

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

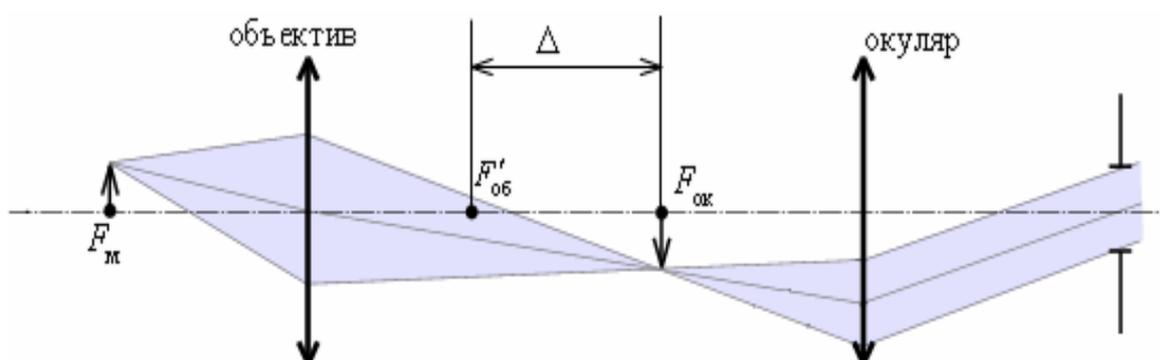
ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, МЕХАНИКИ И ОПТИКИ

КАФЕДРА ПРИКЛАДНОЙ И КОМПЬЮТЕРНОЙ ОПТИКИ

# Самостоятельная работа студентов по дисциплине «Прикладная оптика»

## Часть 2



Санкт-Петербург

2009

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, МЕХАНИКИ И ОПТИКИ



ПОБЕДИТЕЛЬ КОНКУРСА ИННОВАЦИОННЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ПРОГРАММ ВУЗОВ

**Самостоятельная работа  
студентов по дисциплине  
«Прикладная оптика»  
Часть 2**

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ  
ПОД РЕДАКЦИЕЙ ПРОФЕССОРА ШЕХОНИНА А.А.



**Санкт-Петербург**

**2009**

Цуканова Г.И., Багдасарова О.В., Бахолдин А.В., Карпов В.Г., Карпова Г.В., Самостоятельная работа студентов по дисциплине «Прикладная оптика». Часть 2. Учебно-методическое пособие под редакцией профессора Шехонина А.А. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2009. – 124 с.

Пособие охватывает все разделы курса «Прикладная оптика», изучаемые студентами факультета ОИСТ в 6 семестре и содержит вопросы и задачи для самостоятельной работы по темам дисциплины, примеры вариантов письменных домашних заданий с решениями, примеры вариантов тестов для текущего тестового контроля и рубежной аттестации, примеры вариантов контрольных работ с решениями, обучающие тесты с решениями по темам дисциплины, вопросы экзаменационных билетов, пример выполнения курсового проекта.

Для студентов направления подготовки 200200 – Опотехника и специальности 200203 – Оптико-электронные приборы и системы.

Рекомендовано УМО по образованию в области приборостроения и опотехники в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки 200200 – Опотехника и специальности 200203 – Оптико-электронные приборы и системы.

Рецензент: д.т.н., проф. Губанова Л.А., кафедра оптических технологий СПбГУ ИТМО



СПбГУ ИТМО стал победителем конкурса инновационных образовательных программ вузов России на 2007-2008 годы и успешно реализовал инновационную образовательную программу «Инновационная система подготовки специалистов нового поколения в области информационных и оптических технологий», что позволило выйти на качественно новый уровень подготовки выпускников и удовлетворять возрастающий спрос на специалистов в информационной, оптической и других высокотехнологичных отраслях науки. Реализация этой программы создала основу формирования программы дальнейшего развития вуза до 2015 года, включая внедрение современной модели образования.

©Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, 2009

© Цуканова Г.И., Багдасарова О.В., Бахолдин А.В., Карпов В.Г., Карпова Г.В.

## **ВВЕДЕНИЕ**

Пособие охватывает следующие разделы курса «Прикладная оптика», изучаемые студентами факультета ОИСТ в 6 семестре:

- оптические системы микроскопа;
- телескопические системы;
- телескопические системы со сменой увеличения;
- оптика фотографических и оптико-электронных систем;
- стереоскопические системы.

Учебно-методическое пособие содержит вопросы и задачи для самостоятельной работы по темам дисциплины, примеры вариантов тестов для текущей и рубежной аттестации, примеры оформления отчетов по следующим лабораторным работам:

- микроскоп;
- телескопическая система;
- микропроекционная система;
- проекционная система;

обучающие тесты с решениями по темам дисциплины, пример выполнения курсового проекта, вопросы экзаменационных билетов.

## ПЛАНИРОВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ

В соответствии с балльно-рейтинговой системой оценивания результатов обучения 6 семестр, как и 5, разбит на два модуля, состоящих из двухнедельных отрезков, в каждом из которых студент должен выполнить запланированные задания и набрать определенное количество баллов. На странице 8 приведена таблица планирования результатов обучения студентов факультета ОИСТ по дисциплине «Прикладная оптика» в 6 семестре.

Посещение лекций учитывается в течение всего семестра. Для лучшего усвоения теоретического материала рекомендуется ответить на вопросы и решить задачи, которые приведены в разделе «Вопросы и задачи для самостоятельной работы».

Также в течение всего семестра учитывается и оценивается выполнение студентами лабораторных работ и курсового проекта.

- На 1-2 неделе студенты выполняют первую лабораторную работу.
- На втором занятии (2-4 неделя) студент должен сдать и защитить отчет по первой лабораторной работе, что оценивается в соответствии с критериями, приведенными в разделе «Критерии оценок» (пример оформления отчета смотри в разделе «Отчеты по лабораторным работам»).
- На 3 занятии (5-6 неделя) студенты выполняют вторую лабораторную работу.
- На 7-8 неделе студент должен сдать и защитить отчет по второй лабораторной работе, что оценивается в соответствии с критериями, приведенными в разделе «Критерии оценок» (пример оформления отчета смотри в разделе «Отчеты по лабораторным работам»).
- На 9 неделе студент обязан пройти в ЦДО рубежную аттестацию по третьему модулю (примеры тестов смотри в разделе «Рубежная аттестация»). При подготовке к рубежной аттестации рекомендуется проработать тесты из раздела «Обучающие тесты» и вопросы и задачи из раздела «Вопросы и задачи для самостоятельной работы».
- На 1-2 неделе четвертого модуля студент получает задание по курсовому проекту (пример задания и его выполнения смотри в разделе «Курсовой проект») и выполняет 3 лабораторную работу.
- На 3-4 неделе необходимо пройти текущее тестирование в ЦДО (примеры тестов в разделе «Текущий тестовый контроль»), при подготовке к которому нужно проработать тесты из раздела «Обучающие тесты». Кроме того, требуется сдать и защитить отчет по третьей лабораторной работе, что оценивается в соответствии с критериями, приведенными в разделе «Критерии оценок» (пример оформления отчета смотри в разделе «Отчеты по лабораторным работам»).

по лабораторным работам») и отчитаться за первый этап выполнения курсового проекта.

- На 5-6 неделе студент должен выполнить 4 лабораторную работу и отчитаться за второй этап выполнения курсового проекта.
- На 7-8 неделе требуется сдать и защитить отчет по четвертой лабораторной работе, что оценивается в соответствии с критериями, приведенными в разделе «Критерии оценок» (пример оформления отчета смотри в разделе «Отчеты по лабораторным работам») и отчитаться за очередной этап выполнения курсового проекта
- На 8 неделе студент обязан пройти в ЦДО рубежную аттестацию по четвертому модулю (примеры тестов смотри в разделе «Рубежная аттестация») и представить к защите курсовой проект (смотри раздел «Пример оформления курсового проекта»). При подготовке к рубежной аттестации рекомендуется проработать тесты из раздела «Обучающие тесты» и вопросы и задачи из раздела «Вопросы и задачи для самостоятельной работы».

Семестр заканчивается промежуточной аттестацией, которая состоит из тестирования в ЦДО (примеры экзаменационных тестов приведены в разделе «Промежуточная аттестация») и письменного экзамена, вопросы к которому приведены в разделе «Вопросы к экзамену». При подготовке к промежуточной аттестации рекомендуется проработать материалы лекций и повторить тесты из раздела «Обучающие тесты», а также вопросы и задачи из раздела «Вопросы и задачи для самостоятельной работы».

## КРИТЕРИИ ОЦЕНОК

### Критерии оценки отчетов к лабораторным работам

*Критерии выполнения отчета на тах балл:*

- Пример выполнения отчетов на тах балл приведен в разделе «Отчеты по лабораторным работам».

*Критерии выполнения отчета на тiп балл:*

- В работе получены требуемые в исходном задании результаты.
- В отчёте есть все необходимые расчёты, чертежи, ход лучей и анализ качества изображения.
- Нет пояснений к расчётам и данным, приведённым в отчёте.
- Имеются ошибки (не грубые) и неточности.
- Многократная сдача отчёта.

### Критерии оценки курсового проекта

*Критерии выполнения курсового проекта на тах балл:*

- Пример выполнения на тах балл приведен в разделе «Пример выполнения курсового проекта».

*Критерии выполнения курсового проекта на тiп балл:*

- В работе получены требуемые в исходном задании результаты.
- В отчёте есть все необходимые расчёты, чертежи, ход лучей и анализ качества изображения.
- Нет пояснений к расчётам и данным, приведённым в отчёте.
- Имеются ошибки (не грубые) и неточности.
- Многократная сдача отчёта.

### Критерии оценки письменной экзаменационной работы

*Критерии выполнения экзаменационной работы на тах балл:*

- На вопросы (два) дан полный и грамотный ответ, задача (третий вопрос) решена правильно.

*Критерии выполнения экзаменационной работы на тiп балл:*

- Полный и правильный ответ дан только на два вопроса экзаменационного билета (из трёх).
- В ответах на все три вопроса имеются существенные погрешности.

## Планирование результатов обучения студентов

Таблица планирования результатов обучения студентов 3 курса по дисциплине "Прикладная оптика" в 6 семестре

|                                 | Модуль 3                   |     |     |      |      |      |     |      |                   |      | Модуль 4                   |     |     |      |      |      |      |      |                   |      | Промежуточная аттестация по дисц-не |     |
|---------------------------------|----------------------------|-----|-----|------|------|------|-----|------|-------------------|------|----------------------------|-----|-----|------|------|------|------|------|-------------------|------|-------------------------------------|-----|
|                                 | Текущий контроль по точкам |     |     |      |      |      |     |      | Рубежный контроль |      | Текущий контроль по точкам |     |     |      |      |      |      |      | Рубежный контроль |      |                                     |     |
|                                 | 1                          |     | 2   |      | 3    |      | 4   |      |                   |      | 1                          |     | 2   |      | 3    |      | 4    |      |                   |      |                                     |     |
|                                 | min                        | max | min | max  | min  | max  | min | Max  | min               | Max  | min                        | Max | min | max  | min  | max  | min  | max  | min               | max  |                                     |     |
| Теоретический материал :        |                            | 1,0 |     | 1,0  |      | 1,0  |     | 1,0  | 6.0               | 10.0 |                            |     | 2,6 | 4,0  |      |      | 0.6  | 1.0  | 6.0               | 10.0 |                                     |     |
| Посещение лекций                |                            | 1,0 |     | 1,0  |      | 1,0  |     | 1,0  |                   |      |                            |     |     |      |      |      |      |      |                   |      |                                     |     |
| Сдача тестов в ЦДО *            |                            |     |     |      |      |      |     |      | 6.0               | 10.0 |                            |     | 2.6 | 3.4  |      |      |      |      | 6.0               | 10.0 |                                     |     |
| Сдача тестов в срок             |                            |     |     |      |      |      |     |      |                   |      |                            |     |     | 0.6  |      |      |      |      |                   |      |                                     |     |
| Контрольная работа              |                            |     |     |      |      |      |     |      |                   |      |                            |     |     |      |      |      | 0.6  | 1.0  |                   |      |                                     |     |
| <b>Лабораторные работы:</b>     | 2.5                        | 4.0 | 7.0 | 10.0 | 2.5  | 4.0  | 7.0 | 10.0 |                   |      | 1.2                        | 2.0 | 1.2 | 2.0  | 1.2  | 2.0  | 1.2  | 2.0  |                   |      |                                     |     |
| Выполнение работы *             | 2.5                        | 4.0 | 2.0 | 2.0  | 2.5  | 4.0  | 2.0 | 2.0  |                   |      | 1.2                        | 2.0 | 0.3 | 0.5  | 1.2  | 2.0  | 0.3  | 0.5  |                   |      |                                     |     |
| Выполнение отчёта *             |                            |     | 3.0 | 4.0  |      |      | 3.0 | 4.0  |                   |      |                            |     | 0.6 | 1.0  |      |      | 0.6  | 1.0  |                   |      |                                     |     |
| Сдача отчёта в срок             |                            |     |     | 0.4  |      |      |     | 0.4  |                   |      |                            |     |     |      |      |      |      |      |                   |      |                                     |     |
| Защита работы*                  |                            |     | 2.0 | 3.6  |      |      | 2.0 | 3.6  |                   |      |                            |     | 0.3 | 0.5  |      |      | 0.3  | 0.5  |                   |      |                                     |     |
| <b>Курсовой проект</b>          |                            |     |     |      |      |      |     |      |                   |      | 1.0                        | 2.0 | 2.0 | 4.0  | 2.0  | 4.0  | 4.0  | 5.0  |                   |      |                                     |     |
| <b>Промежуточная аттестация</b> |                            |     |     |      |      |      |     |      |                   |      |                            |     |     |      |      |      |      |      |                   |      | 12                                  | 20  |
| Сдача тестов в ЦДО              |                            |     |     |      |      |      |     |      |                   |      |                            |     |     |      |      |      |      |      |                   |      | 6.0                                 | 10  |
| Письменный экзамен              |                            |     |     |      |      |      |     |      |                   |      |                            |     |     |      |      |      |      |      |                   |      | 6.0                                 | 10  |
| Балловая стоимость одной точки  | 2.5                        | 4.0 | 7.0 | 11.0 | 2.5  | 5.0  | 7.0 | 11.0 |                   |      | 2.2                        | 4.0 | 5.8 | 10.0 | 3.2  | 6.0  | 5.8  | 8.0  |                   |      |                                     |     |
| Накопление баллов               | 2.5                        | 4.0 | 9.5 | 16.0 | 12.0 | 21.0 | 19  | 32.0 |                   |      | 2.2                        | 4.0 | 8.0 | 14.0 | 11.2 | 20.0 | 17.0 | 28.0 |                   |      |                                     |     |
| <b>Итого:</b>                   |                            |     |     |      |      |      |     |      | 25                | 42   |                            |     |     |      |      |      |      |      | 23                | 38   | 60                                  | 100 |

\* Формы контроля, являющиеся обязательными для аттестации.

# ВОПРОСЫ И ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

## МОДУЛЬ №3

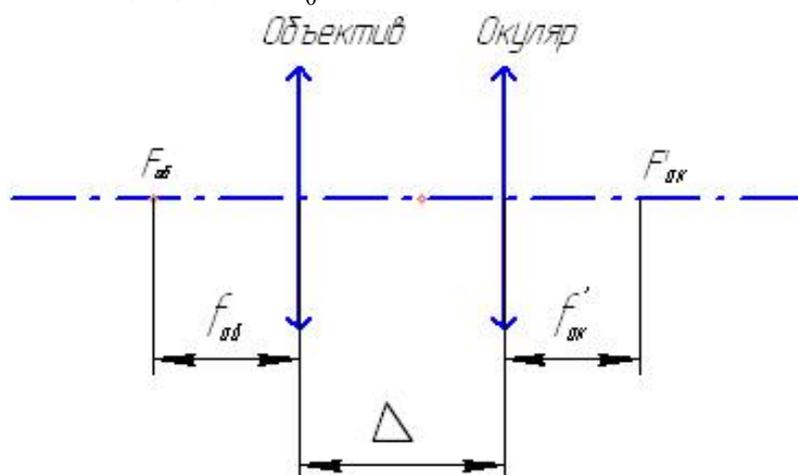
### Тема 3.1. Оптические системы микроскопа. Основы расчёта и проектирования оптических систем

#### Вопросы для самостоятельной работы:

1. Принципиальная оптическая схема микроскопа, ход лучей.
2. Основные параметры и их соотношение.
3. Из каких компонентов состоит осветительная система микроскопа?
4. От чего зависит разрешающая способность микроскопа?
5. Какое увеличение микроскопа называется полезным?
6. Что называется оптической длиной тубуса микроскопа?
7. Приведите формулу для расчета видимого увеличения микроскопа.
8. От чего зависит глубина резко изображаемого пространства в микроскопе?
9. Основные типы объективов и окуляров микроскопов.
10. Основные характеристики объективов и окуляров микроскопа
11. Оценка качества изображения оптической системы микроскопов по результатам абберационного расчета.

#### Задачи для самостоятельной работы:

1. В микроскопе, видимое увеличение которого  $\Gamma_M = -200$ , используется объектив с фокусным расстоянием  $f'_{об} = 11$  мм и окуляр с фокусным расстоянием  $f'_{ок} = 25$  мм. Определить оптическую длину тубуса  $\Delta_0$ .



Решение:

$$\Delta_0 = -\frac{\Gamma_M \cdot f'_{ок}}{250 \cdot f'_{об}} = \frac{200 \cdot 25}{250 \cdot 11} = 220 \text{ мм.}$$

2. Определить линейное поле микроскопа, если диаметр полевой диафрагмы окуляра 8 мм ( $D_{пд}$ ), линейное увеличение объектива равно  $20^x$ .

3. Найти диаметр полевой диафрагмы окуляра микроскопа, если фокусное расстояние окуляра 20 мм, а угол, под которым рассматривается изображение, равен  $10^\circ(\omega')$ .
4. Найти линейный предел разрешения микроскопа для прямого освещения ( $\delta$ ), если апертурный угол в пространстве предметов  $45^\circ(\sigma_A)$ ,  $\lambda = 650$  нм. Предмет находится в воздухе  $n = 1.0$ .
5. Найти линейный предел разрешения микроскопа для косоого освещения, если числовая апертура равна 0.4, а  $\lambda = 0.546$  мкм.

*Решение:*

$$\delta = \frac{\lambda}{2A} = \frac{0,546}{2 \cdot 0,4} = 0,6825 \text{ мкм.}$$

6. Определить дифракционный предел разрешения ультрафиолетового микроскопа при использовании суперапохромата 6,3x0,75 ВГИ (водно-глицериновая иммерсия) в ультрафиолетовом излучении с длиной волны  $\lambda = 0.00028$  мм.

*Решение:*

$$\delta = \frac{\lambda}{2A} = \frac{0,00028}{2 \cdot 0,75} = 0,00019 \text{ мм.}$$

7. Каковы должны быть числовая апертура и увеличение микроскопа, чтобы наблюдатель увидел объекты размером 0.3 мкм? ( $\lambda = 0,546$  мкм)

*Решение:*

$$500A \leq \Gamma_M \leq 1000A \Rightarrow \Gamma_M = 1000A;$$

$$\delta = \frac{\lambda}{2 \cdot A} \Rightarrow A = \frac{\lambda}{2 \cdot \delta};$$

$$A = \frac{0,546}{2 \cdot 0,3} = 0,91, \Gamma_M = 910^x.$$

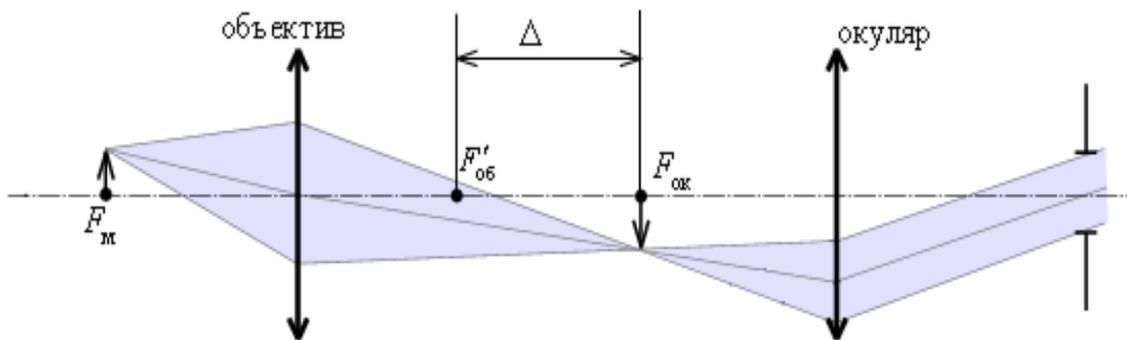
8. Микроскоп имеет объектив 40x0.65 и окуляр  $10^x$ . Определить разрешающую способность микроскопа в линиях на миллиметр и глубину резко изображаемого пространства, если изображение проектируется на экран ( $\lambda = 0,0005$  мм).
9. Определить апертурный угол в пространстве предметов микроскопа, если световой поток, падающий на объектив от предмета равен 100 лм, при силе света 60 кд ( $\lambda = 0,0005$  мм).
10. Найти числовую апертуру, при нормальном увеличении микроскопа, если видимое увеличение равно  $150^x$ .
11. Микроскоп имеет объектив с линейным увеличением  $\beta_{об} = -40$  и окуляр с фокусным расстоянием  $f'_{ок} = 25$  мм. Какова будет числовая апертура микроскопа, если диаметр выходного зрачка микроскопа  $D' = 0,8$  мм?
12. Определить фокусное расстояние объектива микроскопа с видимым увеличением равным  $\Gamma = 400^x$ . Фокусное расстояние окуляра равно 25 мм. Расстояние между предметом и его

изображением после объектива равно 180 мм. Компоненты микроскопа считать бесконечно тонкими.

13. В микроскопе с видимым увеличением  $200^x$  фокусные расстояния объектива и окуляра равны соответственно 8 и 25 мм. Как измениться видимое увеличение микроскопа, если оптическую длину тубуса уменьшить на 20 мм.

Решение:

$$\Gamma_M = -\left(\frac{\Delta}{f'_{об}}\right) \cdot \left(\frac{250}{f'_{ок}}\right) \Rightarrow \Delta = -\frac{\Gamma_M \cdot f'_{об} \cdot f'_{ок}}{250};$$



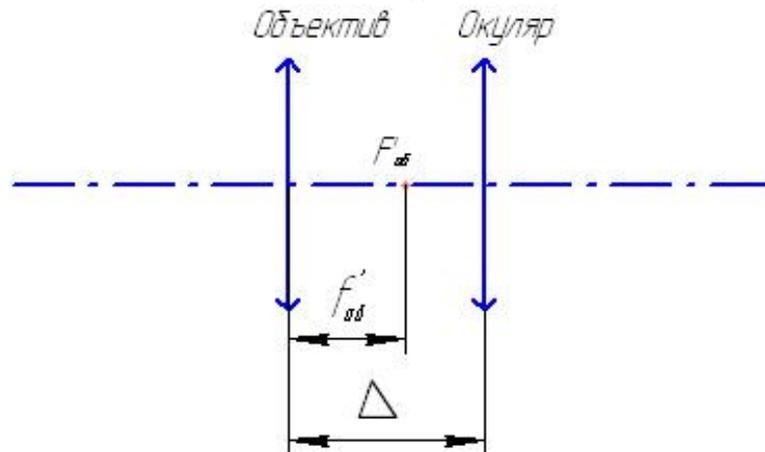
$$\Delta = -\frac{(-200) \cdot 8 \cdot 25}{250} = 160 \text{ мм};$$

$$\Delta_1 = 160 - 20 = 140 \text{ мм};$$

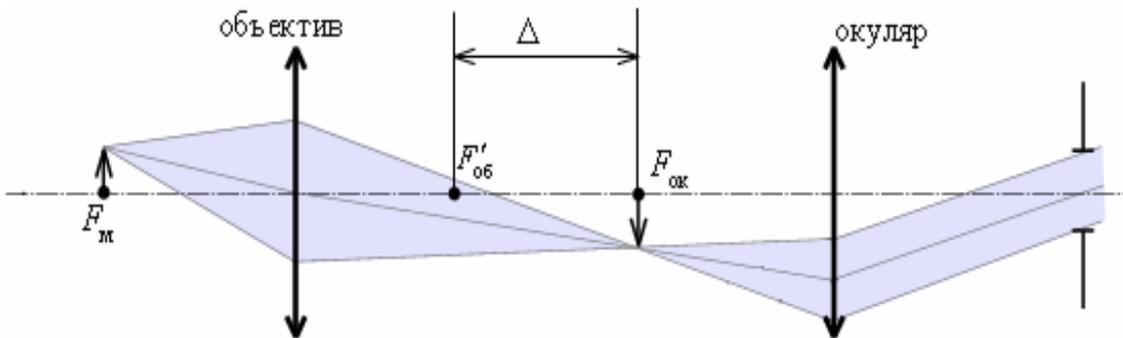
$$\Gamma_M = -\left(\frac{140}{8}\right) \cdot \left(\frac{250}{25}\right) = -175.$$

14. Определить фокусное расстояние окуляра, если видимое увеличение микроскопа равно  $\Gamma_M = 115^x$ , а предмет расположен на расстоянии 3 мм перед передним фокусом объектива микроскопа, фокусное расстояние которого равно 20 мм.
15. Во сколько раз измениться глубина резко изображаемого пространства в микроскопе при смене объектива 8x0.2 на 60x0.85. Окуляр с увеличением  $15^x$  остается постоянным.
16. В микроскопе применяется микрообъектив, рассчитанный для бесконечно удаленного изображения и тубусная линза с фокусным расстоянием 150 мм ( $f'_{т.л.}$ ). Найти увеличение микроскопа, если  $\Gamma_{ок} = 10^x$ ,  $f'_{об} = 25$  мм.
17. Предмет расположен на расстоянии 1,55 мм перед передним фокусом объектива микроскопа с фокусным расстоянием 15,5 мм. Изображение после объектива рассматривается через окуляр с фокусным расстоянием 20 мм. Найти видимое увеличение микроскопа.

18. Найти видимое увеличение микроскопа, если оптическая длина тубуса  $\Delta=140$  мм, видимое увеличение окуляра  $\Gamma_{ок} = 10^x$  и фокусное расстояние объектива  $f'_{об} = 10$



19. Определить расстояние между объективом (фокусное расстояние 100мм) и окуляром (фокусное расстояние 25 мм) телескопической системы, чтобы получить микроскоп с такой же величиной видимого увеличения, что и у телескопической системы.



20. Определить линейное увеличение объектива микроскопа, если размер полевой диафрагмы окуляра равен 12 мм, а линейное поле в пространстве предмета равно 6 мм.
21. В микроскопе с оптической длиной тубуса 156 мм использован объектив 20x0,4. Определить фокусное расстояние объектива и положение предметной плоскости.
22. Отсчетный микроскоп имеет видимое увеличение  $\bar{\Gamma}_m = 200^x$ . Видимое увеличение окуляра  $\bar{\Gamma}_{ок} = 10^x$ . Фокусное расстояние микрообъектива  $f'_{об} = 8,708$  мм. Определить расстояние между предметом и изображением после микрообъектива. Объектив и окуляр считать бесконечно тонкими компонентами.

Решение:

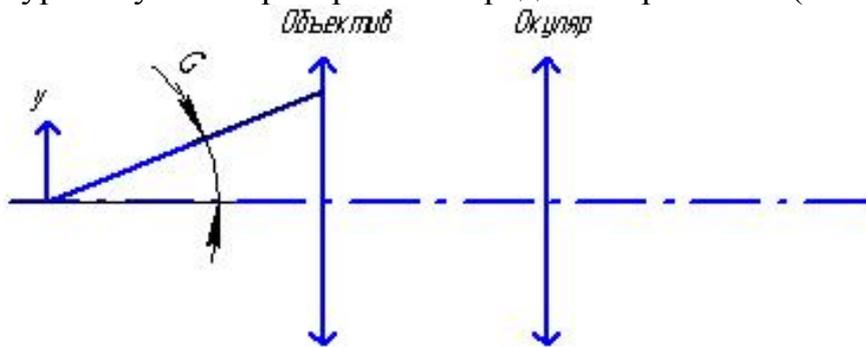
$$\bar{\Gamma}_{ок} = \frac{250}{f'_{ок}} \Rightarrow f'_{ок} = 25 \text{ мм};$$

$$\bar{\Gamma}_M = \frac{\beta_{об} \cdot 250}{f'_{ок}} \Rightarrow \beta_{об} = -20;$$

$$\frac{1}{a_{об}\beta_{об}} - \frac{1}{a_{об}} = \frac{1}{f'_{об}} \Rightarrow -a_{об} = 9,143;$$

$$a'_{об} = 182,86 - a_{об} + a'_{об} = 192 \text{ мм.}$$

23. Определить пределы полезного увеличения микроскопа, если апертурный угол в пространстве предметов равен  $8^\circ$  ( $n = 1$ ).



$$635A < \Gamma_{М.П.} < 1250A, \quad A = n \cdot \sin(\sigma_a), \quad \Rightarrow 86,9 < \Gamma_{М.П.} < 173,9.$$

24. Микроскоп имеет объектив с линейным увеличением  $\beta_{об} = -40$  и окуляр с фокусным расстоянием  $f'_{ок} = 25$  мм. Каков будет диаметр выходного зрачка микроскопа, если числовая апертура  $A = 0,64$ ?

Решение:

$$\bar{\Gamma}_{ок} = \frac{250}{f'_{ок}} = 10^x; \bar{\Gamma}_{ок} = \frac{500 \cdot A_{об}}{D'} \Rightarrow D' = 32 \text{ мм.}$$

25. Микроскоп снабжен объективом с линейным увеличением  $\beta_{об} = -40$  и окуляром с  $f' = 23$  мм. При какой длине волны света  $\lambda$  возможно раздельное наблюдение двух точек, находящихся на расстоянии  $\delta = 0,0006$  мм, если диаметр выходного зрачка микроскопа  $D' = 1$  мм?

Решение:

$$\lambda = \delta \cdot A;$$

$$A = -\frac{D' \cdot \Gamma_{М.П.}}{500};$$

$$\Gamma_{М.П.} = \frac{\beta_{об} \cdot 250}{f'_{ок}} \Rightarrow \lambda = -\frac{\delta \cdot D' \cdot \beta_{об} \cdot 250}{500 \cdot f'_{ок}} = 521 \text{ нм.}$$

26. Микроскоп имеет объектив с фокусным расстоянием  $f'_{об} = 5$  мм и окуляр с фокусным расстоянием  $f'_{ок} = 25$  мм, расстояние между ними 200 мм. На каком расстоянии от объектива должен находиться объект, чтобы окончательное изображение получилось на расстоянии 250 мм от глаза (глаз расположен в задней фокальной плоскости окуляра)?

## Тема 3.2. Телескопические системы. Основы расчёта и проектирования оптических систем

### Вопросы для самостоятельной работы:

1. Какая система называется телескопической?
2. Основные характеристики телескопических систем.
3. Принципиальные оптические схемы простых телескопических систем Кеплера и Галилея, ход осевого и наклонного пучков лучей.
4. Основные параметры простейших телескопических систем и их связь.
5. Определение диаметров и положения входного и выходного зрачков.
6. Полевая диафрагма и угловое поле телескопических систем.
7. Разрешающая способность телескопических систем.
8. Основные параметры для выбора объектива и окуляра по каталогам.
9. Определение положения и габаритов призм.
10. Расчет осевых расстояний между компонентами таким образом, чтобы изображение после окуляра находилось в бесконечности.
11. Оценка качества изображения телескопических систем по результатам абберационного расчета на компьютере.

### Задачи для самостоятельной работы:

1. Пусть в качестве объектива и окуляра простой телескопической системы применены две шаровые линзы радиусами  $r_{ш1} = 50$  мм и  $r_{ш2} = 10$  мм, изготовленные из стекол соответственно К8 ( $n = 1.5183$ ) и БК10 ( $n = 1.5713$ ). Определить видимое увеличение системы.

Решение:

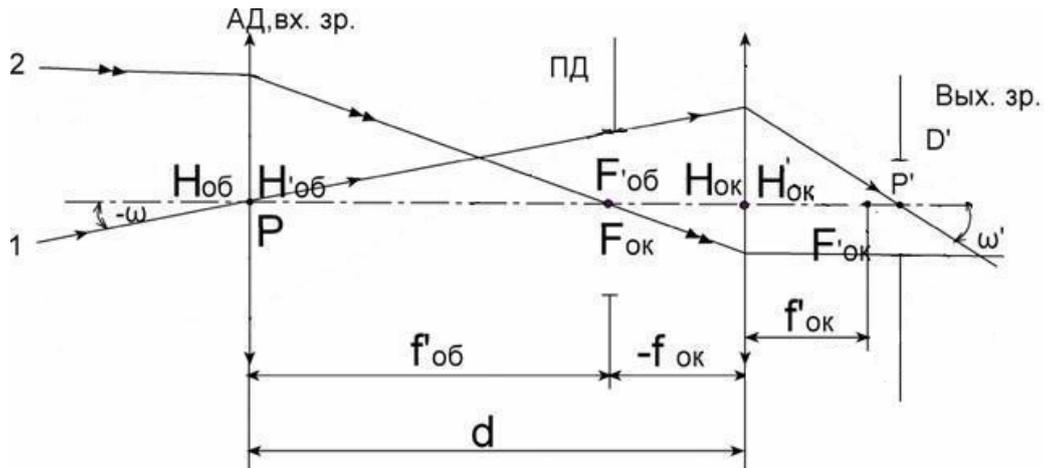
$$f'_{об} = \frac{n \cdot r_{ш1}}{2 \cdot (n - 1)}; f'_{об} = \frac{1,5183 \cdot 50}{2 \cdot (1,5183 - 1)} = 73,23 \text{ мм};$$

$$f'_{ок} = \frac{n \cdot r_{ш2}}{2 \cdot (n - 1)}; f'_{ок} = \frac{1,5713 \cdot 10}{2 \cdot (1,5713 - 1)} = 13,753 \text{ мм};$$

$$\Gamma = -\frac{f'_{об}}{f'_{ок}} = -5,3.$$

2. Определить оптическую длину простой телескопической системы, если известно, что видимое увеличение системы  $11,3^X$ , относительное отверстие объектива 1:7,5, диаметр выходного зрачка равен 3,4 мм.

Решение:



$$d = f'_{об} + f'_{ок} ;$$

$$\bar{\Gamma}_T = \frac{D}{D'} = -\frac{f'_{об}}{f'_{ок}} ;$$

$$\frac{D}{f'_{об}} = \frac{1}{7,5} \rightarrow f'_{об} = 7,5D ;$$

$$\frac{D}{D'} = \frac{7,5D}{f'_{ок}} \rightarrow f'_{ок} = 7,5D' = 7,5 \cdot 3,4 = 25,5 ;$$

$$f'_{об} = -\bar{\Gamma}_T \cdot f'_{ок} = 11,3 \cdot 25,5 = 288,15$$

$$d = 288,15 + 25,5 = 313,65 \text{ мм.}$$

Ответ: 313,65 мм.

3. Имеются следующие оптические элементы:

– объектив  $f' = 150$  мм,  $S'_{F'} = 147,5$  мм,  $S_F = -145,3$  мм;

– окуляр Кельнера  $f' = 30$  мм,  $S'_{F'} = 9,6$  мм,  $S_F = -8,9$  мм,  $2\omega = 50^\circ$ .

Определить длину полученной телескопической системы.

Решение:

$$L = f'_{об} + f'_{ок} ;$$

$$L = 150 + 30 = 180 \text{ мм.}$$

4. Имеются следующие оптические элементы: объектив ( $f'_{об} = 87,02$  мм,  $S'_{F'об} = 85$  мм,  $S_{Fоб} = -85,13$  мм,  $2\omega = 10^\circ$ ) и симметричный окуляр ( $f'_{ок} = 20,24$  мм,  $S'_{F'ок} = 15,08$  мм,  $S_{Fок} = -15,08$  мм). Определить видимое увеличение системы и диаметр полевой диафрагмы.

Решение:

$$\Gamma = -\frac{f'_{об}}{f'_{ок}} = -\frac{87,02}{20,24} = -4,3 ;$$

$$D_{ПД} = -2f'_{об} \cdot \text{tg}\omega = -2 \cdot 87,02 \cdot 0,083 = 14,45 \text{ мм.}$$

5. Видимое увеличение телескопической системы  $\Gamma = 5^\times$ , длина  $L = 210$  мм. Определить величину фокусного расстояния окуляра.

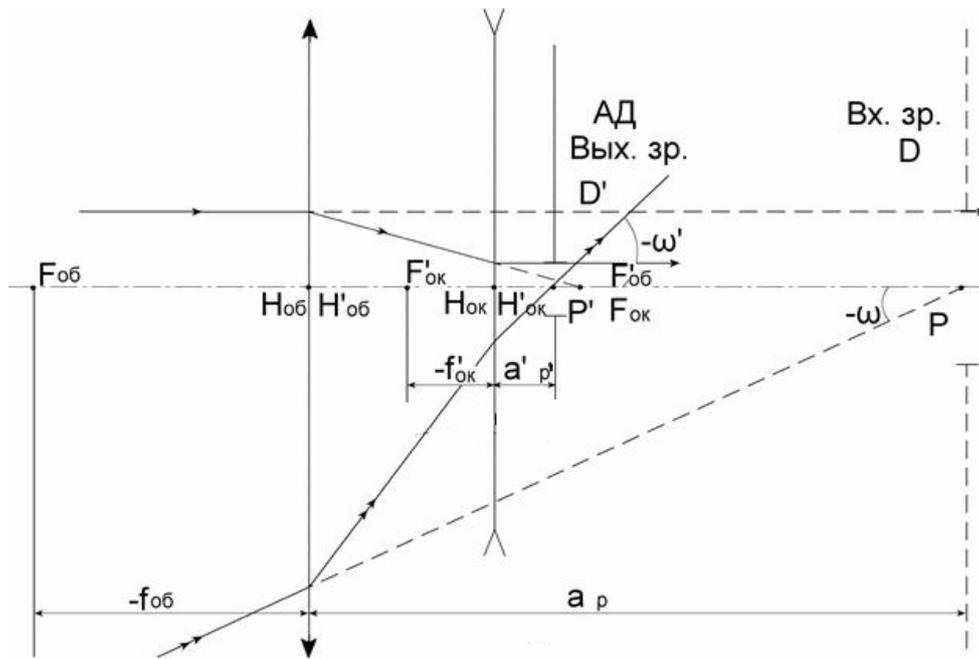
Решение:

$$f'_{ок} = \frac{d}{(1 - \Gamma_T)};$$

$$f'_{ок} = \frac{210}{(1 - (-5))} = 35 \text{ мм.}$$

6. Определить данные для конструирования  $f'_{об}$ ,  $f'_{ок}$  зрительной трубы Галилея, которая должна иметь видимое увеличение  $\Gamma_T = 4^x$ , объектив диаметром  $D_{об} = 40 \text{ мм}$  и относительным отверстием  $D_{об}/f'_{об} = 1:4$ . Глаз удален от окуляра на расстояние 20 мм.

Решение:



$$D_{об} / f'_{об} = 1 : 4 \Rightarrow f'_{об} = 40 \cdot 4 = 160 \text{ мм.};$$

$$\Gamma_T = -\frac{f'_{об}}{f'_{ок}} \Rightarrow f'_{ок} = -\frac{f'_{об}}{\Gamma_T};$$

$$f'_{ок} = -\frac{160}{4} = -40 \text{ мм.}$$

7. Зрительная труба Кеплера состоит из объектива ( $f'_{об} = 65 \text{ мм}$ ,  $2\omega = 20^\circ$ ), сетки и окуляра ( $\Gamma_{ок} = 8^x$ ). Определить угловое поле окуляра.

Решение:

- 1) видимое увеличение окуляра

$$\Gamma_{ок} = \frac{250}{f'_{ок}} \Rightarrow f'_{ок} = \frac{250}{\Gamma_{ок}} = 31,25 \text{ мм.}$$

- 2)  $\Gamma_T = -\frac{f'_{об}}{f'_{ок}} = \frac{tg \omega}{tg \omega'};$

$$2,08 \cdot tg 10^\circ = tg \omega';$$

$$\omega' = 20,11^\circ;$$

$$2\omega' = 40,22^\circ.$$

Ответ:  $40,22^\circ$ .

8. Определить угловое поле в пространстве предметов зрительной трубы, если её объектив имеет фокусное расстояние 300 мм, а окуляр с фокусным расстоянием 40 мм обеспечивает угловое поле в пространстве изображений, равное  $45^\circ$ .

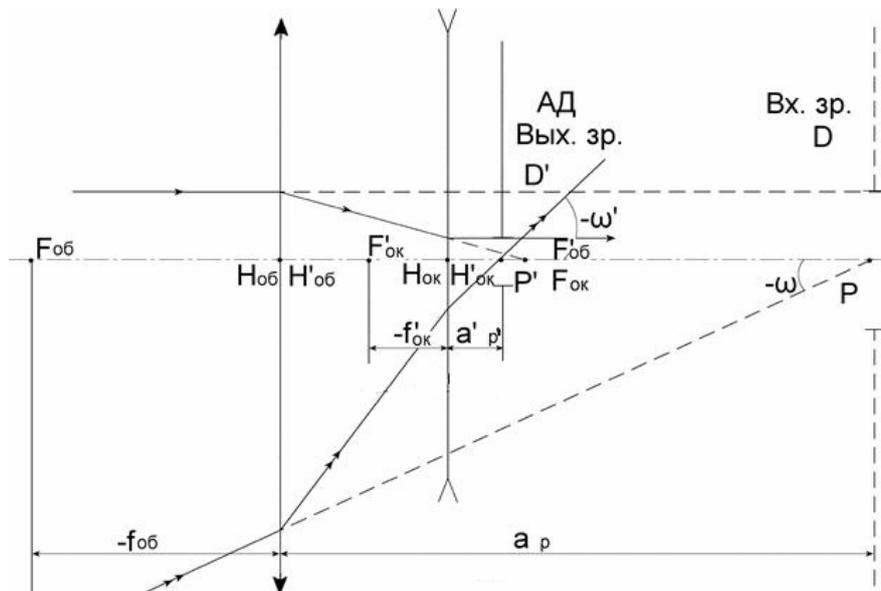
Решение:

$$\Gamma_T = \frac{tg\omega'}{tg\omega} \Rightarrow tg\omega = \frac{tg\omega'}{\Gamma_T};$$

$$tg\omega = \frac{tg22,5^\circ}{7,5} = 0,0552 \Rightarrow \omega = 3,09^\circ; 2\omega = 6,18^\circ.$$

9. Определить диаметр входного зрачка  $D$  и длину зрительной трубы Галилея, которая должна иметь видимое увеличение  $\Gamma_T = 4^x$ , диаметр выходного зрачка  $D' = 5$  мм, объектив диаметром  $D_{об} = 40$  мм с относительным отверстием  $D_{об}/f'_{об} = 1:4$ . Глаз удален от окуляра на расстояние 20 мм.

