

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

Г.И. Цуканова, В.А. Безруков, Г.В. Карпова, О.В. Багдасарова

**ГАБАРИТНЫЙ РАСЧЕТ И ВЫБОР КОМПОНЕНТОВ
ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ МИКРОСКОПОВ**

Учебное пособие



Санкт-Петербург
2015

Цуканова Г.И., Безруков В.А., Карпова Г.В., Багдасарова О.В. Габаритный расчет и выбор компонентов оптических систем микроскопов. Учебное пособие. – Университет ИТМО, 2015. - 92 с.

В учебном пособии приводятся теоретические сведения по габаритному расчету визуально-проекционного устройства микроскопа и осветительных устройств микроскопа по курсу «Прикладная оптика» в качестве основного учебного материала при выполнении принципиальных оптических схем микроскопа.

Учебное пособие предназначено для студентов направления подготовки бакалавров Опотехника и специальности «Электронные и оптико-электронные приборы и системы специального назначения».

Рекомендовано Учебно-методическим объединением вузов Российской Федерации по образованию в области приборостроения и опотехники для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки бакалавриата 12.03.02 (200400) Опотехника и специалитета 12.05.01 (200401) – Электронные и оптико-электронные приборы и системы специального назначения (протокол № 1 от 24.02.2015).

Рецензент: Губанова Л.А., д.т.н., профессор кафедры оптоинформационных технологий и материалов Университета ИТМО

Рекомендовано к печати на заседании Совета факультета оптико-информационных систем и технологий, протокол № 12 от 16 декабря 2014 г.



Университет ИТМО – ведущий вуз России в области информационных и фотонных технологий, один из немногих российских вузов, получивших в 2009 году статус национального исследовательского университета. С 2013 года Университет ИТМО – участник программы повышения конкурентноспособности российских университетов среди ведущих мировых научно-образовательных центров, известной как проект «5 в 100». Цель Университета ИТМО - становление исследовательского университета мирового уровня, предпринимательского по типу, ориентированного на интернационализацию всех направлений деятельности.

Содержание:

Стр.

1. Общие сведения.....	5
2. Методика габаритного расчета визуально-проекционного устройства микроскопа.....	6
3. Методика габаритного расчета осветительных устройств микроскопа....	20
3.1. Оптическая схема осветительного устройства для проходящего света.....	20
3.2. Оптическая схема осветительного устройства для отраженного света.....	21
3.3. Габаритный расчет осветительных устройств.....	22
4. Объективы микроскопов.....	32
5. Окуляры микроскопов.....	54
6. Коллекторы микроскопов.....	69
7. Конденсоры микроскопов.....	73
8. Лампы накаливания.....	88
Литература.....	89

1. Общие сведения

Микроскоп – оптический прибор для рассматривания, фотографирования и измерения отдельных элементов структуры изучаемых объектов, неразличимых невооруженным глазом.

Микроскопы, в зависимости от назначения, подразделяются на биологические, металлографические, поляризационные, ультрафиолетовые и др. Более того, исследование прозрачных объектов выполняется на микроскопах, предназначенных для проходящего света, а исследование непрозрачных объектов – на микроскопах для отраженного света.

Проектирование современных микроскопов базируется на системном подходе, т.е. микроскоп рассматривается как сложная система, состоящая из определенных функциональных устройств, которые соответствующим образом взаимодействуют между собой. К таким функциональным устройствам микроскопа можно, например, отнести: осветительное, визуальное, фотографическое и проекционное устройства.

В техническом задании на проектирование оптической системы микроскопа обычно приводятся основные оптические характеристики микроскопа в целом, методы освещения, габариты, типы применяемых источников и приемников излучения, а также основные физические принципы, на основании которых функционирует микроскоп.

На первой стадии проектирования оптической системы микроскопа осуществляется габаритный расчет ее основных компонентов. Предполагается, что отдельные компоненты устройств безабберационны. На основании аппарата гауссовой оптики определяются фокусные расстояния, числовые апертуры, увеличения и угловые поля компонентов, а также их взаимное расположение. Определяются размеры апертурных и полевых диафрагм, пластинок, зеркал и призм, если такие имеются.

Цель данной работы – описание методики выполнения габаритного расчета осветительного и визуально-проекционного устройств, а также рекомендации по выбору компонентов этих устройств из каталогов.

2. Методика габаритного расчета визуально-проекционного устройства микроскопа

При проектировании визуально-проекционного устройства необходимо соблюдать некоторые нормы, принятые в микроскопостроении.

В микроскопе различают оптический интервал (Δ_0) и длину тубуса (Δ_T). Оптический интервал – это расстояние от заднего фокуса объектива до переднего фокуса окуляра, а длина тубуса – расстояние от нижнего среза тубуса – опорной плоскости объектива – до верхнего среза тубуса – посадочной плоскости окуляра.

Величина Δ_0 зависит от фокусного расстояния объектива и находится в интервале 150–200 мм, а Δ_T определяется следующими величинами: $\Delta_T = 160$ мм; $\Delta_T = 190$ мм; $\Delta_T = \infty$ (исследуемый объект находится в передней фокальной плоскости объектива). В этой связи микрообъективы рассчитываются на соответствующую механическую длину тубуса. Расстояние от верхнего среза тубуса до передней фокальной плоскости окуляра установлено 13 мм, а расстояние между предметом и изображением объектива зависит от механической длины тубуса и высоты объектива (расстояние от предмета до опорной плоскости объектива).

Длина тубуса Δ_T , мм	Высота объектива, мм	Расстояние между предметом и изображением, мм
160	45	192
	33	180
190	45	222
	33	210

В техническом задании на проектирование визуально-проекционного устройства микроскопа обычно приводятся значения видимого или линейного увеличений. Номинальные значения видимых увеличений микроскопа должны соответствовать ряду R10 /I...1600/ ГОСТ 8032-84 (СТ СЗВ 3961-83):

1	1,25	1,6	2	2,5	3,2	4	5	6,3	8
10	12,5	16	20	25	32	40	50	63	80
100	125	160	200	250	320	400	500	630	800
1000	1250	1600							

Предпочтительные значения обозначены штрих-пунктирной линией. Этот ряд значений увеличений рекомендуется соблюдать для масштабов проецируемых микроскопом изображений.

Основой геометрической теории микроскопа служат формулы для видимого или линейного увеличений микроскопа.

Видимое увеличение микроскопа, состоящего из объектива и окуляра (рисунок 2.1), определяется формулой:

$$\overline{\Gamma}_M = \frac{250}{f'_M} = -\frac{\Delta_0 250}{f'_{ок} f'_{об}} = \beta_{об} \overline{\Gamma}_{ок} = -\frac{500 A_{об}}{2\rho'} , \quad (1)$$

где $\Delta_0 = f'_{об} + f'_{ок} - d$;

f'_M , $f'_{об}$, $f'_{ок}$ – соответственно фокусные расстояния микроскопа, объектива и окуляра;

$\beta_{об}$ – линейное увеличение объектива;

$\overline{\Gamma}_{ок}$ – видимое увеличение окуляра;

$A_{об} = n \sin \sigma_A$ – числовая апертура объектива в пространстве предметов;

$2\rho'$ – диаметр выходного зрачка микроскопа.

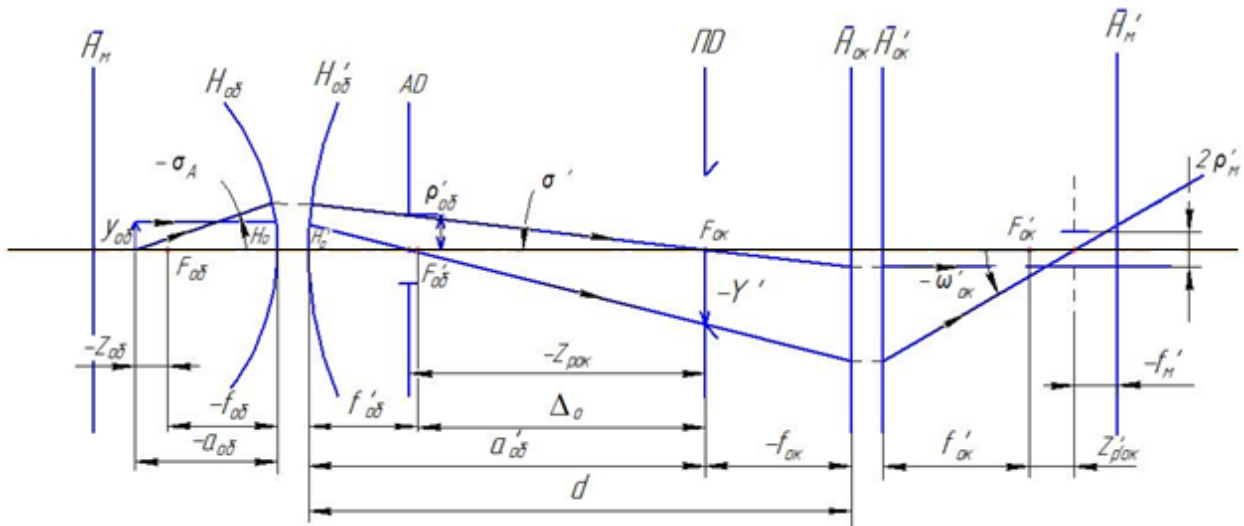


Рисунок 2.1

Видимое увеличение микроскопа, состоящего из объектива, рассчитанного для $\Delta_T = \infty$, тубусной линзы и окуляра (рисунок 2.2), определяется выражением:

$$\overline{\Gamma}_M = -\frac{f'_{Тл}}{f'_{об}} \overline{\Gamma}_{ок} , \quad (2)$$

где $f'_{Тл}$ – заднее фокусное расстояние тубусной линзы, которое играет роль оптического интервала при $\Delta_T = \infty$.

