вырезать объект и т.п.

- 2) **Стандарт.** Позволяет открывать, сохранять файлы, отменять действия, копировать, вырезать.
- 3) **Вид.** Позволяет использовать следующие виды: 3D, в плане, сбоку, спереди, ход лучей и общий вид сцены.
- 4) **Вспомогательный инструмент.** Позволяет увидеть распределение света светильников и получить результаты влияния солнечного света в разное время года и суток. Также в данном меню есть пункт работы со стеклянными объектами. При работе с расчетными параметрами данное меню позволяет отобразить фиктивные цвета освещения и яркости или их изолинии. Далее в этом меню расположена функция, позволяющая направить светильник на конкретную точку, и линейка. При работе со вспомогательными линиями в данном меню для удобства присутствуют функции отображения демонстрационного растра, вспомогательных линий, линейных вспомогательных плоскостей и подгруженного слоя из другой САПР программы.
- 5) **Расчет.** Позволяет осуществить расчет освещения выбранной сцены, актуализировать информацию энергетического расчета, выводить результаты расчетов для дальнейшей печати. При использовании дополнительной программы POV-Ray в данном меню можно автоматически сгенерировать изображения данной сцены изнутри. Также в данном меню есть возможность создания видеодокумента с видами созданной сцены.
- 6) **Окно.** Позволяет открыть дерево проектов и разместить все открытые вкладки на одном экране вертикально или горизонтально.
- 7) **Фильтр для выбора.** Позволяет блокировать выбор таких деталей, как группа светильников, отдельный светильник, поворотных частей светильников, объектов, элементов помещения, окон и дверей, расчетных точек и вспомогательных линий. Это позволяет фиксировать объекты, в случае если нет необходимости вносить в их отношении какие-либо правки.
- 8) **Ловушка.** Позволяет применять геометрические привязки для более удобной состыковки объектов между собой и со вспомогательными линиями.

- 9) **Режим работы с мышью.** Позволяет изменять предназначение мыши: выбор объектов, изменение масштаба, поворот вида, смещение вида и перемещение по сцене.
- 10) **Вставить.** Позволяет создать новые сцены: помещение, дорогу и наружную сцену, а также редактировать схему улиц. Также в данном меню есть возможность выбрать способ расположения светильников: одиночный источник освещения, расположение в линию, по полю, по кругу, построение заливающего света, прямое и вертикальное освещение заданной поверхности. Далее расположены функции добавления нового элемента управления и новой сцены освещения. Для удобства работы с проектом в режиме 2D в данном меню есть возможность разместить на плане вспомогательную линию, ломаную, кривую, круг и растр по заданным координатам или по точкам.
- 11) **Ориентировать.** Данное меню предназначено для работы с несколькими объектами. Оно позволяет: выровнять объекты по левому или правому краю, центрировать по оси X, аналогично для оси Y – центрирование и выравнивание по двум краям, также для оси Z. Для трех и более объектов в данном меню возможно использовать равномерное распределение объектов по одной из осей.

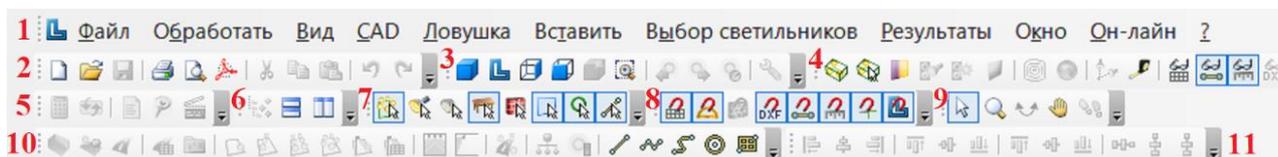


Рисунок 7.2 – Элементы панели инструментов

Ниже панели инструментов расположены три рабочие области (Рисунок 7.3):

- 1) **Окно CAD.** Расположено по центру, представляет из себя область, в которой расположены чертежи и виды сцены;
- 2) **Менеджер проекта.** Чаще всего расположен слева. Он разделен на две зоны:
  - Зона с настройками, относящимися к используемым функциям (работа с материалом, установка светильника и т.п.);

- Зона с несколькими разделами: *проект* – содержит дерево проекта, в котором расположена информация обо всех используемых объектах, *объекты* – открывает все доступные для использования в проекте элементы, *цвета* – позволяет изменять цвета выбранных объектов, а также добавлять различные светофильтры к источникам освещения, *выбор светильников* – содержит доступные каталоги источников освещения, *результаты* – предоставляет возможность выбора пунктов, которые будут отражены в формируемом отчете;

3) **Проводник.** Чаще всего расположен слева. Он позволяет быстро добавлять в проект необходимые элементы, относящиеся к разным типам освещения.