Решение:



$$\Gamma_T = \frac{D}{D'} \Rightarrow D = \Gamma_T \cdot D';$$

$$D = 4 \cdot 5 = 20 \text{ мм};$$

$$\frac{D_{об}}{f'_{об}} = 1:4 \Rightarrow f'_{об} = 160 \text{ мм};$$

$$\Gamma = -\frac{f'_{об}}{f'_{ок}} \Rightarrow f'_{ок} = -40 \text{ мм}; ж$$

$$L = f'_{об} + f'_{ок} = 120 \text{ мм}.$$

10. Определить размер и положение выходного зрачка в зрительной трубе, фокусные расстояния объектива и окуляра которой равны соответственно 200 и 30 мм, а диафрагменное число объектива равно 6. Оправа объектива является апертурной диафрагмой.

Решение:

$$\Gamma = -\frac{f'_{об}}{f'_{ок}} = -\frac{200}{30} = -6,7;$$

$$\frac{D}{f'} = \frac{1}{6} \Rightarrow D = \frac{200}{6} = 33,3 \text{ мм};$$

$$\Gamma = \frac{D}{D'} \Rightarrow D' = \frac{33,3}{6,7} = 4,98 \text{ мм};$$

$$z'_p = \frac{z_p}{\Gamma^2} = \frac{200}{6,7^2} = \frac{200}{44,89} = 4,46 \text{ мм};$$

$$a'_p = f'_{ок} + z'_p = 30 + 4,46 = 34,46 \text{ мм}.$$

11. Телескопическая система имеет видимое увеличение  $\Gamma = 8^x$ , фокусное расстояние объектива  $f'_{об} = 240$  мм, удаление входного зрачка  $a_p = -20$  мм, угловое поле окуляра  $2\omega' = 45^\circ$ , диаметр выходного зрачка  $D' = 2$  мм. Определить угловое поле телескопической системы в пространстве предметов  $2\omega$ , положение выходного зрачка и диаметр полевой диафрагмы.

Решение:

$$\Gamma = -\frac{f'_{об}}{f'_{ок}} \Rightarrow f'_{ок} = 30 \text{ мм};$$

$$\Gamma = \frac{tg\omega'}{tg\omega} \Rightarrow tg\omega = \frac{tg\omega'}{\Gamma} = 0,125;$$

$$\omega = 7,125^\circ;$$

$$2\omega = 14,25^\circ;$$

$$z'_p = \frac{z_p}{\Gamma^2} = \frac{-f'_{об} - (-a_p)}{\Gamma^2} = \frac{220 \text{ мм}}{64} = 3,44 \text{ мм};$$

$$a'_p = f'_{ок} + z'_p = 33,44 \text{ мм};$$

$$D_{ПД} = 2f'_{ок} \cdot tg\omega' = 2 \cdot 30 \cdot 0,4142 = 24,85 \text{ мм}.$$

12. Определить полезное увеличение  $\Gamma_{тп}$  трубы Кеплера, если разрешающая способность глаза  $60''$ , угловой предел разрешения объектива  $\psi = 5''$ .

Решение:

Для глаза с нормальной разрешающей способностью ( $\psi_{зл} = 60''$ ):

1) предел разрешения

$$\psi = \frac{120''}{D}.$$

Входной зрачок

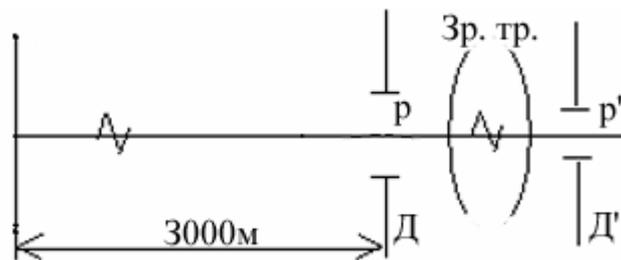
$$D = \frac{120''}{\psi} = 24 \text{ мм.}$$

$$2) \quad \Gamma_{\text{тп}} = 0,5D;$$

$$\Gamma_{\text{тп}} = 0,5 \cdot 24 = 12^x.$$

Ответ:  $12^x$ .

13. Угловое увеличение зрительной трубы теодолита равно  $30^x$ , диаметр её входного зрачка 60 мм. Определить угловой предел разрешения трубы и вычислить минимальный размер деления рейки, который можно различить при положении рейки на расстоянии 3 км от теодолита.



Решение:

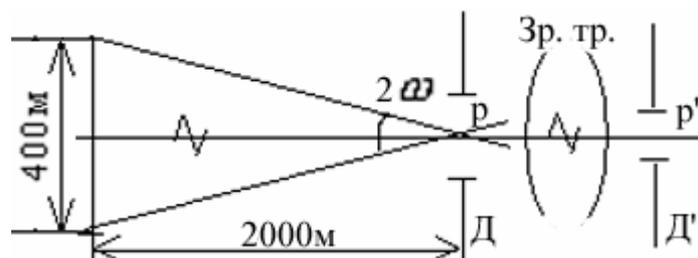
$$\psi = \frac{120''}{D};$$

$$\psi = \frac{120''}{60} = 2'' = 2 \cdot 5 \cdot 10^{-6};$$

$$\delta = \psi \cdot p;$$

$$\delta = 2 \cdot 5 \cdot 10^{-6} \cdot 3 \cdot 10^6 = 30 \text{ мм.}$$

14. Определить основные оптические характеристики зрительной трубы, которая позволяла бы наблюдать объекты в пределах  $\pm 200$  м в направлении, перпендикулярном к линии визирования, и удаленные от трубы на расстояние 2 км, если при этом необходимо различать детали объектов размером 0,3 м.



$$\text{tg} \omega = \frac{y}{p};$$

$$\text{tg} \omega = \frac{200}{2000} = 0,1;$$

$$\omega = 5,7^\circ; 2\omega = 11,42^\circ;$$

$$\text{tg} \varphi = \frac{\delta}{p};$$

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{0,3}{2000} = 0,00015 \Rightarrow \varphi = 30,9'';$$

$$\varphi = \left( \frac{140}{D} \right)'' \Rightarrow D = \frac{140''}{\varphi};$$

$$D = \frac{140''}{30,9''} = 4,5 \text{ мм};$$

$$\Gamma_T = \frac{60''}{\varphi};$$

$$\Gamma_T = \frac{60''}{30,9''} = 1,94^x;$$

$$\Gamma_T = \frac{D}{D'} \Rightarrow D' = \frac{D}{\Gamma_T};$$

$$D' = \frac{4,5}{1,94} = 2,32 \text{ мм}.$$

15. Лазер имеет поток излучения  $\Phi_e = 314$  Вт с плоским углом расходимости  $2\omega = 0.01$  радиан. Какое видимое увеличение должна иметь телескопическая система, стоящая после лазера, чтобы получить на расстоянии 1 км энергетическую освещенность  $E_e = 160$  Вт/м<sup>2</sup>? Коэффициент пропускания оптической системы  $\tau_{oc} = 0.8$ , коэффициент пропускания атмосферы  $\tau_{атм} = 0.5$ .

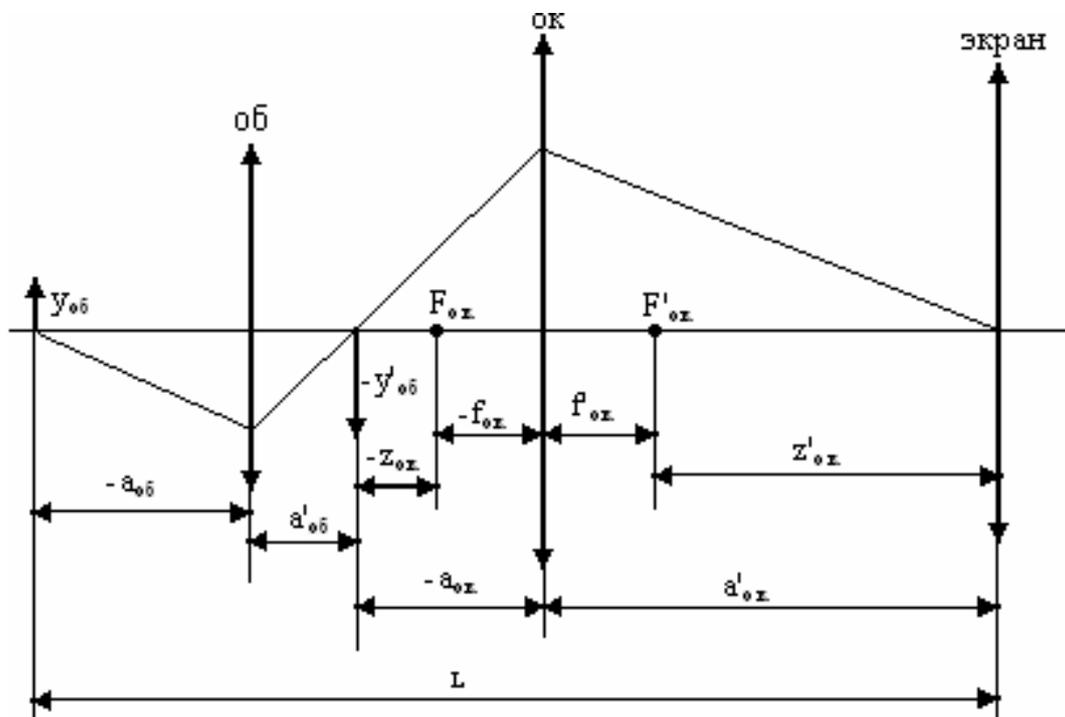
### Лабораторная работа №3 Микропроекционная система

#### *Вопросы для самостоятельной работы:*

1. Принципиальная оптическая схема микропроекционной системы.
2. Основные параметры и соотношения.
3. Какую роль играет осветительная система в микропроекционной системе?
4. От чего зависит освещенность на экране?
5. По каким параметрам выбираются объектив и окуляр для микропроекционной системы?
6. Определить расстояние между объективом и окуляром, а также расстояние от предмета до экрана.
7. Как рассчитать размеры полевой и апертурной диафрагм в микропроекционной системе?
8. Чему равно увеличение микропроекционной установки?
9. От чего зависит линейный предел разрешения на экране микропроекционной системы?
10. Оценка качества изображения микропроекционной установки по результатам абберрационного расчета.

### Задачи для самостоятельной работы:

1. Найти увеличение на экране микропроекционной установки, если известно, что применяется микрообъектив 10x0.65, фокусное расстояние окуляра равно 20 мм, а расстояние от фокуса окуляра до экрана 150 мм.



Решение:

$$L = -a_{об} + a'_{об} + (-a_{ок}) + a'_{ок};$$

$$\beta_{ок} = -\frac{z'_{ок}}{f'_{ок}};$$

$$\beta_m = \beta_{ок} \cdot \beta_{об};$$

$$\beta_{ок} = \frac{150}{20} = 7,5^x;$$

$$\beta_m = 7,5 \cdot 10 = 75^x.$$

2. Числовая апертура микрообъектива 0,65, задняя числовая апертура фотоокуляра 0,125. Определить линейное увеличение микропроекционной установки.
3. Чему равно увеличение на экране микропроекционной установки, если разрешающая способность 100 лин/мм, а апертура объектива 0,5.  $\lambda = 0,555$  мкм.

Решение:

$$\beta_m = \frac{2A}{\lambda N};$$

$$\beta_m = \frac{2 \cdot 0,5}{555 \cdot 10^{-6} \cdot 100} = 18^x.$$

4. Найти увеличение изображения микропроектора, если освещенность экрана равна 200 лк, габаритная яркость лампы К30-

400 равна 22 Мкд/м<sup>2</sup>, коэффициент пропускания оптической системы 0,7, и апертура объектива 0,3.

Решение:

$$E_V = \pi L_V \tau_{oc} \sin^2 \sigma'_{ок};$$

$$\sin \sigma'_{ок} = \frac{\sin \sigma_{об}}{\beta_m};$$

$$E = L\pi \cdot \tau \cdot \frac{\sin^2 \sigma_{об}}{\beta_m};$$

$$\beta_m = \sqrt{\frac{L\pi \tau \sin^2 \sigma_{об}}{E}};$$

$$\beta_m = \sqrt{\frac{22 \cdot 10^6 \cdot 3.14 \cdot 0.7 \cdot 0.3^2}{200}} = 147^x.$$

5. Предмет расположен на расстоянии 16,5 мм перед объективом микропроекционной системы. Фокусное расстояние объектива и окуляра равны соответственно 15 мм и 24 мм, увеличение окуляра 8<sup>x</sup>. Найти увеличение системы и расстояние между объективом и окуляром. Объектив и окуляр считать тонкими компонентами
6. Фокусное расстояние объектива микропроекционной системы равно 18 мм, предмет удален от переднего фокуса объектива на 2 мм. Какой фотоокуляр нужно использовать, чтобы линейное увеличение всей системы равнялось 180<sup>x</sup>.
7. В микропроекционной установке используется объектив с увеличением 20 и фотоокуляр с увеличением 10<sup>x</sup>. Какой максимальный размер объекта можно сфотографировать на пленку с размером кадра 24×36 мм<sup>2</sup>.
8. Линейное изображение на экране микропроекционной установки 180 мм, диаметр полевой диафрагмы 16 мм, увеличение объектива 20<sup>x</sup>. Определить увеличение установки и линейное поле в пространстве предметов.
9. Найти увеличение микрообъектива, если известно, что увеличение изображения на экране 80<sup>x</sup>, фокусное расстояние окуляра равно 25 мм, а расстояние от фокуса окуляра до экрана 145 мм.

Решение:

$$\beta_{об} = \frac{\beta_m}{\beta_{ок}};$$

$$\beta_{ок} = -\frac{z'_{ок}}{f'_{ок}};$$

$$\beta_{ок} = \frac{145}{25} = 5,8^x;$$

$$\beta_{об} = \frac{80}{5,8} = 14^x.$$

$$L = -a_{об} + a'_{об} + (-a_{ок}) + a'_{ок}.$$

10. Линейное изображение на экране микропроекционной установки 144 мм, размер изображения после объектива 12 мм, увеличение установки  $120^x$ . Определить линейное увеличение объектива и линейное поле в пространстве предметов.
11. Изображение на экране микропроекционной системы со 100-кратным увеличением равно 130 мм, линейное увеличение фотоокуляра  $10^x$ , фокусное расстояние окуляра 20 мм. Определить линейное поле системы и расстояние от окуляра до экрана.
12. Чему равна разрешающая способность в лин/мм на экране установки для микропроекции с увеличением  $100^x$  и апертурой объектива 0.11, если окуляр не ухудшает качества изображения.  $\lambda = 0,555$  мкм.

Решение:

$$N = \frac{2A}{\lambda \beta_m};$$

$$N = \frac{2 \cdot 0.11}{555 \cdot 10^{-6} \cdot 100} = 3.96.$$

13. Определить освещенность экрана микропроектора, в котором используется галогенная лампа КГМ9-75 (габаритная яркость  $30 \text{ Мкд/м}^2$ ) В микропроекторе применяются сменный объектив  $10 \times 0,30$ , а также проекционный окуляр  $10^x$ . Коэффициент пропускания оптической системы  $\tau_{o,c} = 0,3$

Решение:

$$E_v = \pi L_v \tau_{o,c} \sin^2 \sigma'_a;$$

$$\sin \sigma'_{ок} = \frac{\sin \sigma_{об}}{\beta_m};$$

$$\beta_m = \beta_{ок} \cdot \beta_{об};$$

$$E_v = 3,14 \cdot 30 \cdot 0,3 \left( \frac{0,3}{10 \cdot 10} \right)^2 = 0,0254 \cdot 10^6 = 254 \text{ Лк}.$$

14. Для микропроекции применяется объектив с увеличением  $10^x$  и фокусным расстоянием 16 мм. Определить увеличение системы и расстояние от предмета до изображения относительно объектива, при увеличении на экране проектора  $100^x$ , если в качестве проекционного окуляра используется окуляр с  $\Gamma = 10^x$ .

Решение:

$$L = -a_{об} + a'_{об} + (-a_{ок}) + a'_{ок};$$

$$\beta_{ок} = \frac{f'_{ок}}{z_{ок}} = \frac{-z_{ок}}{f'_{ок}};$$

$$\beta_{об} = \frac{f'_{об}}{z_{об}} = \frac{-z_{об}}{f'_{об}};$$

$$z'_{об} = -\beta_{об} \cdot f'_{об} = -160 \text{ мм};$$

$$f'_{ок} = \frac{250}{10} = 25 \text{ мм};$$

$$z'_{ок} = -\beta_{ок} \cdot f'_{ок} = -250 \text{ мм};$$

$$z_{ок} = \frac{-25}{10} = -2,5 \text{ мм}.$$

15. Насколько необходимо сместить окуляр с увеличением  $\Gamma = 8^x$ , чтобы получить увеличение микропроекционной системы  $400^x$ . Линейное увеличение объектива  $20^x$ .
16. Определить фокусное расстояние конденсора микропроекционной системы, если апертура конденсора равна 0,02, апертура объектива 0,40, а расстояние от задней главной плоскости конденсора до апертурной диафрагмы равно 215 мм.
17. Определить апертуру конденсора микропроекционной системы, если апертура объектива 0,65, фокусное расстояние конденсора 13 мм, а расстояние от задней главной плоскости конденсора до апертурной диафрагмы равно 250 мм.

*Решение:*

$$\beta_{к} = \frac{-A_{кон}}{A_{об}} = \frac{-f_{кон}}{z_{кон}};$$

$$A_{кон} = \frac{A_{об} \cdot f_{кон}}{z_{кон}};$$

$$A_{кон} = \frac{0,65 \cdot 13}{250} = 0,03.$$

18. Определить фокусное расстояние конденсора микропроекционной системы, если апертура конденсора равна 0,03, апертура объектива 0,30, а расстояние от задней главной плоскости конденсора до апертурной диафрагмы равно 210 мм.

*Решение:*

$$\frac{-A_{кон}}{A_{об}} = \frac{-f_{кон}}{z_{кон}};$$

$$f_{кон} = \frac{z_{кон} \cdot A_{кон}}{A_{об}};$$

$$f_{кон} = \frac{210 \cdot 0,03}{0,3} = 21 \text{ мм}.$$

## МОДУЛЬ №4

### Тема 4.1. Телескопические системы со сменой увеличения

#### **Вопросы для самостоятельной работы:**

1. Скачкообразная переменная увеличения. Виды скачкообразной переменной увеличения.
2. Переменная увеличения за счёт вращения трубки Галилея. Габаритный расчёт. Положение зрачков.

3. Перемена увеличения за счёт компонента, перемещающегося вдоль оптической оси. Основные соотношения.
4. Перемена увеличения за счёт перемещения оборачивающей системы. Ход лучей.
5. Перемена увеличения за счёт перемещения коллектива. Ход лучей.
6. Панкратические объективы.
7. Панкратическая оборачивающая система.

**Задачи для самостоятельной работы:**

1. Смена увеличения в телескопической системе осуществляется перемещением вдоль оси однокомпонентной линзовой оборачивающей системы. Каково увеличение оборачивающей системы, если наибольшее и наименьшее увеличения телескопической системы равны  $12^{\times}$  и  $3^{\times}$ ?

*Решение:*

$$\Gamma_T = \sqrt{\frac{\Gamma_6}{\Gamma_M}} ;$$

$$\Gamma_T = \sqrt{\frac{12}{3}} = 2^{\times}.$$

2. Смена увеличения в телескопической системе осуществляется за счёт вращения трубки Галилея. Каково увеличение трубки Галилея, если наибольшее и наименьшее увеличения телескопической системы равны  $6^{\times}$  и  $1,5^{\times}$ ?
3. В сложной зрительной трубе со скачкообразной переменной увеличения за счёт вращающейся трубки Галилея большое увеличение равно 12, а малое 3. Определить фокусные расстояния компонентов трубки и положение зрачков, если известно, что диаметр трубки Галилея 50 мм.
4. В сложной зрительной трубе со скачкообразной переменной увеличения перемена увеличения осуществляется за счёт перемещения оборачивающей системы. Увеличение перемещающейся оборачивающей системы  $\beta = -2$  и  $\beta = -0,5$ . Расстояние между плоскостями предметов и изображений 300мм. Определить положение плоскостей предметов и изображений и зрачков.
5. В сложной зрительной трубе со скачкообразной переменной увеличения перемена увеличения осуществляется за счёт перемещения коллектива. Увеличение перемещающегося коллектива равно  $\beta = 2$  и  $\beta = 0,5$ . Расстояние между плоскостями предметов и изображений 50 мм. Определить положение плоскостей предметов и изображений и зрачков.

## Тема 4.2 Оптика фотографических и оптико-электронных систем. Основы расчёта и проектирования

### Вопросы для самостоятельной работы:

1. Классификация фотографических систем
2. Типы объективов, основные оптические схемы
3. Основные характеристики объективов
4. Характеристики качества изображения объективов
5. Дифракционная глубина резкости
6. Геометрическая глубина резкости фотообъективов
7. Определение коэффициента пропускания объективов
8. Разрешающая способность объективов

### Задачи для самостоятельной работы:

1. Определить необходимое относительное отверстие объектива применяемого для фотосъемки с  $\beta = -1,5$ , позволяющее получить такую же освещенность в плоскости изображения, какая была при съемке с  $\beta = -0,5$  при относительном отверстии  $D:f' = 1:20$ . Увеличение в зрачках  $\beta_p = 1, f' = 50\text{мм}$ .
2. Объектив, имеющий относительное отверстие 1:4, стоит в телевизионной камере, использующей ПЗС-матрицу, размеры ячеек которой 9x9 мкм. Чему равен допуск на точность фокусировки объектива (допуск на расстояние от объектива до ПЗС-матрицы)?
3. Какими характеристиками (примерно) должна обладать оптическая система, предназначенная для фокусировки лазера в пятно размером 10 мкм на расстоянии 0,9 м? Из лазера выходит пучок диаметром 5 мм, длина волны излучения 0,6 мкм. Какой должна быть конструкция этой оптической системы?
4. Для плоскости объекта на расстоянии от объектива 500 мм, при относительном отверстии 1:5 была получена освещенность  $E'$  в центре изображения. Рассчитать, при каком относительном отверстии освещенность останется неизменной, если плоскость объекта перенести на расстояние 800 мм перед объективом с  $f'_{об} = 100\text{ мм}$ .
5. Какое допустимое увеличение фотоснимков с пленки, зерно эмульсии которой имеет размер не более 2,5 мкм, если в дальнейшем снимки будут рассматриваться с расстояния наилучшего видения?
6. В двухзеркальной системе телескопа вторичное зеркало имеет  $f'_2 = -200\text{ мм}$ . Расстояние между зеркалами 600 мм. Расстояние от вторичного зеркала до плоскости изображения 640 мм. Определить  $f'_1$  и  $f'_{экр}$  зеркального телескопа.
7. Объектив создаёт на фотоплёнке изображение предмета, находящегося на расстоянии 10 км. Если между объективом и фотоплёнкой ввести плоскопараллельную пластинку, то на

- фотоплёнке получается изображение бесконечно удаленного объекта. Какова толщина пластинки, если показатель преломления  $n = 1,5183$ ,  $f_{об} = 100$  мм?
8. Объектив зрительной трубы, предназначенной для наблюдения искусственных спутников Земли, имеет фокусное расстояние  $f' = 1000$  мм. Определить минимальный диаметр полевой диафрагмы, при котором в поле трубы будут одно временно видны два спутника, если расстояние между ними 5 км. Удаление спутников от поверхности Земли 200 км., наблюдение ведётся в зените.
  9. Объективом "Индустар-69" ( $f' = 50$  мм.) необходимо сфотографировать пространство от 3 м до бесконечности. Определить диафрагменное число и дистанцию фокусировки, если  $\delta' = 0,03$  мм.
  10. Объектив имеет относительное отверстие 1:2,  $f'=100$ ,  $\beta=-70$ . Чему равна передняя апертура? Объектив считать тонким.
  11. У объектива фотокамеры передний план находится на расстоянии 10 м, а задний в бесконечности. Определить диаметр входного зрачка (в мм).
  12. Определить фокусировочную подвижку в мм для объектива с  $f' = 30$  мм, если минимальная дистанция съемки составляет 1 м.
  13. Чему равен угловой предел разрешения в минутах объектива с  $f' = 35$  мм, относительным отверстием 1:2 и фотографической разрешающей способностью 80 лин/мм? Предмет расположен в бесконечности.
  14. Фотообъектив состоит из двух одиночных линз и одной склейки. Толщина всех линз по оптической оси объектива 100 мм. Определить светопропускание фотообъектива в процентах. Поглощение принять равным 1% в 1 сантиметре стекла, просветление наружных поверхностей двухслойное.

#### **Лабораторная работа №4** **Проекционная система**

##### ***Вопросы для самостоятельной работы:***

1. Почему изображение источника должно заполнять входной зрачок проекционного объектива?
2. Как выбрать проекционный объектив из каталога?
3. Как выбрать лампу?
4. Принципиальная оптическая схема диаскопической проекционной установки.
5. Ход лучей в проекционной установке.
6. Как определяется число линз в конденсоре?
7. Как выполняется расчёт конденсора?
8. В каких пределах должна быть яркость экрана при диапроекции?
9. От чего зависит и как определяется освещенность изображения в проекционных установках?

10. Как определить качество изображения в проекционной системе?

**Задачи для самостоятельной работы:**

1. Найдите увеличение, создаваемое конденсором в проекционной системе с диаметром входного зрачка объектива  $D_p = 26$  мм и телом накала лампы К27 – 6x2 мм.

Решение:

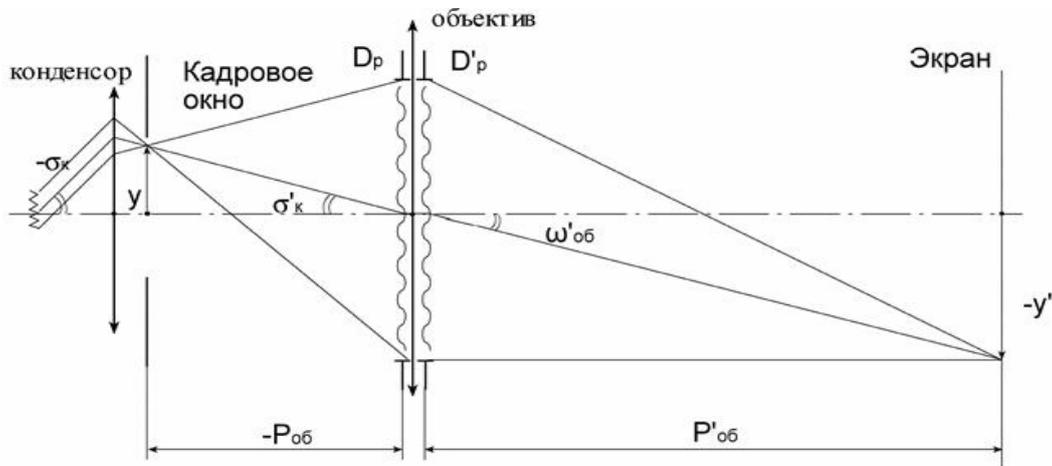
$$\beta_{кон} = -\frac{D_p}{b},$$

где  $b$  – наименьшая сторона тела накала.

$$\beta_{кон} = -\frac{26}{2} = -13^x.$$

2. Известно, что диаметр выходного зрачка объектива  $D'_p$  проекционной системы равен 14 мм. Яркость, создаваемая источником, равна  $19,66 \cdot 10^6$  кд/м<sup>2</sup>, а расстояние от выходного зрачка объектива до экрана составляет 3 м. Определите освещенность, создаваемую проекционной установкой на экране. Коэффициент пропускания системы  $\tau = 0,6$ .

Решение:

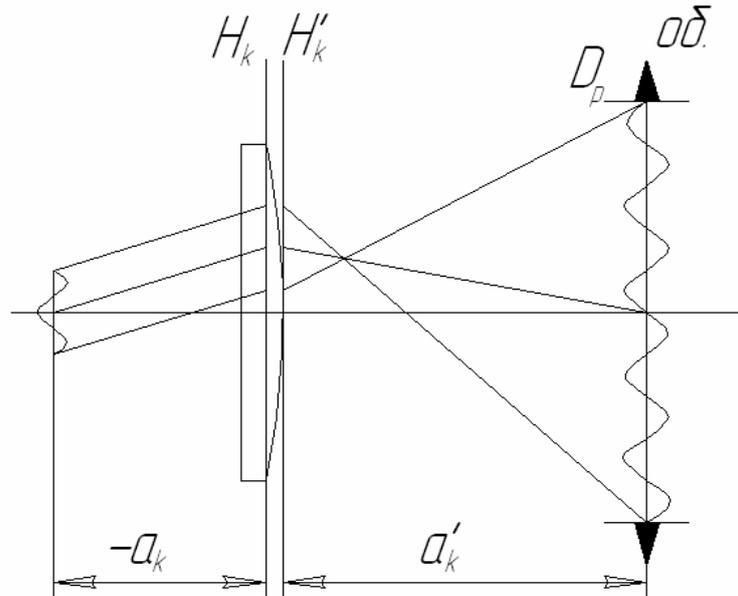


$$E = \pi \cdot \tau \cdot L \cdot \sin^2 \sigma' = \pi \cdot \tau \cdot L \cdot \left( \frac{D}{2p'} \right)^2;$$

$$E = 3.14 \cdot 0.6 \cdot 19.66 \cdot 10^6 \cdot \left( \frac{14}{2 \cdot 3000} \right)^2 = 201.65 \text{ Лк}.$$

3. В проекционной системе конденсор, выполненный из стекла с  $n = 1,5$  в виде плосковыпуклой линзы с  $r = -20$  мм, должен заполнить светом отверстие диаметром  $D = 20$  мм. Размер тела накала лампы (источника) равен 8x10 мм. Найти расстояние от конденсора до освещаемого отверстия  $a'_к$ .

Решение:



$$a' = f' \cdot (1 - \beta);$$

$$\beta = -\frac{D_p}{b},$$

где  $D_p$  – диаметр входного зрачка,  $b$  – наименьшая сторона тела накала.

$$\beta = -\frac{D_p}{b} = -\frac{20}{8} = -2.5;$$

где  $b = 8$ .

$$f'_{\text{кон}} = -\frac{r_2}{n-1};$$

$$f'_{\text{кон}} = 40 \text{ мм};$$

$$a'_k = 40 \cdot (1 - (2,5)) = 140 \text{ мм}.$$

Ответ: 140 мм.

4. Имеется проекционная система. Расстояние от выходного зрачка объектива до экрана составляет  $p' = 5$  м. Яркость, создаваемая источником, равна  $19 \cdot 10^6$  Кд/м<sup>2</sup>. Определите диаметр выходного зрачка объектива  $D'_p$ , обеспечивающего освещённость экрана 200 Лк, если коэффициент пропускания такой системы  $\tau = 0,6$ .

Решение:

$$D'_p = 2p' \cdot \sqrt{\frac{E}{\tau \cdot \pi \cdot L}} = 2 \cdot (5000)^2 \cdot \sqrt{\frac{200}{3,14 \cdot 0,6 \cdot 19 \cdot 10^6}} = 23,64 \text{ мм}.$$

5. В проекционной системе используется конденсор с увеличением  $\beta_k = -18$  и лампа накала с телом накала  $8 \times 3$  мм. Найдите диаметр входного зрачка объектива.

Решение:

$$\beta_{\text{кон}} = -\frac{D_p}{b} \Rightarrow D_p = -\beta \cdot b = -18 \cdot 3 = 54 \text{ мм},$$

где  $b$  – наименьшая сторона тела накала.

6. Определите полезный световой поток лампы накала проекционной системы, освещенность которой на экране размером 700x800 мм составляет 200 Лк.

Решение:

$$S = 0,7 \cdot 0,8 = 0,56 \text{ м}^2;$$

$$E = \frac{F}{S} \Rightarrow F = S \cdot E = 0,56 \cdot 200 = 112 \text{ Лм}.$$

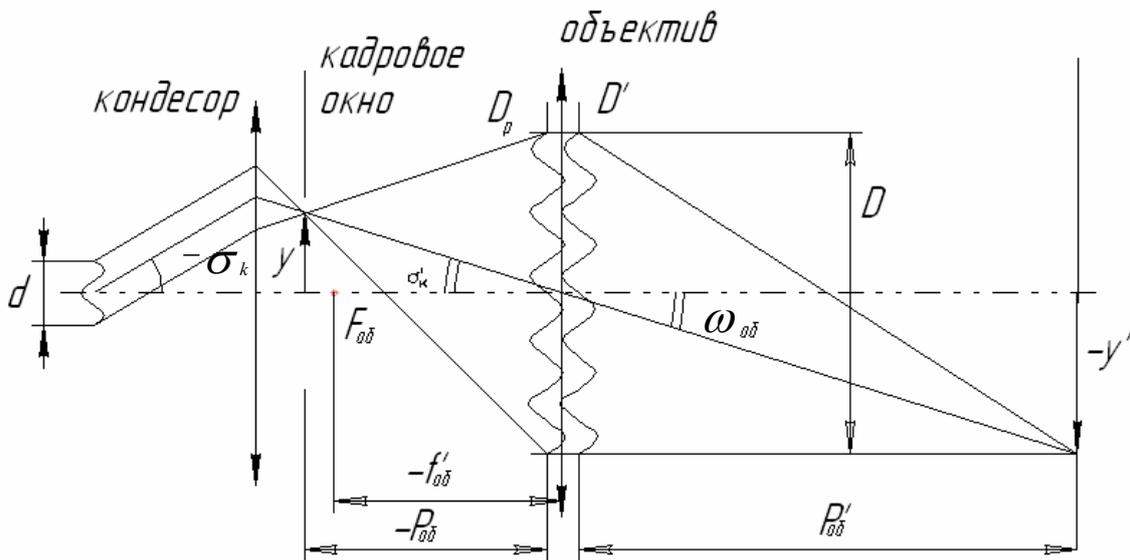
7. Найдите угловое поле объектива проекционной системы, если фокусное расстояние  $f'_{об} = 87$  мм, относительное отверстие 1:3. Диаметр тела накала лампы системы 10,5 мм, а передняя апертура конденсора равна 0,5.

Решение:

$$d \cdot \sin \sigma_k = D \cdot \sin \omega;$$

$$\sin \omega = \frac{d \cdot \sin \sigma_k}{D};$$

$$D = \frac{f'_{об}}{3} = \frac{87}{3} = 29 \text{ мм}.$$



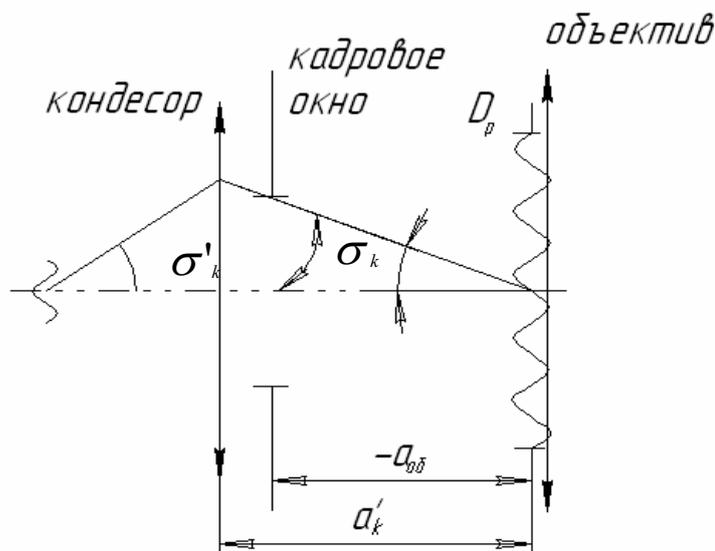
$$\omega = \arcsin \left( \frac{d \cdot \sin \sigma_k}{\frac{f'_{об}}{3}} \right) = \arcsin \frac{10,5 \cdot 0,5}{29} = 0,181;$$

$$\omega = 10,43^\circ; \quad 2\omega = 21,26^\circ.$$

8. Рассчитать габаритную яркость лампы проекционной диаскопической системы, если ее полный световой поток 1700 Лм. Размеры тела накала 9x9 мм.

Решение:

$$L_e = \frac{\Phi_{кат}}{2\pi \cdot dS} = \frac{1700}{2\pi \cdot (0,009 \cdot 0,009)} = 3,34 \cdot 10^6 \text{ Кд/м}^2.$$



9. Угловое поле объектива диапроектора  $2\omega = 22^\circ$ , размер тела накала 8x8 мм, диаметр входного зрачка проекционного объектива 24 мм. Сколько линз в конденсоре?

Решение:

$$\beta_{кон} = -\frac{D_p}{b} = -\frac{24}{8} = -3; \quad \omega_{об}$$

где  $D_p$  – диаметр входного зрачка проекционного объектива;  
 $b$  – наименьшая сторона тела накала.

Следовательно:

$$\sigma_{кон} = \beta_{кон} \sigma'_{кон} \approx 30^\circ.$$

Суммарный угол охвата конденсора:

$$2(|\sigma_k| + |\sigma'_k|) = 82^\circ.$$

При углах охвата конденсора  $60^\circ$ - $90^\circ$  необходим трёхлинзовый конденсор.

10. Какую величину должен иметь выходной зрачок проекционного объектива, чтобы, получить на экране, расположенном на расстоянии 10 м от объектива, освещенность 100 Лк, используя в проекционной системе источник света с габаритной яркостью

$20 \cdot 10^6$  Кд/м<sup>2</sup>, коэффициент пропускания оптической системы  $\tau = 0,8$ ?

*Решение:*

$$D' = \sqrt{\frac{4 \cdot p'^2 \cdot E'}{\pi \cdot \tau \cdot L}} = \sqrt{\frac{4 \cdot (10000)^2 \cdot 100}{3,14 \cdot 0,8 \cdot 20 \cdot 10^6}} = 28,22 \text{ мм.}$$

### **Тема 4.3 Стереоскопические системы**

***Вопросы для самостоятельной работы:***

1. Стереоскопический эффект. Стереоскопическая разрешающая способность.
2. Глубина стереоскопического зрения.
3. Стереоскопическая съёмка.
4. Рассматривание стереопар
5. Стереоскопический дальномер. Пластика прибора.
6. Бинокулярная лупа.
7. Стереоскопические микроскопы. Типы микроскопов

# ПРИМЕРЫ ВЫПОЛНЕНИЯ ОТЧЕТОВ ПО ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ

## МОДУЛЬ №3

### Тема 3.1. Оптические системы микроскопа. Основы расчёта и проектирования оптических систем Лабораторная работа «Микроскоп»

#### Исходные данные:

- Числовая апертура  $A_{об} = 0,4$ .

#### Задание для работы:

- Исходя из заданных характеристик визуальной части микроскопа, необходимо выполнить габаритный расчет.
- По полученным данным подобрать объектив и окуляр из каталогов или из библиотеки оптических систем программы «ОПАЛ».
- Составить оптическую систему визуальной части микроскопа и определить расстояния между компонентами.
- Построить ход лучей.
- Определить aberrации наблюдательной части микроскопа.
- Оценить качество изображения микроскопа.
- Выполнить чертеж оптической схемы по ГОСТ 2.412-81

#### Расчет микроскопа:

- Видимое увеличение:

$$\bar{\Gamma} = 1000 \cdot A_{об} = 400^x.$$

Разрешающая способность:

$$\delta = \frac{\lambda}{2A_{об}} = 6,825 \cdot 10^{-4}.$$

Диаметр выходного зрачка  $D' = 0,5$  мм.