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

$$\beta_M = \beta_{об} \beta_{ок} \cong \overline{\Gamma}_M K \cong \beta_{об} \overline{\Gamma}_{ок} K , \quad (3)$$

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

$K = a'_{ок} / 250$ – коэффициент увеличения камеры ($a'_{ок}$ – расстояние от задней главной плоскости окуляра до экрана).

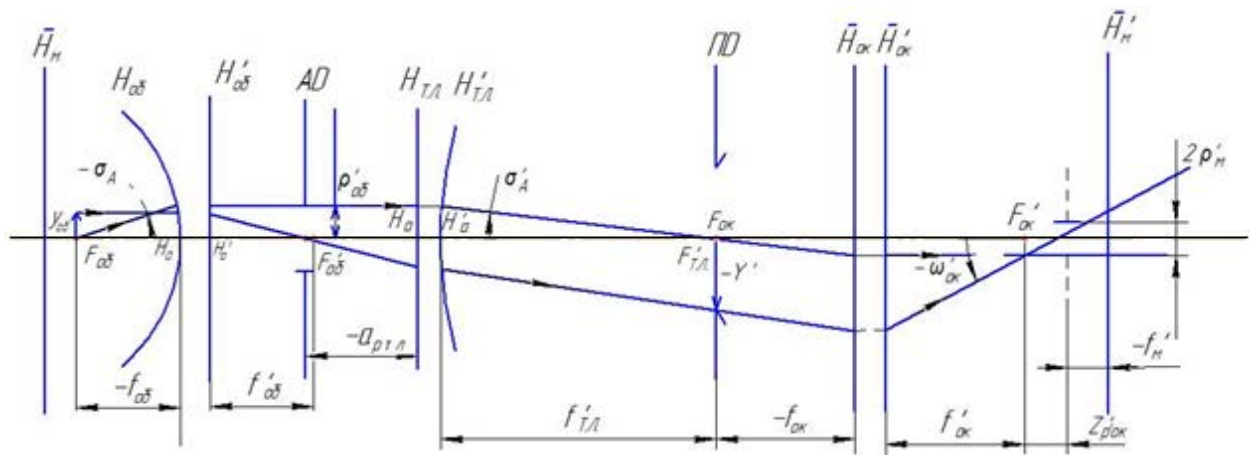


Рисунок 2.2

Из формулы (3) следует, что линейное увеличение микроскопа при проекции отличается от его видимого увеличения при визуальном наблюдении множителем K .

Линейное увеличение микроскопа, состоящего из объектива для тубуса “бесконечность”, тубусной линзы и положительного проекционного окуляра, определяется выражением (рисунок 2.3):

$$\beta_M = -\frac{f'_{ТЛ}}{f'_{об}} \beta_{ок} \cong -\frac{f'_{ТЛ}}{f'_{об}} \overline{\Gamma}_{ок} K . \quad (4)$$

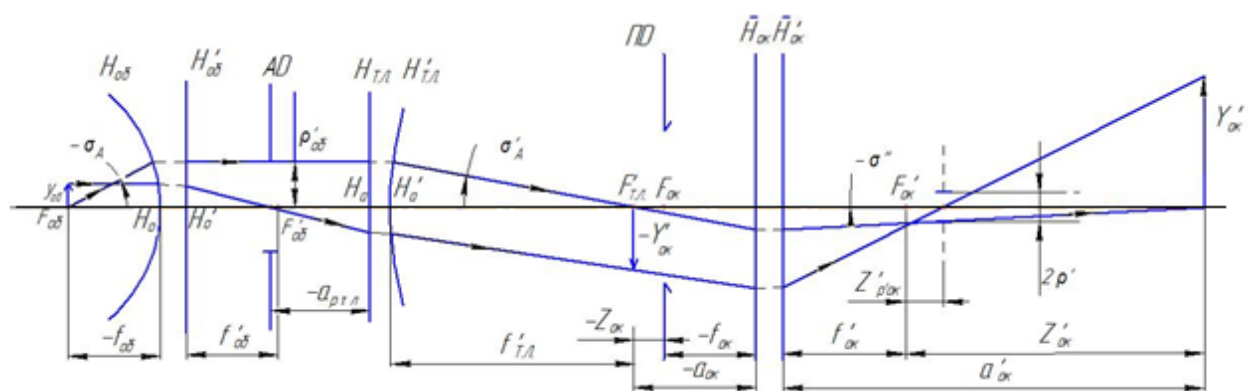


Рисунок 2.3

Линейное увеличение микропроеctionной системы, состоящей из объектива, рассчитанного для $\Delta_T = \infty$, тубусной линзы и проекционного отрицательного окуляра – гомала (рисунок 2.4), определяется формулой:

$$\beta_M = -\frac{f'_{TL}}{f'_{об}} \beta_{ок} = \frac{f'_{TL} z'_Г}{f'_{об} f'_Г} = -\frac{f'_{TL} a'_Г}{f'_{об} a_Г}, \quad (5)$$

где $z'_Г$ – расстояние от заднего фокуса гомала до экрана;

$f'_Г$ – заднее фокусное расстояние гомала;

$a_Г$ – расстояние от передней главной плоскости гомала до предмета (изображения, создаваемого объективом);

$a'_Г$ – расстояние от задней главной плоскости гомала до экрана.

На первой стадии габаритного расчета визуальнo–проеctionного устройства определяются: числовая апертура, увеличение и фокусное расстояние объектива как главного компонента микроскопа.

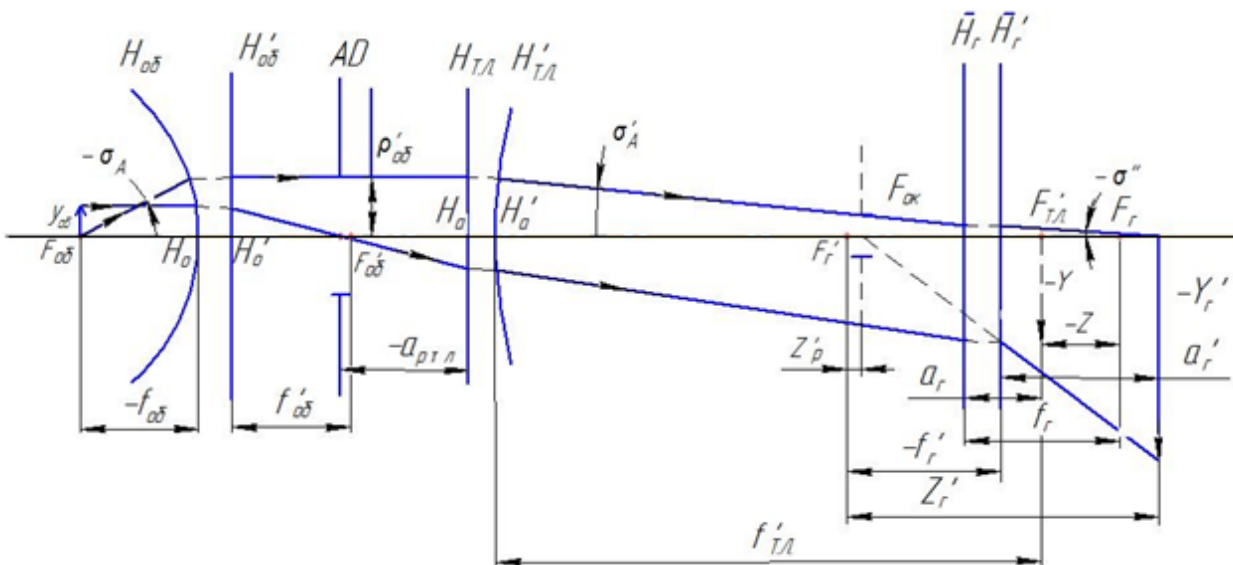


Рисунок 2.4

Заметим, что объективы для длины тубуса 160 мм применяются в биологических микроскопах для исследования в проходящем свете объектов, находящихся под покровным стеклом, а объективы для длин тубуса 190 мм и “бесконечность” применяются в основном для работы в отраженном свете.

Исходя из максимально возможного предела разрешения объектов, определяют числовую апертуру объектива в пространстве предметов из формулы:

$$N = \frac{2A_{об}}{\lambda}, \quad (6)$$

где N , *лин/мм* – разрешающая способность микроскопа в пространстве предметов;

λ , *мм* – длина волны света.

Чтобы полностью использовать разрешающую способность микроскопа, необходимо иметь соответствующее его видимое увеличение. Это увеличение должно быть таким, чтобы наименьшее разрешаемое расстояние ($1/N$) составляло в пространстве изображений микроскопа угловую величину не менее, чем

$$\Psi = -\frac{\overline{\Gamma_M}}{250N}, \quad (7)$$

где Ψ – предельный угол разрешающей способности глаза наблюдателя, работающего вместе с микроскопом.

С учетом, что разрешающая способность глаза $2' \leq \Psi \leq 4'$, видимое увеличение микроскопа для видимой области спектра должно лежать в интервале

$$500A_{об} \leq |\overline{\Gamma_M}| \leq 1000A_{об}. \quad (8)$$

Использование увеличения меньше $500A_{об}$ не позволяет разрешить те элементы наблюдаемого объекта, которые может разрешить объектив с данной числовой апертурой. Увеличение, большее $1000A_{об}$, является бесполезным, так как не позволяет выявить новые детали объекта по сравнению с полезным увеличением (8) из-за уменьшения контраста.

Заметим, что выражение (8) не распространяется на микропроекцию, микрофотографию и телевизионную микроскопию. Для них выражение (8) принимает вид:

$$\frac{lA_{об}}{1000\lambda} \leq |\beta_M| \leq \frac{lA_{об}}{500\lambda}, \quad (9)$$

где l – расстояние, с которого рассматривается изображение или фотография.