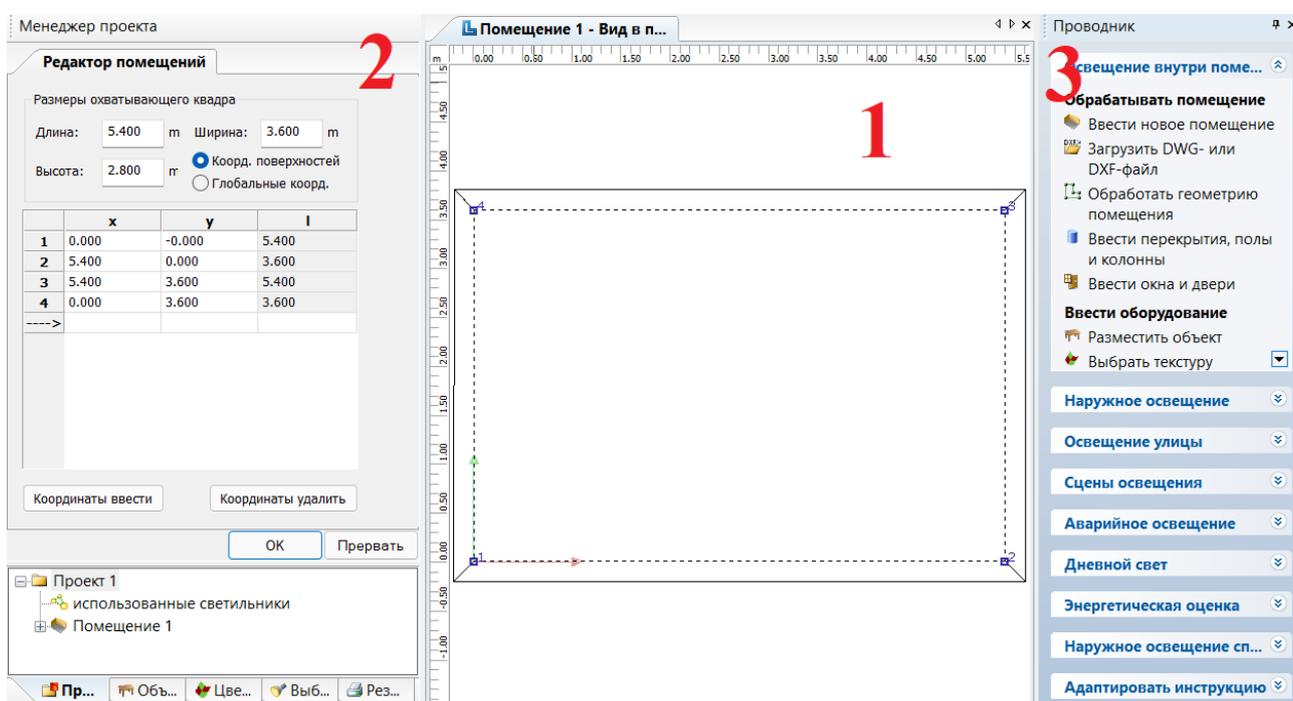


Рисунок 7.3 – Рабочие области

Для работы с осветительными приборами в разделе «Менеджер проекта» необходимо выбрать раздел «Выбор светильников» – каталоги светильников *DIALux* – неинсталлированные каталоги. В данном разделе представлены фирмы, изготавливающие осветительные устройства, которые могут быть загружены в проект в программе DIALux. При нажатии на фирму можно просмотреть небольшую визитную карточку. Для скачивания каталогов необходимо:

- В списке выбрать DIAL и выбрать язык;

- После загрузки на странице найти список каталогов компаний;
- Скачать нужный каталог.

После того, как файл загрузится, необходимо разархивировать его и запустить программу, хранящуюся в архиве. Каталог автоматически загрузится в необходимую папку. После окончания загрузки при открытии DIALux в разделе *каталоги светильников DIALux* будут доступны скачанные каталоги.

Для работы с предметами интерьера в менеджере проекта необходимо выбрать раздел «Объекты». В данном разделе в каталоге «*Furniture*» хранятся базовые элементы как для помещений, так и для улицы. Для добавления выбранного элемента на рабочую сцену необходимо просто перетащить объект в нужное место. При работе с объектами в рабочей зоне менеджера проекта можно менять характеристики поверхностей, такие как процент отражения, прозрачность, шероховатость, цвет, или просто задать нужный материал и характеристики автоматически проставятся. Другой вариант работы с мебелью – создание объекта при помощи стандартных элементов. Данные элементы также находятся в разделе «Объекты», при помощи рабочей области менеджера проекта можно изменять размеры данных элементов, а также элементы можно объединять друг с другом для получения необходимой конструкции.

Также есть сайты для работы с программой DIALux, где можно найти некоторые дополнительные элементы интерьера, которые можно скачать и добавить в соответствующую папку по пути *C:\ProgramData\DIALux\Furniture*. Обратите внимание, что объекты должны быть формата *.m3d*, а название должно содержать только латиницу.

### **Регулирование естественного и искусственного освещения**

При работе с жилыми помещениями необходимо учитывать множество факторов, одним из которых является уровень освещенности. От того, насколько освещение в помещении будет комфортным, зависит утомляемость человека, подверженность стрессам, здоровье. В зависимости от типа помещения на данную характеристику накладываются разные ограничения.

Главным документом для регулирования характеристик, связанных с освещенностью, является свод правил 52.13330 «*Естественное и искусственное освещение*». Данный документ ограничивает не только

освещенность рабочей поверхности, но и такие характеристики, как коэффициент естественной освещенности, индекс цветопередачи источника освещения, коэффициент пульсации и многое другое.

### 3. Задание

- 1) Смоделировать помещение в программе DIALux согласно вариантам, выполнив следующие условия:
  - В помещении должно быть не менее 5 объектов интерьера;
  - Как минимум один из объектов должен быть построен при помощи стандартных элементов.
- 2) При помощи свода правил 52.13330.2016 "Естественное и искусственное освещение" необходимо определить необходимые для заданного помещения требования к освещенности.
- 3) При помощи осветительных приборов добиться соблюдения необходимых требований.

### 4. Содержание отчета

- Цель и задачи работы;
- Определение требований к помещению;
- Описание этапов моделирования помещения с подробным описанием создания объекта из стандартных элементов;
- Полученные светотехнические результаты;
- Вид комнаты в 3D и с использованием фиктивных цветов;
- Вывод к работе с описанием преимуществ выбранных светильников.