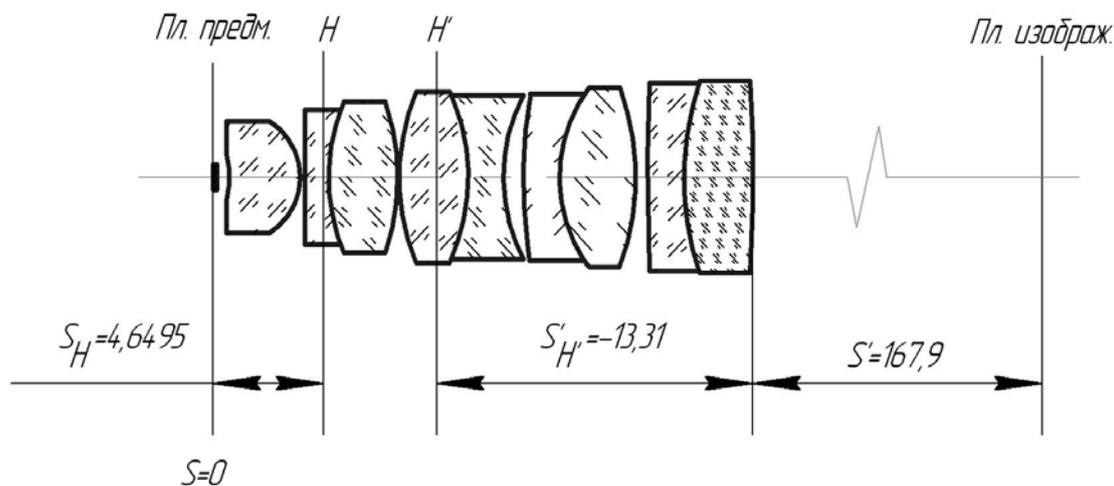
- Конструктивные параметры **объектива** «Планахромат»  $\beta_{об} = -38,974$ ,  $A_{об} = 0.75$ ,  $2y = 0.62$ :

| N  | Радиусы   | Осевые расст. | Высо-ты | Марки Кат. | Показатели преломления |           | Свето-вые высоты | Стрел-ки |
|----|-----------|---------------|---------|------------|------------------------|-----------|------------------|----------|
|    |           |               |         | Россия     | L0=0.5461              | L1=0.6438 |                  |          |
| 0  |           |               |         | ВОЗДУХ     | 1.0000000              | 1.0000000 |                  |          |
| 1  | 0,0       | 0,17000       | 0,500   | K14        | 1.5168046              | 1.5125989 | 0.313            | 0.000    |
| 2  | 0,0       | 0,57100       | 0,500   | ВОЗДУХ     | 1.0000000              | 1.0000000 | 0.409            | 0.000    |
| 3  | -2,93800  | 2,90000       | 0,890   | TK17       | 1.6385146              | 1.6252876 | 0.898            | -0.140   |
| 4  | -2,48900  | 0,20000       | 2,180   | ВОЗДУХ     | 1.0000000              | 1.0000000 | 2.179            | -1.286   |
| 5  | 788,90000 | 1,00000       | 2,650   | ТФ1        | 1.6521984              | 1.6429543 | 2.658            | 0.004    |
| 6  | 7,81500   | 2,90000       | 2,950   | TK17       | 1.6305146              | 1.6252876 | 2.970            | 0.660    |
| 7  | -8,55100  | 0,10000       | 3,260   | ВОЗДУХ     | 1.0000000              | 1.0000000 | 3.281            | -0.654   |
| 8  | 8,43300   | 2,90000       | 3,350   | TK17       | 1.6305146              | 1.6252876 | 3.389            | 0.711    |
| 9  | -7,58600  | 2,90000       | 3,210   | ОФ4        | 1.6541887              | 1.6468524 | 3.231            | -0.723   |
| 10 | 6,54600   | 0,84000       | 2,900   | ВОЗДУХ     | 1.0000000              | 1.0000000 | 2.916            | 0.685    |

|    |           |         |       |         |           |           |       |        |
|----|-----------|---------|-------|---------|-----------|-----------|-------|--------|
| 11 | 18,88000  | 1,50000 | 3,000 | K8      | 1.5182959 | 1.5142938 | 3.024 | 0.244  |
| 12 | 5,67500   | 3,20000 | 3,270 | ФЛЮОРИТ | 1.4349587 | 1.4327866 | 3.291 | 1.052  |
| 13 | -9,37600  | 0,50000 | 3,520 | ВОЗДУХ  | 1.0000000 | 1.0000000 | 3.537 | -0.693 |
| 14 | 77,62000  | 1,50000 | 3,610 | K8      | 1.5182959 | 1.5142938 | 3.627 | 0.085  |
| 15 | 11,01500  | 2,90000 | 3,670 | ФЛЮОРИТ | 1.4349587 | 1.4327866 | 3.690 | 0.636  |
| 16 | -64,57000 |         | 3,780 | ВОЗДУХ  | 1.0000000 | 1.0000000 | 3.804 | -0.112 |

Параксиальные характеристики:

|          |           |           |            |           |            |          |
|----------|-----------|-----------|------------|-----------|------------|----------|
| <b>F</b> | <b>F'</b> | <b>sF</b> | <b>sF'</b> | <b>sH</b> | <b>sH'</b> | <b>L</b> |
| -4.5333  | 4.5333    | .1161     | -8.7808    | 4.6495    | -13.3141   | 24.08    |



Объектив микроскопа

3. Диаметр апертурной диафрагмы:

$$D_{AD} \cong 2 \cdot f'_{об} \cdot A_{об} = 2 \cdot 4,5333 \cdot 0,4 = 3,6266 \text{ мм.}$$

Диаметр полевой диафрагмы:

$$D_{ПД} = -2y_{об} \cdot \beta_{об} = 24,1636 \text{ мм.}$$

Фокусное расстояние микроскопа (расчетное):

$$f'_m = \frac{250}{\Gamma} = -0,625 \text{ мм.}$$

Видимое увеличение окуляра:

$$\overline{\Gamma}_{ок} = \frac{\overline{\Gamma}}{\beta_{об}} = \frac{-400}{(-38,97365)} = 10,26334.$$

Фокусное расстояние окуляра:

$$f'_{ок} = \frac{250}{\overline{\Gamma}_{ок}} = \frac{250}{10,26334} = 24,3585 \text{ мм.}$$

Оптическая длина тубуса:

$$\Delta_0 = -\frac{f'_{об} \cdot f'_{ок}}{f'_m} = -\frac{4,5333 \cdot (-24,3585)}{0,625} = 176,679 \text{ мм.}$$

Линейное увеличение окуляра в зрачках:

$$\beta_{P_{ок}} = -\frac{f'_{ок}}{\Delta_0} = 0,1378.$$

Удаление выходного зрачка:

$$z'_{P'} = \frac{f'^2_{ок}}{\Delta_0} = 3,3583 \text{ мм.}$$

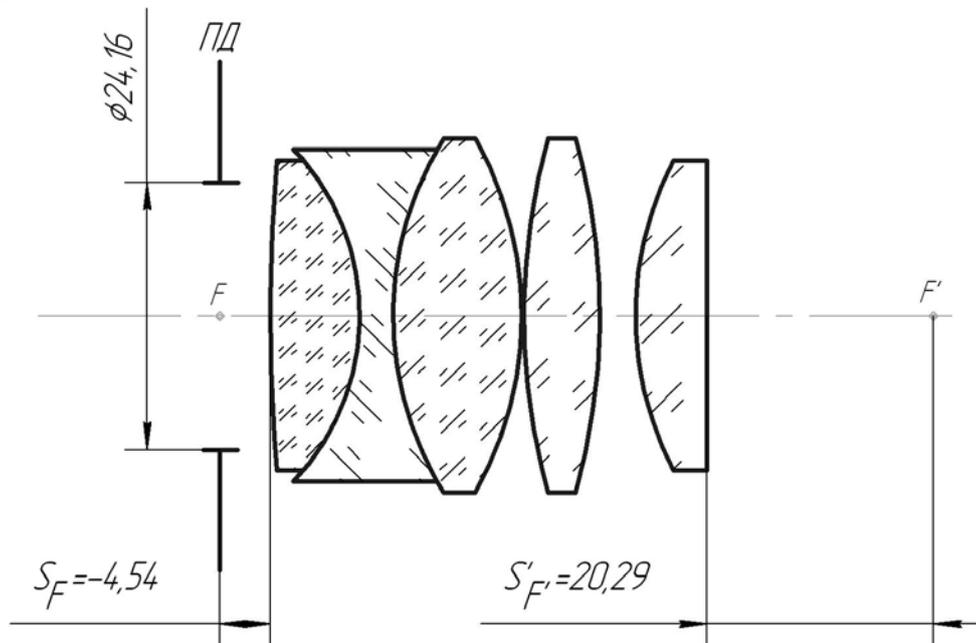
4. **Окуляр.**  $D = 2 \text{ мм}$ ,  $2\omega = 60^\circ$ .

Конструктивные параметры:

| N | Радиусы   | Осевые расст. | Высо-ты | Марки Кат. | Показатели преломления |           | Свето-вые высоты | Стрел-ки |
|---|-----------|---------------|---------|------------|------------------------|-----------|------------------|----------|
|   |           |               |         |            | L0=0.5461              | L1=0.4800 |                  |          |
| 0 |           |               |         | Россия     | 1.0000000              | 1.0000000 |                  |          |
|   |           |               |         | ВОЗДУХ     | 1.0000000              | 1.0000000 |                  |          |
| 1 | 165,96000 | 0,00000       | 14,000  | К8         | 1.5182959              | 1.5224062 | 13,324           | 0,536    |
| 2 | -21,88000 | 3,00000       | 14,000  | ТФ4        | 1.0000000              | 1.0000000 | 13,284           | -4,494   |
| 3 | 30,76000  | 11,50000      | 16,000  | К8         | 1.5182959              | 1.5224062 | 14,198           | 3,468    |
| 4 | -32,81000 | 0,20000       | 16,000  | ВОЗДУХ     | 1.0000000              | 1.0000000 | 14,977           | -3,618   |
| 5 | 60,81000  | 6,80000       | 16,000  | БК8        | 1.5488596              | 1.5533121 | 15,057           | 1,894    |
| 6 | -60,81000 | 3,20000       | 16,000  | ВОЗДУХ     | 1.0000000              | 1.0000000 | 14,810           | -1,831   |
| 7 | 30,48000  | 6,40000       | 14,000  | БК8        | 1.5488596              | 1.5533121 | 12,652           | 2,750    |
| 8 | 0,0       |               | 14,000  | ВОЗДУХ     | 1.0000000              | 1.0000000 | 11,419           | 0,000    |

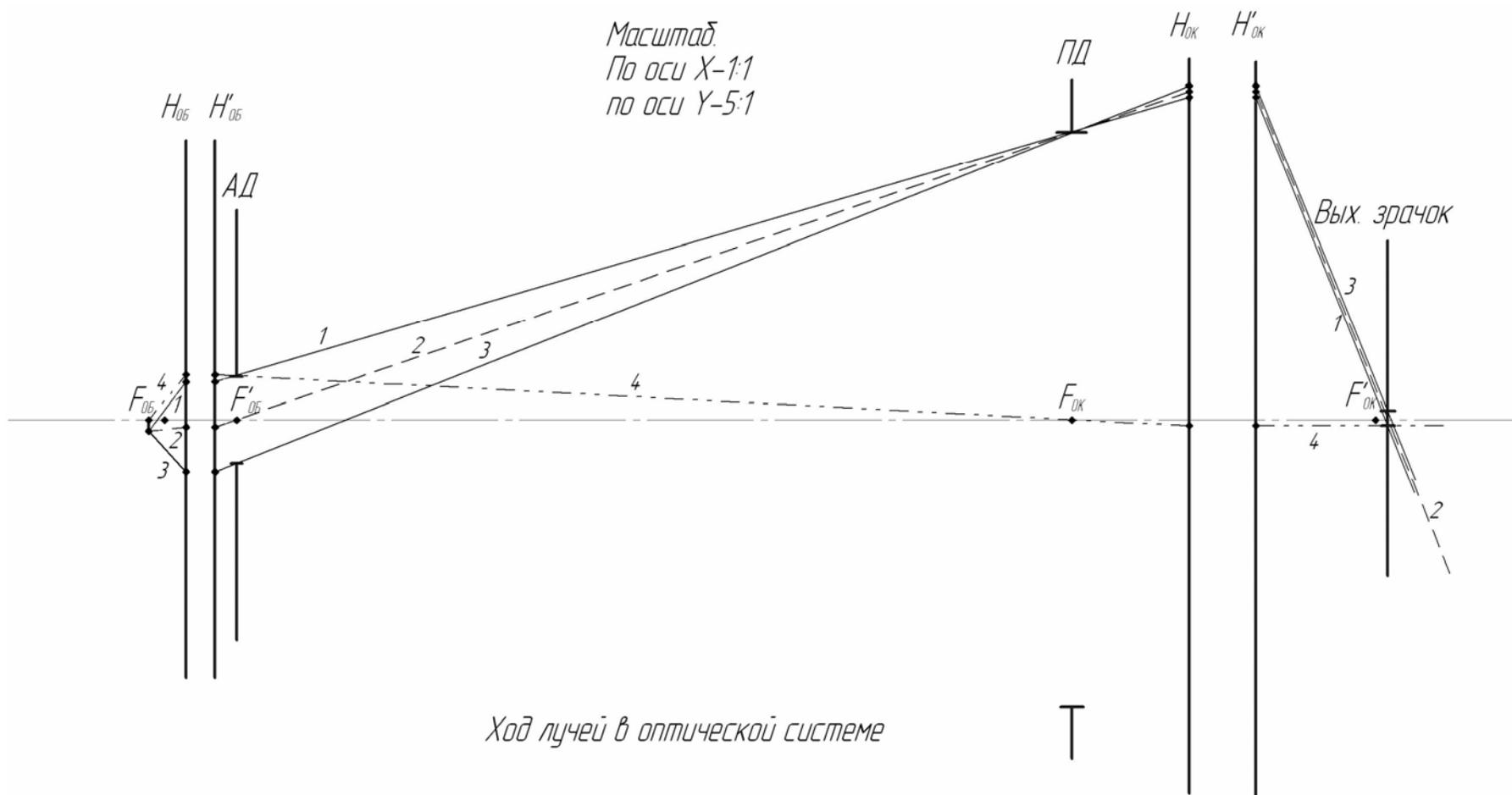
Параксиальные характеристики:

$F$        $F'$        $sF$        $sF'$        $sH$        $sH'$        $L$   
 -25.0103    25.0103    -4.5397    20.2919    20.4706    -4.7184    39.10



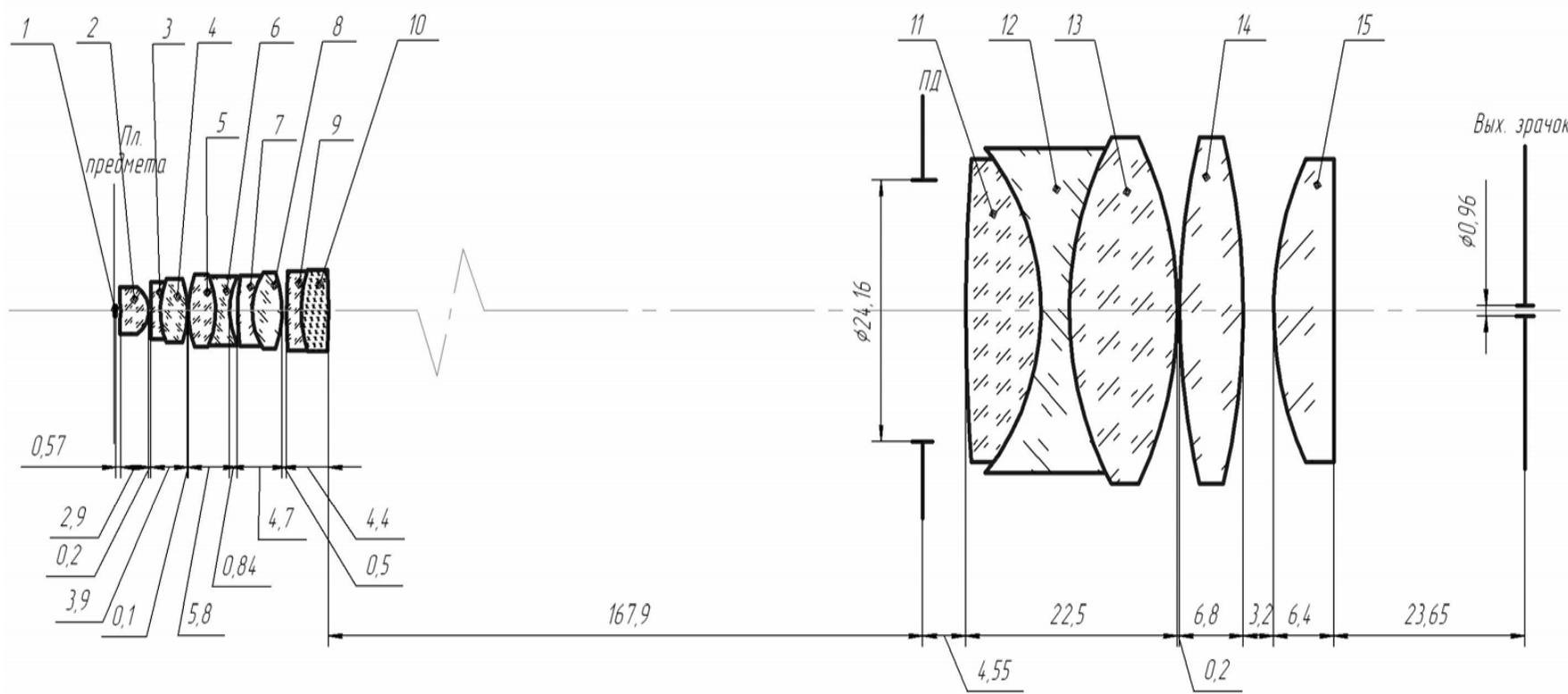
*Окуляр микроскопа*

## 5. Весь микроскоп.



Видимое увеличение  $\Gamma=400^*$ ,  
 Числовая апертура в пространстве предметов  $A=0,4$ ;  
 Линейное поле в пространстве предметов  $2y=0,62$

| № поз | $f'$    | $S_F$   | $S'_F$  |
|-------|---------|---------|---------|
| 1-10  | 4,5333  | 0,1161  | -8,7808 |
| 11-15 | 25,0103 | -4,5397 | 20,2919 |
| все   | -0,6417 | -0,0002 | 23,8323 |



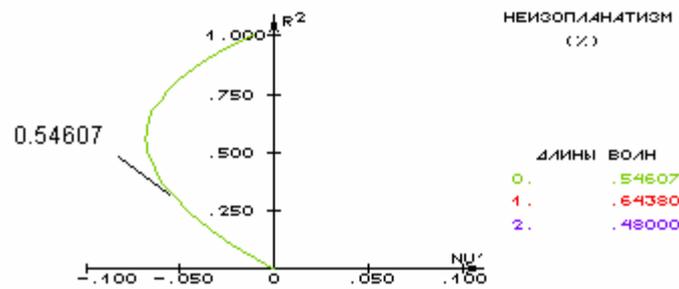
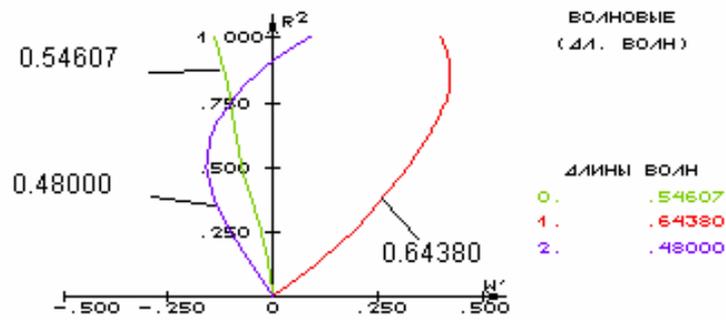
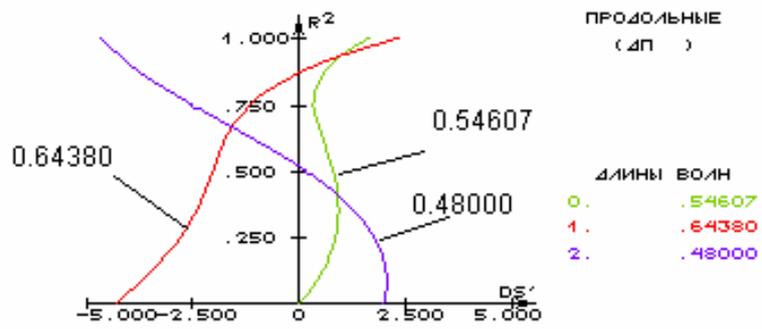
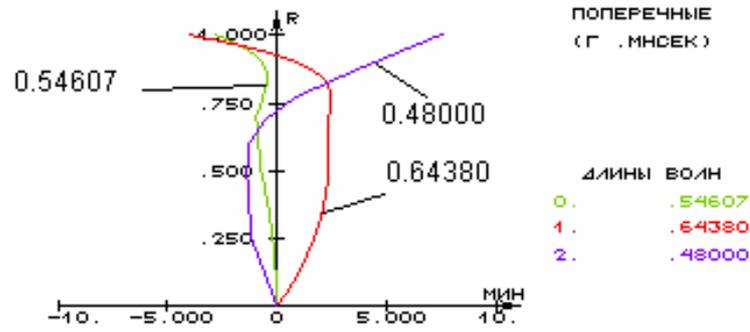
### Конструктивные параметры:

| N  | Радиусы   | Осевые расст. | Высо-ты | Марки Кат. | Показатели преломления |           | Свето-вые высоты | Стрел-ки |
|----|-----------|---------------|---------|------------|------------------------|-----------|------------------|----------|
|    |           |               |         |            | L0=0.5461              | L1=0.6438 |                  |          |
|    |           |               |         | Россия     |                        |           |                  |          |
| 0  |           |               |         | ВОЗДУХ     | 1,0000000              | 1,0000000 |                  |          |
| 1  | 0,0       | 0,17000       | 0,500   | К14        | 1,5168046              | 1,5125989 | 0,313            | 0,000    |
| 2  | 0,0       | 0,57100       | 0,500   | ВОЗДУХ     | 1,0000000              | 1,0000000 | 0,409            | 0,000    |
| 3  | -2,93800  | 2,90000       | 0,890   | ТК17       | 1,6305146              | 1,6252876 | 0,898            | -0,140   |
| 4  | -2,48900  | 0,20000       | 2,180   | ВОЗДУХ     | 1,0000000              | 1,0000000 | 2,179            | -1,286   |
| 5  | 788,90000 | 1,00000       | 2,650   | ТФ1        | 1,6521904              | 1,6429543 | 2,658            | 0,004    |
| 6  | 7,01500   | 2,90000       | 0,898   | ТК17       | 1,6305146              | 1,6252876 | 2,978            | 0,660    |
| 7  | -8,55100  | 0,10000       | 3,260   | ВОЗДУХ     | 1,0000000              | 1,0000000 | 3,281            | -0,654   |
| 8  | 8,43300   | 2,90000       | 3,350   | ТК17       | 1,6305146              | 1,6252876 | 3,389            | 0,711    |
| 9  | -7,58600  | 2,90000       | 3,210   | ОФ4        | 1,6541887              | 1,6468524 | 3,231            | -0,723   |
| 10 | 6,54600   | 0,84000       | 2,900   | ВОЗДУХ     | 1,0000000              | 1,0000000 | 2,916            | 0,685    |
| 11 | 18,88000  | 1,50000       | 3,000   | К8         | 1,5182959              | 1,5142938 | 3,824            | 0,244    |
| 12 | 5,67500   | 3,20000       | 3,270   | ФЛЮОРИТ    | 1,4349587              | 1,4327866 | 3,291            | 1,052    |
| 13 | -9,37600  | 0,50000       | 3,528   | ВОЗДУХ     | 1,0000000              | 1,0000000 | 3,537            | -0,693   |
| 14 | 77,62000  | 1,50000       | 3,618   | К8         | 1,5182959              | 1,5142938 | 12,841           | 0,498    |
| 15 | 11,01500  | 2,90000       | 3,678   | ФЛЮОРИТ    | 1,4349587              | 1,4327866 | 3,698            | 0,636    |
| 16 | -64,57000 | 172,4397      | 3,780   | ВОЗДУХ     | 1,0000000              | 1,0000000 | 3,804            | -0,112   |
| 17 | 165,96000 | 0,00000       | 14,000  | К8         | 1,5182959              | 1,5142938 | 12,841           | 0,498    |
| 18 | -21,88000 | 3,00000       | 14,000  | ТФ4        | 1,7462310              | 1,7683182 | 12,943           | -4,239   |
| 19 | 30,76000  | 11,50000      | 16,000  | К8         | 1,5182959              | 1,5142938 | 14,178           | 3,462    |
| 20 | -32,81000 | 0,20000       | 16,000  | ВОЗДУХ     | 1,0000000              | 1,0000000 | 15,195           | -3,731   |
| 21 | 60,81000  | 6,80000       | 16,000  | БК8        | 1,5488596              | 1,5533121 | 15,866           | 2,106    |
| 22 | -60,81000 | 3,20000       | 16,000  | ВОЗДУХ     | 1,0000000              | 1,0000000 | 15,798           | -2,088   |
| 23 | 30,48000  | 6,40000       | 14,000  | БК8        | 1,5488596              | 1,5533121 | 14,067           | 3,440    |
| 24 | 0,0       | 0,0           | 14,000  | ВОЗДУХ     | 1,0000000              | 1,0000000 | 13,157           | 0,000    |

### Аберрации осевых пучков:

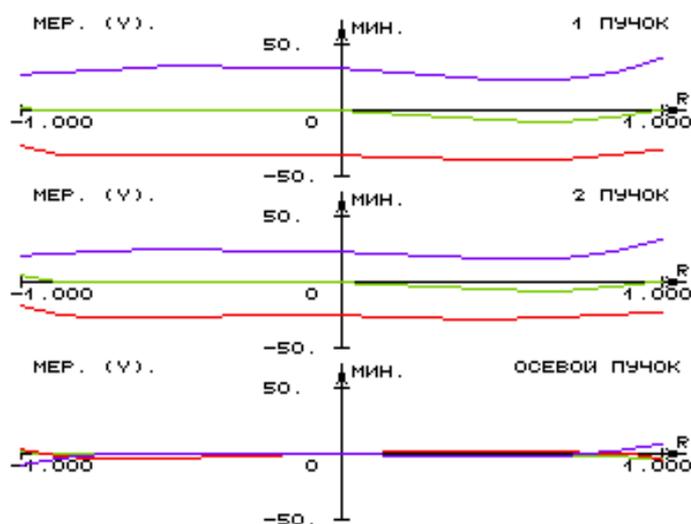
| Отн. зр<br>-коор. | Продольные аберрации (дптр) |          |          | Поперечные аберрации (гр.мнсек) |          |          |
|-------------------|-----------------------------|----------|----------|---------------------------------|----------|----------|
|                   | 0                           | 1        | 2        | 0                               | 1        | 2        |
| 1.000             | 1.65246                     | 2.36791  | -4.67719 | -.024406                        | -.035951 | .073879  |
| .866              | .32978                      | -1.15191 | -2.48729 | -.002837                        | .014066  | .033100  |
| .707              | .78075                      | -2.02255 | .18080   | -.005484                        | .022423  | -.001250 |
| .500              | .86442                      | -2.80491 | 1.77164  | -.004293                        | .022133  | -.012645 |
| .000              | .00000                      | -4.28980 | 1.99405  | .000000                         | .000000  | .000000  |

| Tg' *100 | Волновые аберрации (дл. волн) |       |        | Неизопл. (%) | H ЗР (tg*100) |
|----------|-------------------------------|-------|--------|--------------|---------------|
|          | 0                             | 1     | 2      |              |               |
| -.481    | -.1384                        | .4012 | .0915  | -.0103       | 113.3893      |
| -.417    | -.1032                        | .4112 | -.1019 | -.0582       | 85.4242       |
| -.341    | -.0748                        | .3204 | -.1583 | -.0678       | 62.5543       |
| -.241    | -.0275                        | .1903 | -.1024 | -.0464       | 40.4520       |
| .000     | .0000                         | .0000 | .0000  | .0000        | .0000         |



## Аберрации внеосевых пучков:

| Вых. координаты<br>Канон. | координаты<br>(мм) | Поперечные аберрации в (гр.мнсек) |          |                  |
|---------------------------|--------------------|-----------------------------------|----------|------------------|
|                           |                    | 0                                 | 1        | 2                |
| Меридиональное сечение    |                    |                                   | Пучок 1  | $\psi = -0.3125$ |
| 1.000                     | -0.85              | .003888                           | -.293189 | .395830          |
| .866                      | -.78               | -.050220                          | -.331967 | .290930          |
| .707                      | -.70               | -.080296                          | -.362291 | .240904          |
| .500                      | -.59               | -.064651                          | -.360577 | .245790          |
| .000                      | -.32               | .000000                           | -.321898 | .325515          |
| -.500                     | -.06               | .012210                           | -.324995 | .342241          |
| -.707                     | .05                | .003066                           | -.332109 | .315574          |
| -.866                     | .13                | .000073                           | -.323307 | .284096          |
| -1.000                    | .20                | .033275                           | -.264151 | .280762          |
| Меридиональное сечение    |                    |                                   | Пучок 2  | $\psi = -0.2500$ |
| 1.000                     | -.78               | .012094                           | -.215192 | .334014          |
| .866                      | -.71               | -.031124                          | -.240060 | .232128          |
| .707                      | -.63               | -.060758                          | -.264456 | .180148          |
| .500                      | -.53               | -.051991                          | -.265290 | .180848          |
| .000                      | -.29               | .000000                           | -.245390 | .244206          |
| -.500                     | -.04               | .011524                           | -.260362 | .261617          |
| -.707                     | .06                | .010209                           | -.260451 | .242381          |
| -.866                     | .14                | .011956                           | -.242459 | .213634          |
| -1.000                    | .20                | .055962                           | -.165904 | .212079          |



Уточним увеличение микроскопа и диаметр выходного зрачка:

$$\bar{\Gamma} = 389,57^x;$$

$$D' = 0,96 \text{ мм.}$$

### Анализ качества изображения:

Качество изображения на оси, на краю поля и на зоне вполне удовлетворительное только для основной длины волны, а для других длин волн большой хроматизм увеличения.

## МОДУЛЬ №3

### Тема 3.2. Телескопические системы.

#### Основы расчёта и проектирования оптических систем

#### Лабораторная работа «Телескопическая система»

##### Исходные данные:

$$\Gamma_T = 5,8^x; \quad D' = 5 \text{ мм}; \quad 2\omega = 7^\circ; \quad a_p = -20 \text{ мм};$$

относительное отверстие объектива и окуляра 1:5. После объектива расположена призмная система Малафеева - Порро I рода.

##### Задание для работы:

1. Исходя из заданных характеристик телескопической системы, выполнить габаритный расчет, который включает в себя определение фокусных расстояний объектива и окуляра, длины трубы, угловых полей в пространстве предметов и изображений, размеров входного и выходного зрачков, их положений в системе, размера полевой диафрагмы, диаметров объектива и окуляра, размеры граней призмы.
2. По полученным данным подобрать объектив и окуляр из каталогов оптических систем и библиотеки оптических систем программы «ОПАЛ».
3. Составить телескопическую систему и определить расстояния между компонентами.
4. Выполнить построение хода апертурного, главного и двух крайних лучей наклонного пучка.
5. Определить aberrации простой зрительной трубы.
6. Выполнить чертеж оптической схемы по ГОСТ 2.412-81.

##### Габаритный расчет простой трубы Кеплера.

1. Найдем  $f'_{ок}$ .

$$\frac{D'}{f'_{ок}} = \frac{1}{5} \Rightarrow f'_{ок} = 25 \text{ мм}.$$

2. Выбираем окуляр  $f'_{ок} = 26 \text{ мм}; 2\omega = 62^\circ; d = 5 \text{ мм}.$

3. Находим  $f'_{об}$ .

$$\Gamma_T = -\frac{f'_{об}}{f'_{ок}}, \quad f'_{об} = -\Gamma_T \cdot f'_{ок} = -(-5,8) \cdot 26 = 150 \text{ мм}.$$

4. Выбираем объектив. Таир-56  $f' = 150 \text{ мм}; 1:2,8; 2\omega = 10^\circ$ .

5. Находим диаметр входного зрачка

$$D = \Gamma_T \cdot D' = 5,8 \cdot 5 = 29 \text{ мм}.$$

6. Находим диаметр полевой диафрагмы

$$D_{ПД} = 2 \cdot f'_{об} \cdot \text{tg}\omega = 26,25 \text{ мм}.$$

7. Длина системы

$$L = f'_{об} + f'_{ок} = 150 + 26 = 176 \text{ мм}.$$

8. Расстояние между объективом и окуляром без призмы

$$d = S'_{F'_{об}} - S_{F_{ок}} = 88,071 - 20,799 = 67,272 \text{ мм}.$$

|               |  |  |  |
|---------------|--|--|--|
| Перв. примен. |  |  |  |
| Справ. №      |  |  |  |
| Подп. и дата  |  |  |  |
| Инв. № дубл.  |  |  |  |
| Взам. инв. №  |  |  |  |
| Подп. и дата  |  |  |  |
| Инв. № подл.  |  |  |  |

| №     | $f'$    | $S_F$   | $S'_F$  |
|-------|---------|---------|---------|
| 1     | 803.88  | -472.31 | 776.79  |
| 2     | -651.46 | 1056.14 | -653.51 |
| 3     | 187.04  | -190.19 | 177.81  |
| 4     | -459.83 | 542.28  | -395.84 |
| Сист. | 150     | -184.04 | 88.07   |

| Радиусы | $d$    | Марки | $n_e$       |
|---------|--------|-------|-------------|
| 0       |        |       |             |
| 1       | 186.21 | 16.4  | TK-9 1.6199 |
| 2       | -84.14 | 4.4   | ТФ-3 1.7232 |
| 3       | 2355   | 0.1   |             |
| 4       | 78.34  | 10.1  | TK-9 1.6199 |
| 5       | 229.6  | 23.2  |             |
| 6       | 26     | 10.6  | K-8 1.5183  |
| 7       | 20.18  |       |             |

1. Фокусное расстояние  $f'=150$   
 2. Угловое поле  $2\omega=10^\circ$   
 3. Относительное отверстие 1:5

|          |      |          |       |      |  |  |  |      |        |         |
|----------|------|----------|-------|------|--|--|--|------|--------|---------|
|          |      |          |       |      |  |  |  |      |        |         |
| Изм.     | Лист | № докум. | Подп. | Дата | Объектив<br>телескопической<br>системы |  |  | Лит. | Масса  | Масштаб |
| Разраб.  |      |          |       |      |  |  |  | Лит. | Листов |         |
| Проб.    |      |          |       |      |  |  |  |      |        |         |
| Т.контр. |      |          |       |      |  |  |  |      |        |         |
| Н.контр. |      |          |       |      |  |  |  |      |        |         |
| Утв.     |      |          |       |      |  |  |  |      |        |         |

|               |              |  |  |
|---------------|--------------|--|--|
| Перв. примен. |              |  |  |
| Справ. №      |              |  |  |
| Подп. и дата  |              |  |  |
| Взам. инв. №  | Инв. № дубл. |  |  |
| Инв. № подл.  |              |  |  |

| №     | $f'$    | $S_F$   | $S'_F$  | Радиусы | $d$    | Марки | $n_e$ |
|-------|---------|---------|---------|---------|--------|-------|-------|
| 1     | 69.23   | -63.44  | 68.93   | 0       |        |       |       |
| 2     | 1040.4  | -627.74 | 967.46  | 1       | 727.8  | К-8   | 1.518 |
| 3     | 193.9   | -305.03 | 196.27  | 2       | -37.58 | 0.3   |       |
| 4     | 88.79   | -53.29  | 65.9    | 3       | 105.93 | ТК-16 | 1.615 |
| 5     | -144.59 | 237.82  | -144.82 | 4       | -29.51 | 4.8   | ТФ-4  |
| 6     | -140.96 | 79.52   | -14.736 | 5       | -78.7  | 10    |       |
| 7     | 163.39  | -256.73 | 158.35  | 6       | 31.92  | 21.6  | ТК-16 |
| Сист. | 25.86   | -23.71  | -20.77  | 7       | -122.5 | 4.8   | ТФ-2  |
|       |         |         |         | 8       | 105.93 | 13.5  |       |
|       |         |         |         | 9       | -30.41 | 3.8   | БК-10 |
|       |         |         |         | 10      | 28.58  | 8.8   | ТФ-4  |
|       |         |         |         | 11      | 0.0    |       |       |

|                       |                    |
|-----------------------|--------------------|
| 1. Видимое увеличение | $\Gamma=9.6$       |
| 2. Угловое поле       | $2\omega=62^\circ$ |
| 3. Диаметр вых. зр.   | $D'=5\text{мм}$    |

|          |      |          |       |      |                                      |      |       |         |
|----------|------|----------|-------|------|--------------------------------------|------|-------|---------|
| Изм.     | Лист | № докум. | Подп. | Дата | Окуляр<br>телескопической<br>системы | Лит. | Масса | Масштаб |
| Разраб.  |      |          |       |      |                                      |      |       | 1:1     |
| Проб.    |      |          |       |      |                                      |      |       |         |
| Т.контр. |      |          |       |      |                                      |      |       |         |
| И.контр. |      |          |       |      |                                      |      |       |         |
| Утв.     |      |          |       |      |                                      |      |       |         |

**Конструктивные параметры всей системы.**

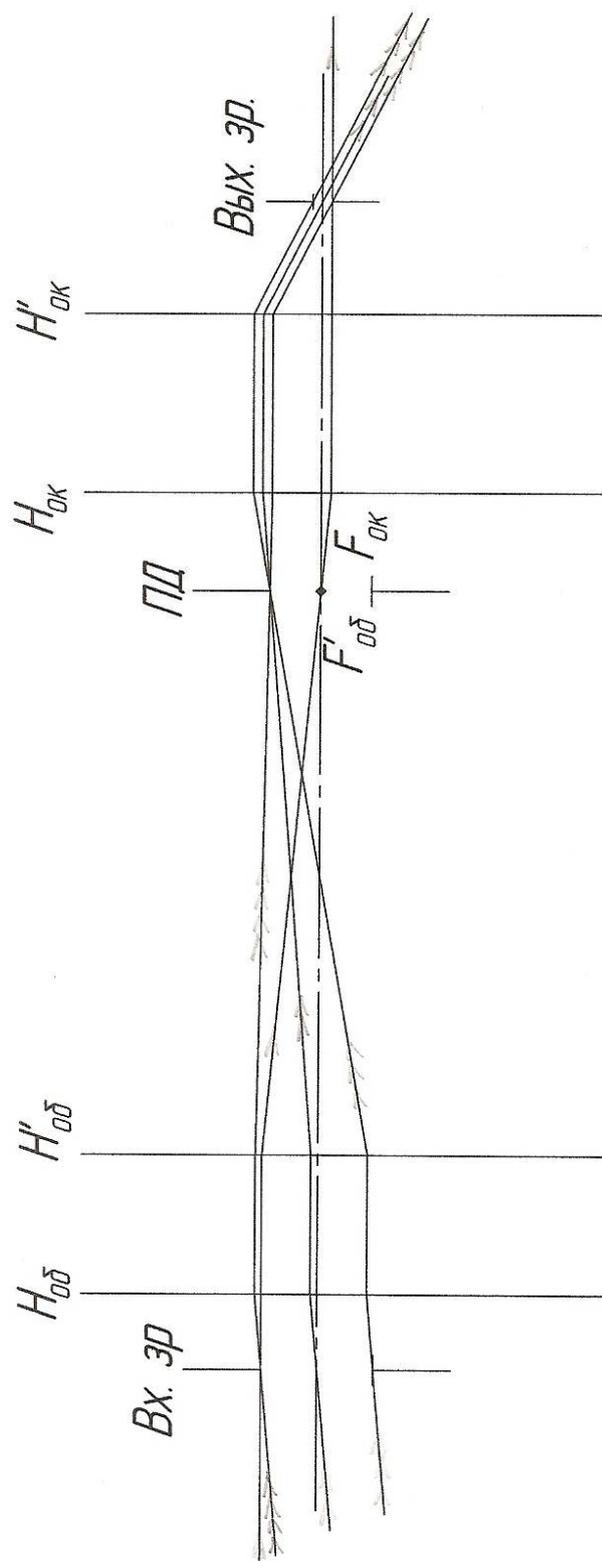
| № поверхности | Радиусы ( $r$ ) | Осевые расстояния ( $d$ ) | Марки стекла | Показатель преломления. ( $n_e$ ) | Световые диаметры | Стрелки |
|---------------|-----------------|---------------------------|--------------|-----------------------------------|-------------------|---------|
| 0             |                 |                           |              |                                   |                   |         |
| 1             | 186,21          | 16,4                      | ТК-9         | 1,6199                            | 31,79             | 0,680   |
| 2             | -84,14          | 4,4                       | ТФ-3         | 1,7232                            | 32,036            | -1,539  |
| 3             | 2355            | 0,1                       |              |                                   | 32,266            | 0,055   |
| 4             | 78,34           | 10,01                     | ТК-9         | 1,6199                            | 32,198            | 1,693   |
| 5             | 229,6           | 23,2                      |              |                                   | 31,38             | 0,537   |
| 6             | 26              | 10,6                      | К-8          | 1,5183                            | 28,692            | 4,316   |
| 7             | 20,18           | 10,89                     |              |                                   | 23,706            | 3,848   |
| 8             | 0               | 76,16                     | К-8          | 1,5183                            | 23,422            | 0       |
| 9             | 0               | 6,25                      |              |                                   | 21,388            | 0       |
| 10            | 0               | 8,8                       | ТФ-4         | 1,746                             | 21,134            | 0       |
| 11            | -28,58          | 3,8                       | БК-10        | 1,571                             | 20,976            | -1,994  |
| 12            | 30,41           | 13,5                      |              |                                   | 20,142            | 1,716   |
| 13            | -105,93         | 4,8                       | ТФ-2         | 1,678                             | 22,686            | -0,609  |
| 14            | 122,46          | 21,6                      | ТК-16        | 1,615                             | 25,136            | 0,647   |
| 15            | -31,92          | 10                        |              |                                   | 32,712            | -4,509  |
| 16            | 78,7            | 4,8                       | ТФ-4         | 1,746                             | 33,428            | 1,795   |
| 17            | 29,51           | 19,5                      | ТК-16        | 1,615                             | 32,2              | 4,779   |
| 18            | -105,93         | 0,3                       |              |                                   | 31,206            | -1,156  |
| 19            | 37,58           | 9,2                       | К-8          | 1,5183                            | 29,818            | 3,084   |
| 20            | -727,8          |                           |              |                                   | 26,888            | -0,124  |

Видимое увеличение  $\Gamma=5,8$ .

Угловое поле  $2\omega=10^\circ$ .

Диаметр выходного зрачка 5 мм.