При $l = 250$ *мм* выражение (9) приводится к виду:

$$\frac{A_{об}}{4\lambda} \leq |\beta_M| \leq \frac{A_{об}}{2\lambda}. \quad (10)$$

Линейное увеличение объектива для конечной длины тубуса, а также линейное увеличение системы, состоящей из объектива для тубуса “бесконечность” и тубусной линзы, определяется по формуле:

$$\beta_{об} = \beta_{(об+Тл)} = \frac{D_{ПД}}{2Y_{об}}, \quad (11)$$

где $D_{ПД}$ – диаметр полевой диафрагмы микроскопа, а $2Y_{об}$ – линейное поле объектива в пространстве предметов по ТЗ.

Величина $D_{ПД}$ зависит от выбранных типов объектива, в частности, от его линейного поля в пространстве изображений и окуляра, т.е. от окулярного углового поля. В этой связи значения $D_{ПД}$ могут изменяться от 11 мм до 24 мм и определяются, как правило, конструктивным оформлением окуляра. В ряде случаев $D_{ПД} \neq D_{ПДок}$, например, в микроскопах с окуляром Гюйгенса.

Номинальные значения увеличений объективов для конечной длины тубуса должны соответствовать ряду R10 (1...200) ГОСТ 8032-84:

1	1,25	1,6	2	2,5	3,2	4	5	6,3	8
10	12,5	16	20	25	32	40	50	63	80
	125	160	200						

Фокусное расстояние объектива для конечной длины тубуса определяется по выражению:

$$f'_{об} \cong -\frac{\Delta_0}{\beta_{об}}, \quad (12)$$

а объектива, рассчитанного для тубуса “бесконечность”, по формуле:

$$f'_{об} = -\frac{f'_{Тл}}{\beta_{(об+Тл)}}. \quad (13)$$

Фокусное расстояние тубусной линзы должно соответствовать тубусному коэффициенту (отношение фокусного расстояния тубусной линзы к расстоянию 250 мм), который стандартизован и определяется рядом R10(0,4...2) ГОСТ 8032-84:

0,4 ; 0,5; 0,63 ; 0,8; 1,0 ; 1,25; 1,6 ; 2,0;

В металлографических и других микроскопах фокусное расстояние тубусной линзы по конструктивным соображениям выбирается в пределах от 200 мм (0,8) до 250 мм (1,0), а в стереоскопических микроскопах типа МБС оно равно 160 мм (0,63). Входным зрачком тубусной линзы, находящейся

непосредственно за объективом, является выходной зрачок объектива. Максимальный диаметр выходного зрачка не превышает 13 мм. Расстояние от выходного зрачка объектива до тубусной линзы колеблется в пределах от $0,05 f'_{Тл}$ до $0,75 f'_{Тл}$. По рекомендации профессора М.М. Русинова в качестве тубусных линз можно использовать двухлинзовые склеенные объективы с вынесенным входным зрачком. Конструктивные параметры таких объективов приведены в литературе [1].

Номинальные значения фокусных расстояний объективов, рассчитанных на длину тубуса “бесконечность”, должны соответствовать ряду R10(1, 25...250) ГОСТ8032-84:

					250	200	160	125	100
80	63	50	40	32	25	20	16	12,5	10
8	6,3	5	4	3,2	2,5	2	1,6	1,25	

Для объективов, рассчитанных на конечную длину тубуса, в справочниках или каталогах указываются числовая апертура, увеличение и фокусное расстояние, а для объективов, рассчитанных на длину тубуса “бесконечность”, числовая апертура и фокусное расстояние. По указанным характеристикам и степени (виду) коррекции aberrаций выбирается тот или иной объектив.

Положение предмета относительно переднего фокуса объектива для конечной длины тубуса определяется по формуле:

$$Z_{об} = -\frac{f_{об}}{\beta_{об}} . \quad (14)$$

У объективов, рассчитанных на длину тубуса “бесконечность”, предмет находится в передней фокальной плоскости.

Объективы микроскопов классифицируются по степени (виду) коррекции aberrаций, т.е. различаются следующие типы:

- монохроматы;
- ахроматы;
- апохроматы;
- планохроматы;
- планапохроматы;
- плансуперапохроматы.

Монохроматы – объективы, у которых aberrации исправлены для узкой области спектра.

Ахроматы – объективы, у которых ахроматизация выполнена для двух длин волн, а у апохроматов – для трех длин волн.

Планобъективы – это объективы с плоской поверхностью изображения, т.е. объективы, у которых достаточно хорошо исправлены такие aberrации, как

кривизна изображения и астигматизм. Основным преимуществом планобъективов является увеличенное линейное поле в пространстве изображений, которое достигает 25 мм. Размер линейного поля, без перефокусировки, у обычных ахроматов и апохроматов не превышает 8-12 мм. Планапохроматические объективы являются наиболее перспективными и предназначены для микропроекции и цветной микрофотографии, а также и для проведения высококачественных визуальных исследований.

Объективы современных микроскопов имеют увеличение от 1 до 120^x и числовую апертуру от 0,01 до 1,4.

Апертурная диафрагма в линзовых объективах чаще всего совпадает с вершиной их последней поверхности. В этом случае апертурная диафрагма является одновременно и выходным зрачком, диаметр которого определяется световым диаметром последней поверхности. Апертурная диафрагма объектива может также располагаться между его последней поверхностью и задним фокусом или в его задней фокальной плоскости. В последнем случае имеет место телецентрический ход главных лучей в пространстве предметов объектива.

Видимое увеличение окуляра при конечной длине тубуса определяется из выражения (1), а при длине тубуса “бесконечность” из выражения (2).

Номинальные значения видимых увеличений окуляров должны соответствовать ряду R10 (3,2...32) ГОСТ 8032-84:

3,2; 4,0 ; 5,0; 6,3 ; 8,0; 10 ; 12,5; 16 ; 20; 25; 32.

Фокусное расстояние окуляра определяется из формулы:

$$\overline{\Gamma}_{ок} = \frac{250}{f'_{ок}}, \quad (15)$$

а его угловое поле ($2\omega'_{ок}$) по выражению:

$$tg\omega'_{ок} = \frac{\overline{\Gamma}_M 2Y_{об}}{500}. \quad (16)$$

Величина диаметра полевой диафрагмы микроскопа зависит от углового поля окуляра, в пределах которого получается изображение достаточно хорошего качества, и определяется по формуле:

$$D_{ПД} = 2f'_{ок} tg\omega'_{ок} = \frac{500 tg\omega'_{ок}}{\overline{\Gamma}_{ок}}. \quad (17)$$

Выбор того или иного типа окуляра определяется угловым полем окуляра ($2\omega'_{ок}$), удалением его выходного зрачка ($S'_{p'}$), а также типом выбранного объектива.

При известном диаметре полевой диафрагмы и линейном увеличении объектива или системы объектив плюс тубусная линза линейное поле микроскопа в пространстве предметов

$$2Y_{об} = \frac{D_{ПД}}{\beta_{(об+Тл)}} . \quad (18)$$

В микроскопах применяются следующие типы окуляров: Гюйгенса, Кельнера, Аббе, симметричные, компенсационные, широкоугольные и др. При микропроекции и микрофотографии также применяются и отрицательные окуляры – гомалы.

Окуляры Гюйгенса и Кельнера применяются совместно с объективами ахроматами. Окуляр Гюйгенса ($2\omega'_{ок} = 30^\circ$, $S'_{p'} = f'_{ок} / 3$) с $\overline{\Gamma}_{ок} > 15^x$ для визуального наблюдения не применяется. Окуляр Кельнера ($2\omega'_{ок} = 40^\circ$, $S'_{p'} = f'_{ок} / 2$) при малых увеличениях из-за больших поперечных размеров для визуального наблюдения применяется редко (в основном, в бинокулярных стереоскопических микроскопах). Окуляр Кельнера успешно используется при микропроекции и микрофотографии.

Симметричный окуляр ($2\omega'_{ок} = 40^\circ$, $S'_{p'} \cong 0,75 f'_{ок}$) используется при больших увеличениях, т.е. при малых фокусных расстояниях. При небольших увеличениях этот окуляр имеет большие поперечные размеры, а поэтому редко используется для визуального наблюдения. Симметричный окуляр главным образом используется для микропроекции и микрофотографии.

Ортоскопический окуляр ($2\omega'_{ок} = 40^\circ$, $S'_{p'} \cong 0,75 f'_{ок}$) используется совместно с объективами-ахроматами средних апертур ($0,2 \leq A_{об} \leq 0,65$), когда необходимо иметь большое окулярное увеличение ($16 \dots 32^x$).

Широкоугольный окуляр ($2\omega'_{ок} \geq 65^\circ$, $S'_{p'} = (0,5 - 0,7) f'_{ок}$) в основном используется в бинокулярных стереоскопических микроскопах. В микроскопии окуляр считается широкоугольным, если $M \geq 170$, где M – окулярное число, определяемое как произведение диаметра полевой диафрагмы на увеличение окуляра.

Компенсационные окуляры применяются совместно с планобъективами, объективами-апохроматами, а также с объективами-ахроматами больших увеличений ($\beta_{об} > 40^x$). Эти окуляры компенсируют хроматизм увеличения применяемых с ними объективов. Наибольшее распространение получили компенсационные окуляры, выполненные по схемам Гюйгенса и Аббе.

Компенсационный окуляр Гюйгенса имеет постоянный по полю хроматизм увеличения и хорошую абберационную коррекцию в пределах $2\omega'_{ок} = 25^\circ$, но имеет недостаточное удаление выходного зрачка. Поэтому он используется при увеличениях, не превышающих $5...7^x$.

Компенсационный окуляр Аббе используется при больших увеличениях и имеет удовлетворительную коррекцию в пределах $2\omega'_{ок} = 40^\circ$ и достаточное удаление выходного зрачка. Недостаток окуляра заключается в том, что он имеет переменный по полю хроматизм увеличения. Поэтому его использование ограничено только применением с обычными объективами ахроматами и апохроматами.