### 5. Варианты задания

№ в-та	Тип помещения	Размер помещения, м	№ в-та	Тип помещения	Размер помещения, м
1	Спальня	4 × 4 × 2,5	11	Рабочий кабинет	2 × 3 × 2,5
2	Кухня	4 × 3,5 × 3	12	Ванная	2 × 4 × 2,5
3	Ванная	2 × 3 × 2,5	13	Кухня	6 × 4 × 2,5
4	Спальня	6 × 4 × 2,6	14	Библиотека	6 × 3 × 3
5	Гостиная	6 × 6 × 3	15	Спальня	5 × 4 × 2,7
6	Рабочий кабинет	3 × 4 × 2,5	16	Гостиная	5 × 4 × 2,6
7	Гостиная	3 × 5 × 3	17	Библиотека	6 × 5 × 3,2

№ в-та	Тип помещения	Размер помещения, м	№ в-та	Тип помещения	Размер помещения, м
8	Библиотека	4 × 5 × 2,8	18	Ванная	4 × 4 × 3
9	Кладовая	2 × 2 × 2,4	19	Кладовая	3 × 4 × 3
10	Кухня	3 × 5 × 3	20	Рабочий кабинет	4 × 4 × 3,2

## 6. Пример выполнения

Вариант для примера:

Тип помещения	Размер помещения, м
Спальня	5 × 3 × 2,6

### Определение необходимой освещенности

Согласно приложению Л1 «Нормативные показатели освещения основных помещений общественных, жилых, вспомогательных зданий» свода правил 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение», освещенность рабочих поверхностей при использовании общего освещения в жилых комнатах должна быть 150 лк.

Для того, чтобы понять количество и тип светильников для помещения, необходимо рассчитать суммарный световой поток, который должен создаваться источниками освещения:

$$\Phi = E \cdot S = 150 \cdot (5 \cdot 3) = 2250 \text{ лм, \#(7.1)}$$

где  $\Phi$  – световой поток,  $E$  – необходимая освещенность,  $S$  – площадь освещаемой поверхности.

### Моделирование в DIALux

Для создания нового помещения необходимо при запуске программы выбрать «Новый проект интерьера». После чего в менеджере проекта откроется окно габаритных размеров помещения (Рисунок 7.4). Согласно варианту туда необходимо вбить соответствующие размеры, после чего принять внесенные изменения.

**Редактор помещений**

Размеры охватывающего квадрата

Длина:  m    Ширина:  m

Высота:  m     Коорд. поверхностей  
 Глобальные коорд.

	x	y	l
1	0.000	-0.000	5.000
2	5.000	-0.000	3.000
3	5.000	3.000	5.000
4	0.000	3.000	3.000

Рисунок 7.4 – Ввод габаритных размеров помещения

Для изменения параметров поверхностей (цвет, коэффициент отражения, текстура) нужно выбрать изменяемую поверхность и в менеджере проекта внести соответствующие данные (Рисунок 7.5).

Наименование    **Материал**    Текстура

Цвет:  -

Коэффициент отражения:  %

Прозрачность:  %

Шероховатость:  %

Отражающий эффект:

Материал:  ▾

Металл

Пластика

Рисунок 7.5 – Измерение параметров поверхности

В разделе «Объекты» менеджера проекта необходимо перетащить в проект соответствующие элементы, после чего скорректировать их габариты и материалы в рабочем окне менеджера проекта. Для рассматриваемого проекта в качестве объектов были выбраны кровать, шкаф, рабочий стол, стул и стеллаж.

После добавления данных элементов проект помещения выглядит так, как показано на рисунке 7.6.

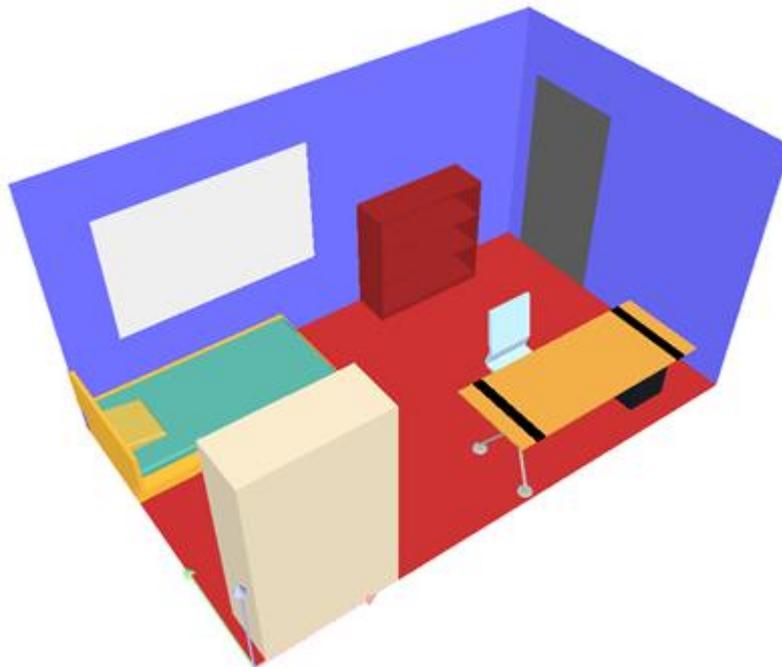


Рисунок 7.6 – Помещение после добавления стандартных объектов

Для моделирования своего элемента мебели должны быть использованы стандартные элементы из раздела «Объекты». При помощи данных элементов поэтапно путем изменения размеров, положения и материала каждого отдельного элемента формируется элемент мебели. Для примера была сформирована настенная полка (Рисунок 7.7).

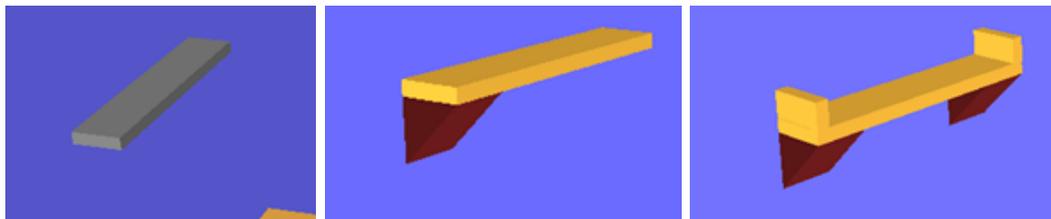


Рисунок 7.7 – Поэтапное формирование объекта из стандартных элементов

Готовая модель комнаты без источников освещения показана на рисунке 7.8.