Ход лучей в телескопической системе



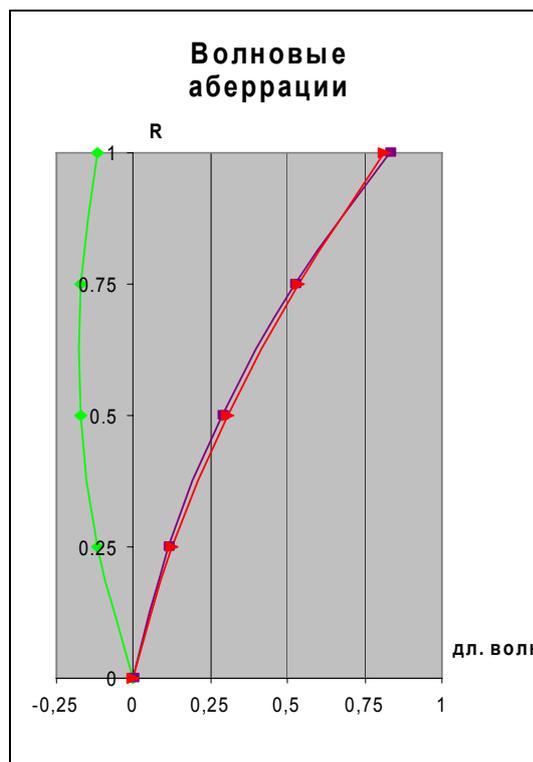
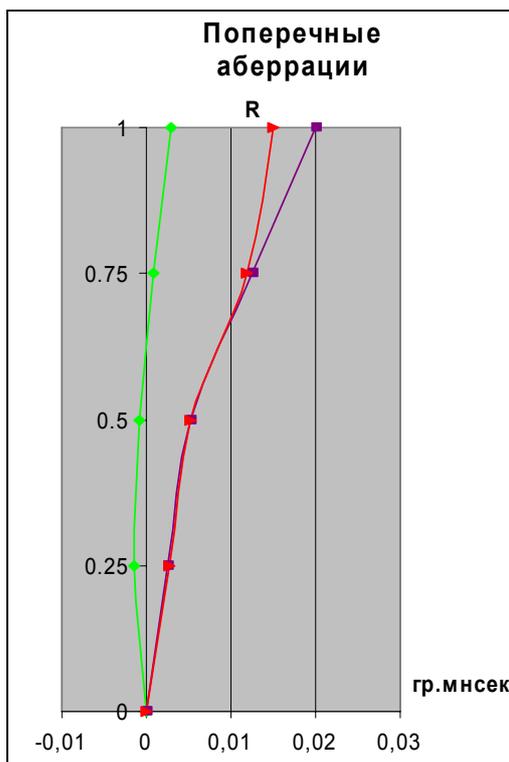
| Перв. примен.   |   |          |         |           |           |          |         |           |         |   |          |     |     |         |       |        |        |        |          |       |       |      |       |          |  |  |  |  |      |  |  |  |  |
|---|---|----------|---------|-----------|-----------|----------|---------|-----------|---------|---|----------|-----|-----|---------|-------|--------|--------|--------|----------|-------|-------|------|-------|----------|--|--|--|--|------|--|--|--|--|
| Справ. №  |   |          |         |           |           |          |         |           |         |   |          |     |     |         |       |        |        |        |          |       |       |      |       |          |  |  |  |  |      |  |  |  |  |
| Подп. и дата  | <p>5, 6 - система Малафеева-Порро I рода</p> <table border="1" style="margin: auto;"> <thead> <tr> <th></th> <th>№ позиции</th> <th><math>f'</math></th> <th><math>S_F</math></th> <th><math>S'_{F'}</math></th> <th><math>S_H</math></th> <th><math>S'_H</math></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Объектив</td> <td>1-4</td> <td>150</td> <td>-184,04</td> <td>88,07</td> <td>-34,04</td> <td>-61,93</td> </tr> <tr> <td>Окуляр</td> <td>7-13</td> <td>25,86</td> <td>20,76</td> <td>23,8</td> <td>46,66</td> <td>-2,09</td> </tr> </tbody> </table> <p>1. Видимое увеличение 5,8<br/>                 2. Угловое поле <math>2\omega=10^\circ</math><br/>                 3. Диаметр вых. зр. 5мм</p> |          |         |           | № позиции | $f'$     | $S_F$   | $S'_{F'}$ | $S_H$   | $S'_H$  | Объектив | 1-4 | 150 | -184,04 | 88,07 | -34,04 | -61,93 | Окуляр | 7-13     | 25,86 | 20,76 | 23,8 | 46,66 | -2,09    |  |  |  |  |      |  |  |  |  |
|   | № позиции   | $f'$     | $S_F$   | $S'_{F'}$ | $S_H$     | $S'_H$   |         |           |         |   |          |     |     |         |       |        |        |        |          |       |       |      |       |          |  |  |  |  |      |  |  |  |  |
| Объектив  | 1-4   | 150      | -184,04 | 88,07     | -34,04    | -61,93   |         |           |         |   |          |     |     |         |       |        |        |        |          |       |       |      |       |          |  |  |  |  |      |  |  |  |  |
| Окуляр  | 7-13  | 25,86    | 20,76   | 23,8      | 46,66     | -2,09    |         |           |         |   |          |     |     |         |       |        |        |        |          |       |       |      |       |          |  |  |  |  |      |  |  |  |  |
| Взам. инв. №  | Инв. № дубл.  | Инв. №   | Инв. №  |           |           |          |         |           |         |   |          |     |     |         |       |        |        |        |          |       |       |      |       |          |  |  |  |  |      |  |  |  |  |
| Подп. и дата  | <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Изм.</th> <th>Лист</th> <th>№ докум.</th> <th>Подп.</th> <th>Дата</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Разраб.</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Пров.</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Т.контр.</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Н.контр.</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Утв.</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>  |          |         | Изм.      | Лист      | № докум. | Подп.   | Дата      | Разраб. |   |          |     |     | Пров.   |       |        |        |        | Т.контр. |       |       |      |       | Н.контр. |  |  |  |  | Утв. |  |  |  |  |
| Изм.  | Лист  | № докум. | Подп.   | Дата      |           |          |         |           |         |   |          |     |     |         |       |        |        |        |          |       |       |      |       |          |  |  |  |  |      |  |  |  |  |
| Разраб.   |   |          |         |           |           |          |         |           |         |   |          |     |     |         |       |        |        |        |          |       |       |      |       |          |  |  |  |  |      |  |  |  |  |
| Пров.   |   |          |         |           |           |          |         |           |         |   |          |     |     |         |       |        |        |        |          |       |       |      |       |          |  |  |  |  |      |  |  |  |  |
| Т.контр.  |   |          |         |           |           |          |         |           |         |   |          |     |     |         |       |        |        |        |          |       |       |      |       |          |  |  |  |  |      |  |  |  |  |
| Н.контр.  |   |          |         |           |           |          |         |           |         |   |          |     |     |         |       |        |        |        |          |       |       |      |       |          |  |  |  |  |      |  |  |  |  |
| Утв.  |   |          |         |           |           |          |         |           |         |   |          |     |     |         |       |        |        |        |          |       |       |      |       |          |  |  |  |  |      |  |  |  |  |
| Инв. № подл.  | <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2" rowspan="2">Лит.</th> <th rowspan="2">Масса</th> <th rowspan="2">Масштаб</th> </tr> <tr> <th>Лист</th> <th>Листов</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;"> <p style="font-size: 1.2em; font-weight: bold;">Схема оптическая<br/>принципиальная</p> </td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>   |          |         | Лит.      |           | Масса    | Масштаб | Лист      | Листов  | <p style="font-size: 1.2em; font-weight: bold;">Схема оптическая<br/>принципиальная</p> |          |     |     |         |       |        |        |        |          |       |       |      |       |          |  |  |  |  |      |  |  |  |  |
| Лит.  |   | Масса    | Масштаб |           |           |          |         |           |         |   |          |     |     |         |       |        |        |        |          |       |       |      |       |          |  |  |  |  |      |  |  |  |  |
|   |   |          |         | Лист      | Листов    |          |         |           |         |   |          |     |     |         |       |        |        |        |          |       |       |      |       |          |  |  |  |  |      |  |  |  |  |
| <p style="font-size: 1.2em; font-weight: bold;">Схема оптическая<br/>принципиальная</p> |   |          |         |           |           |          |         |           |         |   |          |     |     |         |       |        |        |        |          |       |       |      |       |          |  |  |  |  |      |  |  |  |  |

**Аберрации осевого пучка:**

| Угловые аберрации |         |          |          |
|-------------------|---------|----------|----------|
| Отн. зр. коор.    | $e$     | $F'$     | $C'$     |
| 1.000             | 29''88  | 2'0''59  | 1'49''83 |
| 0.866             | 8''37   | 1'24''63 | 1'19''27 |
| 0.707             | -7''57  | 52''76   | 51''73   |
| 0.500             | -15''57 | 25''68   | 27''40   |
| 0.000             | 0       | 0        | 0        |

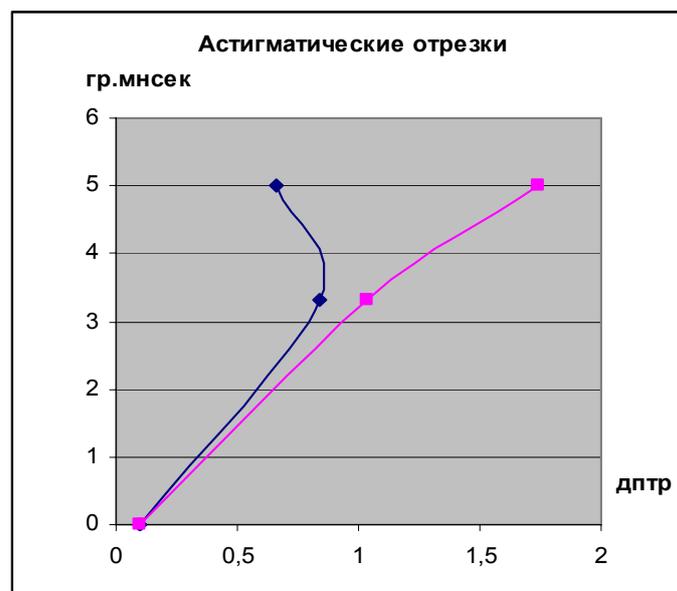
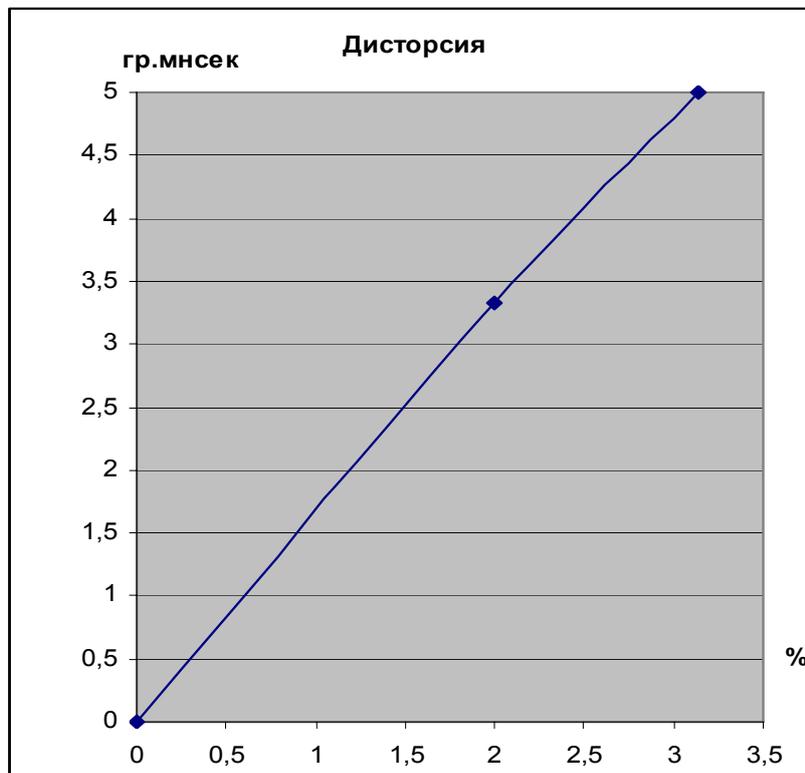
| Волновые аберрации |         |        |        |
|--------------------|---------|--------|--------|
| Отн. зр. коор.     | $e$     | $F'$   | $C'$   |
| 1.000              | -0,1193 | 0,8281 | 0,8150 |
| 0.866              | -0,1743 | 0,5244 | 0,5344 |
| 0.707              | -0,1729 | 0,2850 | 0,3051 |
| 0.500              | -0,1148 | 0,1101 | 0,1270 |
| 0.000              | 0       | 0      | 0      |

| Неизопланатизм (%) |         |
|--------------------|---------|
| Отн. зр. коор.     |         |
| 1.000              | -0,0938 |
| 0.866              | -0,0704 |
| 0.707              | -0,0469 |
| 0.500              | -0,0235 |
| 0.000              | 0       |

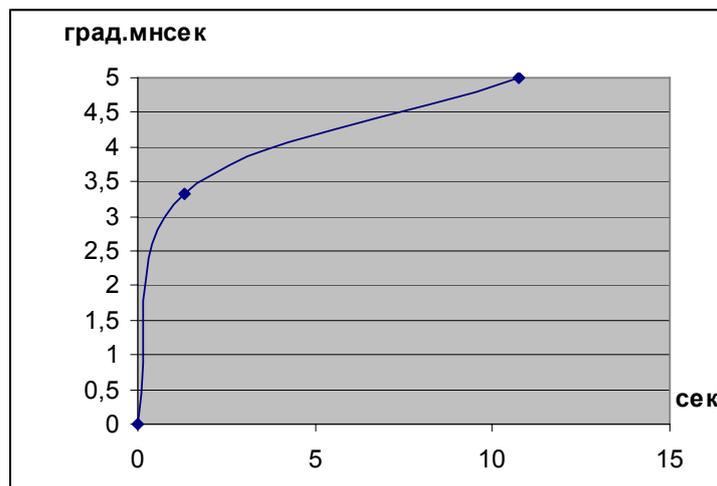


**Аберрации точки вне оси:**

| Угловое поле в пространстве предметов |            | Угловое поле в пространстве изображений | Дисторсия | Астигматические отрезки |               | $\Delta\omega_{F'-C'}$ , град. |
|---------------------------------------|------------|---|-----------|-------------------------|---------------|--------------------------------|
| относ.                                | гр. мнсек  | гр. мнсек                               | %         | $L'_m$ , дптр           | $L'_s$ , дптр |                                |
| 1,000                                 | 5°         | -27°38'22"50                            | 3,1339    | 0,6609                  | 1,7374        | 10''76                         |
| 0,707                                 | 3°32'22"17 | -20°06'39"40                            | 2,0007    | 0,8352                  | 1,0392        | 1''3                           |



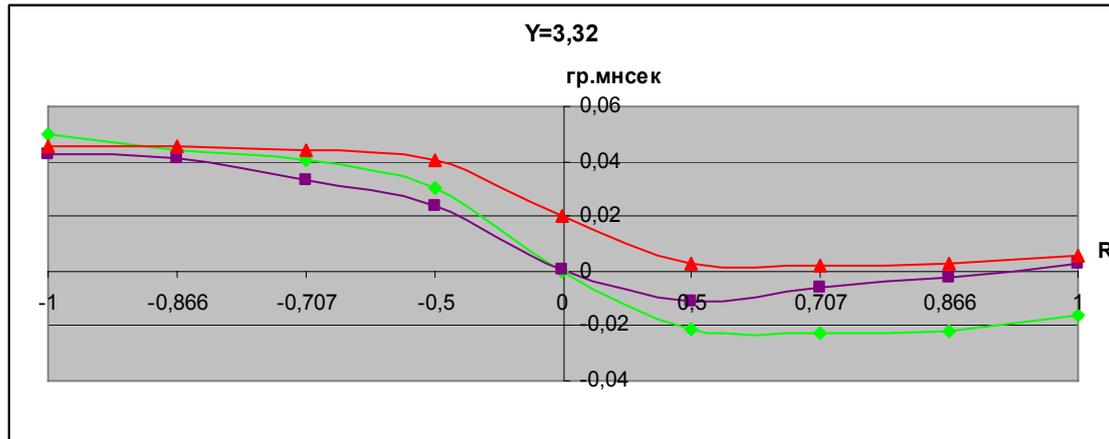
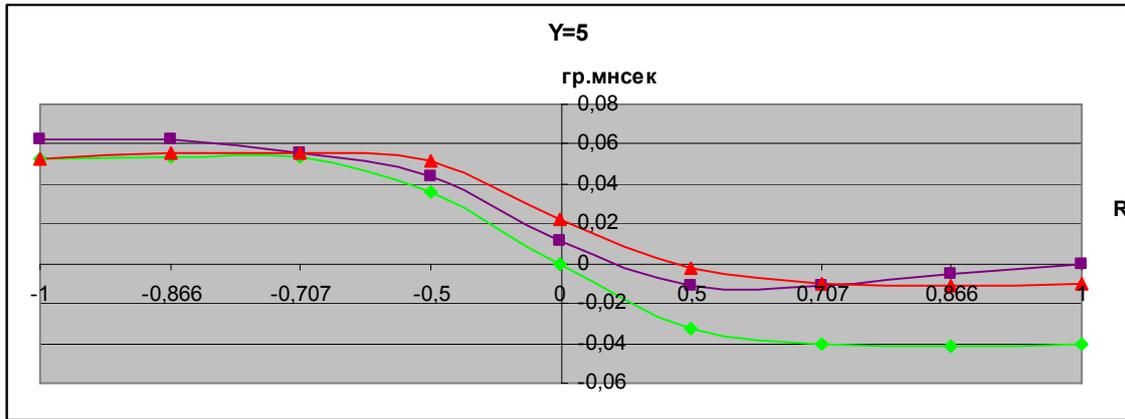
$$\Delta\omega_{F'-C'}$$



**Аберрации внеосевого пучка**

| Угловые аберрации                         |           |           |           |
|---|-----------|-----------|-----------|
| Вых. координаты                           | e         | F'        | C'        |
| Меридиональное сечение $\omega = 5^\circ$ |           |           |           |
| 1.000                                     | -4'05''41 | -3''83    | -1'00''77 |
| 0.866                                     | -4'16''80 | -47''81   | -1'10''11 |
| 0.707                                     | -4'07''07 | -1'12''30 | -1'01''24 |
| 0.500                                     | -3'22''96 | -1'06''05 | -23''22   |
| 0.000                                     | 0         | 1'13''88  | 2'24''87  |
| -0.500                                    | 3'54''85  | 4'41''99  | 5'19''18  |
| -0.707                                    | 5'30''81  | 5'50''78  | 5'55''10  |
| -0.866                                    | 5'30''85  | 6'22''69  | 5'52''87  |
| -1.000                                    | 5'28''73  | 6'28''64  | 5'22''80  |

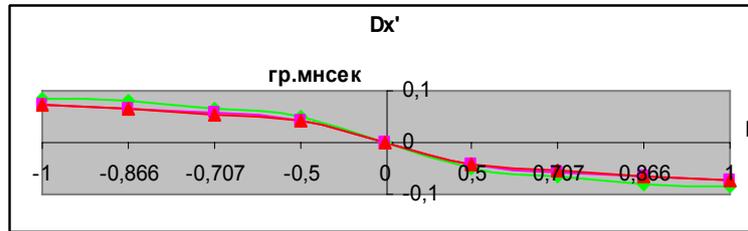
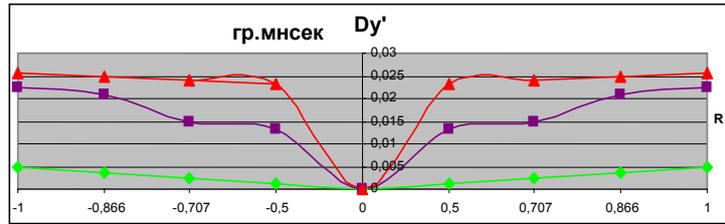
| Угловые аберрации                                  |           |           |          |
|--|-----------|-----------|----------|
| Вых. координаты                                    | e         | F'        | C'       |
| Меридиональное сечение $\omega = 3^\circ 32' 22''$ |           |           |          |
| 1.000  | -1'57''52 | 27''      | 53''81   |
| 0.866  | -2'20''61 | -22''87   | 29''86   |
| 0.707  | -2'28''19 | -58''54   | 18''51   |
| 0.500  | -2'10''78 | -1'12''30 | 26''98   |
| 0.000  | 0         | 4''64     | 2'00''57 |
| -0.500   | 3'00''19  | 2'35''43  | 4'05''98 |
| -0.707   | 4'06''08  | 3'34''03  | 4'43''09 |
| -0.866   | 4'41''82  | 4'09''29  | 4'57''09 |
| -1.000   | 5'01''08  | 4'28'99   | 4'55''11 |



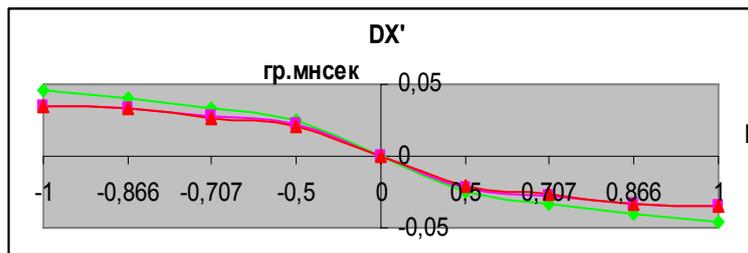
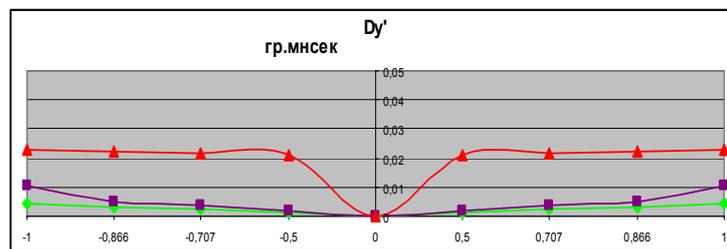
| Угловые aberrации                               |           |        |           |          |           |          |
|---|-----------|--------|-----------|----------|-----------|----------|
| Сагиттальное сечение Пучок 1 $\omega = 5^\circ$ |           |        |           |          |           |          |
| Вых. коор.                                      | e         |        | F'        |          | C'        |          |
|   | Dx'       | Dy'    | Dx'       | Dy'      | Dx'       | Dy'      |
| 1.000   | -8'52''08 | 46''69 | -7'27''87 | 2'23''09 | -7'26''52 | 2'54''44 |
| 0.866   | -8'03''41 | 35''66 | -6'52''32 | 2'06''24 | -6'48''   | 2'47''81 |
| 0.707   | -6'52''98 | 24''19 | -5'56''51 | 1'49''07 | -5'50''28 | 2'40''70 |
| 0.500   | -5'04''78 | 12''30 | -4'26''01 | 1'31''60 | -4'19''60 | 2'33''06 |

| Угловые aberrации  |           |        |           |          |           |          |
|--|-----------|--------|-----------|----------|-----------|----------|
| Сагиттальное сечение Пучок 2 $\omega = 3^\circ 32' 22''$ |           |        |           |          |           |          |
| Вых. коор.   | e         |        | F'        |          | C'        |          |
|  | Dx'       | Dy'    | Dx'       | Dy'      | Dx'       | Dy'      |
| 1.000  | -4'29''28 | 42''92 | -3'01''82 | 1'03''47 | -3'06''47 | 2'31''37 |
| 0.866  | -4'13''17 | 32''41 | -2'59''50 | 48''86   | -3'       | 2'24''07 |
| 0.707  | -3'42''99 | 21''76 | -2'44''60 | 34''19   | -2'41''94 | 2'16''43 |
| 0.500  | -2'49''13 | 10''96 | -2'09''12 | 19''45   | -2'05''02 | 2'08''68 |

$\omega = 5^\circ$



$$\omega = 3^{\circ}32'22''$$



**Вывод:**

Выполнен расчёт простой телескопической системы и анализ получившегося качества изображения. Следует отметить, что aberrации точки на оси для основной длины волны не превышают  $0,25\lambda$ , хроматизм положения исправлен, но имеет место небольшая сферохроматическая aberrация. Для внеосевых точек при  $\omega = 5^{\circ}$  угловые aberrации не превышают  $8'$ , а при  $\omega = 3^{\circ}32'$  -  $4'$  для всего спектрального диапазона.

**МОДУЛЬ №4**

**Тема 3.1. Оптические системы микроскопа. Основы расчёта и проектирования оптических систем.**

**Лабораторная работа «Микропроекционная система»**

**Исходные данные:**

Размер экрана:  $\varnothing 200$  мм.

Увеличение объектива:  $6,3^{\times}$ .

**Задание для работы:**

- Исходя из заданных параметров всей системы, рассчитать оптические характеристики микрообъектива и окуляра. Подобрать из библиотеки оптических систем «Опал» микрообъектив и окуляр.
- Составить оптическую систему микропроеекционной установки, определив расстояние между компонентами, положение апертурной и полевой диафрагм, выходного зрачка системы.
- Определить световые диаметры микрообъектива и окуляра и выполнить построение хода апертурного, главного и крайних лучей наклонного пучка.
- Определить aberrации микропроеекционной системы.
6. Оценить качество оптического изображения

### Выбор объектива:

Объектив библиотеки OPAL-PC выбран по увеличению.

Апохромат:  $\beta = -6.3$ ,  $A = 0.2$ ,  $2y = 4$  мм.

### Конструктивные параметры:

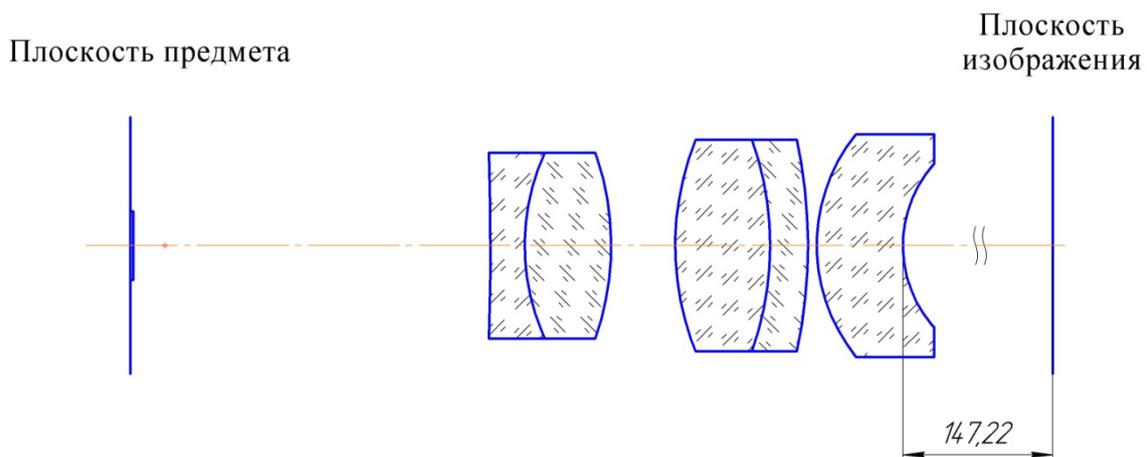
| N  | Радиусы   | Осевые расстояния | Высоты | Марки Россия | Показатели преломления |              |              |
|----|-----------|-------------------|--------|--------------|------------------------|--------------|--------------|
|    |           |                   |        |              | $L_0=0,5893$           | $L_1=0,6563$ | $L_2=0,4861$ |
| 0  |           |                   |        | ВОЗДУХ       | 1,000000               | 1,000000     | 1,000000     |
| 1  | 0,0       | 0,1700            | 2,00   | K14          | 1,514703               | 1,512183     | 1,520674     |
| 2  | 0,0       | 20,6910           | 2,00   | ВОЗДУХ       | 1,000000               | 1,000000     | 1,000000     |
| 3  | -177,8300 | 2,0000            | 5,43   | ОФ4          | 1,650498               | 1,646137     | 1,661107     |
| 4  | 13,3660   | 5,0000            | 5,92   | ФЛЮОРИТ      | 1,433831               | 1,432485     | 1,437037     |
| 5  | -16,5580  | 3,7100            | 6,33   | ВОЗДУХ       | 1,000000               | 1,000000     | 1,000000     |
| 6  | 16,7110   | 5,5000            | 7,19   | ФЛЮОРИТ      | 1,433831               | 1,432485     | 1,437037     |
| 7  | -18,7930  | 2,2000            | 7,05   | ОФ4          | 1,650498               | 1,646137     | 1,661107     |
| 8  | -29,6500  | 0,5000            | 7,08   | ВОЗДУХ       | 1,000000               | 1,000000     | 1,000000     |
| 9  | 10,3990   | 5,0000            | 6,51   | Ф9           | 1,613697               | 1,608671     | 1,626418     |
| 10 | 7,2440    |                   | 4,78   | ВОЗДУХ       | 1,000000               | 1,000000     | 1,000000     |

### Параксиальные характеристики:

$$f' = 21,339; S_F = 3,366; S_{F'} = 11,965; S_H = 24,706; S_{H'} = -9,374;$$

$$s = -0.0002; s' = 147,222; \beta = -6.3.$$

### Схема объектива:



### Выбор окуляра:

Выбираем окуляр с фокусным расстоянием  $f' = 25$  мм.

Линейное увеличение окуляра:

$$\beta_{об} = \frac{y'_{об}}{y_{об}},$$

где

$$y_{об} = -1,971 \text{ мм}, \quad y'_{об} = 12,417 \text{ мм.}$$

$$y'_{об} = y_{ок};$$

$$\beta_{ок} = \frac{y'_{ок}}{y_{ок}}; \quad y'_{ок} = \frac{\otimes}{2} = 100_{мм} \Rightarrow \beta_{ок} = \frac{100}{12,417} = -8,053.$$

Определяем угловое поле окуляра:

$$tg \omega_{ок} = \frac{y_{ок}}{f_{ок}} = \frac{12,417}{25} \Rightarrow \omega_{ок} = 26^\circ; \quad 2\omega_{ок} = 52^\circ.$$

Исходные данные выбранного окуляра:

$$f' = 25,002 \text{ мм}, \quad 2\omega = 60^\circ.$$

**Конструктивные параметры (окуляр перевернут):**

| N | Радиусы  | Осевые расстояния | Высоты | Марки Россия | Показатели преломления |              |              |
|---|----------|-------------------|--------|--------------|------------------------|--------------|--------------|
|   |          |                   |        |              | $L_0=0,5893$           | $L_1=0,6563$ | $L_2=0,4861$ |
| 0 |          |                   |        | ВОЗДУХ       | 1,000000               | 1,000000     | 1,000000     |
| 1 | 179,4900 | 7,8300            | 14,70  | К8           | 1,516300               | 1,513894     | 1,521954     |
| 2 | -33,9710 | 0,4600            | 14,70  | ВОЗДУХ       | 1,000000               | 1,000000     | 1,000000     |
| 3 | 30,7670  | 11,0100           | 14,70  | К8           | 1,516300               | 1,513894     | 1,521954     |
| 4 | -27,2910 | 2,9100            | 11,40  | ТФ4          | 1,739795               | 1,732434     | 1,758714     |
| 5 | 210,8490 | 0,4600            | 11,40  | ВОЗДУХ       | 1,000000               | 1,000000     | 1,000000     |
| 6 | 24,4880  | 5,0100            | 10,00  | К8           | 1,516300               | 1,513894     | 1,521954     |
| 7 | 0,0000   |                   | 9,10   | ВОЗДУХ       | 1,000000               | 1,000000     | 1,000000     |

**Параксиальные характеристики:**

$$f' = 25,002; \quad S_F = -17,060; \quad S_{F'} = 13,424;$$

$$S_H = 7,941; \quad S_{H'} = -11,577; \quad s = -20,165; \quad s' = 214,8;$$

$$\beta_{ок} = -8,053.$$

**Согласование параметров объектива и окуляра:**

$$f'_{ок} = 25,002 \text{ мм.}$$

$$z_{ок} = \frac{f'_{ок}}{\beta_{ок}} = -\frac{25,002}{8,053} = -3,104 \text{ мм.}$$

$$s_{ок} = z + S_F = -3,104 - 17,060 = -20,165 \text{ мм.}$$

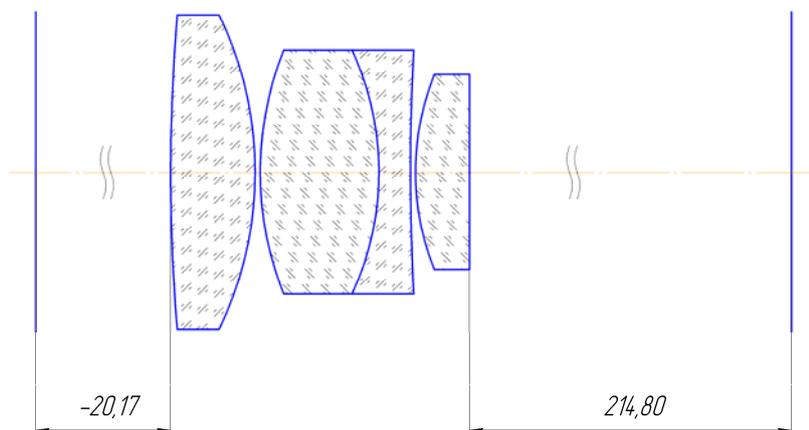
Расстояние между последней поверхностью объектива и первой поверхностью окуляра:

$$s'_{об} + s_{ок} = 147,222 + 20,165 = 167,391 \text{ мм.}$$

## Схема окуляра :

Плоскость предметов

Плоскость изображения



### Аберрации микропроекционной системы:

#### Аберрации осевого пучка:

| Относит.<br>зр.<br>координ<br>ата | Продольные аберрации (мм) |           |           | Поперечные аберрации (мм) |           |           |
|-----------------------------------|---------------------------|-----------|-----------|---------------------------|-----------|-----------|
|                                   | 0                         | 1         | 2         | 0                         | 1         | 2         |
| 1.000                             | -43.06205                 | -32.72342 | -52.71518 | 0.217146                  | 0.154910  | 0.282808  |
| 0.707                             | 3.86227                   | 10.40609  | 13.23365  | -0.010561                 | -0.027612 | -0.034457 |
| 0.000                             | 0.00000                   | 7.56862   | 6.27387   | 0.000000                  | 0.000000  | 0.000000  |

| Tg'*100 | Волновые аберрации<br>(длины волн) |        |         | Неизопланатизм (%) |
|---------|------------------------------------|--------|---------|--------------------|
|         | 0                                  | 1      | 2       |                    |
| -0.504  | -0.0666                            | 0.0369 | -0.0123 | 0.1121             |
| -0.273  | 0.0028                             | 0.0438 | 0.0594  | 0.0360             |
| 0.000   | 0.0000                             | 0.0000 | 0.0000  | 0.0000             |

#### Характеристики главных пучков лучей:

| N | Величина предмета |           | Величина изображения |             | Дисторсия |           | Астигмат. отрезки |                 |
|---|-------------------|-----------|----------------------|-------------|-----------|-----------|-------------------|-----------------|
|   | относит.          | (мм)      | относ.<br>ит.        | (мм)        | %         | (мм)      | Z' <sub>m</sub>   | Z' <sub>s</sub> |
| 1 | 1.000             | -1.971000 | 1.000                | -109.246000 | 8.6916    | -8.735923 | 1579.2910         | -85.6906        |
| 3 | 0.707             | -1.393497 | .680                 | -74.304670  | 4.5652    | -3.244076 | 40.2103           | -58.8522        |

#### Аберрации внеосевого пучка:

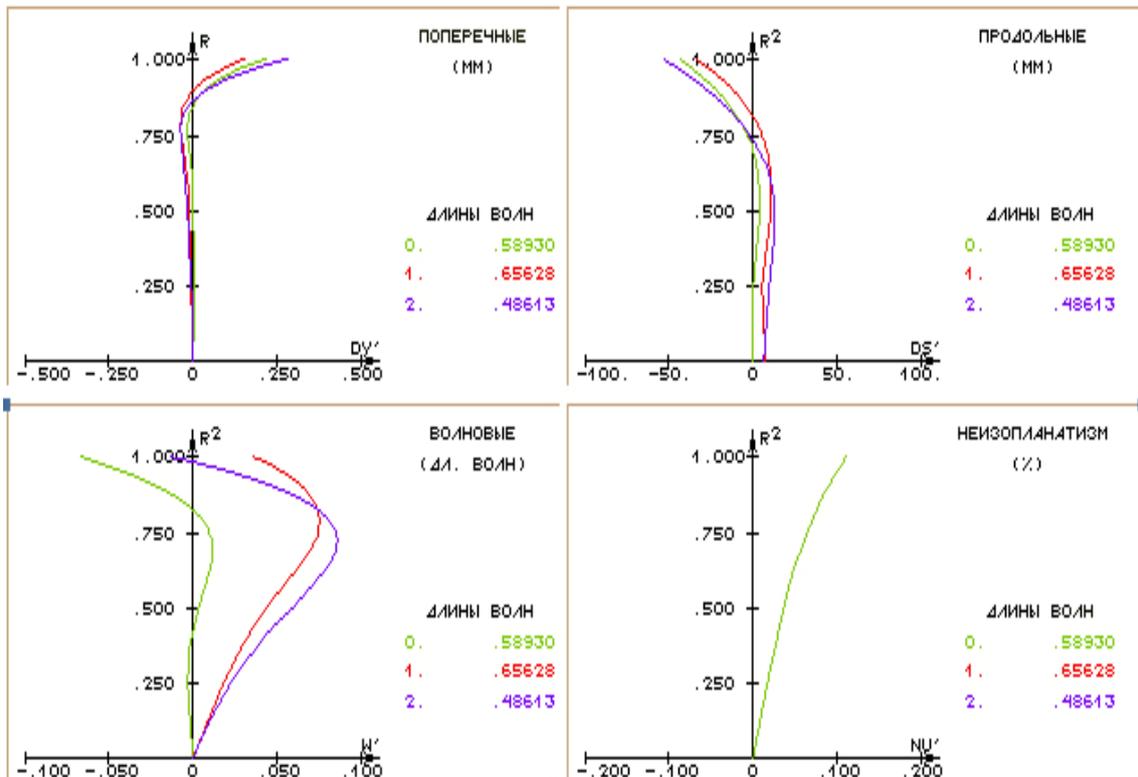
| Вых. координаты                           |           | Поперечные аберрации в (мм) |          |          |
|---|-----------|-----------------------------|----------|----------|
| Канонические                              | (tg'*100) | 0                           | 1        | 2        |
| Меридиональное сечение Пучок 1 Y= -1.9710 |           |                             |          |          |
| 1.000                                     | 56.09     | -3.19459                    | -3.28506 | -2.81120 |
| 0.707                                     | 55.26     | -1.24475                    | -1.18932 | -1.19220 |
| 0.000                                     | 54.98     | -0.01164                    | 0.10734  | -0.03296 |
| -0.707                                    | 54.66     | 1.32028                     | 1.32685  | 1.64541  |
| -1.000                                    | 54.22     | 2.51060                     | 2.45334  | 3.00514  |
| Меридиональное сечение Пучок 3 Y= -1.3935 |           |                             |          |          |
| 1.000                                     | 37.79     | -1.28307                    | -1.33526 | -1.09546 |

|        |       |          |          |          |
|--------|-------|----------|----------|----------|
| 0.707  | 37.50 | -0.45613 | -0.39804 | -0.51403 |
| 0.000  | 37.57 | -000135  | 0.11273  | -0.12181 |
| -0.707 | 37.68 | 0.38424  | 0.44011  | 0.47768  |
| -1.000 | 37.71 | 0.57978  | 0.61050  | 0.75406  |

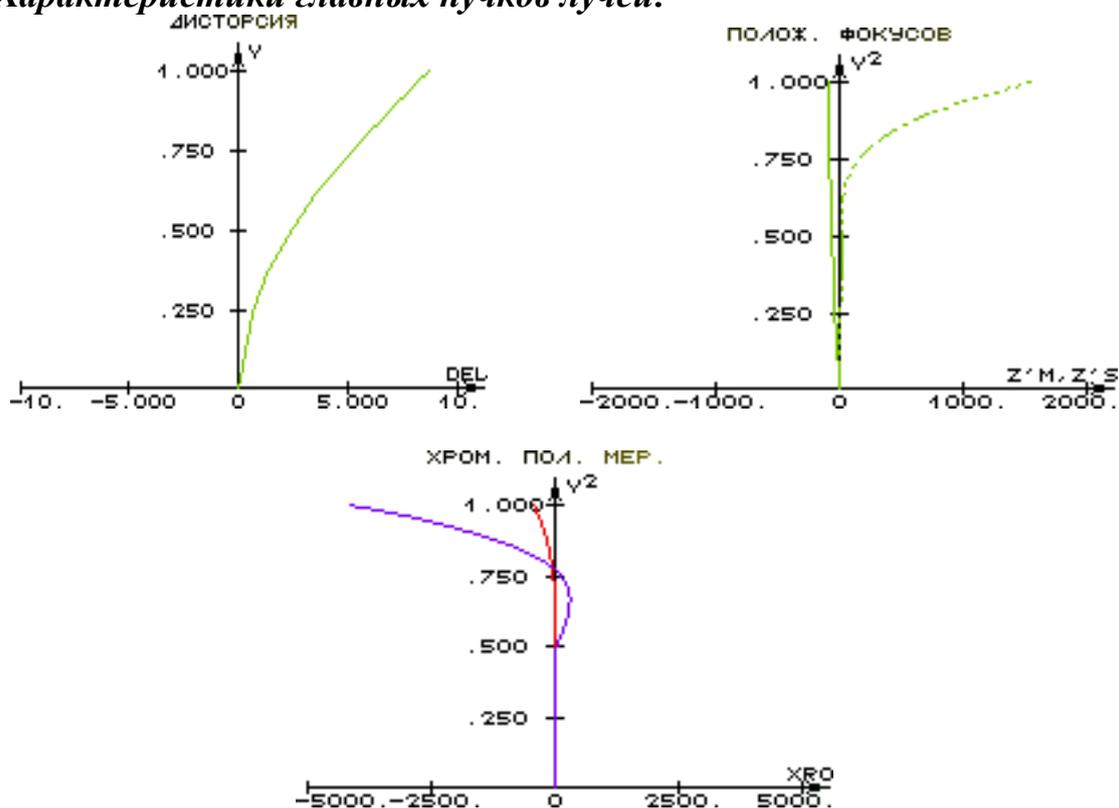
| Вых. координаты                        |                        | Поперечные aberrации в (мм) |                  |                  |                  |                  |                  |                  |
|--|------------------------|-----------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| Радиус                                 | (tg <sup>2</sup> *100) |                             | D <sub>x</sub> ' | D <sub>y</sub> ' | D <sub>x</sub> ' | D <sub>y</sub> ' | D <sub>x</sub> ' | D <sub>y</sub> ' |
|  | x                      | y                           | 0                |                  | 1                |                  | 2                |                  |
| Сагитальное сечение Пучок 1 Y= -1.9710 |                        |                             |                  |                  |                  |                  |                  |                  |
| 1.000                                  | -0.58                  | 55.01                       | 0.32744          | -0.06990         | 0.28153          | -0.01240         | 0.34454          | 0.05657          |
| .707                                   | -0.43                  | 54.99                       | 0.27506          | -0.02020         | 0.27006          | 0.07024          | 0.21480          | 0.02699          |
| Сагитальное сечение Пучок 3 Y= -1.3935 |                        |                             |                  |                  |                  |                  |                  |                  |
| 1.000                                  | -0.56                  | 37.60                       | 0.30977          | -0.06550         | 0.25493          | 0.00924          | 0.35283          | -0.09064         |
| 0.707                                  | -                      | 37.58                       | 0.15346          | -0.01929         | 0.14192          | 0.07648          | 0.11255          | -0.09542         |
|  | 0.36                   |                             |                  |                  |                  |                  |                  |                  |

### Аберрации микропроекционной системы:

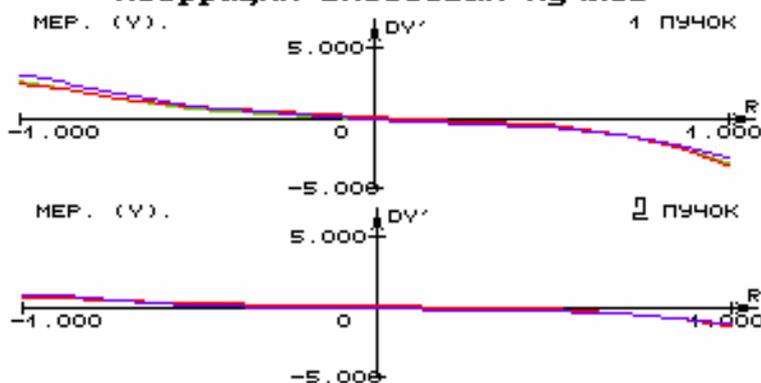
#### Аберрации осевого пучка:



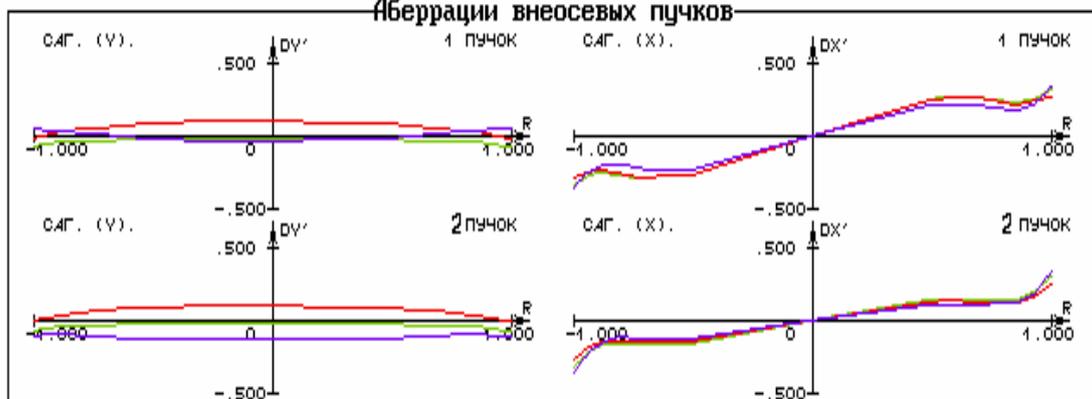
### Характеристики главных пучков лучей:



### Аберрации внеосевых пучков

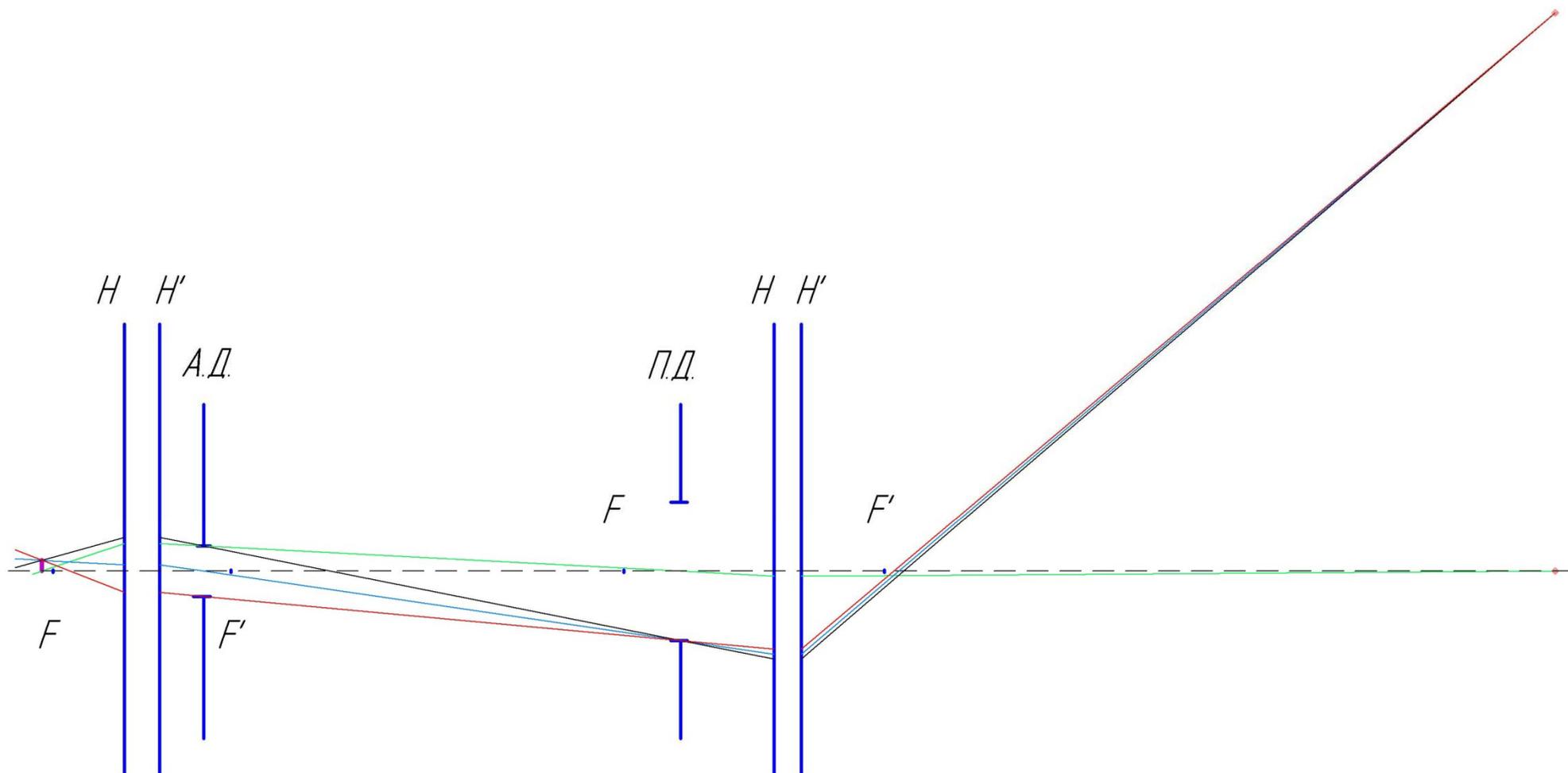


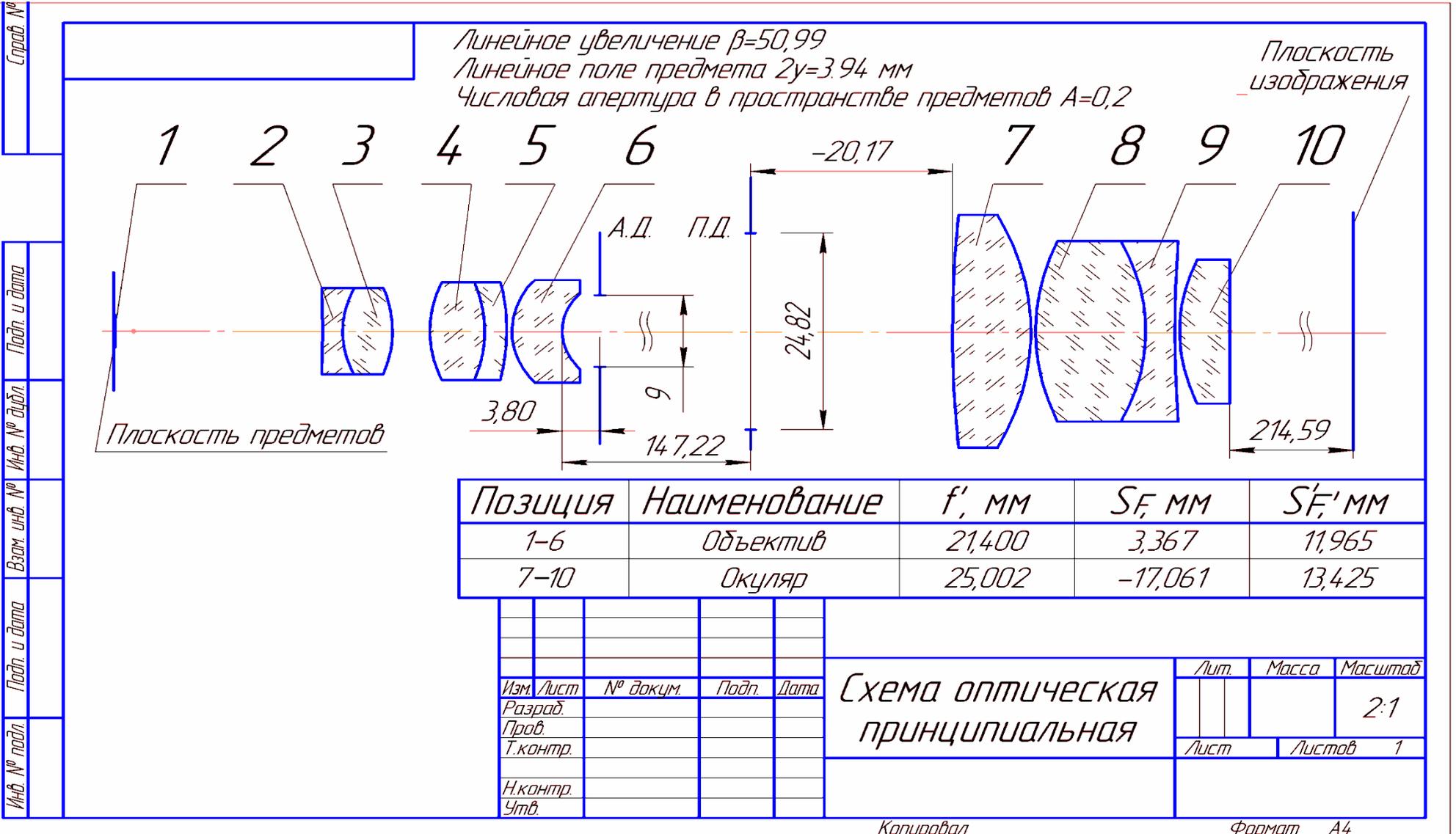
### Аберрации внеосевых пучков



Качество изображения в центре поля очень хорошее, а по полю оно постепенно портится и на краю поля из-за неисправленной меридиональной кривизны становится неудовлетворительным.

*Ход лучей в оптической системе:*





## МОДУЛЬ №4

### Тема 2.2. Проекционные системы

#### Лабораторная работа «Проекционная система»

##### Исходные данные:

Размер кадра  $4 \times 4 \text{ мм}^2$ ;  $f'_{об} = 45 \text{ мм}$ ;  $p' = 9 \text{ м} = 9000 \text{ мм}$

##### Задание для работы:

1. Исходя из заданных характеристик проекционной системы необходимо выполнить габаритный расчет.
2. По полученным данным подобрать источник света и объектив используя каталоги и библиотеку оптических систем программы “OPAL”.
3. Выполнить расчёт конденсора
4. Составить оптическую систему и определить расстояния между компонентами.
5. Выполнить расчёт хода лучей.
6. Определить aberrации проекционной системы.
7. Оценить качество изображения проекционной системы.
8. Выполнить чертеж оптической схемы по ГОСТ 2.412-81

##### Габаритный расчёт

Диагональ кадра:

$$1) \quad 2y = \sqrt{4^2 + 4^2} = 5.66 \text{ мм};$$

$$f'_{об} = \frac{a'_{об}}{1 - \beta_{об}}.$$

Линейное увеличение объектива:

$$\beta_{об} = 1 - \frac{a'_{об}}{f'_{об}} = -199.$$

Диагональ экрана:

$$2) \quad 2y' = 5.66 \cdot 199 = 1125.54 \text{ мм}.$$

Размеры экрана:

$$4 \cdot 199 = 796 \text{ мм}; \quad 4 \cdot 199 = 796 \text{ мм};$$

Площадь экрана:

$$S_{экр} = 0.796 \cdot 0.796 = 0.63 \text{ м}^2.$$

##### Выбор источника света и объектива

Световой поток, падающий на экран:

$$3) \quad \Phi' = S_{экр} \cdot E = 0.63 \cdot 120 = 76 \text{ Лм}.$$

Полный световой поток источника:

$$\Phi = 30 \cdot \Phi' = 30 \cdot 76 = 2280 \text{ Лм}.$$

Из каталога ламп выбираем лампу с полным световым потоком, равным

$$\Phi_{сп} = 2500 \text{ Лм}.$$

Площадь тела накаливания:

$$dS = 5.5 \cdot 2.5 = 13.75 \text{ мм}^2 = 13.75 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2.$$

Яркость источника:

$$L_{\Gamma} = \frac{\Phi_{\text{сnp}}}{4\pi dS} = \frac{2500}{4\pi \cdot 13.75 \cdot 10^{-6}} = 28.95 \cdot 10^6 \text{ Кд/м}^2.$$

Определение диаметра выходного зрачка объектива

$$4) \quad E = \pi L_{\Gamma} \tau_{oc} \sin^2 \sigma'_{Ao\bar{o}}; \quad \tau_{oc} = 0.9;$$

$$\sin \sigma'_{Ao\bar{o}} = \sqrt{\frac{120}{\pi \cdot 28.95 \cdot 10^6 \cdot 0.9}} = 0.0012.$$

$$5) \quad D'_{Po\bar{o}} = 2p' \sin \sigma'_{Ao\bar{o}} = 2 \cdot 9000 \cdot 0.0012 = 20.59 \text{ мм} = 20 \text{ мм}.$$

$$6) \quad \beta_{o\bar{o}} = \frac{a'_{o\bar{o}}}{a_{o\bar{o}}} = \frac{p'}{a_{o\bar{o}}}; \quad a_{o\bar{o}} = \frac{9000}{-199} = -45.23.$$

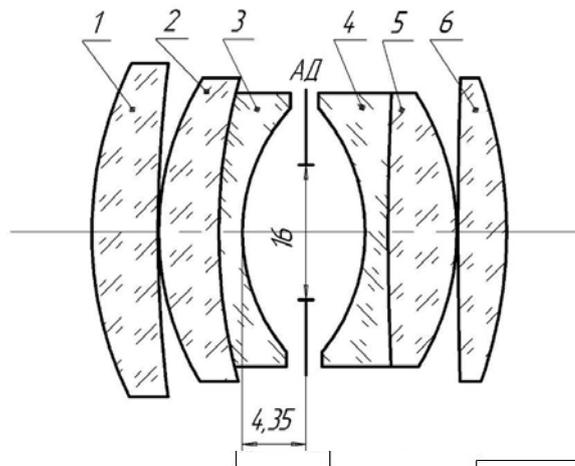
Необходимое относительное отверстие объектива:

$$\frac{D'_{Po\bar{o}}}{f'_{o\bar{o}}} = \frac{20}{45} = 1:2.2;$$

$$\text{tg} \omega_{o\bar{o}} = \frac{y}{a_{o\bar{o}}} = \frac{2.83}{45.23} = 0.0625; \quad 2\omega_{o\bar{o}} = 7^{\circ}9'.$$

**Объектив из каталога:**

Гелиос-79  $f' = 45$ ,  $2\omega = 51^{\circ}$ , 1:2



| №   | $f'$   | $S_F$   | $S'_F$ | $S_H$  | $S'_H$ |
|-----|--------|---------|--------|--------|--------|
| 1   | 54,29  | -55,34  | 50,49  | -1,05  | -3,8   |
| 2   | 49,76  | -30,87  | 45,66  | -0,02  | -4,09  |
| 3   | -19,52 | 33,3    | -19,52 | 1,64   | -0,05  |
| 4   | -32,45 | 20,004  | -34,01 | -0,001 | -1,56  |
| 5   | 26,89  | -38,69  | 26,89  | 4,69   | -0,004 |
| 6   | 42,87  | -40,96  | 42,67  | 1,9    | -0,19  |
| 1-6 | 45     | -33,599 | 23,695 | 11,148 | 21,051 |

| Радиусы | $d$    | Марки | $n$   |        |
|---------|--------|-------|-------|--------|
| 1       | 24,66  | 4,54  | TK-16 | 1,6126 |
| 2       | 88,72  | 0,06  |       |        |
| 3       | 19,06  | 4,09  | TK-20 | 1,622  |
| 4       | 36,98  | 1,64  | Ф-1   | 1,6128 |
| 5       | 12,02  | 8,4   |       |        |
| 6       | -12,25 | 1,55  | Ф-1   | 1,6128 |
| 7       | 180,3  | 4,72  | TK-20 | 1,622  |
| 8       | -16,75 | 0,06  |       |        |
| 9       | 280,5  | 3,37  | TK-16 | 1,6126 |
| 10      | -28,84 |       |       |        |

После оборачивания объектива получаем:

$$S = -33.72; \quad S' = 8978,7;$$

$$\text{Увеличение } \beta = -199;$$

Размер кадра 4x4;

$$\text{Задняя апертура } \sin \sigma' = 0,0012.$$

### Расчет конденсора на минимум сферической аберрации.

Уточнённый расчёт объектива:

$$z'_{об} = -\beta \cdot f' = -(-199) \cdot 45 = 8955;$$

$$S' = z' + S'_{F'} = 8955 + 23.69 = 8978.69;$$

$$p'_{об} = S' - S'_{H'} = 8978.69 - (-21.05) = 8999.74;$$

$$z_{об} = -\frac{45}{199} = -0.23;$$

$$-S = -S_F - z = 33.66 + 0.23 = 33.83;$$

$$-p_{об} = -S + S_H = 33.83 + 11.5 = 45.33;$$

$$tg \varpi = \frac{l}{p} = \frac{\sqrt{4^2 + 4^2}}{2 \cdot 45.33} = 0.062; \quad \omega_{об} = 3^{\circ}34' = \sigma'_k.$$

Для уменьшения угла охвата конденсора используем контроотражатель, тогда

$$\beta_k = \frac{D_p}{2b} = \frac{-20}{5} = -4; \quad \sigma_k = \beta_k \cdot \sigma'_k = 14^{\circ}16';$$

$$2(|\sigma_k| + |\sigma'_k|) = 35^{\circ}40'.$$

Следовательно, конденсор должен быть 2-х линзовый.

Введем условие нормировки.

$$\alpha_1 = \beta_1 = -4;$$

$$\alpha_5 = 1;$$

$$\alpha_2 = \frac{(2 \cdot 1.5 + 1)(-4 - 1.5)}{2(1.5 + 2)} = -3.14;$$

$$\alpha_3 = -4 + \frac{1 + 4}{2} = -1.5;$$

$$\alpha_4 = \frac{(2 \cdot 1.5 + 1)(-1.5 - 2)}{2(1.5 + 2)} = -0.26.$$

| $\alpha$ | $tg \sigma_k$ | $\sigma_k$ |
|----------|---------------|------------|
| -4       | -0,248        | -13°56'    |
| -3,14    | -0,195        | -11°2'     |
| -1,5     | -0,093        | -5°19'     |
| -0,26    | -0,016        | -0°55'     |
| +1       | +0,062        | 3°34'      |

Расчет высот конденсора при  $d=0$ .

$$h_1 = h_2 = h_3 = h_4 = a'_k = S + m = 33.83 + 25 = 58.83;$$

$$\beta_k = \frac{a'_k}{a_k}; \quad a_k = \frac{a'_k}{\beta_k} = \frac{58.83}{-4} = -14.7.$$

Расчет радиусов конденсора при  $d = 0$  и  $h_1 = h_2 = h_3 = h_4 = a'_k = 58.83$ :

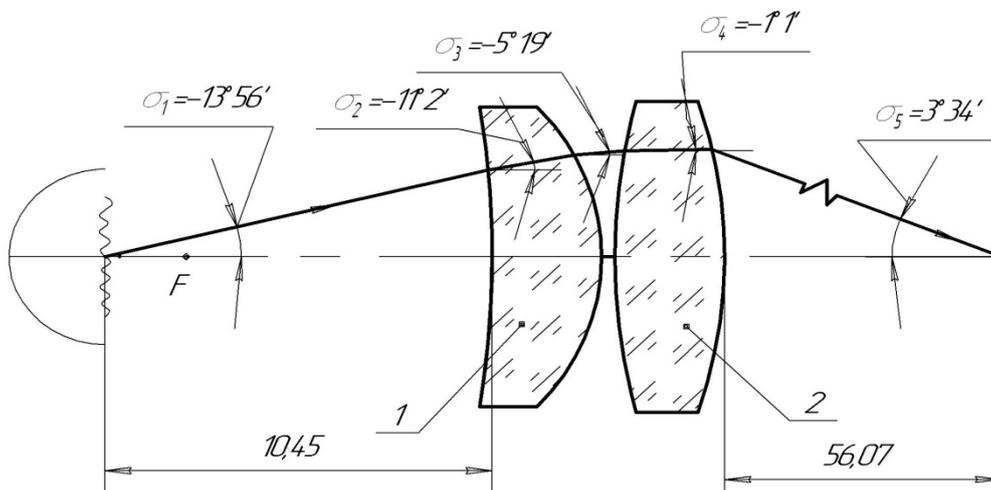
$$r_1 = \frac{n_2 - n_1}{n_2 \alpha_2 - n_1 \alpha_1} \cdot h_1 = \frac{1.5 - 1}{1.5 \cdot (-3.14) - 1 \cdot (-4)} \cdot 58.83 = -41.4;$$

$$r_2 = \frac{n_3 - n_2}{n_3 \alpha_3 - n_2 \alpha_2} \cdot h_2 = \frac{1 - 1.5}{1 \cdot (-1.5) - 1.5 \cdot (-3.14)} \cdot 58.83 = -9.16;$$

$$r_3 = \frac{n_4 - n_3}{n_4 \alpha_4 - n_3 \alpha_3} \cdot h_3 = \frac{1.5 - 1}{1.5 \cdot (-0.26) - 1 \cdot (-1.5)} \cdot 58.83 = +26.5;$$

$$r_4 = \frac{n_5 - n_4}{n_5 \alpha_5 - n_4 \alpha_4} \cdot h_4 = \frac{1 - 1.5}{1 \cdot 1 - 1.5 \cdot (-0.26)} \cdot 58.83 = -21.16.$$

Конденсор М51



| №   | $f'$   | $S_f$  | $S'_f$ | $S_H$ | $S'_H$ |
|-----|--------|--------|--------|-------|--------|
| 1-2 | 11,611 | -7,548 | 9,692  | 4,062 | -1,979 |

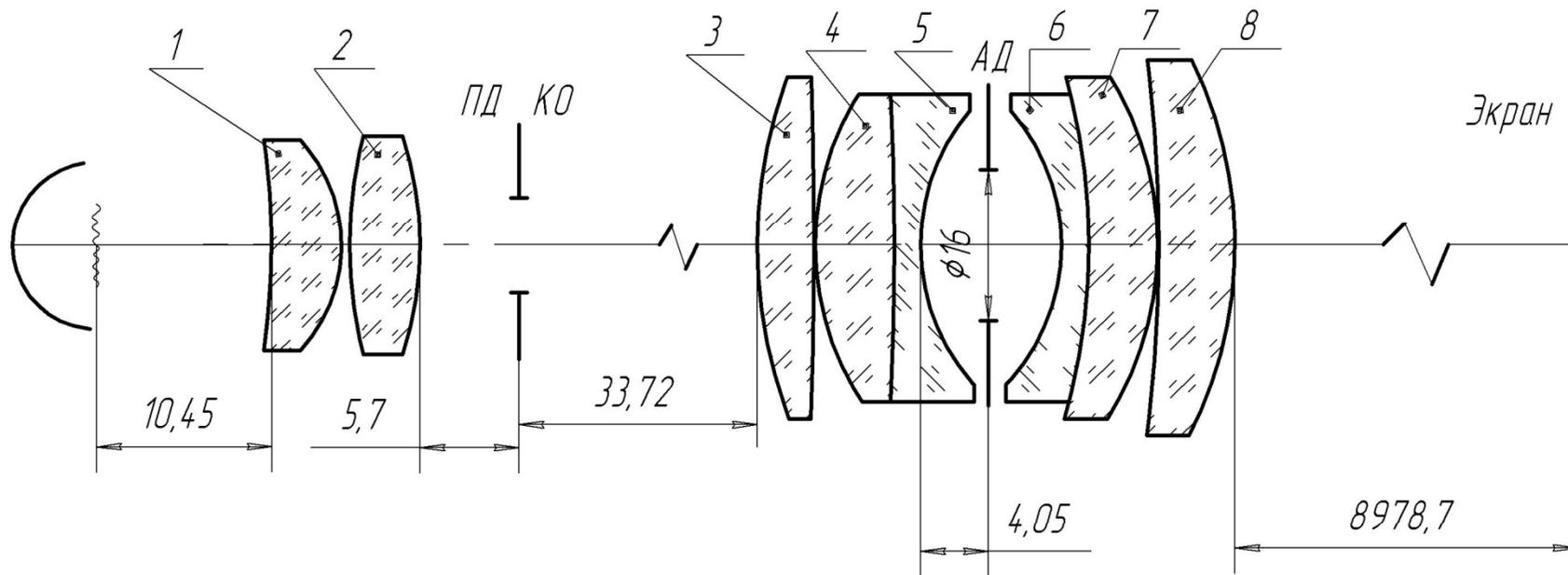
| Радиусы | $d$    | Марки | $n$    |
|---------|--------|-------|--------|
| 1       | -41,4  | К8    | 1,5183 |
| 2       | -9,16  | 0,5   |        |
| 3       | 26,5   | К8    | 1,5183 |
| 4       | -21,16 |       |        |

$$S = -10.451; \quad S' = 56,072.$$

1. Увеличение  $-4$ ;
2. Угол охвата  $2\sigma = 28^\circ$ ;
3. Размер предмета 5мм.

Линейное увеличение  $\beta = -199$   
 Размер кадра  $4 \times 4$  мм  
 Задняя апертура  $0.0012$

Схема проекционной установки. М 2,5:1



|                | $f'$   | $S_F$   | $S'_F$ | $S_H$  | $S'_H$ |
|----------------|--------|---------|--------|--------|--------|
| Конденсор(1-2) | 11,611 | -7,548  | 9,692  | 4,062  | -1,979 |
| Объектив(3-8)  | 45     | -33,599 | 23,695 | 11,148 | 21,051 |

## Объектив

| Отн. зр.<br>коор | Поперечные aberrации (мм) |          |          |
|------------------|---------------------------|----------|----------|
|                  | e                         | F'       | C'       |
| 1.000            | 1.819909                  | 1.895146 | 2.098855 |
| .866             | 1.705805                  | 1.77172  | 1.943668 |
| .707             | 1.504077                  | 1.559221 | 1.695338 |
| .500             | 1.145881                  | 1.185525 | 1.279087 |
| .000             | .000000                   | .000000  | .000000  |

| Tg'*100 | Волновые aberrации (дл. волн) |        |        |
|---------|-------------------------------|--------|--------|
|         | e                             | F'     | C'     |
| .068    | 2.3427                        | 2.4330 | 2.6350 |
| .055    | 1.8223                        | 1.8907 | 2.0397 |
| .042    | 1.2598                        | 1.3058 | 1.4035 |
| .027    | .6530                         | .6762  | .7242  |
| .000    | .0000                         | .0000  | .0000  |

### Аберрации внесевых пучков.

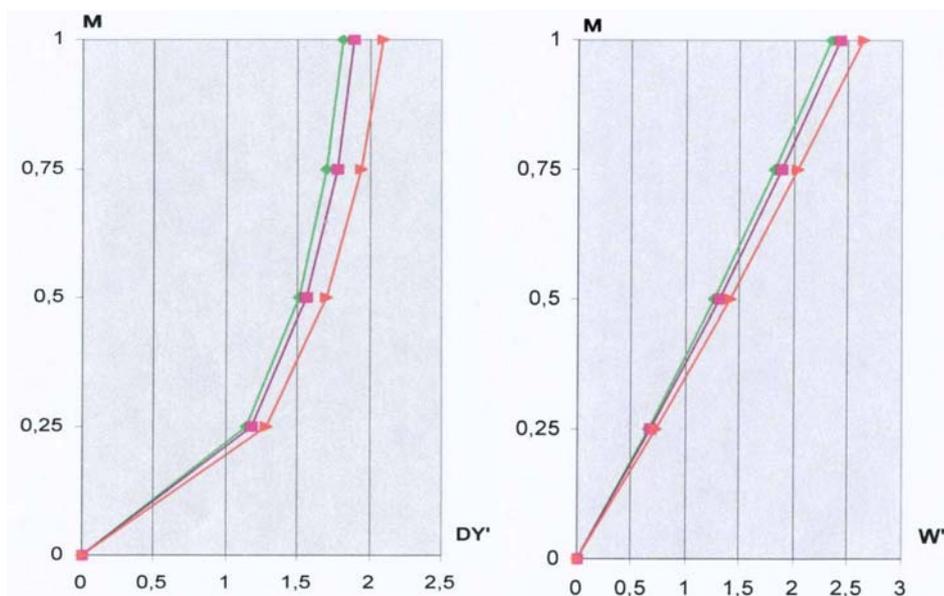
| Вых. координаты        |           | Поперечные aberrации в (мм) |          |          |
|------------------------|-----------|-----------------------------|----------|----------|
| Канон.                 | (tg'*100) | e                           | F'       | C'       |
| Меридиональное сечение |           | Пучок 1 Y= 5.66             |          |          |
| 1.000                  | 12.66     | 2.05736                     | 2.08166  | 2.40305  |
| .866                   | 12.65     | 1.83057                     | 1.83774  | 2.14301  |
| .707                   | 12.64     | 1.54147                     | 1.52963  | 1.81459  |
| .500                   | 12.63     | 1.12857                     | 1.09422  | 1.35006  |
| .000                   | 12.60     | .001198                     | -.06527  | .10261   |
| -.500                  | 12.57     | -1.08735                    | -1.18910 | -1.14494 |
| -.707                  | 12.56     | -1.49120                    | -1.59686 | -1.61815 |
| -.866                  | 12.55     | -1.78131                    | -1.88716 | -1.96565 |
| -1.000                 | 12.54     | -2.02124                    | -2.12520 | -2.25723 |

### Сагитальное сечение Пучок 1 Y= 5.6600

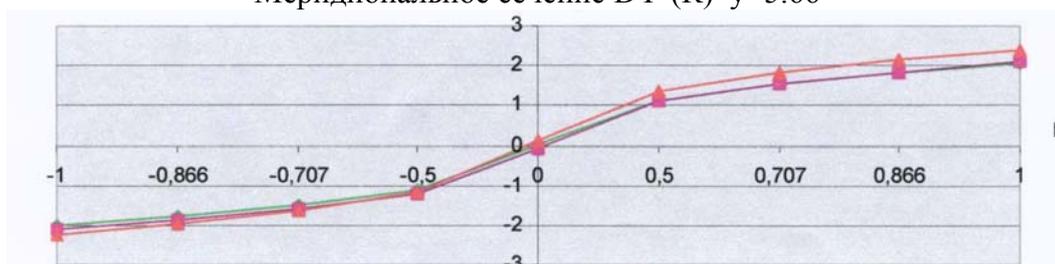
| Выходные координаты |           |       | Поперечные aberrации в (мм) |        |         |         |         |       |
|---------------------|-----------|-------|-----------------------------|--------|---------|---------|---------|-------|
| Радиус              | (tg'*100) |       | Dx'                         | Dy'    | F'      |         | C'      |       |
|                     | x         | y     |                             |        | e       | F'      | Dx'     | Dy'   |
| 1.000               | .08       | 12.60 | 1.46351                     | .01443 | 1.54603 | -.05050 | 1.73737 | .0930 |
| .866                | .06       | 12.60 | 1.36863                     | .01514 | 1.44115 | -.05290 | 1.60223 | .0968 |
| .707                | .05       | 12.60 | 1.20622                     | .01488 | 1.26626 | -.05625 | 1.39412 | .0995 |
| .500                | .03       | 12.60 | .91981                      | .01379 | .96283  | -.06041 | 1.05072 | .1014 |

Поперечные  
абберации (мм)

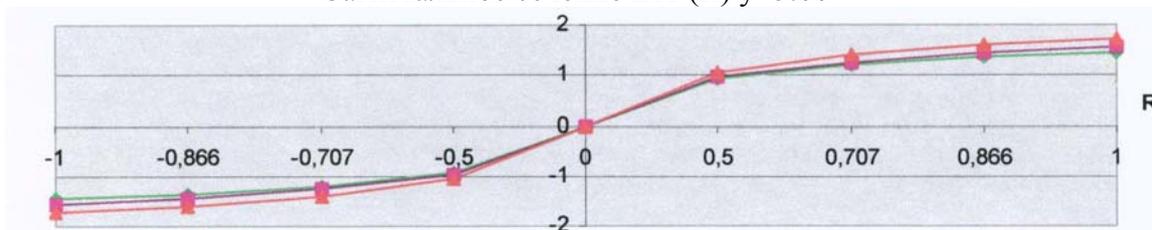
Волновые  
абберации (дл. волн)



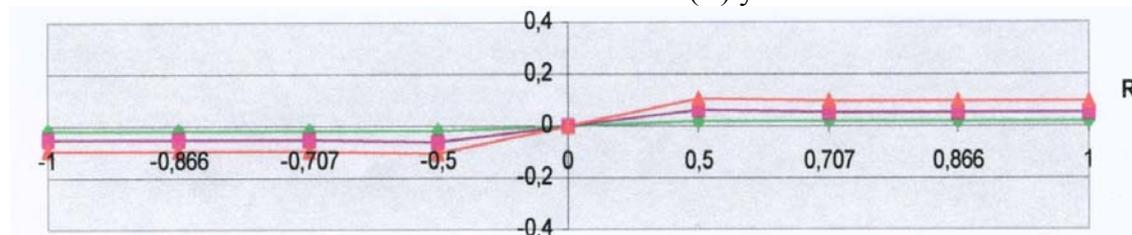
Меридиональное сечение  $DY'(R)$   $y=5.66$



Сагиттальное сечение  $DX'(R)$   $y=5.66$



Сагиттальное сечение  $DY'(R)$   $y=5.66$



**Вывод:** производя расчёт проекционной установки с диакопической проекцией, получили в итоге систему с не очень хорошим качеством изображения, из-за чего пришлось вводить смещение плоскости изображения относительно плоскости Гаусса, что позволило уменьшить пятно рассеяния до 3.8 мм. По центру пучок рассеивания виден под углом  $1'8''$ . А на краю под углом  $1'22''$ . Качество изображения получилось хорошим.

# ТЕКУЩИЙ ТЕСТОВЫЙ КОНТОЛЬ

## МОДУЛЬ №4

### Тема 4.1. Телескопические системы со сменой увеличения

#### Вопрос 1

Какие из перечисленных ниже характеристик являются основными для телескопической системы?

|                          |            |
|--------------------------|------------|
| <input type="checkbox"/> | $\Gamma_T$ |
| <input type="checkbox"/> | $2\omega$  |
| <input type="checkbox"/> | $S'p$      |
| <input type="checkbox"/> | $D'$       |
| <input type="checkbox"/> | $D$        |
| <input type="checkbox"/> | $L$        |

*Ответ:*  $\Gamma_T$ ,  $2\omega$ ,  $D'$ .

#### Вопрос 2

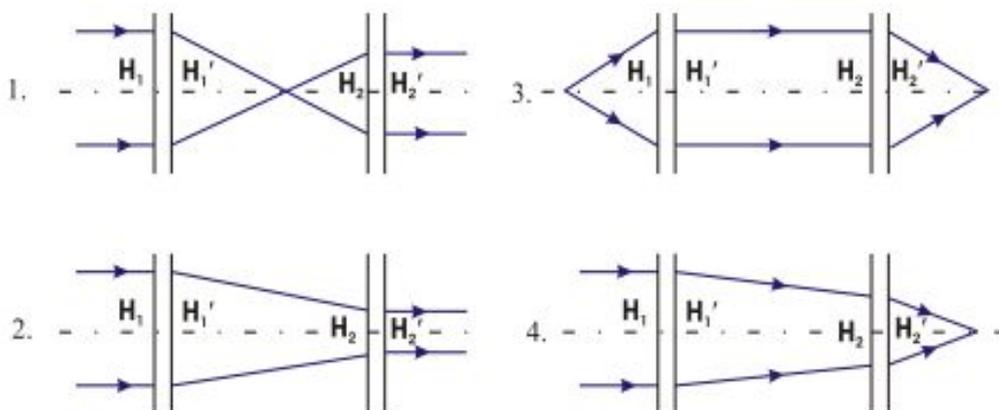
Где можно разместить стеклянную плоскопараллельную пластину с делениями в зрительной трубе Кеплера?

|                          |  |
|--------------------------|--|
| <input type="checkbox"/> | В задней фокальной плоскости окуляра     |
| <input type="checkbox"/> | В передней фокальной плоскости объектива |
| <input type="checkbox"/> | В задней фокальной плоскости объектива   |
| <input type="checkbox"/> | В передней фокальной плоскости окуляра   |

*Ответ:* в задней фокальной плоскости объектива, в передней фокальной плоскости окуляра.

#### Вопрос 3

На рисунке представлены четыре различных системы с ходом лучей. Укажите номер системы, соответствующей зрительной трубе Галилея?



|                          |   |
|--------------------------|---|
| <input type="checkbox"/> | 4 |
| <input type="checkbox"/> | 2 |
| <input type="checkbox"/> | 1 |
| <input type="checkbox"/> | 3 |

Ответ: 2.

#### **Вопрос 4**

В телескопической системе используются объективы и окуляры со следующими характеристиками:

Объективы:

- 1)  $f' = 60$  мм,  $S'_F = 57.25$  мм,  $S_F = -59.14$  мм.
- 2)  $f' = 100$  мм,  $S'_F = 95.04$  мм,  $S_F = -99.03$  мм.
- 3)  $f' = 150$  мм,  $S'_F = 145.12$  мм,  $S_F = -149.68$  мм.

Окуляры:

- 1)  $f' = -20$  мм,  $S'_F = -14.0$  мм,  $S_F = 23.96$  мм.
- 2)  $f' = -25$  мм,  $S'_F = -19.0$  мм,  $S_F = 28.96$  мм.
- 3)  $f' = -30$  мм,  $S'_F = -24.0$  мм,  $S_F = 33.96$  мм.

Определите расстояние между компонентами и расположите их в последовательности возрастания.

|                          |                      |
|--------------------------|----------------------|
| <input type="checkbox"/> | 40.56, 79.99, 141.11 |
| <input type="checkbox"/> | 30.67, 50.98, 100    |
| <input type="checkbox"/> | 33.29, 66.08, 111.16 |
| <input type="checkbox"/> | 22, 45, 76           |

Ответ: 33.29, 66.08, 111.16.

#### **Вопрос 5**

В телескопической системе фокусное расстояние объектива  $f' = 150$  мм, относительное отверстие 1:5. Диаметр выходного зрачка всей системы равен  $D' = 4$  мм. Определите видимое увеличение трубы.

Ответ: 7.5

#### **Вопрос 6**

Определите диаметр полевой диафрагмы в простой трубе Кеплера, если  $\Gamma_T = -12^\circ$ ,  $2\omega' = 60^\circ$ ,  $d = 260$  мм. Ответ укажите в мм.

Ответ: 23.1 мм.

#### **Вопрос 7**

В зрительной трубе Галилея  $f'_{об} = 160$  мм,  $f'_{ок} = -20$  мм, удаление выходного зрачка от окуляра  $a'_p = 12$  мм. Определите расстояние от входного зрачка до объектива. Ответ дайте в мм.

Ответ: 1888 мм.

### **Вопрос 8**

По расчету получили объектив зрительной трубы со следующими характеристиками:  $f'_{об} = 60$  мм,  $D:f' = 1:4$ ,  $2\omega = 8^\circ$ .

В каталоге имеются два объектива:

1.  $f'_{об} = 60$  мм,  $D = 10$  мм,  $2\omega = 8^\circ$ .

2.  $f'_{об} = 60$  мм,  $D = 20$  мм,  $2\omega = 8^\circ$ .

С каким диафрагменным числом нужно выбрать объектив из каталога?

Ответ: 3

### **Вопрос 9**

В простой зрительной трубе с увеличением  $\Gamma_T = -10^x$ , длиной  $d = 220$  мм, угловым полем  $2\omega = 8^\circ$  выходной зрачок  $D' = 2$  мм расположен на расстоянии 1 мм от заднего фокуса окуляра. Определите диаметр объектива в мм при отсутствии виньетирования.

|                          |       |
|--------------------------|-------|
| <input type="checkbox"/> | 33,98 |
| <input type="checkbox"/> | 29,40 |
| <input type="checkbox"/> | 39,66 |
| <input type="checkbox"/> | 31,90 |

Ответ: 33,98

### **Вопрос 10**

В простой зрительной трубе с  $\Gamma_T = 10^x$ ,  $2\omega = 4^\circ$  используется окуляр с  $f'_{ок} = -20$  мм. Выходной зрачок трубы находится за окуляром на расстоянии  $0,7|f'_{ок}|$ . Определите диаметр окуляра при виньетировании 50%.

|                          |     |
|--------------------------|-----|
| <input type="checkbox"/> | 8,2 |
| <input type="checkbox"/> | 7,5 |
| <input type="checkbox"/> | 9,8 |
| <input type="checkbox"/> | 6,0 |

Ответ: 9,8.

### **Вопрос 11**

Вычислить угловой предел разрешения зрительной трубы в секундах с видимым увеличением  $\Gamma_T = 10^x$  и диаметром выходного зрачка  $D' = 4$  мм, определяемый теорией дифракции.

|                          |     |
|--------------------------|-----|
| <input type="checkbox"/> | 5,0 |
|--------------------------|-----|

|                          |     |
|--------------------------|-----|
| <input type="checkbox"/> | 3,5 |
| <input type="checkbox"/> | 4,0 |
| <input type="checkbox"/> | 4,5 |

Ответ: 3,5.

### **Вопрос 12**

Определите смещение окуляра  $\Delta$ , компенсирующее близорукость глаза 3 диоптрии в бинокле, построенном по схеме Галилея:  $\Gamma_T = 2^x$ ,  $L = 25$  мм,  $a'_p = 25$  мм? (Ответ дайте в миллиметрах)

Ответ: -2.21 мм

### **Вопрос 13**

На каком минимальном расстоянии  $d$  должны быть помещены на Луне два ярких источника света, для того чтобы их можно было видеть с Земли в телескоп отдельно?

Дано:  $f_{об} = 8000$  мм,  $f_{ок} = 10$  мм, расстояние от Земли до Луны 380000 км, разрешающая способность глаза 3 минуты. Ответ дайте в метрах.

|                          |       |
|--------------------------|-------|
| <input type="checkbox"/> | 427,5 |
| <input type="checkbox"/> | 435,9 |
| <input type="checkbox"/> | 415,3 |
| <input type="checkbox"/> | 400,5 |

Ответ: 427,5.

### **Вопрос 14**

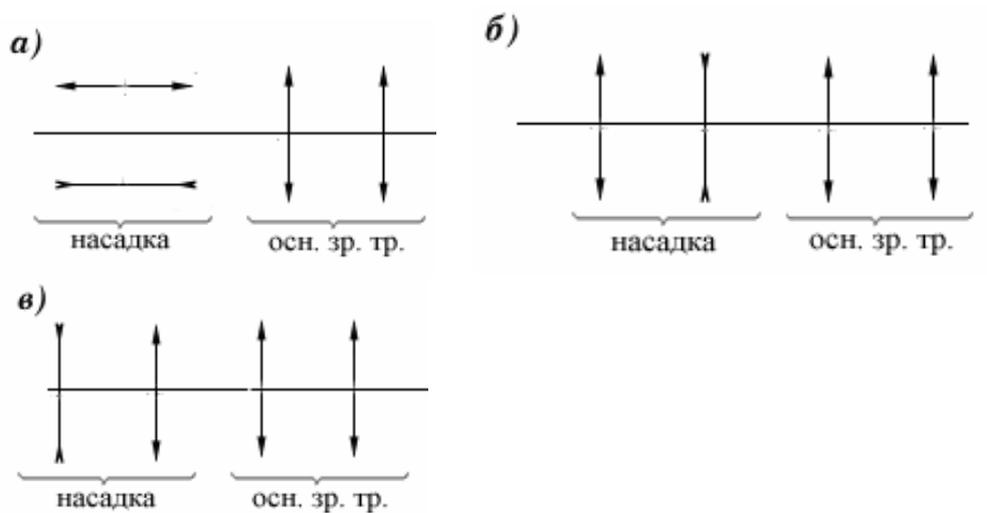
Определите угловое поле телескопической системы с ЭОП в пространстве предметов, если  $\Gamma_T = 5^x$ ,  $\beta_3 = -0.6^x$ ,  $D_{экр} = 12$  мм,  $L_3 = 36$  мм,  $L = 260$  мм? (Ответ дайте в градусах)

|                          |      |
|--------------------------|------|
| <input type="checkbox"/> | 4,82 |
| <input type="checkbox"/> | 4,52 |
| <input type="checkbox"/> | 5,73 |
| <input type="checkbox"/> | 5,50 |

Ответ: 5,73.