Компенсационные окуляры с постоянным по полю хроматизмом увеличения применяются совместно с планапохроматическими объективами. Такие окуляры со средним увеличением разработаны на основе схемы Кельнера, а с большим увеличением – на основе схемы симметричного вида.

Гомалы – отрицательные окуляры, применяются совместно с объективами – апохроматами и объективами–ахроматами больших увеличений ($\beta_{об} > 40^x$). Эти окуляры компенсируют кривизну изображения и хроматизм увеличения применяемых с ними объективов. Линейные поля в пространстве предметов гомалов не превышают $8...15$ мм.

Конструктивные параметры окуляров различного типа приведены в литературе [2, 3].

После того, как выбраны из каталогов компоненты визуального устройства микроскопа, определяются диаметр выходного зрачка микроскопа и его удаление от заднего фокуса окуляра.

Диаметр выходного зрачка микроскопа, состоящего из объектива и окуляра, определяется по формуле:

$$2\rho'_M = -\beta_{рок} 2\rho'_{об} , \quad (19)$$

где $2\rho'_{об}$ – диаметр выходного зрачка объектива;

$\beta_{рок} = \frac{f'_{ок}}{z_{рок}}$ – увеличение в зрачках окуляра ($z_{рок}$ – расстояние от переднего фокуса окуляра до выходного зрачка объектива).

Удаление выходного зрачка от заднего фокуса окуляра определяется с помощью выражения:

$$z'_{P'ок} = -\frac{f'_{ок}{}^2}{z_{рок}} . \quad (20)$$

Диаметр выходного зрачка микроскопа, состоящего из объектива, тубусной линзы и окуляра, определяется равенством:

$$2\rho'_M = \frac{f'_{ок}}{f'_{Тл}} 2\rho'_{об} , \quad (21)$$

а его удаление по формуле

$$z'_{P'ок} = \frac{z_{рок}}{(-f'_{Тл} / f'_{ок})^2} , \quad (22)$$

где $z_{рок}$ - расстояние от переднего фокуса тубусной линзы до выходного зрачка объектива.

Если апертурная диафрагма объектива расположена в его задней фокальной плоскости, то ее диаметр в обоих случаях определяется по выражению:

$$D_{АД} = 2f'_{об} \sin \sigma_A . \quad (23)$$

Необходимо заметить, что диаметр выходного зрачка микроскопа в пределах полезного увеличения (8) лежит в интервале $0,5 \leq 2\rho'_M \leq 1,0 \text{ мм}$.

Числовая апертура объектива для конечной длины тубуса и числовая апертура в пространстве изображений системы, состоящей из объектива и тубусной линзы, определяется соответственно формулами:

$$A'_{об} = \sin \sigma'_A = \frac{A_{об}}{\beta_{об}} , \quad (24)$$

$$A'_{(об+Тл)} = \sin \sigma'_A = \frac{A_{об} f'_{об}}{f'_{Тл}} .$$

Полная глубина резкости изображаемого пространства определяется, как показано в работе [2], выражением:

$$T = T_{ак} + T_{Г} + T_{\delta} ,$$

где $T_{ак} = \frac{n250}{\Gamma_M^2}$ - аккомодационная глубина резкости;

$T_G = \frac{n250\psi_{ГЛ}}{\Gamma_M A_{об}}$ - геометрическая глубина резкости;

$T_\delta = \frac{n\lambda}{2A_{об}^2}$ - дифракционная или волновая глубина резкости.

В последних выражениях n – показатель преломления иммерсии. Покажем, что $T_G = T_\delta$ (доказательство доц. В.В. Хваловского).

Из теории дифракции следует, что $\sin \psi_{ГЛ} = \frac{1,22\lambda}{D'_{P'}}$, где $D'_{P'}$ - диаметр

выходного зрачка микроскопа. В свою очередь, $D'_{P'} = \frac{500A_{об}}{\Gamma_M}$, тогда

$$T_G = \frac{n250\psi_{ГЛ}}{\Gamma_M A_{об}} = \frac{n250\lambda 1,22}{\Gamma_M A_{об} \left(\frac{500A_{об}}{\Gamma_M}\right)} = \frac{0,61n\lambda}{A_{об}^2} \cong \frac{0,5n\lambda}{A_{об}^2} = \frac{n\lambda}{2A_{об}^2} = T_\delta.$$

Таким образом, полная глубина резкости будет определяться формулой:

$$T = T_{ак} + T_\delta. \quad (25)$$

Следует иметь в виду, что при использовании окуляра с сеткой в микроскопе, а также в случае проецирования изображения на экран или матовое стекло $T_{ак} = 0$.

Расстояние между двумя точками предмета, различаемое в микроскопе, равно $\frac{\lambda}{2A_{об}}(\overline{\Gamma_M})$.

При микропроекции, чтобы получить изображение удовлетворительного качества на небольшом расстоянии от микроскопа, вместо обычных окуляров используются фотоокуляры. Но наиболее распространенный способ микропроекции заключается в незначительной перефокусировке микроскопа. При этом обычный окуляр действует как проекционная система с увеличением $\beta_{ок}$. В этом случае рассчитанный ход лучей в объективе и окуляре микроскопа нарушается, что приводит к ухудшению качества изображения. Чтобы как-то сохранить качество изображения микроскоп не перефокусируют, а увеличивают длину тубуса (если позволяет конструкция микроскопа), т.е. отодвигают окуляр от объектива. При этом в объективе сохраняется нормальный ход лучей, а окуляр работает как проекционная система, создающая действительное изображение на экране или ином приемнике излучения. Удлинение тубуса зависит от увеличения окуляра и от расстояния между задней главной плоскостью окуляра до экрана. Применение сильных окуляров при микропроекции требует незначительного удлинения тубуса,

которым на практике можно пренебречь. Это очень важно для работы с микроскопами, длина тубуса у которых не может изменяться.

Наибольшее распространение получила микропроекция на прозрачный экран, в качестве которого используется матовое стекло.

Необходимо заметить, что микрофотография отличается с приборной точки зрения от микропроекции лишь тем, что изображение проецируется не на экран, а на светочувствительный слой.

Для микропроекции предпочтительно использовать окуляры Кельнера, симметричные окуляры и отрицательные окуляры-гомалы. Последние два окуляра предназначены также и для микрофотографии.

Линейное увеличение микроскопа при микропроекции или микрофотографии определяется в зависимости от типа системы выражениями (3), или (4), или (5), из которых находят линейное увеличение окуляра. В свою очередь, линейное увеличение окуляра, предназначенного и для визуального наблюдения, определяется по формуле (рисунок 2.4):

$$\beta_{OK} = \frac{a'_{OK}}{a_{OK}} = \frac{f_{OK}}{z_{OK}} = -\frac{z'_{OK}}{f'_{OK}} = -\frac{z'_{OK}}{250} \overline{\Gamma_{OK}} \cong -K \overline{\Gamma_{OK}}, \quad (26)$$

где $K = a'_{OK} / 250$ при условии, что $z'_{OK} \gg f'_{OK}$, тогда $z'_{OK} \cong a'_{OK}$.

Необходимо помнить, что при микропроекции с отрицательным окуляром отсутствует действительное промежуточное изображение, а выходной зрачок всей системы мнимый и расположен между гомалом и его задним фокусом. Поэтому такая система для визуального наблюдения не применяется. Линейное увеличение гомала определяется по выражению (рисунок 2.4):

$$\beta_{\Gamma} = \frac{a'_{\Gamma}}{a_{\Gamma}} = -\frac{f_{\Gamma}}{z_{\Gamma}} = -\frac{z'_{\Gamma}}{f'_{\Gamma}} \cong -\frac{a'_{\Gamma}}{f'_{\Gamma}}. \quad (27)$$

Используя выражения (26) и (27), определяется положение окуляра относительно изображения, даваемого объективом.

Выходная числовая апертура микроскопа при микропроекции определяется формулой:

$$A' = n' \sin \sigma' = \frac{A_{об}}{\beta_M}. \quad (28)$$

Как видно из равенства (28), выходная апертура незначительна по величине.

Предположив, что окуляр не ухудшает качества изображения, можно найти предельную разрешающую способность на экране:

$$N = \frac{2A_{об}}{\lambda\beta_M} . \quad (29)$$

Световые диаметры компонентов микроскопа определяются из геометрии хода апертурного луча и лучей широкого наклонного пучка. В качестве примера рассмотрим определение световых диаметров тубусной линзы и отрицательного окуляра (рисунок 2.4).

Световой диаметр тубусной линзы определяется выражением:

$$D_{Тл} = 2\rho_{Тл} + 2|a_p|tg|\omega| , \quad (30)$$

где $2\rho_{Тл}$ - диаметр выходного зрачка тубусной линзы или, что то же самое, диаметр выходного зрачка объектива;

a_p - расстояние от передней главной плоскости тубусной линзы до ее входного зрачка;

$tg\omega = \frac{Y'_{Тл}}{f'_{Тл}}$ – полевой угол тубусной линзы в пространстве предметов.

Световой диаметр гомала определяется по величине изображения, даваемого тубусной линзой:

$$D_{Г} = 2(Y'_{Тл} + \frac{\rho'_{Тл} - Y'_{Тл}}{f'_{Тл} - a'_p} a_{Г}) , \quad (31)$$

где $2\rho'_{Тл} = 2\rho_{Тл}\beta_{P_{Тл}}$ - диаметр выходного зрачка тубусной линзы.

Увеличение в зрачках тубусной линзы находится по формуле:

$$\beta_{P_{Тл}} = \frac{a'_{P'}}{a_p} , \quad (32)$$

где $a'_{P'} = \frac{a_p f'_{Тл}}{a_p + f'_{Тл}}$ - расстояние от задней главной плоскости тубусной линзы до ее выходного зрачка.