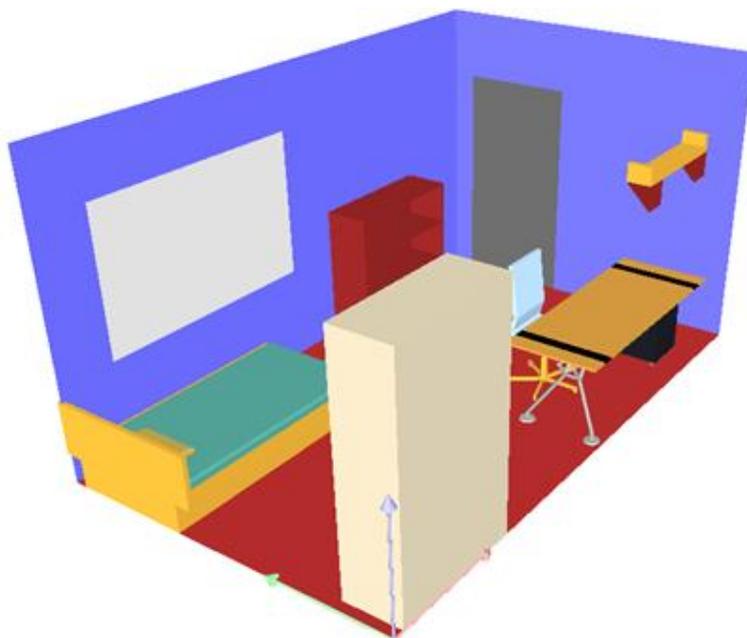


Рисунок 7.8 – Готовая модель комнаты

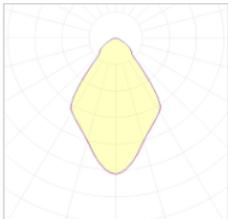
### Установка источников освещения

Для данного проекта был выбран каталог осветительных приборов фирмы Ekenia. В выражении (7.1) было установлено, что общий световой поток светильников должен составлять не менее 2250 лм.

Из рациональных соображений в качестве источника освещения была выбрана модель **EXENIA 3135050\_3139050/X WILLY LED MEDIUM 13W ottica/X 71°** со световым потоком 1261 Лм и полуширокой кривой силы света, что позволяет охватить большую плоскость (Рисунок 7.9).

название продукта	Мощность (W)	Световой поток (лм)
WILLY LED MEDIUM 13W ottica/X 71°	13	1261





 Отправить в DIALux

 PDF экспорт

 IES- / LDT-экспорт

Рисунок 7.9 – Выбранный светильник в каталоге

Для загрузки источника освещения в проект необходимо выбрать способ установки (точечно или структурой), после чего в менеджере проекта откроется возможность изменять количество светильников, а также параметры установки. В рассматриваемом варианте была использована структура линейки для двух

источников освещения, также один был установлен точно таким образом, чтобы три осветителя образовывали равнобедренный треугольник.

После того, как источники освещения установлены, необходимо выполнить расчет, чтобы увидеть, как моделируемое помещение будет освещать помещение. Для в разделе «*Результаты*» менеджера проекта необходимо выбрать *Светотехнические результаты*.

После расчета необходимо снова выбрать *Светотехнические результаты* – в рабочем окне программы появятся значения светотехнических параметров (Рисунок 7.10).

**Помещение 1 / Светотехнические результаты**

Общий световой поток: 3783 lm  
 Общая мощность: 39.0 W  
 Коэффициент эксплуатации: 0.80  
 Краевая зона: 0.000 m

Поверхность	Средние освещенности [lx]			Коэффициент отражения [%]	Средние Яркость [cd/m <sup>2</sup> ]
	Напрямую	Опосредовано	Всего		
Рабочая плоскость	164	15	178	/	/
Полы	88	11	99	20	6.28
Потолок	0.00	21	21	78	5.26
Стенка 1	15	14	29	29	2.70
Стенка 2	17	16	33	29	3.04
Стенка 3	19	15	34	29	3.15
Стенка 4	12	17	29	29	2.66

Равномерность на рабочей плоскости  
 $E_{\min} / E_{\text{ср}}: 0.032 (1:31)$   
 $E_{\min} / E_{\max}: 0.012 (1:84)$

Удельная подсоединенная мощность: 2.60 W/m<sup>2</sup> = 1.46 W/m<sup>2</sup>/100 lx (Поверхность основания: 15.00 m<sup>2</sup>)

Рисунок 7.10 – Светотехнические результаты

Как видно по результатам, для рабочей плоскости удалось достичь значения больше 150 лк, что удовлетворяет требованиям свода правил. Общий световой поток также оказался больше рассчитанного в выражении (7.1).

Финальный результат моделирования, а также модель в фиктивных цветах показаны на рисунке 7.11.