### **Вопрос 15**

На рисунке представлена телескопическая система, состоящая из основной зрительной трубы с увеличением  $\Gamma_{T\text{ осн}} = -15^x$  и насадки, выполненной в виде трубы Галилея, установленной в трех разных положениях. Определите какому из положений вращающейся афокальной насадки соответствует:



|                       |                      |   |
|-----------------------|----------------------|---|
| 1. $\Gamma_T = -15$   | <input type="text"/> | в |
| 2. $\Gamma_T = -5^x$  | <input type="text"/> | а |
| 3. $\Gamma_T = -45^x$ | <input type="text"/> | б |

Ответ:

|                       |                                |   |
|-----------------------|--------------------------------|---|
| 1. $\Gamma_T = -15^x$ | <input type="text" value="2"/> | в |
| 2. $\Gamma_T = -5^x$  | <input type="text" value="1"/> | а |
| 3. $\Gamma_T = -45^x$ | <input type="text" value="3"/> | б |

### Вопрос 16

Каким увеличением должна обладать телескопическая система, установленная после лазера, чтобы увеличить энергетическую освещенность в 49 раз? Потерями в оптической системе пренебречь.

|                          |       |
|--------------------------|-------|
| <input type="checkbox"/> | 0,143 |
| <input type="checkbox"/> | 0,222 |
| <input type="checkbox"/> | 0,161 |
| <input type="checkbox"/> | 0,117 |

Ответ: 0,143.

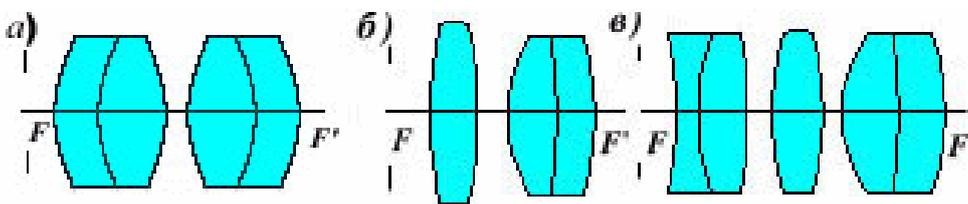
### Вопрос 17

Определить видимое увеличение зрительной трубы, предназначенной для корректировки стрельбы в тире, если дистанция 100 метров, диаметр отверстия от пули 5 мм? Диаметр выходного зрачка трубы принять равным  $D' = 2$  мм.

Ответ: 6.

### Вопрос 18

На рисунке представлены некоторые типы окуляров, используемых в телескопической системе. Какой тип окуляра соответствует каждому рисунку?



|                                |                      |   |
|--------------------------------|----------------------|---|
| 1. Окуляр Эрфле                | <input type="text"/> | а |
| 2. Окуляр Кельнера             | <input type="text"/> | б |
| 3. Окуляр симметрического типа | <input type="text"/> | в |

Ответ:

|                                |                                |   |
|--------------------------------|--------------------------------|---|
| 1. Окуляр Эрфле                | <input type="text" value="3"/> | а |
| 2. Окуляр Кельнера             | <input type="text" value="2"/> | б |
| 3. Окуляр симметрического типа | <input type="text" value="1"/> | в |

### Вопрос 19

Определить фокусное расстояние коллектива сложной зрительной трубы со следующими характеристиками:  $f'_{об} = 100$  мм,  $f'_{лос1} = f'_{лос2} = 250$  мм, расстояние между линзами оборачивающей системы  $d = 250$  мм, положение входного зрачка  $a_p = -20$  мм. Ответ дайте в мм.

Ответ: 100 мм.

**РУБЕЖНАЯ АТТЕСТАЦИЯ**  
**МОДУЛЬ №3**  
*Оптические системы микроскопа*

**Вопрос 1**

В микроскопе используется объектив:  $4\times 0.12$ . Найти полезное увеличение микроскопа.

|                          |                                      |
|--------------------------|--------------------------------------|
| <input type="checkbox"/> | $60 \leq \Gamma_{\text{п}} \leq 120$ |
| <input type="checkbox"/> | $60 \leq \Gamma_{\text{п}} \leq 150$ |
| <input type="checkbox"/> | $70 \leq \Gamma_{\text{п}} \leq 120$ |
| <input type="checkbox"/> | $40 \leq \Gamma_{\text{п}} \leq 110$ |

*Ответ:*  $60 \leq \Gamma_{\text{п}} \leq 120$ .

**Вопрос 2**

Укажите правильный диапазон величин диаметров выходного зрачка микроскопа в пределах его полезного увеличения.

|                          |  |
|--------------------------|--|
| <input type="checkbox"/> | $2.0 \text{ мм} \leq D' \leq 8.0 \text{ мм}$ |
| <input type="checkbox"/> | $1.0 \text{ мм} \leq D' \leq 1.5 \text{ мм}$ |
| <input type="checkbox"/> | $0.5 \text{ мм} \leq D' \leq 1.0 \text{ мм}$ |
| <input type="checkbox"/> | $0.3 \text{ мм} \leq D' \leq 0.3 \text{ мм}$ |

*Ответ:*  $0.5 \text{ мм} \leq D' \leq 1.0 \text{ мм}$ .

**Вопрос 3**

Определите размер дифракционного изображения точки в плоскости сетки для микроскопа, у которого  $A = 0.2$ ,  $\lambda = 0.546 \text{ мкм}$  и  $\beta_{\text{об}} = -10^x$ .

Ответ дайте в мкм.

*Ответ:* 13.65 мкм.

**Вопрос 4**

Определите глубину резко изображаемого пространства биологического микроскопа с объективом  $40\times 0.65$  и окуляром  $\Gamma_{\text{ок}} = 10^x$ ,  $\lambda = 0.0005 \text{ мм}$  при использовании окуляров с сеткой. Ответ дайте в мм.

*Ответ:* 0.00059 мм.

**Вопрос 5**

Определите числовую апертуру коллектора микроскопа, в котором используется лампа с размером проекции светящегося тела  $1.7\times 1.7 \text{ мм}$ . В микроскопе применен объектив  $10\times 0.30$  с линейным полем в пространстве предметов  $2y_{\text{об}} = 1.8 \text{ мм}$ .

*Ответ:* 0.32.

**Вопрос 6**

Указать правильное выражение для видимого увеличения микроскопа, состоящего из объектива и окуляра.

|                          |   |
|--------------------------|---|
| <input type="checkbox"/> | $\bar{\Gamma}_m = \frac{250}{f'_m}$               |
| <input type="checkbox"/> | $\bar{\Gamma}_m = \beta_{об} \bar{\Gamma}_{ок}$   |
| <input type="checkbox"/> | $\bar{\Gamma}_m = \frac{\beta_{об}}{\Gamma_{ок}}$ |
| <input type="checkbox"/> | $\bar{\Gamma}_m = \frac{f'_m}{250}$               |

Ответ:  $\bar{\Gamma}_m = \beta_{об} \bar{\Gamma}_{ок}$  .

### **Вопрос 7**

В микроскопе с видимым увеличением  $\Gamma = -466.3$ , угловое поле в пространстве изображений равно  $2\omega' = 50^\circ$  . Чему равно линейное поле в пространстве предметов  $2y$ ?

Ответ: 0.5 мм.

### **Вопрос 8**

Передняя апертура коллектора  $A_{кол} = 0.3$ , размер светящегося тела  $1.3 \times 1.3$  мм. Укажите, какой из микрообъективов подходит для работы с указанным коллектором наилучшим образом, если линейное поле объектива в пространстве предметов  $2y = 2$  мм.

|                          |         |
|--------------------------|---------|
| <input type="checkbox"/> | 16×0.4  |
| <input type="checkbox"/> | 6.3×0.2 |
| <input type="checkbox"/> | 40×0.65 |
| <input type="checkbox"/> | 10×0.3  |
| <input type="checkbox"/> | 60×0.85 |

Ответ: 6.3×0.2.

### **Вопрос 9**

Какой глаз называется дальнозорким?

Ответ: гиперметропический.

### **Вопрос 10**

При измерении оптических характеристик глаза оператор получил результат:  $f = -17.0$  мм,  $f' = 22.7$  мм. Так получилось, т.к.

|                          |   |
|--------------------------|---|
| <input type="checkbox"/> | Оператор ошибся                         |
| <input type="checkbox"/> | Так и должно быть при нормальном зрении |
| <input type="checkbox"/> | Такое возможно при аккомодации глаза    |
| <input type="checkbox"/> | Данный глаз имеет дефекты               |

Ответ: Так и должно быть при нормальном зрении.

## МОДУЛЬ №4

### Оптика фотографических и оптико-электронных систем

#### **Вопрос 1**

Объектив имеет относительное отверстие 1:2,  $f' = 100$ ,  $\beta = -70$ . Чему равна передняя апертура? Укажите правильный ответ. Объектив считать тонким.

|                          |      |
|--------------------------|------|
| <input type="checkbox"/> | 0,25 |
| <input type="checkbox"/> | 0,4  |
| <input type="checkbox"/> | 0,3  |
| <input type="checkbox"/> | 0,5  |

*Ответ:* 0,25.

#### **Вопрос 2**

Для решения поставленной задачи требуется рассчитать объектив со следующими параметрами:  $f' = 110$  мм, относительное отверстие 1:2,2, угловое поле в пространстве предметов  $2\omega = 28^\circ$ . Укажите, какой из указанных объективов наилучшим образом подходит для решения задачи (нужно осуществить только пересчет на другое фокусное расстояние).

|                          |  |
|--------------------------|--|
| <input type="checkbox"/> | $f' = 300$ ; 1:3; $2\omega = 25^\circ$   |
| <input type="checkbox"/> | $f' = 100$ ; 1:2; $2\omega = 30^\circ$   |
| <input type="checkbox"/> | $f' = 130$ ; 1:2.3; $2\omega = 30^\circ$ |
| <input type="checkbox"/> | $f' = 50$ ; 1:1.8; $2\omega = 25^\circ$  |
| <input type="checkbox"/> | $f' = 75$ ; 1:2.5; $2\omega = 35^\circ$  |

*Ответ:*  $f' = 100$ ; 1:2;  $2\omega = 30^\circ$ .

#### **Вопрос 3**

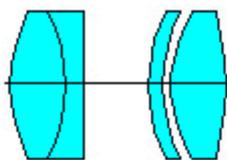
Объектив имеет следующие характеристики:  $f' = 50$  мм; 1:3;  $2\omega = 50^\circ$ . Укажите, к какому типу относится данный объектив.

|                          |                                 |
|--------------------------|---------------------------------|
| <input type="checkbox"/> | короткофокусный, широкоугольный |
| <input type="checkbox"/> | широкоугольный                  |
| <input type="checkbox"/> | нормальный                      |
| <input type="checkbox"/> | короткофокусный, светосильный   |

*Ответ:* нормальный.

#### **Вопрос 4**

Укажите, к какому типу относится показанный на рисунке объектив?



|                          |                   |
|--------------------------|-------------------|
| <input type="checkbox"/> | Таир              |
| <input type="checkbox"/> | Руссар-29         |
| <input type="checkbox"/> | Объектив Пецваля  |
| <input type="checkbox"/> | Зоннар(Юпитер)    |
| <input type="checkbox"/> | Тессар (Индустар) |

*Ответ:* Объектив Пецваля.

#### **Вопрос 5**

У объектива фотокамеры передний план находится на расстоянии 10 м, а задний в бесконечности. Определить диаметр входного зрачка (в мм).

*Ответ:* 6 мм.

#### **Вопрос 6**

Какое допустимо увеличение фотоснимков с пленки, зерно эмульсии которой имеет размер не более 2.5 мкм, если в дальнейшем снимки будут рассматриваться с расстояния наилучшего видения?

*Ответ:* 30.

#### **Вопрос 7**

Определить фокусирующую подвижку в мм для объектива с  $f' = 30$  мм, если минимальная дистанция съемки составляет 0,968 м. Укажите правильный ответ.

|                          |      |
|--------------------------|------|
| <input type="checkbox"/> | 0,93 |
| <input type="checkbox"/> | 0,90 |
| <input type="checkbox"/> | 1,0  |
| <input type="checkbox"/> | 0,96 |

*Ответ:* 0,96.

#### **Вопрос 8**

Чему равен угловой предел разрешения в минутах объектива с  $f' = 35$  мм, относительным отверстием 1:2 и фотографической разрешающей способностью 80 лин/мм? Предмет расположен в бесконечности.

Ответ: 1.22.

### **Вопрос 9**

Для плоскости объекта, находящегося на расстоянии от фотообъектива 500 мм при относительном отверстии 1:5 была получена освещенность в центре изображения  $E'_0$ . Рассчитать, при каком относительном отверстии освещенность останется неизменной, если плоскость объекта перенести на расстояние 1000 мм перед объективом ( $f_{об} = 100\text{мм}$ ).

|                          |         |
|--------------------------|---------|
| <input type="checkbox"/> | 1:5.625 |
| <input type="checkbox"/> | 1:7     |
| <input type="checkbox"/> | 1:3.75  |
| <input type="checkbox"/> | 1:4.3   |
| <input type="checkbox"/> | 1:2     |

Ответ: 1:5.625.

### **Вопрос 10**

Фотообъектив состоит из трех одиночных линз и одной склейки. Толщина всех линз по оптической оси объектива 90 мм. Определить светопропускание фотообъектива в процентах. Поглощение принять равным 1% в 1 см стекла, просветление наружных поверхностей однослойное.

Ответ: 77.72%.

## **ПРИМЕР ВЫПОЛНЕНИЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТА**

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, МЕХАНИКИ И ОПТИКИ**

---

Кафедра Прикладной и Компьютерной Оптики.

**Курсовой проект по дисциплине  
«Прикладная Оптика»**

**«Танковый перископ»**

Санкт-Петербург  
-2009-

**Исходные данные:**

**Видимое увеличение:**  $\Gamma_T=4$

**Угловое поле:**  $2\omega = 14^\circ$

**Диаметр выходного зрачка:**  $D'=4$  мм

**Визирование:**  $-6^\circ +81^\circ$

**Теоретические сведения.**

Если в неподвижных укрепленных точках приборы для наблюдения играют существенную роль, то в танках и бронемашинах, обладающих способностью передвигаться с большой скоростью, эти приборы приобретают еще большее значение, так как они служат не только для наблюдения, но одновременно и для управления машиной, обеспечивая ей маневренность, проходимость, связь с соседними машинами и т. д.

Особую группу танковых приборов для наблюдения составляют оптические приборы с телескопическими системами, т.е. со сферической оптикой. Танковые смотровые приборы с телескопическими оптическими системами можно разделить, в свою очередь, на приборы для водителей танков и для остальных членов экипажа.

Телескопическими называются оптические системы, преобразующие входящие в них от предметных точек пучки параллельных между собой лучей также в пучки взаимно параллельных лучей, но с другими диаметрами и углами наклона к оптической оси. В телескопических системах оптический интервал  $\Delta=0$ , в них оптическая сила  $\Phi = 0$ ,  $f' = \infty$ , поэтому они называются афокальными.

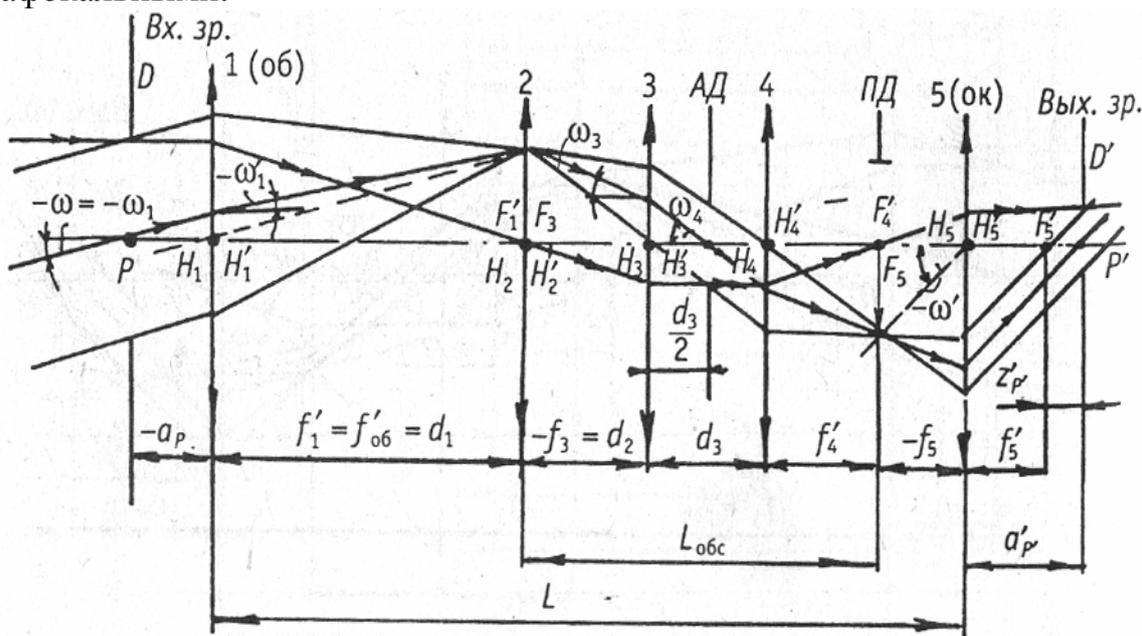


Рисунок 1. Оптическая схема зрительной трубы с двухкомпонентной симметричной оборачивающей системой.

Необходимым условием хорошего вождения машины является зрительное восприятие обстановки и местности, в точности отвечающее привычке. Поэтому приборы для водителей берутся с увеличением, не превышающим  $1 - 1,2^x$ , но при возможно большем поле зрения; минимальным считается угол  $30^\circ$ . В то же время приборы, которыми пользуются для наблюдения, например командиры танков, делаются обычно с большим увеличением — до  $2,5^x$ , так как командиру необходимо смотреть вдаль, распознавать удаленные объекты. Приборы с еще большими увеличениями в танках почти не применяются, так как наблюдение при помощи их на ходу машины невозможно вследствие вибрации и тряски.

Одним из следующих требований, предъявляемых к танковым приборам, является, в частности, требование наименьшей вероятности поражения входного окна прибора, которое, в силу необходимости, остается незащищенным. Это заставляет применять оптические системы с небольшими диаметрами входного зрачка; в некоторых случаях бывает необходимо этот зрачок вынести вперед по отношению к объективу, чтобы уменьшить диаметр отверстия в броне.

Однако для оптических систем такого рода нельзя уменьшать входной зрачок ниже определенного размера. Глаз наблюдателя может использовать все поле зрения, обеспечиваемое прибором, только в том случае, когда зрачок глаза достаточно точно совпадает с выходным зрачком прибора. На ходу машины такое совмещение вследствие тряски почти невозможно (даже при помощи налобников или наглазников). Поэтому выходной зрачок прибора должен допускать некоторые смещения зрачка глаза, т. е. диаметр его должен быть больше диаметра зрачка глаза—не менее 8—10 мм;

Для танковых приборов наблюдения особенно важно, чтобы наблюдатель мог смотреть обоими глазами. В простых смотровых устройствах — триплекс, зеркальных и призмных—эта возможность обеспечивается за счет соответствующего увеличения ширины стекла или зеркала (следовательно, и щели) до 90—100 мм. В случае же применения телескопических систем приходится для каждого глаза делать отдельные зрительные трубы и соединять их в один бинокулярный прибор.

Обычно подобные наблюдательные приборы делаются перископическими. В случае если объективная часть выступает из отверстия в передней, обычно наклонной стенке, перископичность делается небольшой, лишь для возможности поместить броневую заслонку позади отверстий в броне. Если же головка перископа выставляется кверху через крышу корпуса или башни, — его перископичность, так же как и зеркальных перископов, не может быть менее 230—250 мм.

## Расчет

### 1. Предварительный расчет:

$$\Gamma_T = \frac{tg\omega'}{tg\omega} = -\frac{f'_{об}}{f'_{ок}} = \frac{D}{D'};$$

$$D = D' \cdot \Gamma_T = 4 \cdot 4 = 16 \text{ мм};$$

$$tg\omega' = \Gamma_T \cdot tg\omega = 4 \cdot tg7^\circ = 0.49113;$$

$$\omega' = 26^\circ 9';$$

$$2\omega' = 52^\circ 19'.$$

### 2. Выбор окуляра:

$$f'_{ок} = a'_p = 25 \text{ мм}.$$

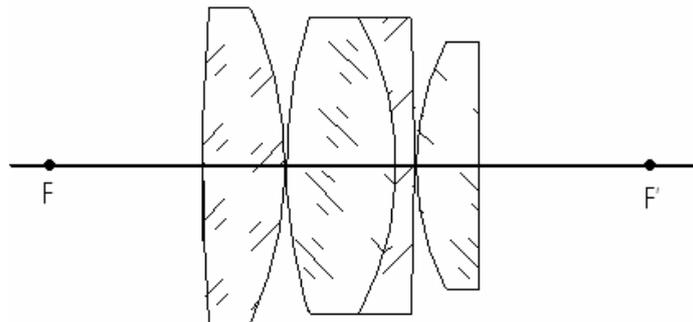
Выбран окуляр  $f' = 25$ ,  $2\omega = 60^\circ$ ,  $D = 6$ , 4 линзы

| № | Радиусы | Осевые расстояния | Марка стекла |
|---|---------|-------------------|--------------|
|   |         |                   | ВОЗДУХ       |
| 1 | 185.47  | 7.52              | К8           |
| 2 | -35.09  | 0.15              | ВОЗДУХ       |
| 3 | 45.87   | 10.03             | К8           |
| 4 | -28.57  | 1.68              | ТФ3          |
| 5 | -363.41 | 0.15              | ВОЗДУХ       |
| 6 | 25.31   | 5.76              | К8           |
| 7 | 0.0     |                   | ВОЗДУХ       |

Параксиальные характеристики окуляра:

$$f' = 24,9571 \quad S_F = -16,9705 \quad S'_{F'} = 15,4135 \quad S_H = 7,9866 \quad S'_{H'} = -9,5437$$

$$D_{ПД} = 2f'_{ок} tg\omega' = 2 \cdot 24,9571 \cdot tg26^\circ 9' = 24,5149.$$



### 3. Выбор объектива:

$$f'_{об} = \Gamma_T \cdot f'_{ок} = 4 \cdot 24,9571 = 99,8284 \text{ мм.}$$

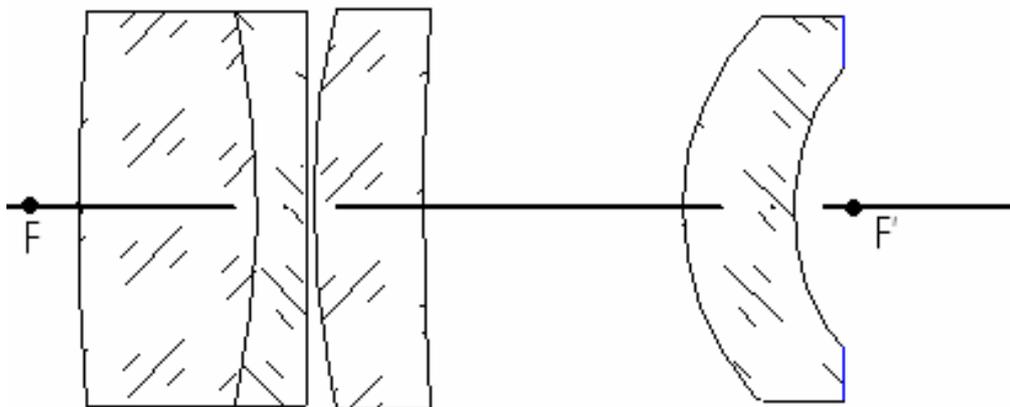
Таир-9:  $f' = 136$ ,  $2\omega = 18^\circ$ ,  $1:2.8$ , 4 линзы

Пересчитанный объектив:

| № | Радиусы | Осевые расстояния | Марка стекла |
|---|---------|-------------------|--------------|
| 1 | 123.03  |                   |              |
|   |         | 10.85709          | ТК9          |
| 2 | -54.33  |                   |              |
|   |         | 2.93453           | ТФ3          |
| 3 | 1556.0  |                   |              |
|   |         | 0.41814           | ВОЗДУХ       |
| 4 | 51.64   |                   |              |
|   |         | 6.67564           | ТК9          |
| 5 | 145.88  |                   |              |
|   |         | 15.77212          | ВОЗДУХ       |
| 6 | 17.100  |                   |              |
|   |         | 6.67564           | К8           |
| 7 | 13.49   |                   |              |
|   |         |                   | ВОЗДУХ       |

Параксиальные характеристики пересчитанного объектива:

$$f' = 99.8284 \quad S_F = -120.7926 \quad S'_{F'} = 59.0827 \quad S_H = -20.9642 \quad S'_{H'} = -40.7456$$



$$f' = 99.8284 \quad 1:6.25 \quad 2\omega = 14^\circ$$

#### 4. Расчет оборачивающей системы:

Наибольший диаметр линз:

$$D_0 = f'_{об} \cdot 2 \cdot \operatorname{tg} \omega = 99.8284 \cdot 2 \cdot \operatorname{tg} 7^\circ = 24.515 \text{ мм.}$$

Фокусное расстояние элемента оборачивающей системы:

$$f' = \frac{D_0 \cdot f'_{об}}{D} = \frac{24.515 \cdot 99.8284}{16} = 152.954 \text{ мм.}$$

Относительное отверстие:

$$\frac{D_0}{f'} = \frac{1}{6.25}.$$

Угловое поле:

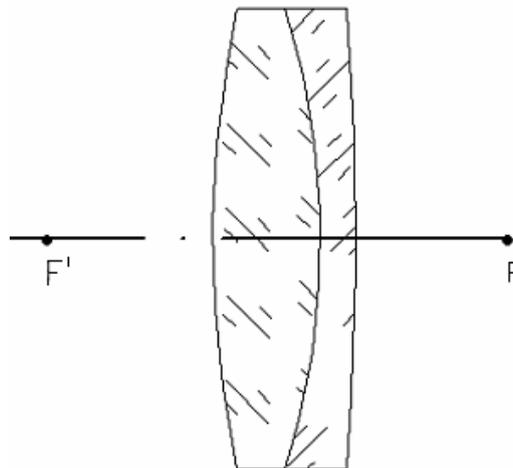
$$2\omega = 2 \cdot \operatorname{arctg} \left( \frac{D_0}{2 \cdot f'} \right) = 2 \cdot \operatorname{arctg} \left( \frac{24.515}{2 \cdot 152.954} \right) = 9^\circ 10'.$$

Пересчитанная склейка:

| № | Радиусы | Осевые расстояния | Марка стекла |
|---|---------|-------------------|--------------|
| 1 | 90.36   | 8.72              | К8           |
| 2 | -64.71  | 2.91              | ТФ1          |
| 3 | -223.89 |                   |              |

Параксиальные характеристики пересчитанной склейки:

$$\begin{aligned} f' &= 153.0766 & S_F &= -151.5409 & S'_F &= 147.0273 \\ S_H &= 1.5357 & S'_H &= -6.0493 \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} d_{3-4} &= 2 \cdot 0.5 \cdot f'_3 = 153.0766; \\ d_{4-ок} &= S'_{f4} - S_{fок} = 147.0273 + 16.9705 = 163.9978; \\ d_{об-3} &= S'_{fоб} - S_{f3} = 59.0827 + 147.0273 = 206.11; \\ d_{AD} &= \frac{d_{3-4}}{2} = \frac{153.0766}{2} = 76.5383. \end{aligned}$$

Апертурная диафрагма располагается на расстоянии 75.0026 мм от 12 поверхности (внутри оборачивающей системы).

### 5. Расчет призмы.

$$z = 0.01 \cdot f_{OK}^2 = 0.01 \cdot 24.9571^2 = 6.2285;$$

$$tg\gamma = \frac{n}{2k} = \frac{1.5182959}{2} = 0.75915;$$

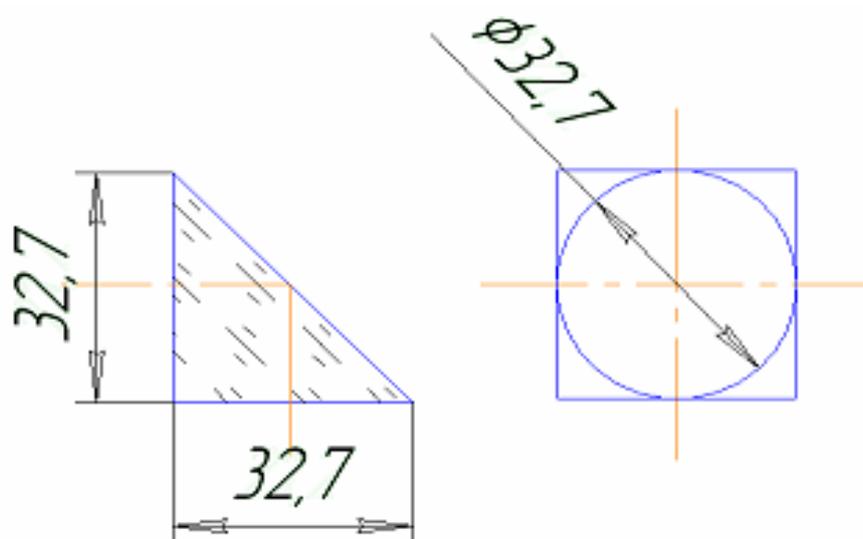
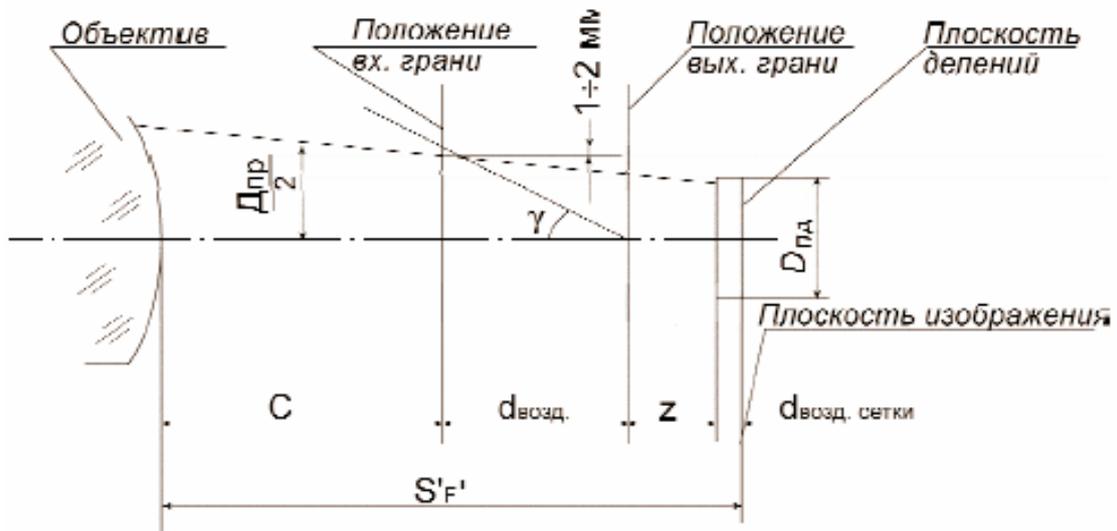
$$\gamma = 37^{\circ}12';$$

$$d_{возд} = \frac{D_{Пр}}{n} = \frac{32.66}{1.5182959} = 21.51;$$

$$d_{сетки} = \frac{d}{3} = \frac{1.5182959}{3} = 1.9758;$$

$$c = S'_{f4} - d_{возд} - z - d_{сетки};$$

$$c = 147.0273 - 21.51 - 6.2285 - 1.9758 = 117.312.$$



AP-90°

$a = 32.66 \text{ мм}$

$b = 32.66 \text{ мм}$

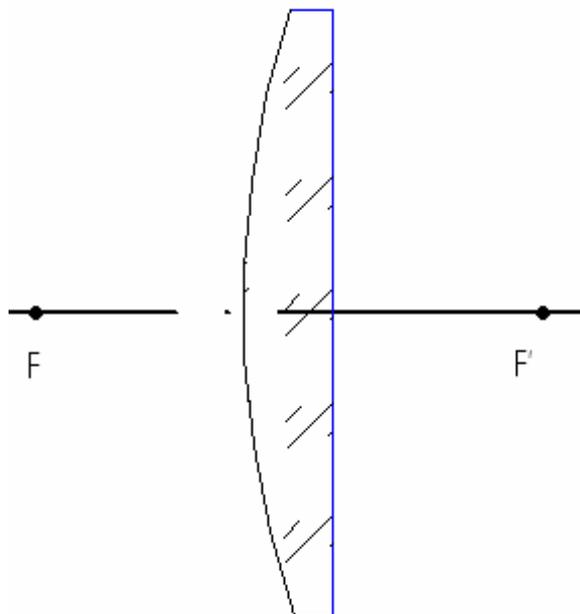
$n = 1,51829$

## 6. Расчет коллектива.

$$\begin{aligned}H_1 &= \operatorname{tg}\omega_1 \cdot a_p = \operatorname{tg}7^\circ \cdot (18.71) = 2.297; \\ \operatorname{tg}\omega_2 &= \operatorname{tg}\omega_1 + H_1\Phi_1 = \operatorname{tg}7^\circ + (2.297) \cdot 0.01 = 0.146; \\ H_2 &= H_1 - \operatorname{tg}\omega_2 \cdot f'_1 = 2.297 - (0.146) \cdot 99.8284 = -12.278; \\ \operatorname{tg}\omega_4 &= \frac{H_2}{f'_3} = \frac{-12.278}{153.0766} = -0.08021; \\ H_3 &= \frac{d}{2} \cdot \operatorname{tg}\omega_4 = \frac{153.0766}{2} \cdot (-0.08021) = -6.139; \\ \operatorname{tg}\omega_3 &= \frac{H_2 - H_3}{f'_3} = \frac{-12.278 - (-6.139)}{153.0766} = -0.04; \\ \Phi_2 &= \frac{\operatorname{tg}\omega_3 - \operatorname{tg}\omega_2}{H_2} = \frac{-0.04 - (0.146)}{-12.278} = 0.015; \\ f'_2 &= \frac{1}{\Phi_2} = \frac{1}{0.015} = 66.01; \\ r_1 &= f'_2 \cdot (n - 1) = 66.01 \cdot (1.5182959 - 1) = 34.213; \\ r_2 &= \infty.\end{aligned}$$

### **Конструктивные параметры коллектива:**

| № | Радиусы  | Осевые расстояния | Марка стекла |
|---|----------|-------------------|--------------|
| 1 | 34.213   |                   |              |
|   |          | 5                 |              |
| 2 | $\infty$ |                   | К8           |



### **Параксиальные характеристики коллектива:**

$$f' = 66.0106 \quad S_F = 66.0106 \quad S'_{F'} = 62.7174$$

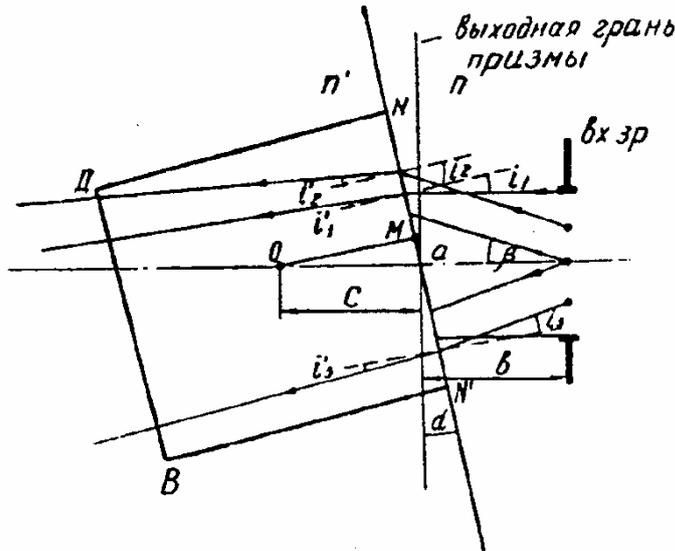
## 7. Расчёт головной призмы.

$$b = \frac{D_{\text{вх.зр}} \cdot \eta}{2 \cdot \operatorname{tg} \omega} = \frac{16 \cdot 0.5}{2 \cdot \operatorname{tg} 7^\circ} = 32.58;$$

$$a = \frac{D_{\text{вх.зр}} (1 - \eta) + 2b \cdot \operatorname{tg} \omega}{1 - 2k \cdot \operatorname{tg} \omega} = \frac{16(1 - 0.5) + 2 \cdot 32.58 \cdot \operatorname{tg} 7^\circ}{1 - 2 \cdot \operatorname{tg} 7^\circ} = 21.2;$$

$$d' = \frac{a}{n} = \frac{21.2}{1.5182959} = 13.9.$$

### Визирование.



Для определения размеров качающейся прямоугольной призмы проводят габаритные пучки лучей и на определённом (конструктивно выбранном) расстоянии  $b$  от входного зрачка помещают выходную грань призмы. Далее поворачивают её вокруг точки  $A$  на угол  $\alpha$ ,

равный половине угла визирования (при этом берётся наибольшее значение из заданных углов визирования). Затем определяют углы падения и преломления для габаритных лучей, т.е.  $i_1, i_2, i_3$  и  $i'_1, i'_2, i'_3$  и проводят преломленные лучи.

$$\alpha = 40.5^\circ;$$

$$i_1 = 40.5^\circ;$$

$$i_2 = 47.5^\circ;$$

$$i_3 = -33.5^\circ;$$

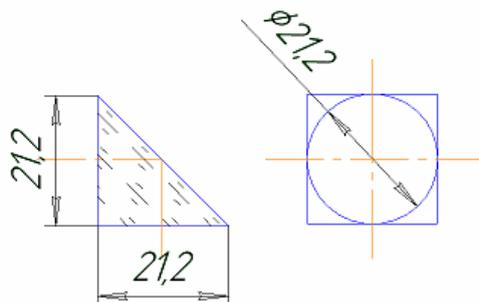
$$n = 1.5183.$$

$$i'_1 = \arcsin\left(\frac{\sin i_1}{n}\right) = 25^\circ 36';$$

$$i'_2 = \arcsin\left(\frac{\sin i_2}{n}\right) = 29^\circ 31';$$

$$i'_3 = \arcsin\left(\frac{\sin i_3}{n}\right) = -27^\circ 28'.$$

По расчётам получено, что  $OM = 10,9$  мм, а  $OA = 12,5$  мм. Следовательно, ось качания находится на расстоянии 23,4 мм от входного зрачка,  $D_{\text{пр}} = 21,2$  мм.



### **8. Конструктивные параметры всей системы:**

| №  | Радиусы | Осевые расстояния | Высоты | Марка стекла |
|----|---------|-------------------|--------|--------------|
| 1  | 123.03  |                   | 11.28  |              |
|    |         | 10.85             |        | ТК9          |
| 2  | -54.33  |                   | 11.644 |              |
|    |         | 2.93              |        | ТФ3          |
| 3  | 1556.0  |                   | 11.857 |              |
|    |         | 0.42              |        | ВОЗДУХ       |
| 4  | 51.64   |                   | 12.022 |              |
|    |         | 6.67              |        | ТК9          |
| 5  | 145.88  |                   | 11.821 |              |
|    |         | 15.77             |        | ВОЗДУХ       |
| 6  | 17.1    |                   | 11.689 |              |
|    |         | 6.67              |        | К8           |
| 7  | 13.49   |                   | 12.753 |              |
|    |         | 59.08             |        | ВОЗДУХ       |
| 8  | 30.02   |                   | 12.664 |              |
|    |         | 5                 |        | К8           |
| 9  | 0.0     |                   | 12.452 |              |
|    |         | 143.73            |        | ВОЗДУХ       |
| 10 | 223.9   |                   | 12.367 |              |
|    |         | 2.91              |        | ТФ1          |
| 11 | 64.71   |                   | 12.316 |              |
|    |         | 8.72              |        | К8           |
| 12 | -90.36  |                   | 12.323 |              |
|    |         | 150               |        | ВОЗДУХ       |
| 13 | 90.36   |                   | 12.376 |              |
|    |         | 8.72              |        | К8           |
| 14 | -64.71  |                   | 12.461 |              |
|    |         | 2.9               |        | ТФ1          |
| 15 | -223.9  |                   | 12.642 |              |
|    |         | 117.31            |        | ВОЗДУХ       |
| 16 | 0.0     |                   | 12.676 |              |
|    |         | 32.66             |        | К8           |
| 17 | 0.0     |                   | 12.685 |              |
|    |         | 6.23              |        | ВОЗДУХ       |
| 18 | 0.0     |                   | 12.822 |              |
|    |         | 3.0               |        | К8           |
| 19 | 0.0     |                   | 13.506 |              |
|    |         | 16.97             |        | ВОЗДУХ       |
| 20 | 185.47  |                   | 13.626 |              |
|    |         | 7.52              |        | К8           |
| 21 | -35.09  |                   | 12.758 |              |
|    |         | 0.15              |        | ВОЗДУХ       |
| 22 | 45.87   |                   | 11.485 |              |
|    |         | 10.03             |        | К8           |
| 23 | -28.57  |                   | 10.955 |              |
|    |         | 1.68              |        | ТФ3          |
| 24 | -363.41 |                   | 10.306 |              |
|    |         | 0.15              |        | ВОЗДУХ       |
| 25 | 25.31   |                   | 9.162  |              |
|    |         | 5.76              |        | К8           |
| 26 | 0.0     |                   |        | ВОЗДУХ       |

Параксиальные характеристики всей системы:

$$\Gamma_T = 3,99$$

$$S_P = 18.71 \text{ мм}$$

$$S'_{P'} = 17.45 \text{ мм}$$

### 9. Расчет коэффициента пропускания.

$$\tau = 0.96^k \cdot 0.95^f \cdot 0.98^{n_1} \cdot 0.99^{n_2} \cdot 0.995^{n_3} \cdot 0.99^d \cdot 0.9^{N_0};$$

где

$k$  - число кроновых непросветленных поверхностей,  
 $f$  - число флинтových непросветленных поверхностей,  
 $n_1$  - число однослойно просветленных поверхностей,  
 $n_2$  - число двухслойно просветленных поверхностей,  
 $n_3$  - число трехслойно просветленных поверхностей,  
 $d$  - длина хода луча в стекле в см,  
 $N_0$  - число зеркальных поверхностей.

$$\tau = 0.98^{20} \cdot 0.99^{13.064} \cdot 0.96^4 = 0,6676 \cdot 0,877 \cdot 0,849 = 0,497.$$

Так как просветление 50% недостаточно, необходимо использовать двухслойное просветление. В этом случае:

$$\tau = 0.99^{20} \cdot 0.99^{13.064} \cdot 0.96^4 = 0,818 \cdot 0,877 \cdot 0,849 = 0,609.$$

При двухслойном просветлении коэффициент пропускания повысился до 61%, что почти соответствует требованиям к рассчитываемому типу приборов.