3. Методика габаритного расчета осветительных устройств микроскопа

Микроскопическим исследованиям подвергаются как прозрачные, так и непрозрачные объекты. В соответствии с типом объекта строятся осветительные устройства для проходящего и отраженного света, а они подразделяются на осветительные устройства светлого и темного полей.

Самым распространенным и рациональным методом освещения как прозрачных, так и непрозрачных объектов является метод, предложенный А.Келером. Важным преимуществом осветительных устройств по Келеру является то, что структура источника света на плоскости освещаемого предмета таким устройством не воспроизводится. Кроме того, эти устройства позволяют при помощи ирисовых диафрагм отдельно регулировать величину освещаемого линейного поля и величину заполняемой светом апертуры.

На рисунке 3.1 представлена схема осветительного устройства по Келеру для проходящего света, а на рисунке 3.2 – для отраженного света. В обоих случаях рассмотрено освещение объектов по методу светлого поля.

3.1. Оптическая схема осветительного устройства для проходящего света

Оптическая схема осветительного устройства для проходящего света состоит из коллектора, конденсора и двух ирисовых диафрагм – полевой и апертурной. Коллектор изображает тело накала источника света в апертурную диафрагму конденсора, расположенную в его передней фокальной плоскости. Вообще апертурная диафрагма может и не располагаться в передней фокальной плоскости конденсора, т.е. ее положение зависит от положения входного зрачка объектива микроскопа. В свою очередь конденсор проецирует полевую диафрагму коллектора в плоскость исследуемого объекта, а апертурную диафрагму – во входной зрачок объектива микроскопа. В представленном на рисунке 3.1 случае входной зрачок объектива находится в бесконечности. Таким образом, изображение источника света получается в задней фокальной плоскости объектива микроскопа, где и располагается его выходной зрачок.

Примечание. Так как в практике микроскопии принято использовать только $2/3$ апертуры микрообъектива (с целью получения наиболее контрастного изображения при уменьшении фона рассеянного света), то фактически выходным зрачком будет являться изображение апертурной диафрагмы конденсора, помещаемой, как правило, в его передней фокальной плоскости; и тогда фактический выходной зрачок объектива будет находиться в его задней фокальной плоскости и может не совпадать с АД объектива.

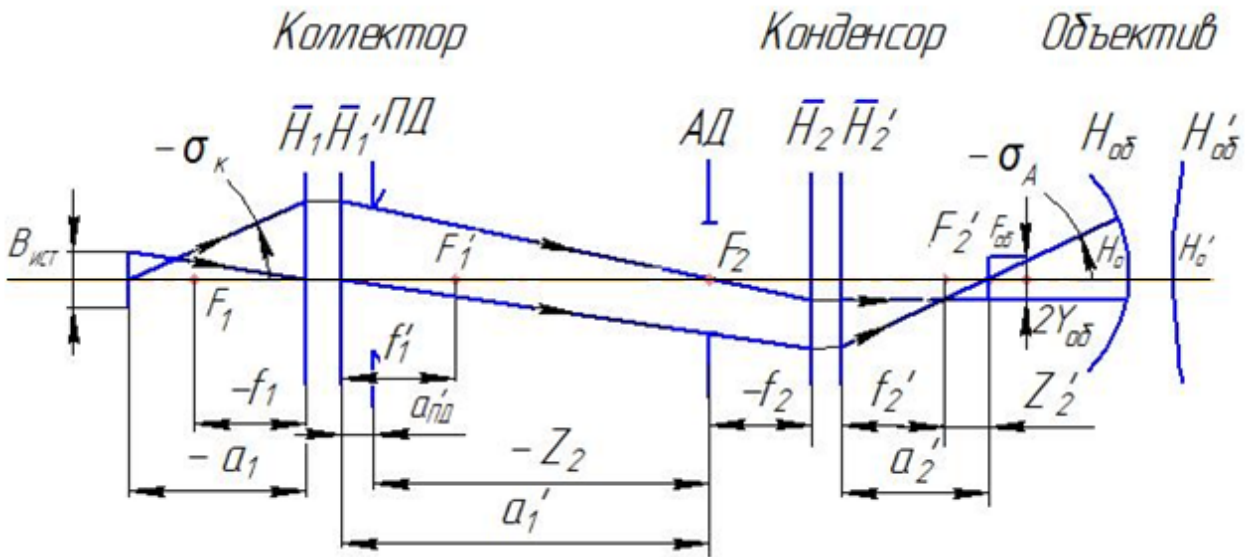


Рисунок 3.1

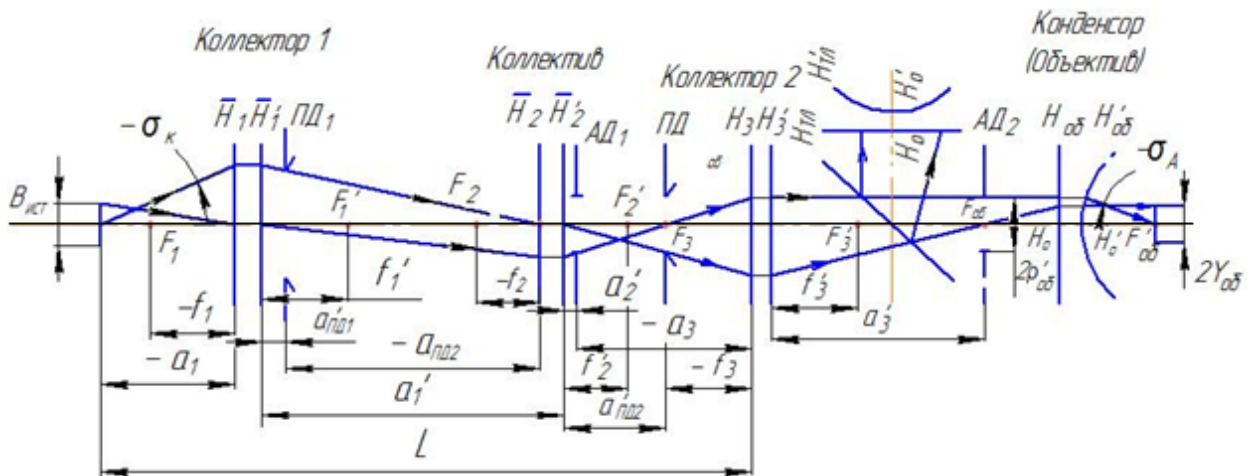


Рисунок 3.2

3.2. Оптическая схема осветительного устройства для отраженного света

Оптическая схема осветительного устройства для отраженного света состоит из трех компонентов и трех диафрагм – полевой диафрагмы первого коллектора, апертурной и полевой диафрагм второго коллектора. Иногда роль диафрагмы коллектора выполняет оправа коллектора. Компонент 1 (коллектор) и компонент 2 (как правило, одиночная линза) проецирует источник света размером $l_{ист}$ в апертурную диафрагму устройства. Двухлинзовый склеенный ахроматический компонент 3 – второй коллектор (иногда это одиночная линза) и светоделительная пластинка проецируют апертурную диафрагму в плоскость

выходного зрачка объектива. В свою очередь компонент 2 проецирует ирисовую диафрагму коллектора (или оправу коллектора) в плоскость полевой диафрагмы устройства, которая совпадает с передней фокальной плоскостью компонента 3. Компонент 3, светоделительная пластинка и конденсор, роль которого играет объектив микроскопа, проецирует полевую диафрагму устройства в плоскость освещаемого предмета. Отразившись от исследуемого объектива, световые лучи проходят объектив, светоделительную пластинку, тубусную линзу и окуляр.

Большинство современных лабораторных и исследовательских микроскопов имеют встроенные осветительные устройства. Поэтому при расчете таких устройств необходимо учитывать их габариты, принятые и соблюдаемые в микроскопостроении. Так, например, расстояние от исследуемого объекта до источника света L должно быть не менее 250...300 мм.

3.3. Габаритный расчет осветительных устройств

Исходными данными для расчета осветительных устройств являются: линейное поле в пространстве предметов объектива микроскопа $2y_{об}$, передняя числовая апертура объектива микроскопа $A_{об}$, диаметр выходного зрачка объектива микроскопа $2r'_{об}$ и длина осветительного устройства L .

Габаритный расчет обоих осветительных устройств необходимо выполнять для наибольшего значения апертуры (при нескольких объективах с различной апертурой) и наибольшего размера освещаемого поля микроскопа. Кроме того, необходимо, чтобы выполнялось условие:

$$A'_{кон} \leq A_{об} \cdot \quad (33)$$

Соотношение выходной апертуры осветителя $A'_{кон}$ и апертуры микроскопа $A_{об}$ определяет пространственную когерентность, т.е.

$$C = \frac{A'_{кон}}{A_{об}} \cdot \quad (34)$$

Если $C > 1$, то освещение считают практически некогерентным, если $C < 0.1$ – пространственно-когерентным. Коэффициент C может изменяться от нуля до единицы за счет изменения размера апертурной диафрагмы осветителя. Временная когерентность освещения определяется длиной когерентности:

$$l = \frac{\lambda_0^2}{\Delta\lambda}, \quad (35)$$

где λ_0 - основная длина волны;

$\Delta\lambda$ - полуширина интервала длин волн.

На первом этапе габаритного расчета осветительных устройств определяется требуемая величина габаритной яркости источника и устанавливается его вид.

При визуальном наблюдении через микроскоп яркость изображения, воспринимаемая глазом наблюдателя, определяется выражениями:

$$L' = \tau\tau_0 L_{ист}, \quad (36)$$

$$L' = \tau\rho_0 L_{ист}, \quad (37)$$

где τ - коэффициент пропускания системы от источника до глаза;

τ_0 - коэффициент пропускания прозрачного объекта;

ρ_0 - коэффициент отражения непрозрачного объекта;

$L_{ист}$ - габаритная яркость источника света.

Коэффициент пропускания микроскопов средней сложности приблизительно равен 0,3, а коэффициент пропускания (отражения) объекта может находиться в интервале $0,1 \leq \tau_0(\rho_0) \leq 1,0$. Яркость изображения не должна быть излишней для глаз.