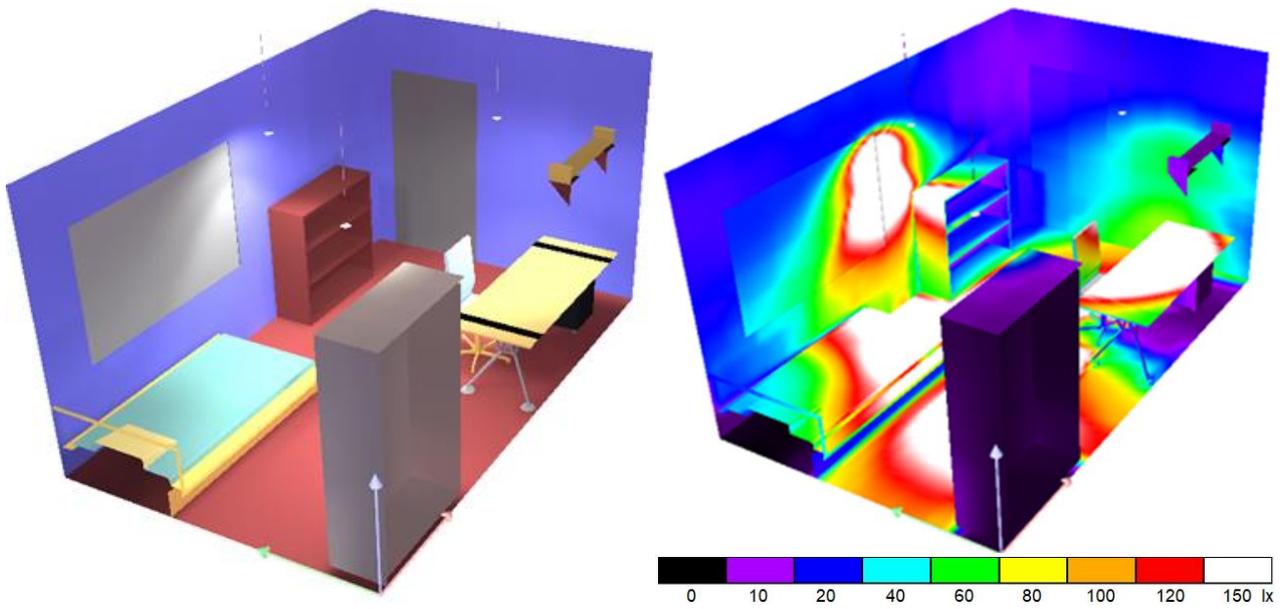


Рисунок 7.11 – Итоговая 3D модель комнаты (слева)  
и модель в фиктивных цветах (справа)

# Лабораторная работа №8. Проектирование освещения общественных помещений

## 1. Цель работы

Получение навыков работы с осветительными системами с разными коэффициентами пропускания, изучение требований к освещению общественных помещений.

## 2. Основные теоретические сведения

### Цветовая температура

**Цветовая температура** – это температура абсолютно черного тела, при которой оно излучает тот же цвет, что и рассматриваемое излучение. Распределение определяется формулой Планка. Кривую, получаемую этой формулой, для удобства соотносят с хроматической диаграммой и отмечают шкалу цветных температур (Рисунок 8.1).

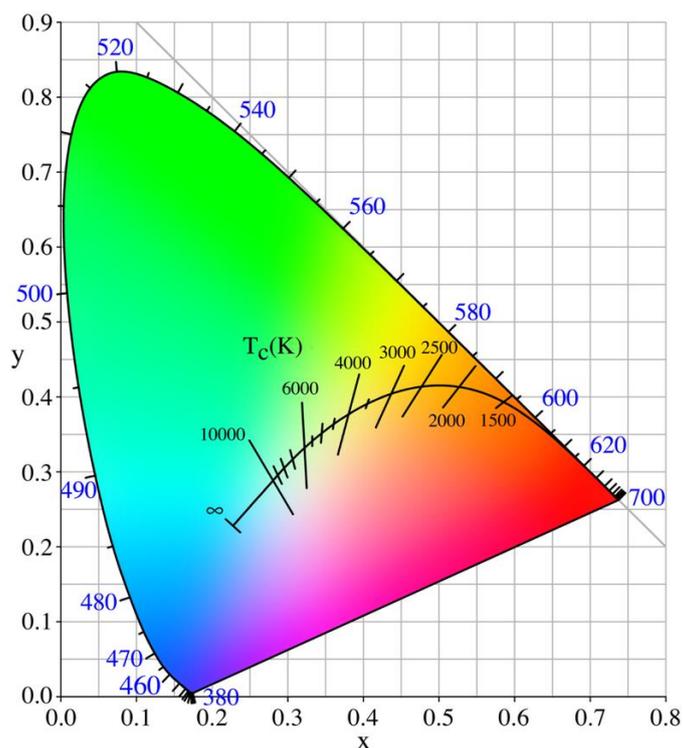


Рисунок 8.1 – Хроматическая диаграмма и кривая Планка

Для примера в таблице 8.1 приведены некоторые источники естественного и искусственного света.

Таблица 8.1 – Некоторые источники естественного и искусственного света

Источник света	Цветовая температура, К
Пламя свечи	1500–2000
Лампа накаливания 60 Вт	2800
Флуоресцентная лампа «холодного света»	4000
Флуоресцентная лампа «дневного света»	6500
Летний солнечный свет (до 9, после 15 часов)	4900–5600
Летний солнечный свет (с 9 до 15 часов)	5400–5700
Ясное голубое небо	8000–27000

Большинство современных светильников выполняются в белом нейтральном свете с цветовой температурой порядка 4000–5000 К. Для создания необычных световых решений в оптических системах осветителей могут быть применены светофильтры. К примеру, в театрах при просмотре постановок можно заметить, что в зависимости от настроений на сцене цвет освещения меняется: при показе сражений в освещении появляется красный цвет, а во время сцен умиротворения появляется голубой цвет. Разные времена года у человека также ассоциируются с различными цветами. К примеру при определенном сочетании различных оттенков синего и зеленого можно добиться атмосферы весны, а при добавлении красно-оранжевых оттенков – лета.

Также разные цветовые температуры по-разному влияют на продуктивность работы человека. Для наиболее продуктивной работы предпочитают использовать наиболее приближенный к естественному свету – нейтральный белый с цветовой температурой 4500–5000 К, освещение с меньшей температурой больше направлено на создание расслабляющей атмосферы, в связи с чем работать станет труднее.