## 10. Аберрации:

### Точка на оси

| $m$<br>отн   | $e$                 |                           |                     |               | $F'$                |                           | $C'$                |                           |
|--------------|---------------------|---------------------------|---------------------|---------------|---------------------|---------------------------|---------------------|---------------------------|
|              | $\Delta L'$<br>дптр | $\Delta\sigma'$ ,<br>сек. | $W$ ,<br>длины волн | $\eta$ ,<br>% | $\Delta L'$<br>дптр | $\Delta\sigma'$ ,<br>мин. | $\Delta L'$<br>дптр | $\Delta\sigma'$ ,<br>мин. |
| <b>1,000</b> | 0.07491             | 31''                      | -0.2482             | 0,1462        | -0.29387            | -2'                       | -0.3252             | -2'14''                   |
| <b>0,866</b> | 0.09105             | 33''                      | -0.1705             | 0,1096        | -0.22171            | -1'19''                   | -0.3537             | -2'6''                    |
| <b>0,707</b> | 0.08309             | 24''                      | -0.0892             | 0,0731        | -0.17550            | -51''                     | -0.4048             | -1'58''                   |
| <b>0,500</b> | 0.05234             | 11''                      | -0.0256             | 0,037         | -0.15384            | -32''                     | -0.4771             | -1'39''                   |
| <b>0</b>     | 0                   | 0                         | 0                   | 0             | -0.15543            | 0                         | -0.5697             | 0                         |

### Точка вне оси

| $\omega$ ,<br>гр. | $S_p$ ,<br>мм | $S'_p$ ,<br>мм | $L'_m$ ,<br>дптр | $L'_s$ ,<br>дптр | $\Delta$ ,<br>% | $\omega'_{F'} - \omega'_{C'}$ ,<br>мин |
|-------------------|---------------|----------------|------------------|------------------|-----------------|--|
| 7°                | 61,51         | 14,69          | 8,2095           | 6,9499           | 19,4519         | 12'7''                                 |
| 4,57              | 34,95         | 16,30          | 3,4797           | 3,3113           | 7,9278          | 6'57''                                 |
| 0                 | 18,71         | 17,45          | 0                | 0                | 0               | 0                                      |

### Широкий наклонный пучок

#### *меридиональное сечение*

| $m$    | $\omega = 7^\circ$    | $\omega = 4^\circ 34'$ |
|--------|-----------------------|------------------------|
|        | $\Delta\omega'$ , мин | $\Delta\omega'$ , мин  |
| 1,000  | 25'                   | 14'                    |
| 0,707  | 18'                   | 10'                    |
| 0      | -35''                 | -13''                  |
| -0,707 | -19'                  | -12'                   |
| -1     | -26'                  | -17'                   |

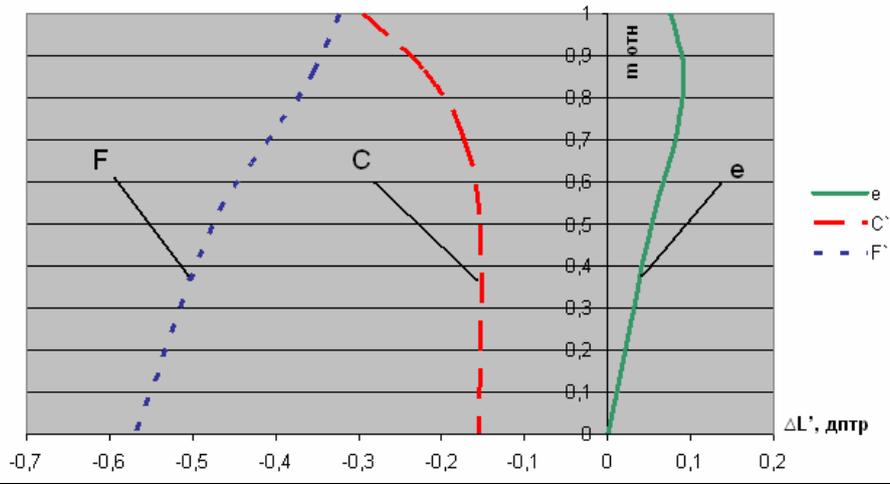
#### *сагитальное сечение*

| $m$   | $\omega = 7^\circ$    |                     | $\omega = 4^\circ 34'$ |                     |
|-------|-----------------------|---------------------|------------------------|---------------------|
|       | $\Delta\omega'$ , сек | $\Delta\psi'$ , мин | $\Delta\omega'$ , сек  | $\Delta\psi'$ , мин |
| 1,000 | 53''                  | 44'                 | 1'                     | 22'                 |
| 0,707 | 29''                  | 31'                 | 37''                   | 16'                 |

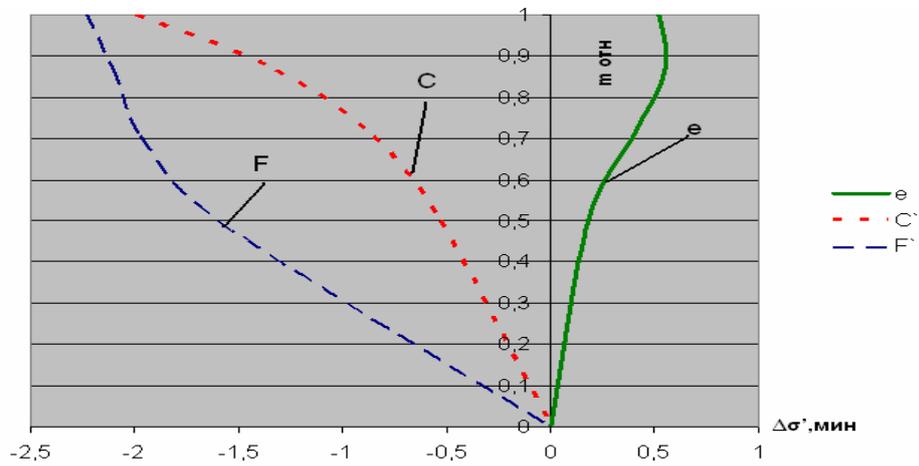
# 11. Графики

## Точка на оси

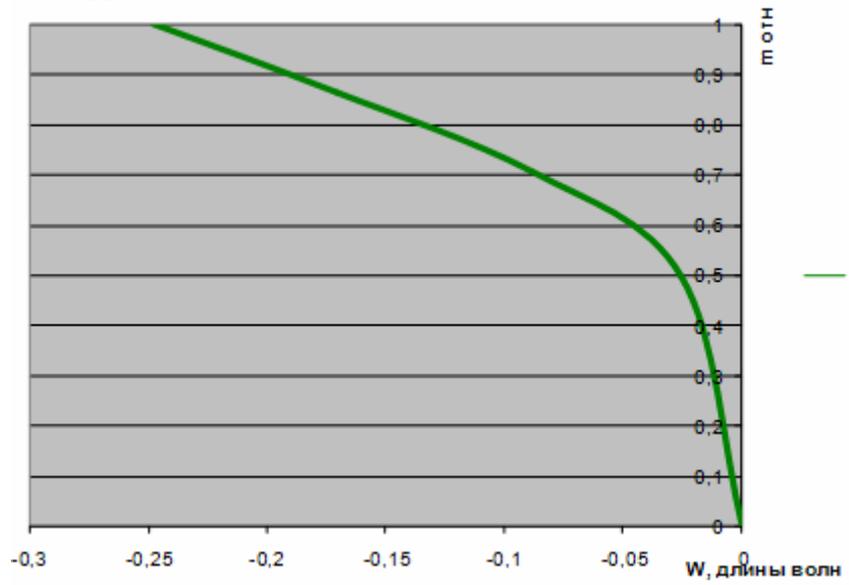
### Продольные aberrации



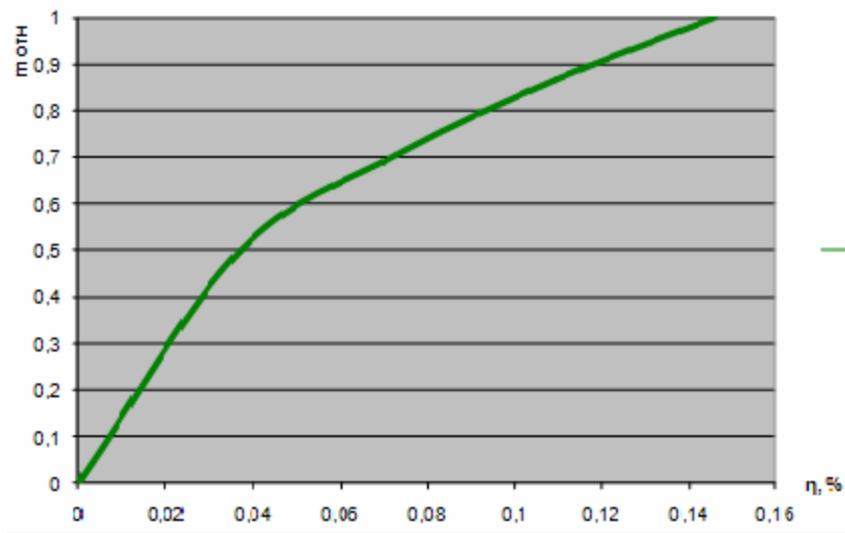
### Угловые aberrации



### Волновые aberrации

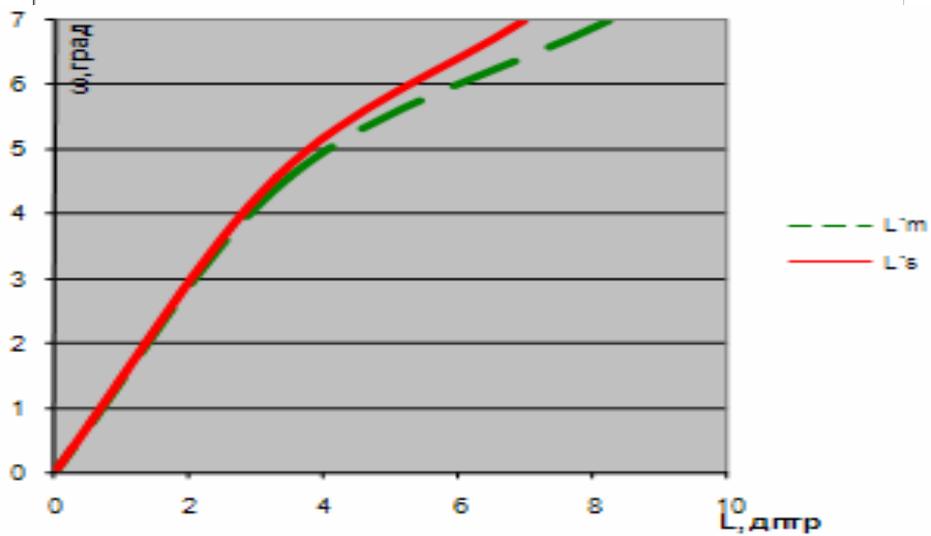
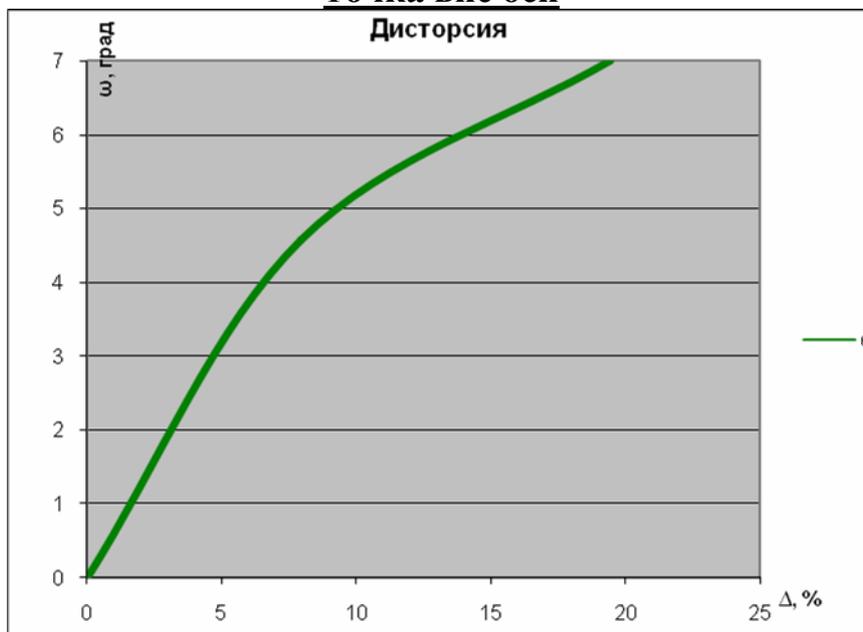


## Неизопланатизм

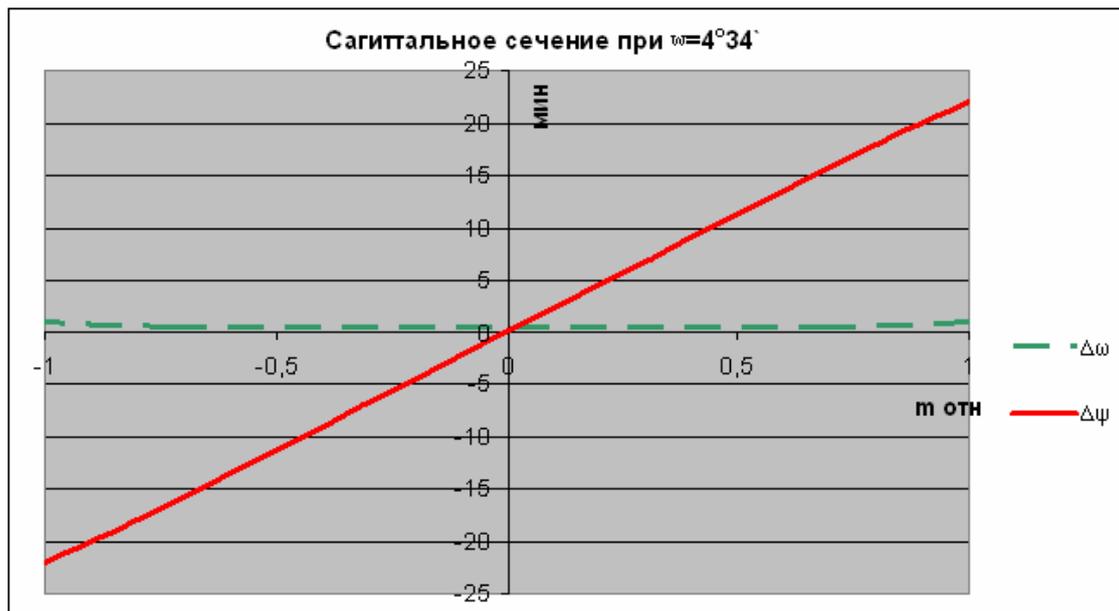
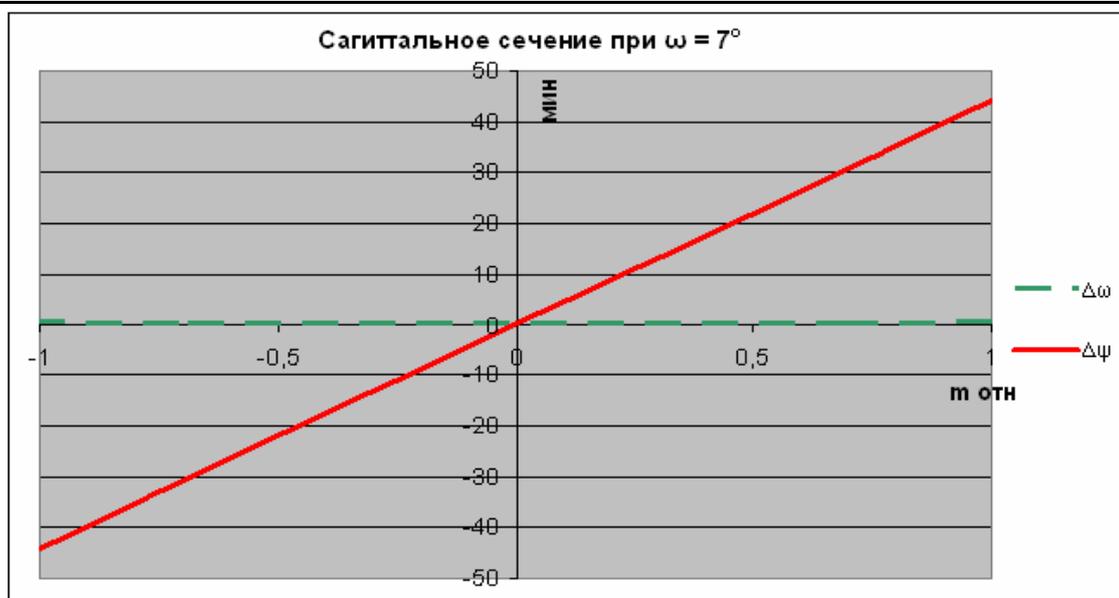
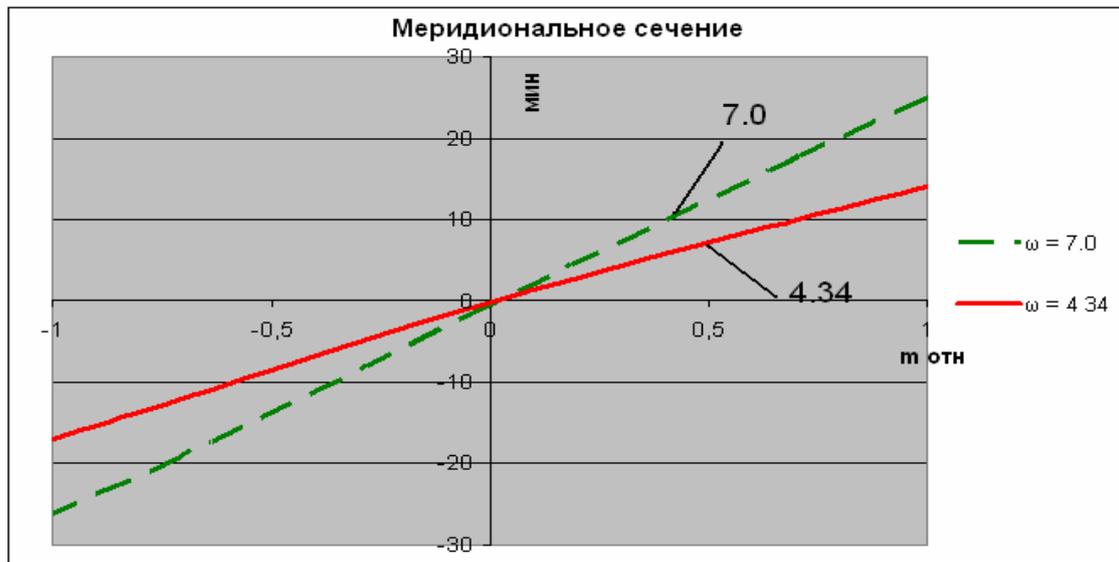


### Точка вне оси

#### Дисторсия



## Широкий наклонный пучок



## 12. Анализ качества изображения.

Для точки на оси:

- угловые aberrации для линии  $e$  не превышают  $33''$  ( $m = 0,866$ );
- волновые aberrации для линии  $e$  не превышают  $0,25\lambda$ ;
- угловые aberrации для линии  $C'$  не превышают  $2'$ ; для линии  $F'$  - не более  $2' 5''$ ;
- волновые aberrации для линии  $C'$  и  $F'$  значительно превышают  $0,25\lambda$ :  $0,46$  (для  $C'$ ) и  $1,23$  (для  $F'$ );

Для точки вне оси:

- угловые aberrации на краю поля в меридиональной плоскости для участка поля  $\omega = 7^\circ$  для линии  $e = 18'$ ; для линии  $C' = 12' 12''$ ; для линии  $F' = 10' 19''$  ( $m = 0,707$ );
- угловые aberrации на краю поля в меридиональной плоскости для участка поля  $\omega = 4' 34''$  для линии  $e$  не превышают  $10'$ ; для линии  $C' = 6'$ ; для линии  $F' = 13' 12''$  ( $m = 0,707$ );
- хроматизм увеличения для участка поля  $\omega = 7^\circ$  равен  $12' 7''$ , для участка поля  $\omega = 4^\circ 34' - 6' 57''$ ;
- угловые aberrации в зоне для линии  $e$  для участка поля  $\omega = 4^\circ 34'$  равны  $12''$ ;
- в сагиттальной плоскости  $\Delta\psi'$  на краю поля равна  $31'$ , а для участка поля  $y = 4^\circ 34' \Delta\psi' = 16'$ .

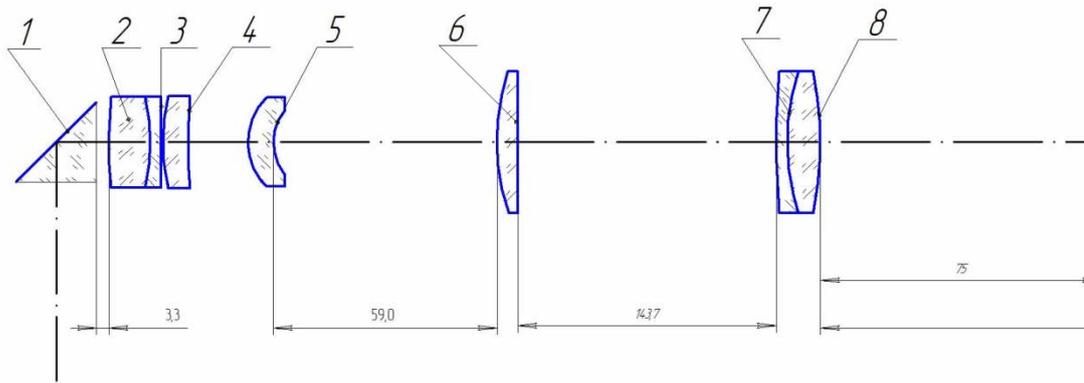
Анализ разрешающей способности перископа:

Разрешающая способность перископа, связанная с ограничивающей разрешающей способностью глаза в пространстве предметов, равна

$$\psi = \frac{60}{\Gamma_T},$$

где  $\Gamma_T$  - увеличение телескопической системы (перископа). В данном случае имеем увеличение, равное 4. Разрешающая способность системы в пространстве предметов равна  $15''$ .

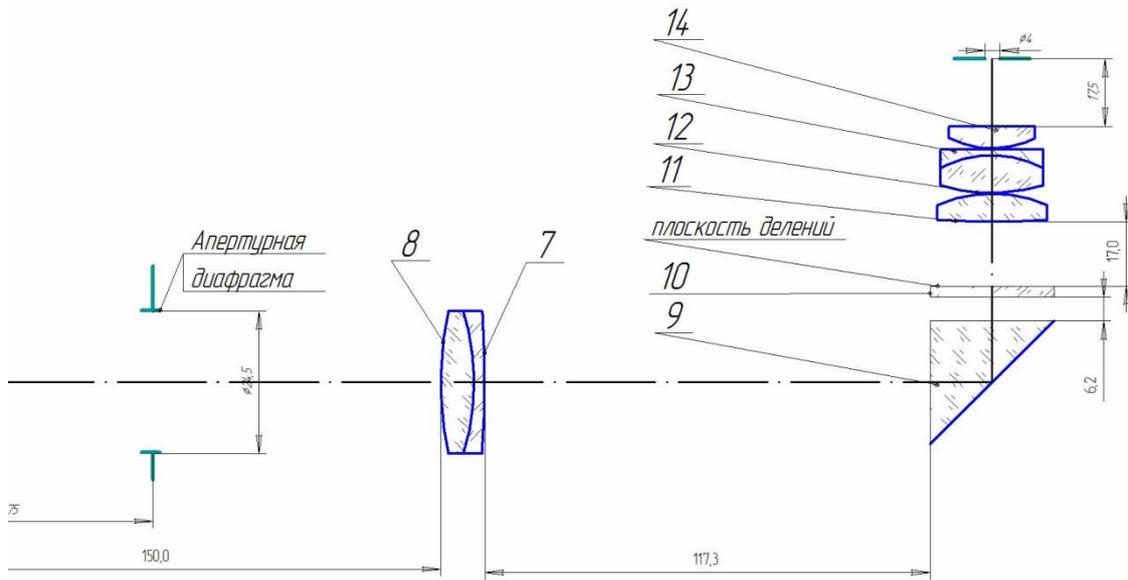




| Позиция | св. #1 | Стрелка по СВ#1 | св. #2 | Стрелка по СВ#2 | Толщина по оси, длина развертки, мм |
|---------|--------|-----------------|--------|-----------------|-------------------------------------|
| 1       | 23.36  | 0.0             | 23.3   | 0.0             | 13.9                                |
| 2       | 26.61  | 0.72            | 24.56  | -1.41           | 10.85                               |
| 3       | 24.56  | -1.41           | 24.56  | 0.05            | 2.93                                |
| 4       | 23.19  | 1.32            | 21.05  | 0.38            | 6.67                                |
| 5       | 12.41  | 1.17            | 9.38   | 0.84            | 6.67                                |
| 6       | 26.68  | 3.13            | 26.68  | 0.0             | 5                                   |
| 7       | 26.01  | 0.38            | 25.82  | 1.3             | 2.91                                |
| 8       | 25.82  | 1.3             | 25.71  | -0.92           | 8.72                                |
| 9       | 25.9   | 0.0             | 25.9   | 0.0             | 32.66                               |
| 10      | 26.73  | 0.0             | 27.06  | 0.0             | 3.0                                 |
| 11      | 30.02  | 0.61            | 30.22  | -3.42           | 7.52                                |
| 12      | 27.69  | 2.14            | 25.19  | -2.93           | 10.03                               |
| 13      | 25.19  | -2.93           | 23.84  | -0.2            | 1.68                                |
| 14      | 22.12  | 2.55            | 19.28  | 0.0             | 5.76                                |

| N позиции | Наименование      |
|-----------|-------------------|
| 2-5       | Объектив          |
| 6         | Коллектив         |
| 7-8       | Объектив об.сист. |
| 11-14     | Окуляр            |

Видимое увеличение  $\Gamma = 4$   
 Диаметр выходного зрачка  $D' = 4$  мм  
 Угловое поле в пространстве предметов  $2\omega = 14^\circ$   
 Удаление выходного зрачка от последней поверхности  $Sp' = 17,5$



| $f'$  | SF     | SF'   |
|-------|--------|-------|
| 99,9  | -120,9 | 59,2  |
| 57,9  | -57,9  | 54,6  |
| 153,1 | -151,5 | 147,0 |
| 24,9  | -16,9  | 15,4  |

| Зона | Позиция | Обозначение | Наименование  | Кол-во | Примечания |
|------|---------|-------------|---------------|--------|------------|
|      | 1       |             | Призма AP-90° | 1      |            |
|      | 2       |             | Линза         | 1      |            |
|      | 3       |             | Линза         | 1      |            |
|      | 4       |             | Линза         | 1      |            |
|      | 5       |             | Линза         | 1      |            |
|      | 6       |             | Линза         | 1      |            |
|      | 7       |             | Линза         | 2      |            |
|      | 8       |             | Линза         | 2      |            |
|      | 9       |             | Призма AP-90° | 1      |            |
|      | 10      |             | Сетка         | 1      |            |
|      | 11      |             | Линза         | 1      |            |
|      | 12      |             | Линза         | 1      |            |
|      | 13      |             | Линза         | 1      |            |
|      | 14      |             | Линза         | 1      |            |

ПикО 005.012.001

| Изм.        | Лист | И. Вокци       | Подпись | Дата | Лит. | Масса | Масштаб |
|-------------|------|----------------|---------|------|------|-------|---------|
|             |      |                |         |      |      |       | 1:1     |
| Разработ.   |      | Филиппова О.Ю. |         |      |      |       |         |
| Проект.     |      | Цуканова Г.И.  |         |      |      |       |         |
| Технический |      |                |         |      |      |       |         |
| Исполнитель |      |                |         |      |      |       |         |
| Умб.        |      |                |         |      |      |       |         |

Дифракционная разрешающая способность системы

$$\Psi_{\text{диф}} = \frac{140}{D},$$

где  $D$  – диаметр входного зрачка перископа. Диаметр равен 16 мм.

Следовательно,

$$\Psi_{\text{диф}} = 8''.$$

В реальной системе разрешающую способность можно определить по графику, представленному на рисунке. Из графика ЧКХ данной системы (танкового перископа) видно, что при контрасте 0,21 данная система может разрешать 0,63 лин/мин или 1,5' для пространства изображения.

Следовательно, в пространстве предметов реальная разрешающая способность равна

$$\Psi = \frac{90''}{\Gamma_T} = 22.5''.$$

Из этого можно сделать вывод, что изображение для точки на оси удовлетворительное.

## ОБУЧАЮЩИЕ ТЕСТЫ

### МОДУЛЬ №3

#### Тема 3.1 Оптические системы микроскопа. Основы расчёта и проектирования оптических систем

##### Теоретические сведения

Микроскопы предназначены для рассматривания, фотографирования, измерения изучаемых предметов и отдельных элементов его структуры, не различимых невооруженным глазом. Основными характеристиками микроскопа являются: видимое увеличение  $\bar{\Gamma}_m$ , линейное поле  $2y$ , диаметр выходного зрачка  $D'$ .

Формулы для видимого увеличения микроскопа:

$$\bar{\Gamma}_m = \frac{tg\omega'}{tg\omega} = -\frac{250}{f'_m} = \beta_{об} \Gamma_{ок} = -\frac{\Delta_0 250}{f'_{об} \cdot f'_{ок}} = -\frac{500 A_{об}}{D'}$$

Три последних формулы используются для определения видимого увеличения микроскопа с конечной длиной тубуса. Для микроскопов, длина тубуса которых принята равной бесконечности, видимое увеличение определяется по формуле:

$$\bar{\Gamma}_m = -\frac{f'_{т.л.}}{f'_{об}} \cdot \Gamma_{ок},$$

где  $f'_{т.л.}$  - фокусное расстояние микроскопа,  $f'_{об}$  - фокусное расстояние окуляра,  $\beta_{об}$  - линейное увеличение объектива,  $\Delta_0$  - оптическая длина тубуса.

Полезное увеличение микроскопа лежит в пределах:

$$500 A_{об} \leq \Gamma_{Мполезное} \leq 1000 A_{об},$$

где  $A_{об} = n \sin \sigma_A$  - числовая апертура объектива.

Диаметр выходного зрачка микроскопа:

$$D' = -\frac{500 A_{об}}{\bar{\Gamma}_m} = 2 f'_{ок} \cdot tg \sigma'_A \cdot \sigma'_{об},$$

где  $\sigma'_{об}$  - апертурный угол объектива в пространстве изображений.

Линейное поле микроскопа:

$$2y_{об} = \frac{D_{н.д.}}{\beta_{об}},$$

здесь  $D_{н.д.}$  - диаметр полевой диафрагмы, определяемый по формуле:

$$D' = 2 f'_{ок} \cdot tg \omega',$$

где  $2\omega'$  - угловое поле микроскопа в пространстве изображения.

Диаметр апертурной диафрагмы, расположенной в задней фокальной плоскости объектива:

$$D_{А.Д.} = 2 \Delta_o tg \sigma'_{Аоб} \cong 2 f'_{об} \cdot A_{об}.$$

Линейное увеличение окуляра в зрачках:

$$\beta_{Fок} = \frac{D'}{D_{A.Д.}}$$

Линейное увеличение микроскопа, состоящего из объектива и положительного проекционного окуляра:

$$\beta_m = \beta_{об} \cdot \beta_{ок},$$

где  $\beta_{ок}$  - линейное увеличение окуляра, передающего изображение на конечное расстояние.

Линейный дифракционный предел разрешения:

$$\delta = \frac{\lambda}{A_{об} + A'_{кон}},$$

где  $\lambda$  - длина волны,  $A_{об}$  и  $A'_{кон}$  - числовая апертура объектива и конденсора соответственно.

Если  $A_{об} = A'_{кон}$ , то

$$\delta = \frac{\lambda}{2A_{об}},$$

разрешающая способность микроскопа:

$$N = \frac{1}{\delta} \text{ лин/мм.}$$

Глубина резко изображаемого пространства микроскопа:

$$T = T_{акк} + T_g = \frac{n \cdot 250}{\Gamma_m^2} + \frac{n\lambda}{2A_{об}^2},$$

где  $T_{акк}$  - аккомодационная глубина,  $T_g$  - дифракционная или волновая глубина,  $n$  - показатель преломления иммерсии.

Если изображение предмета проецируется на экран или в плоскость полевой диафрагмы располагается шкала, то  $T_{акк} = 0$ . Тогда

$$T = T_g = \frac{\lambda}{2A_{об}^2}.$$

### **Вопрос 1**

Микроскоп укомплектован объективом 10x0.3 (система без иммерсии) и окуляром  $\Gamma_{ок} = 16^x$ . Длина волны излучения  $\lambda = 0.5$  мкм. Определите наименьшее разрешаемое расстояние, отнесенное к пространству изображений в угловой мере в минутах.

*Решение:*

Правильный ответ определяется выражением

$$tg\psi = \frac{\delta}{f'_m} = \frac{\lambda \cdot \Gamma_m}{2A_{об} \cdot 250},$$

где  $\delta$  - линейный дифракционный предел разрешения в мм,

$f'_m$  - фокусное расстояние микроскопа в мм.

*Ответ:* 1.83'.

## **Вопрос 2**

Определить числовую апертуру коллектора микроскопа, в котором используется лампа с размером светящегося тела  $3 \times 3$  мм. В микроскопе используется объектив  $f'_{об} = 16$  мм,  $A_{об} = 0.30$  с линейным полем в пространстве предметов  $2y_{об} = 2$  мм.

*Решение:*

Правильный ответ определяется из условия апланатизма:

$$2y_{ист} \cdot A_{кол} = 2y_{об} \cdot A_{об} ,$$

где  $2y_{ист}$  - размер светящегося тела лампы,

$A_{кол}$  - числовая апертура коллектора в пространстве предметов,

$2y_{об}$  - линейное поле микроскопа,

$A_{об} = n \cdot \sin \sigma_A$  - числовая апертура объектива в пространстве

предметов.

*Ответ:* 0.14.

## **Вопрос 3**

В микроскопе используется объектив  $f'_{об} = 6.3$  ,  $A_{об} = 0.65$  и конденсор с линейным увеличением  $\beta_{кон} = -0.05$ . Определить числовую апертуру конденсора  $A_{кон}$  ?

*Ответ:* 0.0325.

*Примечание:*

Для решения задачи смотреть "Методические указания по габаритному расчету и выбору компонентов оптических систем микроскопов", Л.,ЛИТМО, 1990 г. Авторы: Цуканова Г. И. и др., стр 24.

### **Теоретические сведения**

В зависимости от положения предмета и изображения все оптические системы можно разделить на 4 типа:

- I. Предмет в бесконечности, изображение в бесконечности (телескопические системы).
- II. Предмет в бесконечности, изображение на конечном расстоянии (фотографические системы).
- III. Предмет на конечном расстоянии, изображение в бесконечности (микроскопы).
- IV. Предмет на конечном расстоянии, изображение на конечном расстоянии (проекторные или репродукционные системы).

Для систем I типа основные характеристики:

- видимое увеличение  $\Gamma_T$  ,
- диаметр входного зрачка  $D$  или выходного зрачка  $D'$ ,
- угловое поле в пространстве предметов  $2\omega$  или в пространстве изображения  $2\omega'$ .

Для систем II типа основные характеристики:

- заднее фокусное расстояние  $f'$ ,
- относительное отверстие  $D/f'$ ,

- угловое поле в пространстве предметов  $2\omega$  или линейное поле в пространстве изображения  $2y'$ .

Для систем III типа основные характеристики:

- видимое увеличение  $\Gamma$ ,
- линейное поле в пространстве предметов  $2y$  или угловое поле в пространстве изображения  $2\omega'$ ,
- передняя апертура  $A = n \cdot |\sin \sigma|$ .

Для систем IV типа основные характеристики:

- линейное увеличение  $\beta$ ,
- передняя или задняя апертура ( $A = n \cdot |\sin \sigma|$ ,  $A' = n \cdot |\sin \sigma'|$ ),
- линейное поле в пространстве предметов  $2y$  или линейное поле в пространстве изображения  $2y'$ ,
- расстояние между плоскостями предметов и изображений  $l$ .

#### **Вопрос 4**

Оптическая система, работающая в видимом диапазоне длин волн, имеет следующие характеристики: видимое увеличение  $\Gamma = -250$ , диаметр выходного зрачка  $D' = 0.5$  мм, угловое поле в пространстве изображений  $2\omega' = 40^\circ$ . Укажите, к какому типу относится данная система.

|                          |  |
|--------------------------|--|
| <input type="checkbox"/> | микроскоп (Предмет на конечном расстоянии, изображение в бесконечности.)                   |
| <input type="checkbox"/> | проекционная система (Предмет на конечном расстоянии, изображение на конечном расстоянии.) |
| <input type="checkbox"/> | фотографическая система (Предмет в бесконечности, изображение на конечном расстоянии.)     |
| <input type="checkbox"/> | телескопическая система (Предмет в бесконечности, изображение в бесконечности.)            |

*Решение:*

Параметром, который в первую очередь указывает на то, что это микроскоп, является диаметр выходного зрачка. В телескопических системах выходной зрачок меньше 1 мм, как правило, не бывает.

*Ответ:* микроскоп.

*Примечание:*

Более подробная информация в книге "Теория оптических систем", Чуриловский В. Н., Машиностроение, 1966.

#### **Вопрос 5**

Какое фокусное расстояние в миллиметрах должна иметь лупа, чтобы с ее помощью можно было различать объекты порядка 30 мкм?

*Решение:*

Чтобы глаз мог различить объекты порядка 30 мкм, они должны быть видны глазу под углом  $\gamma \geq 1'$ . В этом случае заднее фокусное расстояние лупы:

$$f' = \frac{0.03}{0.0003} = 100 \text{ мм.}$$

Ответ:  $f' = 100$  мм.

### Вопрос 6

Каким должно быть видимое увеличение микроскопа (по модулю), чтобы он мог различить объекты порядка 1 мкм?

Решение:

Разрешающая способность микроскопа в линейной мере определяется по формуле

$$l = \frac{\lambda}{2A}.$$

Если  $\lambda = 0.5461$  мкм, тогда передняя апертура:

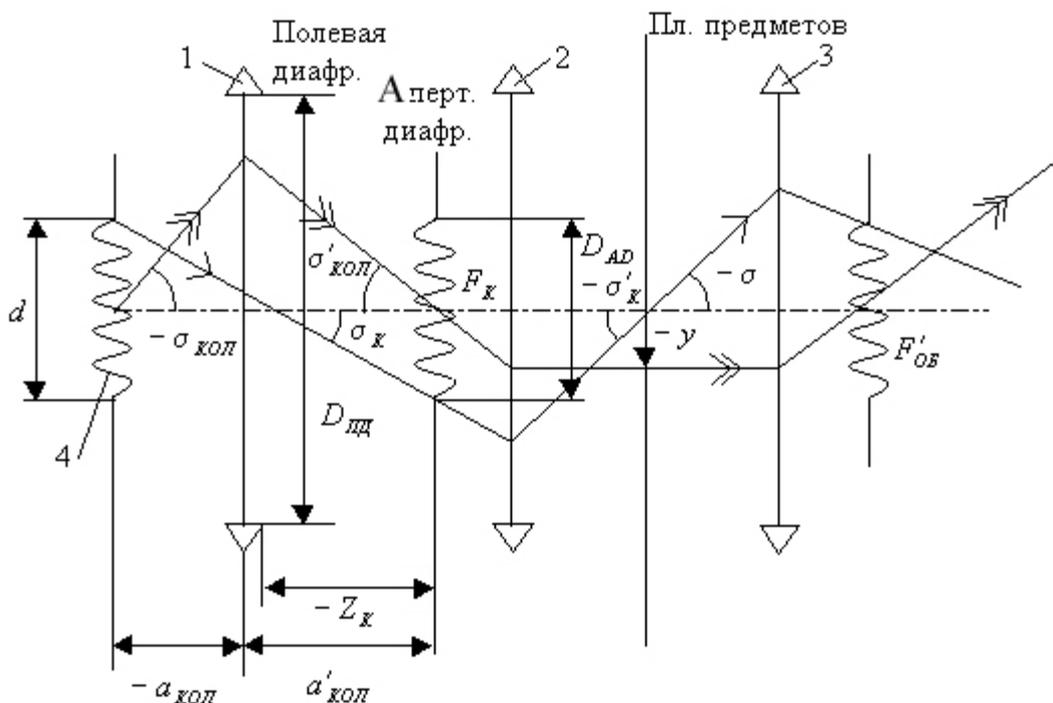
$$A = \frac{0.5461}{2 \cdot 1} = 0.273.$$

Видимое увеличение (полезное)  $\Gamma = (500 \div 1000)A$ . Следовательно, в данном случае  $\Gamma \approx 273$ .

Ответ:  $\Gamma = 273$ .

### Теоретические сведения

В микроскопе осуществляется система освещения по Кёллеру.



Коллектор 1 проектирует источник света 4 в апертурную диафрагму, расположенную в передней фокальной плоскости конденсора 2. Конденсор 2 проектирует полевую диафрагму, расположенную вблизи коллектора 1 на плоскость предметов.

Основные формулы:

$$\beta_{кол} = -\frac{D_{ад}}{d} = \frac{a'_{кол}}{a_{кол}};$$

$$\beta_{к} = -\frac{2y}{D_{нд}} = -\frac{f'_{к}}{z_{к}};$$

$$D_{ад} = -2A'_{к} \cdot f_{к};$$

$$A'_{к} = n \cdot |\sin(\sigma'_{к})|.$$

С точностью до соблюдения законов синусов выполняется инвариант

$$|\sin(\sigma_{кол})| \cdot d = |\sin(\sigma'_{кол})| \cdot D_{ад} = 2y \cdot A_{об},$$

где

$$A_{об} = n \cdot \sin \sigma,$$

$n$  - показатель преломления среды, в которой находится предмет.

### **Вопрос 7**

В микроскопе применен объектив 10x0.30 с линейным полем в пространстве предметов  $2y = 1.8$  мм. Чему равна числовая апертура коллектора, если размер светящегося тела  $1.7 \times 1.7$  мм<sup>2</sup>.

*Решение:*

В микроскопах с точностью до соблюдения закона синусов выполняется инвариант:

$$d \cdot \sin \sigma_{кол} = 2yA_{об},$$

где  $d$  - размер (меньшая сторона) тела накаливания,

$A_{об}$  - апертура объектива.

$$\sin \sigma_{кол} = \frac{2yA_{об}}{d} = \frac{1.8 \cdot 0.3}{1.7} = 0.32.$$

*Ответ:*  $\sin \sigma_{к} = 0.32$ .

### **Вопрос 8**

При измерении оптических характеристик глаза оператор получил результат  $f = -18.7$  мм и  $f' = 18.7$  мм. Такие результаты получились, потому что:

|                          |  |
|--------------------------|--|
| <input type="checkbox"/> | Такое возможно при аккомодации глаза.    |
| <input type="checkbox"/> | Данный глаз имеет дефекты.               |
| <input type="checkbox"/> | Оператор ошибся.                         |
| <input type="checkbox"/> | Так и должно быть при нормальном зрении. |

*Решение:*

Переднее и заднее фокусные расстояния любой оптической системы относятся как показатели преломления сред до системы и после нее с обратным знаком. Оптическая система глаза работает из воздуха в стекловидное тело с показателем преломления  $n=1.336$ . Следовательно,  $-f \neq f'$ .