При микропроекции освещенность центра изображения (экрана) определяется по формулам:

$$E_0' = \pi\tau\tau_0 L_{ист} \frac{A_{об}^2}{\beta_m^2}, \quad (38)$$

$$E_0' = \pi\tau\rho_0 L_{ист} \frac{A_{об}^2}{\beta_m^2}. \quad (39)$$

Величина требуемой освещенности на экране лежит в интервале $50 \leq E_0' \leq 200 \text{ лк}$.

При микрофотографии освещенность зависит от чувствительности фотоматериалов. При использовании фотоматериалов невысокой чувствительности и небольших выдержек требуемая освещенность такая же, как и для микропроекции.

Из выражений (36), (37) или (38), (39) определяют требуемую габаритную яркость источника для визуального наблюдения или для микропроекции.

В справочной литературе [4, 5, 6, 7] часто указывается только световой поток, а габаритная яркость, необходимая при светоэнергетических расчетах, не производится. Габаритная яркость источника $L_{ист}$ при известном световом

потоке и площади излучающей поверхности S , m^2 , определяется следующими выражениями:

а) точечный источник - $L_{ист} = const$, сила света $I = \frac{\Phi_{ист}}{4\pi}$, тогда

$$L_{ист} = \frac{\Phi_{ист}}{4\pi S_{ист}} . \quad (40)$$

б) плоская излучающая площадка, сила света которой в перпендикулярном направлении $I_{max} = \frac{\Phi_{ист}}{2\pi}$, тогда

$$L_{max\text{ ист}} = \frac{\Phi_{ист}}{2\pi S_{ист}}, \text{ а } L_{\alpha\text{ ист}} = L_{max\text{ ист}} \cos \alpha , \quad (41)$$

в) цилиндрическая поверхность с темными торцами – $I_{max} = \frac{\Phi_{ист}}{\pi^2}$,

$$\text{тогда } L_{max\text{ ист}} = \frac{\Phi_{ист}}{\pi^2 S_{ист}}, \text{ а } L_{\alpha\text{ ист}} = L_{max\text{ ист}} \cos \alpha . \quad (42)$$

Выбирая из каталога тип лампы, следует использовать инвариант:

$$b_{ист} A_{кол} = 2y_{об} A'_{кон} = 2y_{об} A_{об} , \quad (43)$$

где $b_{ист} = 2Y_{ист}$, мм – размер светящегося тела лампы;

$A_{кол}$ – передняя числовая апертура коллектора;

$A'_{кон}$ – задняя числовая апертура конденсора;

$2y_{об}$, мм – линейное поле микроскопа в пространстве предметов.

На основании равенства (43) составляют для ламп каталога несколько комбинаций типа:

$$b_{ист.1} A_{кол.1} = b_{ист.2} A_{кол.2} = \dots = const . \quad (44)$$

Из выражения (44) следует, что чем больше размер светящегося тела, тем меньше апертура коллектора, т.е. чем мощнее лампа, тем проще осветительная система при условии, что яркость постоянна.

В качестве источника света в микроскопах при визуальном наблюдении используются, например, лампы накаливания типа СЦ-61, СЦ-80, ОП-12-100 и др.

Для микропроекции инвариант (43) можно представить в иной, более удобной форме [9]. Полагая, что $2y_{об}$ есть диаметр освещаемого объекта, с учетом (38), (39) из (43) получаем:

$$S_{уст} A_{кол}^2 = \pi y_{об}^2 A_{об}^2 = y_{об}^2 \frac{E_0 \beta_M^2}{\tau \tau_0 L_{уст}} = y_{об}^2 \frac{E_0 \beta_M^2}{\tau \rho_0 L_{уст}}, \quad (45)$$

где $S_{уст}$ - площадь светящегося тела лампы.

Комбинации типа (39) для микропроекции можно представить в виде:

$$S_{уст.1} A_{кол.1}^2 = S_{уст.1} A_{кол.2}^2 = \dots = const \quad . \quad (46)$$

при условии, что освещенность постоянна.

Для микропроекции, микрофотографии, спектрофотометрии, исследования в свете люминесценции используются источники света большой яркости, например, газоразрядные лампы ДРШ-250, ДРШ-100-2, СВД-120А, импульсные лампы типа ИФТ-200, ИФК-50, лампы накаливания с йодным циклом типа КИМ9-75, КИМ9-70 и др.

Передняя числовая апертура осветителя при визуальном наблюдении определяется из (43), а при микропроекции из (45).

На практике в осветительных устройствах для проходящего света (рисунок 3.1) конденсоры работают в определенном интервале апертур $A'_{кон}$ и освещаемых линейных полей $2y_{об}$. Так, например, высокоапертурные конденсоры работают с малыми или средними линейными полями. Значения числовых апертур конденсоров для объективов с числовой апертурой 0,11-0,4 соответствуют нормальному ряду: 0,16; 0,2; 0,25; 0,32; 0,40, а для объективов с числовой апертурой 0,4 и более – ряду: 0,45; 0,5; 0,6; 0,65; 0,7; 0,8; 0,85; 0,9; 0,95; 1; 1,1; 1,15; 1,20; 1,30; 1,40. Величины фокусных расстояний конденсоров изменяются от -7 до -20 мм, в среднем $f_{кон} = -10$ мм.

Исходя из габаритов системы, величина расстояния от задней главной плоскости коллектора до апертурной диафрагмы конденсора выбирается из интервала $200 \leq a_1 \leq 300$ мм, а величина переднего фокусного расстояния конденсора при известной апертуре объектива, следовательно, и апертуре конденсора – из $|7| \leq f_2 \leq |20|$.

Диаметр апертурной диафрагмы конденсора при условии, что она расположена в его передней фокальной плоскости, находится по формуле:

$$D_{AD} = b'_{уст} = -2A_{об} f_2 \quad . \quad (47)$$

Линейное увеличение коллектора определяется выражением:

$$\beta_1 = -\frac{b'_{уст}}{b_{уст}} = -\frac{D_{AD}}{b_{уст}} . \quad (48)$$

следовательно, расстояние от передней главной плоскости коллектора до тела накала лампы определится по формуле:

$$a_1 = \frac{a'_1}{\beta_1} . \quad (49)$$

Фокусное расстояние коллектора определяется по выражению:

$$f'_1 = \frac{a'_1}{1 - \beta_1} . \quad (50)$$

Далее определяется линейное увеличение конденсора:

$$\beta_2 = -\frac{f_2}{Z_2} , \quad (51)$$

где $Z_2 = a'_{ПД} - a'_1$ – расстояние от переднего фокуса конденсора до полевой диафрагмы коллектора.

Полевую диафрагму коллектора располагают от его последней поверхности на расстоянии $S'_{ПД}$ не менее чем на 10 мм и не более чем на 25 мм. Если роль полевой диафрагмы коллектора играет его оправа, то $a'_{ПД} = 0$, а $Z_2 = -a'_1$.

Диаметр полевой диафрагмы коллектора определяется по формуле:

$$D_{ПД} = -\frac{2y_{об}}{\beta_2} . \quad (52)$$

Отрезок от заднего фокуса конденсора до изображения полевой диафрагмы (освещаемого предмета) находится по выражению:

$$Z'_2 = -\beta_2 f'_2 = n\beta_2 f_2 , \quad (53)$$

где n - показатель преломления иммерсии.

Отрезок от задней главной плоскости конденсора до освещаемого (исследуемого) предмета определяется как

$$a_2' = f_2' + Z_2' = -(1 - \beta_2)nf_2 . \quad (54)$$

Числовая апертура конденсора в пространстве предметов рассчитывается по формуле:

$$A_2 = \beta_2 A_2' = \beta_2 A_{об} . \quad (55)$$

Таким образом, зная числовую апертуру и увеличение коллектора и конденсора, а также их фокусные расстояния и диаметры полевой и апертурной диафрагм, из каталогов и справочников по указанным характеристикам подбирают компоненты осветительного устройства для проходящего света. После подбора компонентов габаритный расчет уточняется.

В осветительных устройствах для отраженного света (рисунок 3.2) желательно, чтобы их выходной зрачок совпадал с выходным зрачком любого сменного объектива микроскопа. Чем больше несовпадение зрачков, тем заметнее становится неравномерность освещения по полю.

Наиболее рациональной конструкцией осветительного устройства является та конструкция, когда апертурная диафрагма устройства проецируется в заднюю фокальную плоскость сменных объективов, с которой совпадает выходной зрачок этих объективов. Рассчитать комплект таких объективов, да еще с одинаковым расположением по высоте от их опорной поверхности выходных зрачков, весьма сложно. Поэтому, чтобы сохранить качество изображения, разница по высоте выходных зрачков для объективов с малым и большим увеличением не должна превышать 1...2 мм.

Объективы, предназначенные для отраженного света, обычно рассчитаны для длины тубуса "бесконечность". Поэтому такие объективы работают совместно с тубусной ахроматической линзой и используются в металлографических и других микроскопах. Следовательно, расстояние между объективом и тубусной линзой должно быть таким, чтобы в это пространство можно было поместить светоделительную пластинку или призму. В этой связи расстояние a_3' между задней главной плоскостью компонента 3 осветительного устройства и выходным зрачком сменных объективов выбирается в зависимости от конструкции микроскопа.

Величины увеличений компонентов, составляющих осветительное устройство (рисунок 3.2), определяют габариты (длину и диаметр) всего устройства.