Светофильтры представляют из себя оптическое устройство, которое пропускает нужную часть проходящего спектра. Назначения светофильтров могут быть разными: от фильтрации солнечного света (используется, к примеру, в фотосъемке) до фильтрации конкретных цветов. Цветные (спектральные) светофильтры предназначены для того, чтобы «пропустить» определенную часть спектра, и получить на выходе нужный цвет освещения.

В программе DIALux все возможные светофильтры представлены в менеджере проекта в разделе «Цвета». При нажатии на пункт «цветной

*светофильтр*» слева появятся графики пропускания всех представленных светофильтров. Для применения светофильтр необходимо перетащить на нужный источник освещения (необходимо учитывать, что, если светильники были расположены структурой, то фильтр применится на все светильники структуры), после чего заново произвести расчет.

### **Проектирование общественных помещений**

При проектировании к освещению общественных помещений относятся строже, чем к жилым, так как освещение в доме часто может меняться в зависимости от желания проживающих людей. Для общественных помещений все требования должны быть жестко выполнены.

Выбор требований для помещения основывается на типе работы, которая будет в нем осуществляться. В зависимости от этого выделяют четыре группы помещений:

- Первая группа – помещения, в которых работа осуществляется строго за рабочими местами (зрительная линия четко зафиксирована);
- Вторая группа – помещения, в которых посетитель зрительно охватывает большое пространство (зрительная линия не зафиксирована);
- Третья группа – помещения, в которых посетитель рассматривает различные объекты в широком пространстве (зрительная линия не зафиксирована);
- Четвертая группа – вспомогательные помещения.

В зависимости от того, к какой группе относят помещение, устанавливают те или иные требования к светотехническим характеристикам.

В общественных помещениях встречаются объекты, на которых должно быть постоянное освещение, вне зависимости от количества и положения людей. В программе DIALux для проверки освещенности объектов в разных условиях есть возможность добавить упрощенные или детальные модели людей. Эти модели находятся в менеджере проекта в разделе «Объекты» во внутреннем помещении. При добавлении людей необходимо заново запустить расчет для представления актуальных значений параметров.

Также один из важных показателей, который стоит учитывать при проектировании освещения – это **показатель дискомфорта** при искусственном освещении помещений (UGR) – международный критерий оценки дискомфортной блескости, вызывающей неприятные ощущения при неравномерном распределении яркостей в поле зрения. В программе DIALux можно разместить UGR наблюдателей в интересующих зонах, чтобы получить значения UGR в зависимости от позиции и направления взгляда, всех использованных светильников и их положения, затенения и отражения.

### 3. Задание

- 1) Смоделировать помещение согласно варианту. Габаритные размеры и объекты для помещения выбираются самостоятельно, таким образом, чтобы пребывание посетителей в данном помещении было комфортным.
- 2) Изучить требования освещенности для моделируемой сцены. Согласно требуемым характеристикам подобрать необходимые источники освещения (разместить минимум 5 светильников).
- 3) Применить к осветителям светофильтры для достижения необходимого эффекта в зависимости от сцены.

При моделировании необходимо учитывать, что светофильтры поглощают часть светового потока, в связи с чем необходимо заранее просчитать возможные значения параметров с учетом коэффициента пропускания светофильтров.

### 4. Содержание отчета

- Цель и задачи работы;
- Определение требований к помещению;
- Описание выбранных источников освещения и светофильтров, а также объяснение выбранной цветовой палитры;
- Описание этапов моделирования помещения;
- Полученные светотехнические результаты;
- Вид комнаты в 2D, 3D и с использованием фиктивных цветов;
- Влияние размещения людей на полное освещение помещения;

- Вывод к работе.

## 5. Варианты задания

№ варианта	Помещение
1	Помещение приемной кампании университета
2	Офис агентства недвижимости
3	Ресторан японской кухни
4	Выставка картин Клода Моне
5	Аквапарк
6	Фойе кинотеатра
7	Магазин товаров для пляжа
8	Сцена празднования Нового Года в балете Щелкунчик
9	Зона ожидания аэропорта
10	Ресторан французской кухни
11	Коворкинг
12	Магазин зимней одежды
13	Сцена первого бала Наташи Ростовой
14	Библиотека
15	Картинная галерея эпохи Возрождения
16	Сцена смерти Ромео и Джульетты
17	Ресторанный дворик в торговом центре
18	Выставка картин Ван Гога
19	Парикмахерская
20	Спортивный зал с бассейном

## 6. Пример выполнения

Задание для примера – моделирование офиса турфирмы.

### Моделирование помещения

Строительные нормы и правила 2.09.04-87 «Административные и бытовые здания» устанавливают требуемую площадь для одного работника офиса – 4 м<sup>2</sup>. В турфирмах работники используют персональные компьютеры, в связи с чем санитарные правила и нормы 2.2.2/2.4.1340-03 «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работ» предусматривают требования к наличию перегородок между рабочими местами высотой 1,5–2 м.

В проектируемом офисе для примера будет располагаться три офисных работника. Следовательно, для выполнения нормативных требований площадь проектируемого помещения должна быть более 12 м<sup>2</sup>.

Для достижения необходимой площади рабочего места логично выбрать размер Ш × Д = 2 × 2 м. С учетом того, что по ширине в помещении должно быть 2 рабочих места и пространство для клиентов, общая ширина должна составить 6 м. В длину должно помещаться два рабочих места, следовательно общая длина должна составлять 5 м с учетом пространства для перемещений между местами. Высота помещения – 3 м. Выбранные габаритные размеры заносятся в менеджер проекта.

По аналогии с предыдущей лабораторной работой необходимо наполнить помещение объектами: окна, двери, мебель и т.п. Согласно требованиям к площади рабочего места, а также к наличию перегородок было спроектировано помещение, представленное на рисунке 8.2.