*Ответ:* оператор ошибся.

### Вопрос 9

Ближняя точка ясного видения находится на расстоянии 500 мм перед глазом, а дальняя - 2500 мм. Определите объем аккомодации этого глаза.

*Решение:*

Объемом аккомодации называется расстояние от дальней точки ясного видения до ближней точки, измеренное в диоптриях.

$$V = A_{л} - A_{б} = \frac{1000}{a_{л}} - \frac{1000}{a_{б}} = \frac{1000}{-2500} - \frac{1000}{-500} = -0,4 + 2 = 1,6.$$

*Ответ:* 1.6 дптр.

## МОДУЛЬ №4

### Тема 4.1 Телескопические системы со сменой увеличения

#### Теоретические сведения

Телескопические системы, или зрительные трубы предназначены для наблюдения удаленных предметов, поэтому в них входят параллельные пучки лучей. Телескопическая система работает с глазом наблюдателя и изображение, создаваемое ею и рассматриваемое глазом, находится на бесконечности, поэтому из системы выходят также параллельные пучки лучей. Оптическая сила телескопической системы равна 0 и такие системы называются афокальными. Основными характеристиками являются:

- видимое увеличение  $\Gamma_T$ ;
- угловое поле  $2\omega$ ;
- диаметр выходного зрачка  $D'$ .

Основные формулы для расчета телескопических систем:

1. Видимое увеличение:

$$\Gamma_T = \frac{tg\omega'}{tg\omega} = \frac{D}{D'} = -\frac{f'_{об}}{f'_{ок}}.$$

2. Формулы для связи линейного, углового и продольного увеличения с видимым:

$$\begin{aligned}\beta &= \frac{n}{n'\Gamma} = const; \\ \gamma &= \Gamma = const; \\ \alpha &= \frac{n}{n'\Gamma^2} = const.\end{aligned}$$

3. Размер полевой диафрагмы:

$$D_{н.д.} = 2f'_{об} \cdot tg\omega = 2f'_{ок} \cdot tg\omega'.$$

4. Расстояние между компонентами:

$$d = f'_{об} + f'_{ок}.$$

5. Удаление выходного зрачка от заднего фокуса окуляра:

$$z'_p = \frac{z_p}{\Gamma_T^2},$$

где  $z_p$  - расстояние входного зрачка от переднего фокуса объектива.

6. Угловой предел разрешения, определяемый дифракцией:

$$\psi = \left( \frac{140}{D} \right)''.$$

7. Угловой предел разрешения, учитывающий свойства глаза:

$$\psi = \left( \frac{60}{\Gamma_T} \right)''.$$

8. Необходимое перемещение окуляра для компенсации недостатков зрения:

$$\Delta = \frac{f_{ок}^2}{\frac{1000}{A_d} + C},$$

где  $A_d$  - аметропия глаза в диоптриях,

$C$  - расстояние от заднего фокуса окуляра до глаза.

9. Формулы для расчета телескопической системы со скачкообразной сменой увеличения:

$$\Gamma_{\bar{o}} = \Gamma_1 \cdot \Gamma_2,$$

где  $\Gamma_1$  - видимое увеличение вращающейся трубы Галилея,

$\Gamma_2$  - видимое увеличение основной телескопической системы.

При повороте трубы Галилея ее увеличение будет равно  $1/\Gamma_1$ , а вся система будет иметь малое увеличение:

$$\Gamma_m = \left( \frac{1}{\Gamma_1} \right) \cdot \Gamma_2.$$

Условием неподвижности зрачков при вращении трубы Галилея является выражение:

$$a_p = -a'_p.$$

При повороте трубы на  $180^\circ$  меняться будет лишь диаметр входного зрачка. Отрезок  $a_p$ , определяющий положение неподвижного входного зрачка, равен:

$$a_p = \frac{\Gamma_1 d}{\Gamma_1^2 + 1} \quad \text{или} \quad a_p = \frac{\Gamma_1 - 1}{\Gamma_1^2 + 1} \cdot f'_1,$$

где  $f'_1$  - фокусное расстояние объектива трубы Галилея,

$d$  - расстояние между объективом и окуляром трубы Галилея.

10. Определение диаметров объектива и окуляра:

$$\begin{aligned} D_{об} &= 2(a_p \cdot \operatorname{tg}\omega + m), \\ D_{ок} &= 2(a'_p \cdot \operatorname{tg}\omega' + m), \end{aligned}$$

где  $a_p$  - положение входного зрачка от передней главной плоскости объектива,

$a'_p$  - положение выходного зрачка от задней главной плоскости окуляра,

$m$  - ордината наклонного пучка лучей во входном зрачке,

$m'$  - ордината наклонного пучка лучей в выходном зрачке,

$k_v$  - коэффициент виньетирования определяется выражением:

$$k_v = \frac{D - \bar{D}}{D},$$

где  $D$  - диаметр входного зрачка,

$\bar{D}$  - ширина наклонного пучка лучей, измеренная в плоскости входного зрачка:

$$\bar{D} = 2m.$$

### **Вопрос 1**

В телескопической системе используется объектив и окуляр со следующими характеристиками:

$$f'_{об} = 120 \text{ мм}, S'_{F'} = 113.89 \text{ мм}, S_F = -120.08 \text{ мм};$$

$$f'_{ок} = 30 \text{ мм}, S'_F = 22.80 \text{ мм}, S_F = -22.80 \text{ мм}.$$

Определить расстояние от последней поверхности объектива до первой поверхности окуляра.

*Решение:*

Телескопическая система - афокальная система, поэтому задний фокус объекта совпадает с передним фокусом окуляра и расстояние между компонентами определяется по формуле:

$$S'_{Fоб} - S_{Fок} = 113,89 + 22,80 = 136,69 \text{ мм}.$$

*Ответ:* 136.69 мм.

### **Вопрос 2**

Определить угловое поле  $2\omega$  зрительной трубы Галилея, у которой диаметр выходного зрачка  $D' = 4$  мм, объектив диаметром  $D_{об} = 20$  мм и относительным отверстием  $D/f'_{об} = 1:5$ ,  $K_v = 0.5$  и диаметром входного зрачка  $D = 20$  мм. Глаз удален от окуляра на 10 мм. Ответ дайте в градусах.

*Решение:*

Увеличение определяем по формуле

$$|\Gamma_T| = \frac{D}{D'} = \frac{20}{4} = 5.$$

Для системы Галилея оно положительное. Из  $D/f'_{об} = 1:5$  находим  $f'_{об} = 100$  мм.

$$\Gamma = -\frac{f'_{об}}{f'_{ок}} \Rightarrow f'_{ок} = -20 \text{ мм}.$$

В трубе Галилея входной зрачок мнимый и находится за головой наблюдателя. Угловое поле  $2\omega$  при виньетировании 50% определяется  $D_{об}$  и отрезком  $a_p$ :

$$\begin{aligned} \operatorname{tg}\omega &= \frac{D_{об}}{2a_p}; \\ a_p &= z_p - f'_{об}; \\ z_p &= z'_p \cdot \Gamma_T^2; \\ z'_p &= -f'_{ок} + a'_{Рок}. \end{aligned}$$

где  $a'_{Рок}$  - удаление выходного зрачка и  $a'_{Рок} = 10$  мм.

Из этих формул получаем

$$\operatorname{tg}\omega = \frac{20}{2} \cdot 650 = 0.0154 \Rightarrow 2\omega = 1.77^\circ.$$

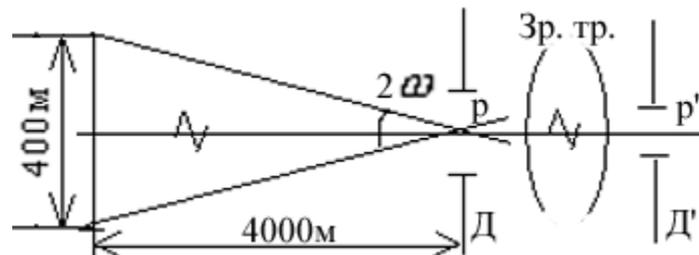
Ответ:  $1.77^\circ$ .

### Вопрос 3

Определить основные характеристики зрительной трубы, предназначенной для наблюдения предметов с конечными размерами 400 м с расстояния 4 км, если при этом необходимо различать детали предмета размером 0.4 м.

|                          |   |
|--------------------------|---|
| <input type="checkbox"/> | $\Gamma_T = 4^x$ , $2\omega = 6^\circ 03'$ , $D' = 2$ мм    |
| <input type="checkbox"/> | $\Gamma_T = 2^x$ , $2\omega = 4^\circ 54'$ , $D' = 3.23$ мм |
| <input type="checkbox"/> | $\Gamma_T = 3^x$ , $2\omega = 5^\circ 43'$ , $D' = 2.33$ мм |

Решение:



Угловое поле согласно рисунку:

$$\operatorname{tg}\omega = \frac{200}{4000} = 0.05; \quad 2\omega = 5^\circ 43'.$$

Зрительная труба в пространстве предметов разрешает

$$\operatorname{tg}\psi = \frac{0.4}{4000} = 0.0001; \quad \psi = 20''.$$

Угловым предел разрешения, определяемый дифракцией, вычисляем по формуле:

$$\psi = \left( \frac{140}{D} \right)'',$$

отсюда определяем диаметр входного зрачка

$$D = \frac{140}{20} = 7 \text{ мм.}$$

Если учитывать свойства глаза, то по формуле

$$\Psi = \left( \frac{60}{\Gamma_T} \right)''$$

находим видимое увеличение

$$\Gamma_T = \frac{60}{20} = 3^x.$$

Диаметр выходного зрачка определяем из выражения

$$|\Gamma| = \frac{D}{D'} \Rightarrow D' = \frac{7}{3} = 2.33 \text{ мм.}$$

Ответ:  $\Gamma_T = 3^x$ ,  $2\omega = 5^\circ 43'$ ,  $D' = 2.33 \text{ мм.}$

### Теоретические сведения

Для зрительных труб с электронно-оптическим преобразователем ЭОП применяют следующие формулы:

$$\Gamma_T = -\frac{\beta_\varepsilon \cdot f'_{об}}{f'_{ок}};$$

$$L = f'_{об} + L_\varepsilon + f'_{ок};$$

$$|\beta_\varepsilon| = \frac{D_{эк}}{D_{фк}};$$

$$D_{фк} = 2f'_{об} \cdot \text{tg}\omega;$$

$$D_{эк} = 2f'_{ок} \cdot \text{tg}\omega'.$$

### Вопрос 4

Лазер имеет поток излучения  $\Phi_e = 314 \text{ Вт}$  с плоским углом расходимости  $2\omega = 0.01$  радиан. Какое видимое увеличение должна иметь телескопическая система, стоящая после лазера, чтобы получить на расстоянии  $1 \text{ км}$  энергетическую освещенность  $E_e = 160 \text{ Вт/м}^2$ . Коэффициент пропускания оптической системы  $\tau_{ос} = 0.8$ , коэффициент пропускания атмосферы  $\tau_{атм} = 0.5$ . Укажите правильный ответ:

|                          |      |
|--------------------------|------|
| <input type="checkbox"/> | 0.09 |
| <input type="checkbox"/> | 0.25 |
| <input type="checkbox"/> | 0.10 |
| <input type="checkbox"/> | 0.12 |
| <input type="checkbox"/> | 0.2  |

Решение:

Сила излучения лазера определяется по формуле

$$I_e = \frac{\Phi_e}{\pi \omega^2},$$

в данном случае имеем

$$I_e = \frac{314}{3.14 \cdot 0.005^2} = 4 \cdot 10^6 \text{ Вт/стер.}$$

Освещенность, создаваемая лазером:

$$E_e = \tau_a \frac{I_e}{r^2} = 0.5 \frac{4 \cdot 10^6}{1 \cdot 10^6} = 2 \text{ Вт/м}^2.$$

Для того, чтобы на том же расстоянии получить освещенность  $160 \text{ Вт/м}^2$ , необходимо увеличить силу излучения в 80 раз. С учетом коэффициента пропускания оптической системы имеем

$$\frac{I_{e,oc}}{I_e} = \tau_{oc} \left( \frac{D'}{D} \right)^2,$$

где  $I_{e,oc}$  - сила излучения после оптической системы,

$D'$  - диаметр выходного зрачка оптической системы,

$D$  - диаметр входного зрачка оптической системы.

$$\frac{D}{D'} = |\Gamma_T|,$$

где  $\Gamma_T$  - видимое увеличение телескопической системы. В данном случае:

$$|\Gamma_T| = \sqrt{\frac{I_e \tau_{oc}}{I_{e,oc}}} = \sqrt{\frac{0,8}{80}} = 0,1.$$

Ответ:  $\Gamma_T = 0,1$ .

### **Вопрос 5**

В зрительную трубу с увеличением  $10^x$  и длиной 275 мм смотрел человек с нормальным зрением. Другой для получения резкого изображения уменьшил ее длину на 5 мм. Какова аметропия его глаза?

Решение:

Для расфокусировки трубы на А дптр необходимо переместить окуляр на величину

$$\Delta = \frac{f'_{ок}{}^2}{1000} \cdot A.$$

Так как

$$L = f'_{об} + f'_{ок} = 275,$$

$$\Gamma = -\frac{f'_{об}}{f'_{ок}} = 10,$$

$$f'_{ок} = 25 \text{ мм},$$

то

$$A = \frac{1000 \cdot \Delta}{f'_{ок}{}^2} = \frac{1000 \cdot (-5)}{25^2} = -8.$$

Ответ: -8 дптр.

### **Вопрос 6**

Каков радиус стереоскопического видения наблюдателя, который пользуется театральным биноклем с  $\Gamma=2.5^x$ ? Ответ дайте в метрах.

Решение:

Радиус стереоскопического видения наблюдателя связан с порогом глубинного зрения, который считается равным  $10''$ . При наблюдении в бинокль с  $\Gamma=2.5^x$  он равен  $4''$ . Учитывая, что пластика театрального бинокля равна единице:

$$L = \frac{B}{\operatorname{tg}\gamma} = \frac{0.065}{0.00002} = 3250 \text{ м.}$$

Ответ: 3250 м.

### **Теоретические сведения**

Более подробное описание теории расчета телескопических систем, основные формулы, ход лучей в зрительных трубах Кеплера и Галилея смотрите в учебно-методическом пособии "Прикладная оптика" Часть 2. СПб, СПбГУИТМО, 2003г., авторы: Цуканова Г.И. и др.

## **МОДУЛЬ №4**

### **Тема 4.2 Оптика фотографических и оптико-электронных систем. Основы расчёта и проектирования**

#### **Теоретические сведения**

Основными характеристиками фотографического объектива (предмет в бесконечности, изображение на конечном расстоянии) являются: фокусное расстояние  $f'$ , относительное отверстие  $1:K$ , угловое поле в пространстве предметов  $2\omega$ .

Фокусное расстояние определяет масштаб изображения на снимке. Масштаб изображения определяется линейным увеличением:

$$\beta = -\frac{f}{z} = -\frac{f'}{z'}.$$

Если расстояние от объектива до предмета достаточно велико, то масштаб изображения определяется по формуле:

$$\beta \approx \frac{f'}{a}.$$

Для репродукционных объективов (предмет на конечном расстоянии, изображение на конечном расстоянии) основными характеристиками являются: линейное увеличение  $\beta$ , передняя или задняя апертуры, линейное поле в пространстве предметов  $2u$  или линейное поле в пространстве изображений  $2u'$ .

### **Вопрос 1**

Фотографический объектив имеет заднее фокусное расстояние  $f'=100$  мм, относительное отверстие  $1:2$ . Чему равна передняя апертура (в системе "Opal")?

Решение:

В программе "Oral", предназначенной для расчета оптических систем и разработанной в ИТМО под руководством профессора С.А.Родионова, принята система обобщенных характеристик. Взаимосвязь обобщенных характеристик и характеристик оптических систем по ГОСТу 7427-76 приведена в таблице 1.

Таблица 1. Обобщенные характеристики в системе "Oral"

| Тип системы | Положение предмета      | Положение изображения   | Обобщенные характеристики в системе «Oral» |                   |                 |                   |                      |
|-------------|-------------------------|-------------------------|--|-------------------|-----------------|-------------------|----------------------|
|             |                         |                         | Увеличение                                 | Передняя апертура | Задняя апертура | Величина предмета | Величина изображения |
| 00          | Дальнее<br>$S = \infty$ | Дальнее<br>$S = \infty$ | $\bar{V}_0$                                | $\bar{A}_0$       | $\bar{A}'_0$    | $\bar{y}_0$       | $\bar{y}'_0$         |
| 01          | Дальнее<br>$S = \infty$ | ближнее                 |  |                   |                 |                   |                      |
| 10          | Ближнее                 | Дальнее<br>$S = \infty$ |  |                   |                 |                   |                      |
| 11          | ближнее                 | Ближнее                 |  |                   |                 |                   |                      |

В системе "Oral" передняя апертура для дальнего положения предмета равна половине диаметра входного зрачка, который в данном случае равен  $D = 50$  мм.

Ответ: 25 мм.

### **Вопрос 2**

Объектив имеет следующие характеристики:  $f' = 100$  мм; 1:2.8;  $2\omega = 45^\circ$ . Укажите, к какому типу относится данный объектив.

|                          |                              |
|--------------------------|------------------------------|
| <input type="checkbox"/> | светосильный, широкоугольный |
| <input type="checkbox"/> | несветосильный               |
| <input type="checkbox"/> | широкоугольный               |
| <input type="checkbox"/> | длиннофокусный               |
| <input type="checkbox"/> | нормальный                   |

Решение:

За основу деления объективов по фокусному расстоянию принимается отношение фокусного расстояния к диагонали кадра, которое для нормальных фотообъективов обычно составляет 0.9 - 1.5. Объективы, у которых это отношение меньше 0.9, называются короткофокусными, а больше 1.5 - длиннофокусными.

В зависимости от диафрагменного числа  $k$  (относительное отверстие 1:k) различают объективы: сверхсветосильные ( $k < 1.4$ ); светосильные ( $1.4 \leq k < 2.8$ ), нормальные ( $2.8 \leq k < 5.6$ ), несветосильные ( $k \geq 5.6$ ).

В зависимости от углового поля фотообъективы делят на: узкоугольные ( $2\omega < 40^\circ$ ), нормальные ( $40^\circ \leq 2\omega < 60^\circ$ ), широкоугольные ( $60^\circ \leq 2\omega < 100^\circ$ ), сверхширокоугольные ( $100^\circ \leq 2\omega$ )

Ответ: нормальный.

### Вопрос 3

Установите соответствие между типом объектива, показанного на рисунке, и названием.

|    |  |                          |                  |
|----|--|--------------------------|------------------|
| 1. |  | <input type="checkbox"/> | Объектив Пецваля |
| 2. |  | <input type="checkbox"/> | Таир             |
| 3. |  | <input type="checkbox"/> | Триплет          |
| 4. |  | <input type="checkbox"/> | Индустар         |
| 5. |  | <input type="checkbox"/> | Гипергон         |

Ответ:

1. триплет
2. объектив Пецваля
3. гипергон
4. таир
5. индустар

### Вопрос 4

Фотографируется сюжет, который находится в интервале расстояний  $3 \div 10$  м. Фокусное расстояние объектива  $f' = 55$  мм. Какое относительное отверстие должен иметь объектив, чтобы получить заданную глубину резко изображаемого пространства?

|                          |      |
|--------------------------|------|
| <input type="checkbox"/> | 1:20 |
| <input type="checkbox"/> | 1:10 |
| <input type="checkbox"/> | 1:15 |
| <input type="checkbox"/> | 1:22 |
| <input type="checkbox"/> | 1:5  |

Решение:

Положение переднего плана определяется по формуле

$$\frac{1}{a_1} = \frac{1}{a} + \frac{1}{a_0},,$$

где  $a$  - положение плоскости наводки,

$$a_0 = \frac{D}{\gamma}, \gamma = 1' = 0.0003 \text{ рад},$$

$D$  - диаметр входного зрачка.

Положение заднего плана  $a_2$ :

$$\frac{1}{a_2} = \frac{1}{a} - \frac{1}{a_0}.$$

В данном случае получаем

$$\frac{1}{a_1} - \frac{1}{a_2} = \frac{2}{a_0};$$

$$D = \frac{2\gamma a_1 a_2}{a_2 - a_1} = \frac{2 \cdot 0.0003 \cdot 3 \cdot 10}{10 - 3} = 0.00257 \text{ м}.$$

Относительное отверстие:

$$\frac{2,57}{55} = 1:21.4.$$

Данное решение будет правильным, если

1. выполнено условие естественного впечатления ( $\gamma' = \gamma$ , снимок рассматривается под тем же углом, что и объект).
2. кружок рассеяния, возникающий в плоскости изображения, виден под углом  $1'$ .

В общем случае задачи такого типа нужно решать исходя из заданного диаметра кружка рассеяния в плоскости изображения.

*Ответ:* 1:22.

### **Вопрос 5**

Объект фотографируется с помощью объектива, имеющего фокусное расстояние  $f' = 165$  мм. Какое увеличение по модулю негатива не будет приводить к искажению пространственного восприятия, если снимок рассматривается с расстояния 500 мм?

*Решение:*

Искажения пространственного восприятия не будет, если снимок рассматривается над под тем же углом, что и объект. Для этого необходимо соблюдать условие

$$l = \beta \cdot f',$$

где  $l$  - расстояние, с которого рассматривается снимок,

$\beta$  - увеличение негатива,

$f'$  - фокусное расстояние съёмочного объектива.

В данном случае

$$|\beta| = -\frac{500}{165} = 3.03.$$

*Ответ:* 3.03.

### Вопрос 6

Телекамера в студии работает с объективом, имеющим  $f'=85$  мм, и видиконом, имеющим фотокатод  $15 \times 20$  мм. На каком расстоянии от телевизора с диагональю экрана 51 см надо сесть, чтобы получить условие естественного впечатления? Ответ дайте в миллиметрах.

*Решение:*

Для получения условия естественного впечатления необходимо на экране (снимке) видеть изображение под тем же углом, под которым видит объект объектив из точки съемки.

Из точки съемки объект виден под углом  $\omega$ , тангенс которого

$$\operatorname{tg} \omega = \frac{y'}{f'} = \frac{\sqrt{15^2 + 20^2}}{2 \cdot 85}.$$

На экране изображение видим под углом, тангенс которого

$$\operatorname{tg} \omega' = \frac{510}{2p'}.$$

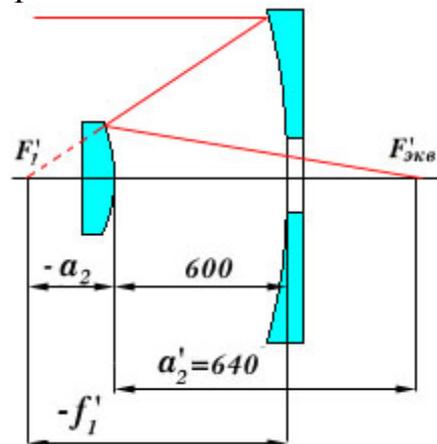
Так как  $\operatorname{tg} \omega = \operatorname{tg} \omega'$ , следовательно

$$p' = \frac{510}{2} \cdot \frac{2 \cdot 85}{\sqrt{15^2 + 20^2}} = 1734 \text{ мм.}$$

*Ответ:* 1734 мм.

### Вопрос 7

Вторичное зеркало в двухзеркальной системе имеет  $f'_2 = -200$  мм. Расстояние между зеркалами 600 мм. Расстояние от вторичного зеркала до плоскости изображения 640 мм. Определить фокусное расстояние первого зеркала в мм.



*Решение:*

По формуле отрезков для зеркал:

$$\frac{1}{a'} + \frac{1}{a} = \frac{1}{f'}.$$

Находим  $a_2$ :

$$\frac{1}{a_2} = \frac{1}{f'_2} - \frac{1}{a'_2} = \frac{1}{-200} - \frac{1}{640} = -\frac{1}{152.38}.$$

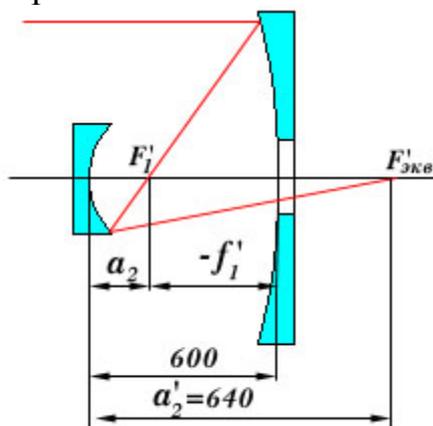
Из рисунка следует

$$f'_1 = a_2 - 600 = -752.38.$$

Ответ:  $f'_1 = -752.38$  мм.

### Вопрос 8

Вторичное зеркало в двухзеркальной системе имеет  $f'_2 = 200$  мм. Расстояние между зеркалами 600 мм. Расстояние от вторичного зеркала до плоскости изображения 640 мм. Определить эквивалентное фокусное расстояние зеркального телескопа в мм.



Решение:

Эквивалентное фокусное расстояние равно:

$$f'_{\text{экв}} = -f'_1 \cdot \beta_2,$$

где  $\beta_2$  - линейное увеличение второго зеркала

$$\beta_2 = -\frac{a'_2}{a_2}.$$

По формуле отрезков для зеркал находим  $a_2$ :

$$\frac{1}{a_2} = \frac{1}{f'_2} - \frac{1}{a'_2} = \frac{1}{200} - \frac{1}{640} = -\frac{1}{290.91}, \quad a_2 = 290.91 \text{ мм.}$$

Определяем линейное увеличение второго зеркала

$$\beta_2 = -\frac{640}{290.91} = -2.2.$$

Фокусное расстояние первого зеркала равно

$$f'_1 = -(600 - 290.91) = -309.09.$$

Эквивалентное фокусное расстояние всего телескопа равно

$$f'_{\text{экв}} = -309.09 \cdot 2.2 = -680.0.$$

Ответ:  $f'_{\text{экв}} = -680$ .

### Вопрос 9

С негатива, размер которого  $24 \times 36$  мм, необходимо получить фотоотпечаток с десятикратным увеличением. Этот отпечаток рассматривается с расстояния 250 мм. Какой предельный кружок рассеяния должен иметь негатив?

Решение:

Разрешающая способность нормального глаза составляет  $1'$ . Если

принять расстояние наилучшего видения 250 мм, тогда разрешающая способность в линейной мере равна

$$\beta = 250 \cdot 0.0003 = 0.075 \text{ мм.}$$

Однако в большинстве случаев в качестве разумной границы разрешающей способности глаза принимается величина 0,025 мм, которая наиболее часто используется в фотографии.

*Ответ:* 0,025 мм.

**Вопрос 10**

Определить диаметр и фокусное расстояние объектива, установленного на борту космического аппарата, если на поверхности Земли необходимо разрешить две точки, расположенные на расстоянии 2 м. Высота орбиты 690 км. Изображение, формируемое объективом, регистрируется на ПЗС-матрицу с размером ячейки 15 мкм. Оптические характеристики определить для  $\lambda=0.5461$  мкм. Укажите правильный ответ.

|                          |  |
|--------------------------|--|
| <input type="checkbox"/> | $f=5357.1 \text{ мм}, D=237.94 \text{ мм}$ |
| <input type="checkbox"/> | $f=5561.3 \text{ мм}, D=246 \text{ мм}$    |
| <input type="checkbox"/> | $f=2636.3 \text{ мм}, D=246.1 \text{ мм}$  |
| <input type="checkbox"/> | $f=10711.0 \text{ мм}, D=310 \text{ мм}$   |
| <input type="checkbox"/> | $f=2693.6 \text{ мм}, D=301.2 \text{ мм}$  |

*Решение:*

Дифракционная разрешающая способность объектива равна (в радианах):

$$\psi = \frac{1.22\lambda}{D},$$

где  $\lambda=0.5461$  мкм,

$D$  - диаметр входного зрачка.

В данном случае

$$\psi = \frac{2}{690000} = 0.0000028,$$

$$D = \frac{1.22\lambda}{\psi} = 237.94 \text{ мм.}$$

Фокусное расстояние определяется из условия, что разрешающая способность объектива в линейной мере в фокальной плоскости равна размеру ячейки. Следовательно

$$f' = \frac{0.015}{0.0000028} = 5357.14 \text{ мм.}$$

*Ответ:*  $f'=5357.1$ мм,  $D=237.94$  мм.

**Вопрос 11**

Укажите объективы в порядке уменьшения освещенности в плоскости изображения протяженного объекта. Увеличение в зрачках  $\beta_p = 1$ .

|                      |  |
|----------------------|--|
| <input type="text"/> | $f' = 200 \ 1:2 \ \beta = -1$                      |
| <input type="text"/> | $f' = 100 \ 1:3 \ \beta = 0$ (предмет в $\infty$ ) |
| <input type="text"/> | $f' = 200 \ 1:3 \ \beta = -0,1$                    |
| <input type="text"/> | $f' = 100 \ 1:3 \ \beta = -0,5$                    |
| <input type="text"/> | $f' = 100 \ 1:2 \ \beta = -2$                      |

Ответ:

|                                |  |
|--------------------------------|--|
| <input type="text" value="2"/> | $f' = 200 \ 1:3 \ \beta = -0,1$                    |
| <input type="text" value="4"/> | $f' = 100 \ 1:3 \ \beta = -0,5$                    |
| <input type="text" value="1"/> | $f' = 100 \ 1:3 \ \beta = 0$ (предмет в $\infty$ ) |
| <input type="text" value="3"/> | $f' = 200 \ 1:2 \ \beta = -1$                      |
| <input type="text" value="5"/> | $f' = 100 \ 1:2 \ \beta = -2$                      |

### Вопрос 12

Для плоскости объекта на расстоянии от объектива 400 мм при относительном отверстии 1:5 была получена освещенность  $E'_0$  в центре изображения. Рассчитать при каком относительном отверстии освещенность останется неизменной, если плоскость объекта перенести на расстояние 800 мм перед объективом ( $f'_{об} = 100$  мм). Укажите правильный ответ.

|                          |        |
|--------------------------|--------|
| <input type="checkbox"/> | 1:3.11 |
| <input type="checkbox"/> | 1:5.84 |
| <input type="checkbox"/> | 1:5.31 |
| <input type="checkbox"/> | 1:2.9  |
| <input type="checkbox"/> | 1:4.7  |

Решение:

Для определения освещенности можно воспользоваться формулой:

$$E' = \pi \tau L \left( \frac{\sin \sigma_1}{\beta_1} \right)^2 = \pi \tau L \left( \frac{\sin \sigma_2}{\beta_2} \right)^2.$$

Следовательно

$$\frac{\sin \sigma_1}{\beta_1} = \frac{\sin \sigma_{21}}{\beta_2};$$

$$\frac{D_1}{f'_1} = 1:5,$$

$$D_1 = \frac{100}{5} = 20 \text{ мм.}$$

$$\sin \sigma_1 = -\frac{10}{400} = -0.25, \quad \sin \sigma = \frac{D}{2a};$$

$$\beta_1 = \frac{f'}{z_1} = \frac{100}{-400 + 100} = -\frac{1}{3};$$

$$\beta_2 = \frac{100}{-800 + 100} = -\frac{1}{7};$$

$$\sin \sigma_2 = \sin \sigma_1 \frac{\beta_2}{\beta_1} = -\frac{3 \cdot 1}{4 \cdot 7} = -0.107;$$

$$D_2 = 2a_2 \cdot \sin \sigma_2 = 2 \cdot 800 \cdot 0.107 = 17.12;$$

$$\frac{D_2}{f'} = 1:5.84.$$

Ответ: 1:5.84.

### **Вопрос 13**

Фотообъектив состоит из двух одиночных линз и одной склейки. Толщина всех линз по оптической оси объектива 100 мм. Определить светопропускание фотообъектива в процентах. Поглощение принять равным 1% в 1 см стекла, просветление наружных поверхностей двухслойное.

Решение:

Коэффициент пропускания оптической системы приближенно можно вычислить по формуле:

$$\tau_{o.c.} = 0,96^k \cdot 0,95^f \cdot 0,98_1^n \cdot 0,99_2^n \cdot 0,995_3^n \cdot 0,99^d \cdot 0,9_0^N;$$

где  $k$  - число кроновых непросветленных поверхностей,

$f$  - число флинтových непросветленных поверхностей,

$n_1$  - число однослойно просветленных поверхностей,

$n_2$  - число двухслойно просветленных поверхностей,

$n_3$  - число трехслойно просветленных поверхностей,

$d$  - длина хода луча в стекле в см,

$N_0$  - число зеркальных поверхностей.

В данном случае

$$\tau = 0,99^6 \cdot 0,99^{10} = 0,8514 = 85,14\%.$$

Ответ: 85.14%.

## **ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ** **(вопросы к экзамену)**

1. Геометрическая теория наблюдательной части микроскопа.
2. Микрофотография и микропроекция.
3. Система освещения прозрачных объектов в микроскопе.
4. Светосила микроскопа.
5. Дифракционная разрешающая способность микроскопа.
6. Полезное увеличение микроскопа.
7. Глубина резкости микроскопа.
8. Система освещения непрозрачных объектов в микроскопе.
9. Объективы микроскопа.
10. Окуляры микроскопа.
11. Телескопическая система Кеплера.
12. Система Галилея.
13. Коррекция аметропии глаза окуляром зрительной трубы.
14. Светосила телескопических систем.
15. Объективы телескопических систем. Астрономические объективы.
16. Окуляры телескопических систем.
17. Устройство сложных зрительных труб.
18. Графоаналитический метод расчета сложных зрительных труб.
19. Аналитический метод расчета сложных зрительных труб.
20. Общий метод расчета коллектива.
21. Зрительные трубы со скачкообразной переменной увеличения.
22. Скачкообразная перемена увеличения за счет вращения трубки Галилея.
23. Скачкообразная перемена увеличения за счет компонента, перемещающегося вдоль оптической оси.
24. Скачкообразная перемена увеличения за перемещения оборачивающей системы
25. Скачкообразная перемена увеличения за счет перемещения коллектива.
26. Двухкомпонентный панкратический объектив.
27. Панкратическая оборачивающая система.
28. Разрешающая способность телескопических систем.
29. Зрительные трубы с ЭОПами.
30. Зрительные трубы с внутренней фокусировкой.
31. Классификация фотографических систем.
32. Основные характеристики фотографических объективов.
33. Характеристики качества изображения фотографических объективов.
34. Геометрическая глубина резкости фотографических объективов.
35. Дифракционная глубина резкости фотообъективов.
36. Типы фотообъективов.
37. Основы стереоскопического зрения.
38. Наземная стереоскопическая съемка. Получение стереопар.

39. Рассматривание стереопар. Стереокompatator.
40. Стереоскопический дальномер.
41. Стереоскопический эффект в микроскопии. Бинокулярная лупа.
42. Стереомикроскоп Грену.
43. Микроскоп со стереонасадкой по Аббе.
44. Однообъективный стереомикроскоп с устройством для перемены увеличения.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Заказнов Н.П., Кирюшин С.И., Кузичев В.Н. Теория оптических систем: Учебное пособие. 4-е изд., стер. – СПб.: Издательство «Лань», 2008. –446с.: ил.
2. Прикладная оптика: Учебное пособие / Л.Г.Бибчук и др.Под ред. Н.П. Заказнова. 2-е изд., стер. – СПб.: Издательство «Лань», 2007.—320с.: ил.

### Базовые учебно-методические пособия:

3. Апенко М.И. Запрягаева Л.А., Свешникова И.С. Задачник по прикладной оптике. Учебное пособие. Издательство: Высшая школа, 2003, 592с.
4. Шредер Г., Трайбер Х. Техническая оптика. Серия: Мир физики и техники Издательство: Техносфера, 2006 г, 424 с.
5. Заказнов Н.П., Кирюшин С.И., Кузичев В.И. Теория оптических систем. М.: Машиностроение,1992 –446 с.
6. Сборник задач по теории оптических систем. / Андреев Л.Н., Грамматин А.П. и др. М.: Машиностроение, 1987.
7. Прикладная оптика / Дубовик А.С., Апенко М.И. , Дурейко Г.В. и др. М.: Недра, 1982.
8. Верхотуров, О.П. Введение в вычислительную оптику / О.П. Верхотуров. - Новосибирск: СГГА, 1998. – 272 с.

## СОДЕРЖАНИЕ

|   |      |
|---|------|
| Введение.....   | 3    |
| Планирование результатов обучения.....                  | 4    |
| Критерии оценок.....                                    | 6    |
| Вопросы и задачи для самостоятельной работы.....        | 8    |
| Примеры выполнения отчетов по лабораторным работам..... | 32   |
| Текущий тестовый контроль.....                          | 65   |
| Рубежная аттестация.....                                | 761  |
| Пример выполнения курсового проекта.....                | 76   |
| Промежуточная аттестация (вопросы к экзамену).....      | 116  |
| Литература.....   | 1168 |

СПбГУ ИТМО стал победителем конкурса инновационных образовательных программ вузов России на 2007-2008 годы и успешно реализовал инновационную образовательную программу «Инновационная система подготовки специалистов нового поколения в области информационных и оптических технологий», что позволило выйти на качественно новый уровень подготовки выпускников и удовлетворять возрастающий спрос на специалистов в информационной, оптической и других высокотехнологичных отраслях науки. Реализация этой программы создала основу формирования программы дальнейшего развития вуза до 2015 года, включая внедрение современной модели образования.

### РУСИНОВ МИХАИЛ МИХАЙЛОВИЧ (1909-2004)



Выдающийся ученый-оптик, один из пионеров отечественной оптической промышленности, внесший значительный вклад в развитие оптического приборостроения.

Михаил Михайлович Русинов родился 11 февраля 1909 г. в Санкт-Петербурге. Его родители принадлежали к среде преподавательской интеллигенции. Отец - Михаил Николаевич Русинов окончил физико-математическое отделение Санкт-Петербургского Университета и преподавал математику и вел занятия по звуку в научных классах Консерватории. Мать - Евдокия Васильевна Русинова окончила Петербургскую Консерваторию по классу фортепиано у знаменитого Антона Рубинштейна. Она была замечательной пианисткой.

Михаил Михайлович был третьим ребенком в семье. В судьбы старших брата и сестры вторглись мировые войны 20 века. Брат еще юношей ушел на Первую мировую войну, а затем пропал без вести на полях Гражданской. Сестра умерла во время блокады Ленинграда в Великую Отечественную войну. Миша Русинов начал учиться с 7 лет в Петроградской 12-й гимназии, находившейся на углу Невского проспекта и реки Фонтанки у Аничкова моста. В 1917 году мальчика перевели в Екатерининскую гимназию. Способный ученик был сразу принят в класс первой ступени.

После октябрьских событий началась эпоха России революционной. Гимназия стала называться единой трудовой школой. В 1921 г. молодой человек по совету отца поступил в ремесленное училище, которое позже стало профшколой, а в 1923 г. техникумом точной механики и оптики. Часть учащихся профшколы, в том числе и Миша Русинов, была принята без экзаменов на

нулевой курс этого техникума. С этого момента жизнь Михаила Михайловича была неразрывно с оптикой и оптико-механической промышленностью.

Трудовая деятельность М.М. Русинова:

- 1929г. - Всесоюзное объединение оптико-механической промышленности (трест ВООМП);
- 1931 - 1942 гг. - Ленинградский научно-исследовательский институт аэрофотосъемки (НИИА);
- 1931-1932 гг. - преподаватель и зам. декана оптического факультета СПб ГУ ИТМО;
- 1932 - 1940 гг. - доцент института инженеров гражданского воздушного флота;
- 1942 - 1943 гг. - зам. главного конструктора на заводе № 393 в Красногорске Московской области;
- 1943 - 1944 гг. - профессор МВТУ им. Н.Э. Баумана;
- с октября 1944 гг. - научный руководитель оптико-механической лаборатории Северо-Западного Аэрогеодезического предприятия (предприятие № 10, г. Ленинград);
- с 1946 г. - ЛИТМО (СПб ГИТМО(ТУ));
- Одновременно он - научный руководитель: сначала упомянутой выше лаборатории Сев-Зап. Аэрогеодезического предприятия (до 1958 г.), а затем - Ленинградской оптической лаборатории Центрального научно-исследовательского института геодезии, аэросъемки и картографии (ЦНИИГАиК) им. Ф.Н. Красовского.
- 1940 г. - защита докторскую диссертацию,
- 1944 г. - стал профессором;

Благодаря глубоким теоретическим исследованиям в области теории расчета оптических систем Михаил Михайлович добился выдающихся результатов в создании целого ряда систем с повышенными техническими характеристиками. Он автор теории расчета объективов, на основе которой были разработаны широкоугольные и сверхширокоугольные объективы типа «Руссар» для аэрофотосъемки, киносъемки, гидросъемки. Им созданы объективы и конденсоры для сверхширокоугольного мультиплекса, применяемого при обработке аэрофотоснимков, а также ряд других оптических приборов и систем.

М.М. Русинов награжден орденом Ленина, орденом Трудового Красного Знамени и рядом медалей СССР, а также медалью "В память 300-летия Санкт-Петербурга" (2004). Четырежды Лауреат Государственной премии (1941, 1949, 1950, 1967), лауреат Ленинской премии (1982). Лауреат Международной премии Французской Академии наук им. Э.Лосседа (1972). Заслуженный деятель науки и техники РСФСР (1968). Действительный член Петровской академии наук и искусств. Почетный донор СССР.

М.М. Русинов является автором 152 научных трудов (в том числе 18 монографий), более 320 авторских свидетельств на изобретения и 22 патентов (из них 7 новых патентов РФ). Известны такие его фундаментальные труды по прикладной оптике, как «Техническая оптика», «Габаритные расчеты оптических систем», «Несферические поверхности в оптике», «Инженерная фотограмметрия», и др.

Многие работы (книги, статьи) Михаила Михайловича переведены на китайский, болгарский, немецкий языки.

**Для заметок**

**Для заметок**

Цуканова Галина Ивановна, Багдасарова Ольга Васильевна,  
Бахолдин Алексей Валентинович, Карпов Вячеслав Григорьевич,  
Карпова Галина Васильевна  
Самостоятельная работа студентов по дисциплине «Прикладная оптика». Часть 2  
Учебно-методическое пособие под редакцией профессора Шехонина А.А.

В авторской редакции  
Компьютерный набор и верстка  
Редакционно-издательский отдел СПбГУ ИТМО  
Зав. РИО  
Лицензия ИД № 00408 от 05.11.99  
Подписано к печати  
Отпечатано на ризографе. Заказ №  
Тираж        экз.

Е.С. Горина

Н.Ф. Гусарова

**Редакционно-издательский отдел**  
Санкт-Петербургского государственного  
университета информационных  
технологий, механики и оптики  
197101, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., 49