Линейное увеличение осветительного устройства без конденсора (объектива микроскопа) находится по формуле:

$$\beta = \beta_1 \beta_2 \beta_3 = \frac{2\rho_{об}'}{b_{ист}} . \quad (56)$$

Компонент 2 (как правило, одиночная линза) проецирует изображение источника, даваемого компонентом 1 (коллектором) в плоскость апертурной диафрагмы с $\beta_2 = 0,8 \times \dots 0,9 \times$. Из конструктивных соображений апертурную диафрагму располагают как можно ближе к компоненту 2, но не менее чем в 5 мм от последней поверхности. Поэтому расстояние от задней главной плоскости до апертурной диафрагмы находится по формуле:

$$a_2' \geq (-S_{H_2}' + 5), \quad (57)$$

где S_{H_2}' – расстояние от последней поверхности компонента 2 до его задней главной плоскости.

Далее необходимо определить расстояние a_1' от задней главной плоскости коллектора до изображения источника и расстояние a_3 от передней главной плоскости компонента 3 до апертурной диафрагмы (рисунок 3.2). С этой целью преобразуем выражение (56), имея в виду, что $\beta_1 = \frac{a_1'}{a_1}$, $\beta_3 = \frac{a_3'}{a_3}$, к виду

$$a_1' = \eta a_3, \quad (58)$$

где $\eta = \frac{a_1' 2 \rho_{об}'}{b_{уст} \beta_2 a_3'}$.

Зная тип источника света, следовательно, и его габариты в первом приближении, определяют расстояние a_1 от передней главной плоскости коллектора до тела накала.

Из рисунка 3.2 следует $L \approx -a_1 + a_1' + a_2' - a_3$; подставив в это выражение (58), получим:

$$a_3 = \frac{-a_1 + a_2' - L}{1 - \eta}. \quad (59)$$

Фокусное расстояние компонента 3 определяется по формуле

$$f_3' = \frac{a_3'}{1 - \beta_3}, \quad (60)$$

где $\beta_3 = \frac{a_3'}{a_3}$ - линейное увеличение компонента 3.

Фокусное расстояние коллектора (компонент 1) находится по выражению:

$$f_1' = \frac{a_1'}{1 - \beta_1}, \quad (61)$$

где $a_1' = \eta a_3$; $\beta_1 = \frac{a_1'}{a_1}$ - линейное увеличение компонента 1 (коллектора).

Из рисунка 3.2 следует, что расстояние от задней главной плоскости компонента 2 до полевой диафрагмы устройства определяется формулой:

$$a_{\text{ПД}_2}' = f_3 - a_3 - a_1', \quad (62)$$

а от передней главной плоскости до диафрагмы коллектора выражением:

$$a_{\text{ПД}_2}' = a_{\text{ПД}_1}' + a_2 - a_1', \quad (63)$$

где $a_{\text{ПД}_1}' = S_{\text{ПД}_1}' - S_{H_1}'$ - расстояние от задней главной плоскости коллектора до его диафрагмы;

$S_{\text{ПД}_1}'$ - расстояние от последней поверхности коллектора до диафрагмы;

S_{H_1}' - расстояние от последней поверхности до задней главной плоскости коллектора);

$a_2 = \frac{a_2'}{\beta_2}$ - расстояние от передней главной плоскости компонента 2 до

изображения, даваемого коллектором.

Чтобы не предъявлять высоких требований к пузырьчатости стекла и чистоте обработке поверхности коллектора, его диафрагму (в некоторых системах это ирисовая диафрагма) располагают от его последней поверхности на расстоянии $S_{D\text{ПД}_1}'$ не менее чем 20...25 мм. Увеличивать это расстояние не

рекомендуется. Если роль диафрагмы коллектора играет его оправка, то $a'_{ПД1} = 0$.

Фокусное расстояние компонента 2 определяют по формуле:

$$f'_2 = \frac{a'_{ПД2}}{(1 - \beta_{ПД2})}, \quad (64)$$

где $\beta_{ПД2} = \frac{a'_{ПД2}}{a_{ПД2}}$.

Диаметр полевой диафрагмы осветительного устройства определяют по выражению:

$$D_{ПД2} = \frac{D_{ПДМ} f'_3}{f'_{Тл}} = \frac{2y_{об} f'_3}{f'_{об}}, \quad (65)$$

где $D_{ПД2}$ - диаметр полевой диафрагмы микроскопа;

$f'_{Тл}$ - фокусное расстояние тубусной линзы;

$f'_{об}$ - фокусное расстояние объектива микроскопа (конденсора).

Диаметр диафрагмы коллектора (если $a'_{ПД1} = 0$, то - диаметр оправы коллектора) определяется по формуле:

$$D_{ПД1} = \frac{D_{ПД2}}{\beta_{ПД2}}. \quad (66)$$

Диаметр апертурной диафрагмы осветителя находят из равенства:

$$D_{AD} = \frac{2\rho'_{об}}{\beta_3}. \quad (67)$$

Числовую апертуру коллектора в пространстве изображений определяют по формуле:

$$A'_{кол}(1) = \frac{A_{кол}(1)}{\beta_1}. \quad (68)$$

Знание числовых апертур, увеличений и фокусных расстояний компонентов осветительного устройства для отраженного света позволяет

подобрать из каталогов и справочников требуемые компоненты. После подбора компонентов расчет уточняется.

Световые диаметры компонентов устройства (рисунок 3.2) определяются на основании геометрии хода лучей. Так, например, световой диаметр компонента 3 определяется по формуле:

$$D_3 = 2\rho'_{об} + 2a'_3 \operatorname{tg}|\omega|, \quad (69)$$

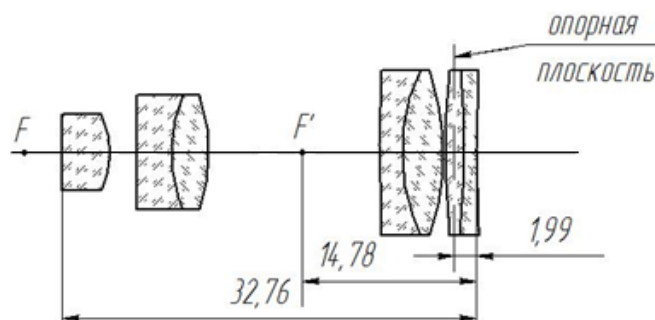
где a'_3 - расстояние от задней главной плоскости компонента 3 до выходного зрачка объектива;

$2\rho'_{об}; \operatorname{tg}|\omega|$ - формула (30).

4. Объективы микроскопов

(во всех приведенных ниже объективах микроскопов, световой диаметр на последней поверхности определяет числовую апертуру объектива.)

Объектив микроскопа ахроматический: 10 x 0,40 (система без иммерсии)



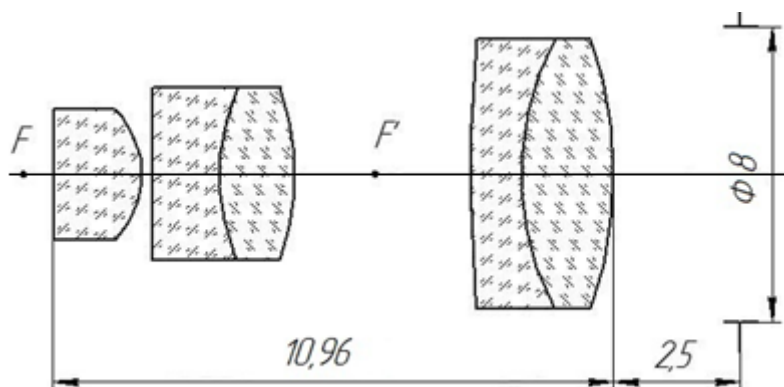
Длина тубуса, мм	160
Числовая апертура.....	0,40
Увеличение, крат	-9,94
Фокусное расстояние, мм	15,98
Линейное поле в пространстве изображений, мм	18,00
Толщина покровного стекла, мм	0,17
Расстояние от 1-ой поверхности объектива до верхней поверхности покровного стекла, мм.....	3,28
Расстояние от первой поверхности объектива до предмета, мм	-3,45
Расстояние от последней поверхности объектива до изображения, мм....	145,01
Расстояние от предмета до изображения, мм.....	181,22

Конструктивные параметры объектива

№	r , мм	d , мм	Показатель преломления	Коэффициент дисперсии	Марка стекла	Полный диаметр
			1			
1	∞	3,78	1,5147	60,62	К14	6,0
2	-7,278	2,18	1			6,0
3	∞	2,73	1,6475	33,86	ТФ1	9,0
4	11,83	2,91	1,5147	60,62	К14	9,0
5	-13,583	13,47	1			9,0
6	97,05	1,82	1,6475	33,86	ТФ1	13,0
7	15,56	3,28	1,5147	60,62	К14	13,0
8	-19,099	0,09	1			13,0
9	88,71	1,5	1,5163	64,05	К8	13,0
10	-1096,5	1,0	1,7172	29,50	ТФ3	13,0
11	317,7		1			13,0

$$S_F = -1,78 \text{ мм}; S'_F = -14,78 \text{ мм}; S_H = 14,20 \text{ мм}; S'_H = -30,76 \text{ мм}$$

Объектив микроскопа ахроматический: 40 x 0,65 (система без иммерсии)

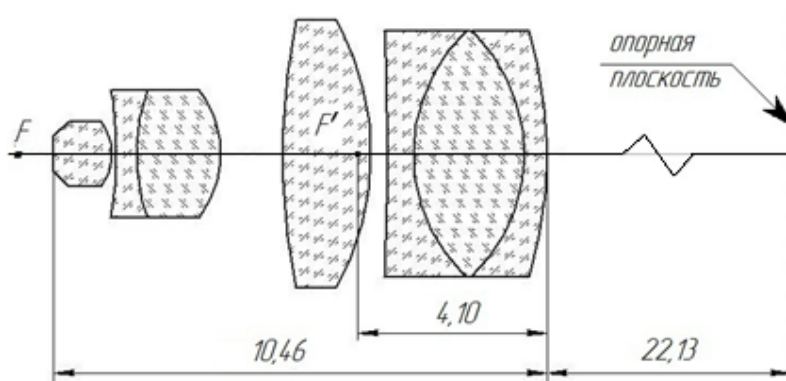


Длина тубуса, мм.....	160
Числовая апертура.....	0,65
Увеличение, крат	-40,10
Фокусное расстояние, мм	4,31
Линейное поле в пространстве изображений, мм	18,00
Толщина покровного стекла, мм	0,17
Расстояние от 1-ой поверхности объектива до верхней поверхности покровного стекла, мм.....	-0,59
Расстояние от первой поверхности объектива до предмета, мм	-0,76
Расстояние от последней поверхности объектива до изображения, мм... ..	168,22
Расстояние от предмета до изображения, мм.....	180,00