Рисунок 8.2 – Спроектированное помещение офиса турфирмы

## Моделирование освещения

Согласно своду правил 52.13330.2016 «*Естественное и искусственное освещение*» для офисного помещения при использовании общего освещения освещенность рабочих поверхностей должна составлять 300 лк, а рекомендуемый диапазон цветовой температуры источника освещения 2700–4500 К, показатель дискомфорта UGR – не более 24.

К интервалу 2700–4500 К относятся теплые цвета освещения. Теплый цвет (оранжевый) также будет способствовать расслабляющей атмосфере, при такой цветовой температуре человек чувствует себя комфортно.

Расчет общего светового потока при освещенности рабочих поверхностей 300 лк производится аналогично предыдущей лабораторной работе:

$$\Phi = 300 \cdot (5 \cdot 6) = 9000 \text{ лм, \#(8.1)}$$

В качестве светофильтра будет использован светофильтр, характеристики которого показаны на рисунке 8.3.

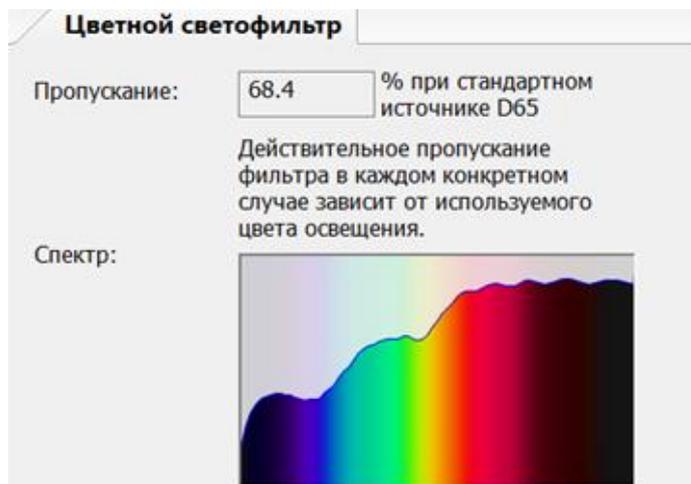


Рисунок 8.3 – Выбранный светофильтр

За счет того, что коэффициент пропускания равен 68,4 %, общий суммарный световой поток используемых светильников должен быть 13158 лм.

В примере рассматривается работа с осветителями фирмы Ekenia. Световой поток выбранного источника освещения – 2040 Лм, оптимальное число светильников, чтобы достичь требуемой освещенности – 9.

Для расчета полученного значения UGR в проект следует добавить специальную расчетную точку. Для этого в разделе «Объекты» – Расчетные точки следует выбрать UGR Расчетная точка (Рисунок 8.4).

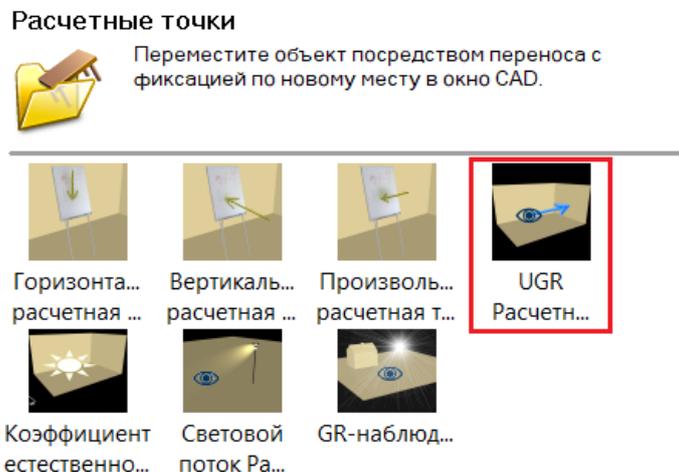


Рисунок 8.4 – Выбор UGR Расчетной точки

Параметры данной расчетной точки задаются в соответствии с ростом и направлением взгляда работников и возможных посетителей.

После добавления светильников и проведения расчета в разделе «Результаты» менеджера проекта в пункте «Светотехнические характеристики» доступно значение полученной освещенности, а в пункте «UGR-наблюдатель» можно увидеть значение коэффициента UGR.

Для рассматриваемого варианта значение освещенности достигает 304 лк при общем световом потоке 18360 лм (Рисунок 8.5), коэффициент UGR – 22 (Рисунок 8.6). Оба значения удовлетворяют необходимым требованиям.

Общий световой поток: 18360 lm  
 Общая мощность: 204.3 W  
 Коэффициент эксплуатации: 0.80  
 Краевая зона: 0.000 m

Поверхность	Средние освещенности [lx]			Коэффициент отражения [%]	Средние Яркость [cd/m <sup>2</sup> ]
	Напрямую	Опосредовано	Всего		
Рабочая плоскость	244	60	304	/	/
Полы	141	49	190	32	19
Потолок	0.03	75	75	70	17
Стенка 1	53	61	114	57	21
Стенка 2	62	64	126	57	23
Стенка 3	48	61	109	57	20
Стенка 4	53	56	110	57	20

Равномерность на рабочей плоскости  
 $E_{min} / E_{cp}$ : 0.167 (1:6)  
 $E_{min} / E_{max}$ : 0.125 (1:8)

Удельная подсоединенная мощность: 6.81 W/m<sup>2</sup> = 2.24 W/m<sup>2</sup>/100 lx (Поверхность основания: 30.00 m<sup>2</sup>)

Рисунок 8.5 – Светотехнические результаты

**UGR Список расчетных точек**

№	Обозначение	Позиция [m]			Направление взгляда [°]	Значение
		X	Y	Z		
1	UGR Расчетная точка 1	0.300	2.300	1.200	-45.0	22

Рисунок 8.6 – Результат расчета показателя дискомфорта UGR

Финальный результат моделирования, а также модель в фиктивных цветах показаны на рисунке 8.7.

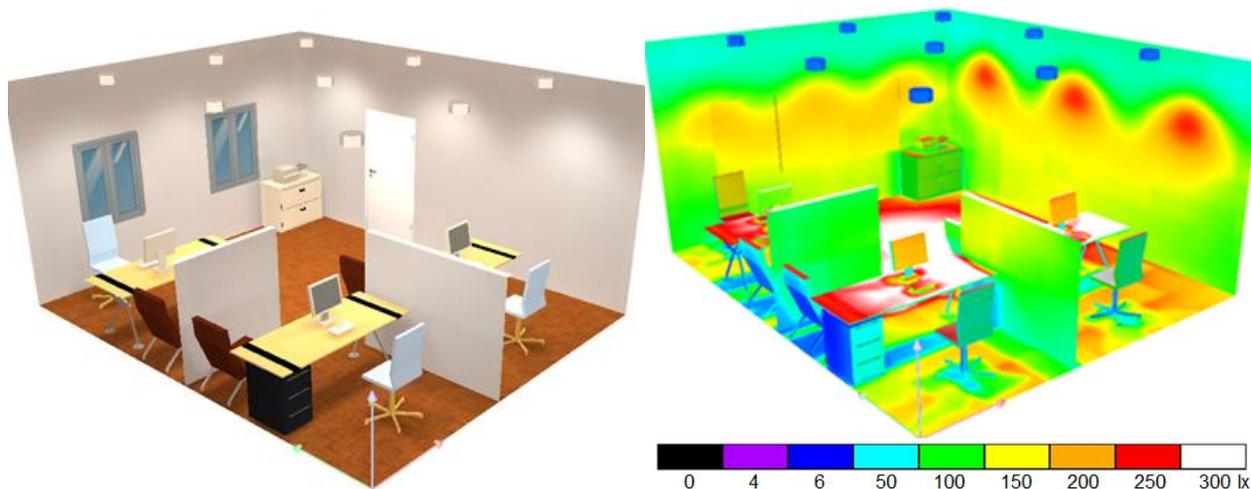


Рисунок 8.7 – Итоговая 3D модель помещения (слева)  
 и модель в фиктивных цветах (справа)

## Список источников

1. Яковлев А.Ф. Каталог. Объективы. Часть I. – Ленинград: ГОИ, 1970. – 479 с. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://liveviewer.ru/wordpress/wp-content/uploads/2021/09/Yakovlev\\_Obektivy\\_katalog\\_\\_Chast\\_1\\_Leningrad\\_1970.pdf](https://liveviewer.ru/wordpress/wp-content/uploads/2021/09/Yakovlev_Obektivy_katalog__Chast_1_Leningrad_1970.pdf).
2. Яковлев А.Ф. Каталог. Объективы. Часть II. – Ленинград: ГОИ, 1971. – 414 с. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://liveviewer.ru/wordpress/wp-content/uploads/2021/09/Yakovlev\\_Obektivy\\_katalog\\_\\_Chast\\_2\\_Leningrad\\_1971.pdf](https://liveviewer.ru/wordpress/wp-content/uploads/2021/09/Yakovlev_Obektivy_katalog__Chast_2_Leningrad_1971.pdf).
3. Иванова Т.В., Вознесенская А.О. Введение в прикладную и компьютерную оптику. Конспект лекций. – СПб: НИУ ИТМО, 2013. – 99 с. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://books.ifmo.ru/file/pdf/1002.pdf>.
4. Вознесенский Н.Б., Иванова Т.В., Вознесенская А.О. Основы оптики. Конспект лекций – СПб: СПбГУ ИТМО, 2009. – 162 с. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://books.ifmo.ru/file/pdf/516.pdf>.
5. Толстоба Н.Д., Вознесенская А.О., Багдасарова О.В., Бахолдин А.В., Карпова Г.В. Геометрическая оптика. Часть 1: Учебно-методическое пособие. – СПб: Университет ИТМО, 2019. – 87 с. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://books.ifmo.ru/file/pdf/2688.pdf>.
6. Толстоба Н.Д., Вознесенская А.О., Багдасарова О.В., Бахолдин А.В., Карпова Г.В. Геометрическая оптика. Часть 2: Учебно-методическое пособие. – СПб: Университет ИТМО, 2019. – 94 с. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://books.ifmo.ru/file/pdf/2514.pdf>.
7. Черкасова Д.Н., Бахолдин А.В. Оптические офтальмологические приборы и системы. Часть I. Учебное пособие. – СПб: СПбГУИТМО, 2010. – 159 с. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://books.ifmo.ru/file/pdf/733.pdf>.
8. Ежова К.В. Моделирование и обработка изображений. Учебное пособие. – СПб: НИУ ИТМО, 2011. – 93 с. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://books.ifmo.ru/file/pdf/852.pdf>.
9. Горбунова Е.В., Чертов А.Н. Колориметрия источников излучения. Учебное пособие. – СПб: Университет ИТМО, 2015. – 126 с. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://books.ifmo.ru/file/pdf/1820.pdf>.

10. Фотоэкскурсия: Музей оптики Университета ИТМО. Блог Университета ИТМО, Хабр, 14.07.2019 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://habr.com/ru/company/spbifmo/blog/459800/>
11. Онлайн-учебник по DIALux 4. DIALux Help. 30.03.2012 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.dialux-help.ru/uchebnik/soderzhanie.html>.

Вознесенская Анна Олеговна  
Ежова Ксения Викторовна  
Быков Дмитрий Иванович  
Клепач Никита Петрович  
Козлова Ольга Кирилловна  
Корепанова Анна Георгиевна

**Методические указания к выполнению практических  
работ по курсу «Световые системы»**

**Учебно-методическое пособие**

В авторской редакции

Редакционно-издательский отдел Университета ИТМО

Зав. РИО

Н.Ф. Гусарова

Подписано к печати

Заказ №

Тираж

Отпечатано на ризографе

**Редакционно-издательский отдел**  
**Университета ИТМО**  
197101, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., 49, литер А