Конструктивные параметры объектива

№	r , мм	d , мм	Показатель преломления	Коэффициент дисперсии	Марка стекла	Полный диаметр
			1			
1	∞	1,72	1,5100	63,25	К3	1,6
2	-1,85	0,22	1			3,0
3	∞	1,3	1,6725	32,22	ТФ2	3,4
4	4,17	1,5	1,5100	63,25	К3	3,8
5	-4,60	3,42	1			3,8
6	26,53	1,0	1,6164	34,82	Ф9	5,3
7	5,59	1,8	1,5100	63,25	К3	5,8
8	-7,98		1			5,8
$S_F = -0,6 \text{ мм}; S'_F = -4,68 \text{ мм}; S_H = 3,77 \text{ мм}; S'_H = -8,99 \text{ мм}$						

Объектив микроскопа ахроматический: 60 x 0,85(система без иммерсии)



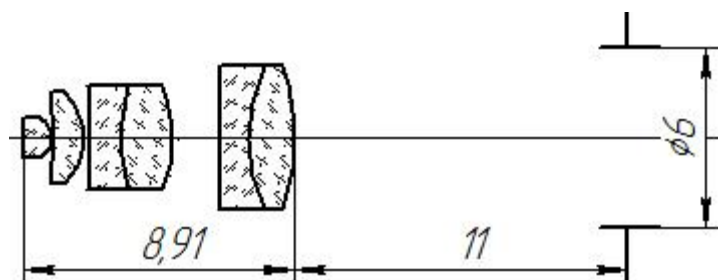
- Длина тубуса, мм..... 160
- Числовая апертура..... 0,85
- Увеличение, крат -57,80
- Фокусное расстояние, мм 3,0
- Линейное поле в пространстве изображений, мм 18,00
- Толщина покровного стекла, мм 0,17
- Расстояние от 1-ой поверхности объектива до верхней поверхности покровного стекла, мм..... -0,23
- Расстояние от первой поверхности объектива до предмета, мм -0,40
- Расстояние от последней поверхности объектива до изображения, мм ... 69,13
- Расстояние от предмета до изображения, мм..... 180,0

Конструктивные параметры объектива

№	<i>r</i> , мм	<i>d</i> , мм	Показатель преломления	Коэффициент дисперсии	Марка стекла	Полный диаметр
			1			
1	-6,50	0,96	1,5163	64,05	К8	1,30
2	-1,17	0,10	1			2,0
3	-5,27	0,40	1,6475	33,86	ТФ1	2,50
4	3,88	1,60	1,5163	64,05	К8	3,25
5	-2,27	1,30	1			3,60
6	24,55	2,50	1,5324	60,45	БК4	4,75
7	-5,18	0,30	1			5,20
8	∞	0,50	1,6076	46,10	БФ25	4,95
9	3,60	2,30	1,4704	66,81	ЛК6	4,85
10	-3,60	0,50	1,5749	41,30	ЛФ5	4,85
11	-10,33		1			5,0

$$S_F = -0,29 \text{ мм}; S'_F = -4,10 \text{ мм}; S_H = 2,71 \text{ мм}; S'_H = -7,10 \text{ мм}$$

Объектив микроскопа ахроматический: 90 x 1,25 (масляная иммерсия)

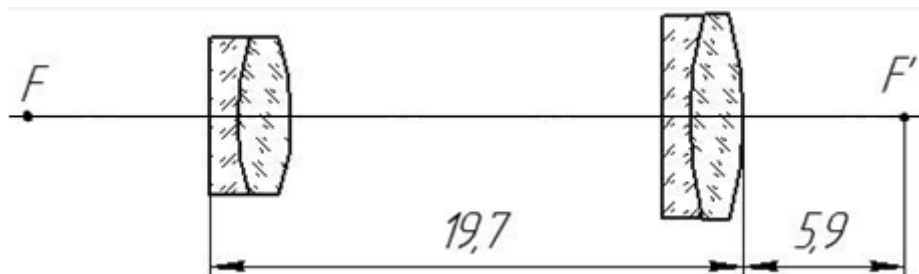


Длина тубуса, мм.....	160
Числовая апертура.....	1,25
Увеличение, крат	-90
Фокусное расстояние, мм	1,96
Линейное поле в пространстве изображений, мм	18,00
Толщина покровного стекла, мм	0,17
Расстояние от 1-ой поверхности объектива до верхней поверхности покровного стекла, мм.....	-0,15
Расстояние от первой поверхности объектива до предмета, мм	-0,32
Расстояние от последней поверхности объектива до изображения, мм...170,77	
Расстояние от предмета до изображения, мм.....	180,0

Конструктивные параметры объектива

№	r , мм	d , мм	Показатель преломления	Коэффициент дисперсии	Марка стекла	Полный диаметр
			1,5150	47,976		
1	∞	0,92	1,5263	63,34	К20	1,0
2	-0,78	0,05	1			1,55
3	-7,88	1,0	1,5110	64,27	К5	2,5
4	-2,0	0,2	1			3,0
5	-34,015	1,0	1,6475	33,86	ТФ1	3,4
6	5,29	1,75	1,5004	66,01	К2	3,4
7	-4,02	1,49	1			3,4
8	101,8	1,0	1,7398	28,15	ТФ4	4,4
9	5,66	1,5	1,5110	64,27	К5	4,6
10	-7,44		1			4,8
$S_F = -0,19 \text{ мм} (n_1 = 1,0); S'_F = -5,74 \text{ мм}; S_H = 1,77 \text{ мм} (n_1 = 1,0);$ $S'_H = -7,70 \text{ мм}$						

Объектив микроскопа ахроматический: $f' = 18,2$ (мм) ; $A = 0,2$
(система без иммерсии)



Числовая апертура.....0,20
 Фокусное расстояние, мм18,19
 Расстояние от первой поверхности объектива до предмета, мм-6,74

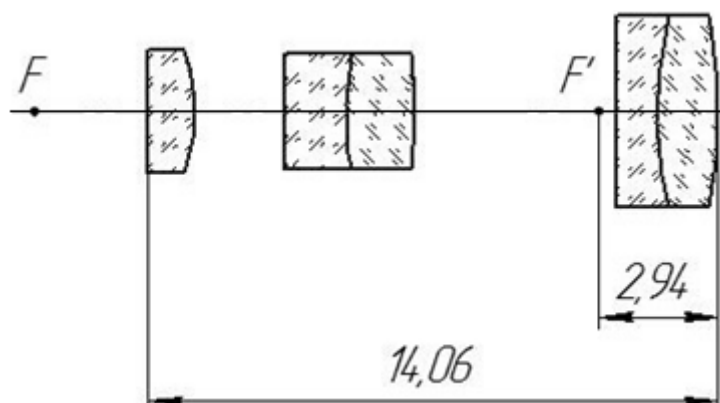
За объективом устанавливается тубусная ахроматическая линза.
 Увеличение системы, состоящей из объектива и тубусной линзы
 с фокусным расстоянием 250 мм-13,6^x

Конструктивные параметры объектива

№	r , мм	d , мм	Показатель преломления	Коэффициент дисперсии	Марка стекла	Полный диаметр
			1			
1	∞	1,0	1,6475	33,86	ТФ1	5,8
2	8,95	2,0	1,5181	58,94	КФ4	6,3
3	-8,95	13,7	1			6,3
4	144,60	1,0	1,6475	33,86	ТФ1	7,5
5	13,81	2,0	1,5181	58,94	КФ4	7,6
6	-13,81		1			7,6
$S_F = -6,74$ мм; $S'_F = 5,9$ мм; $S_H = 11,45$ мм; $S'_H = -12,29$ мм						

Объектив микроскопа ахроматический: $f' = 8,16$ (мм) ; $A = 0,37$

(система без иммерсии)



Объектив исправлен для бесконечно-удаленного изображения.

Числовая апертура..... 0,37

Фокусное расстояние, мм8,16

Расстояние от первой поверхности объектива до предмета, мм-2,78

За объективом устанавливается тубусная ахроматическая линза.

Увеличение системы, состоящей из объектива и тубусной

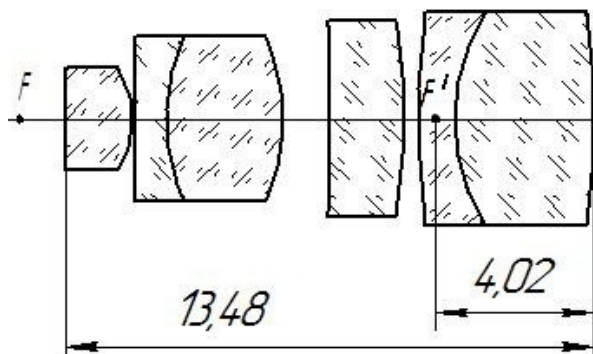
линзы с фокусным расстоянием 250 мм-30,6^x

Конструктивные параметры объектива

№	r , мм	d , мм	Показатель преломления	Коэффициент дисперсии	Марка стекла	Полный диаметр
			1			
1	∞	1,16	1,5181	58,94	КФ4	2,3
2	-4,406	2,3	1			2,8
3	-53,70	1,5	1,6475	33,86	ТФ1	3,8
4	8,204	1,7	1,5181	58,94	КФ4	4,3
5	-7,379	4,9	1			4,7
6	88,31	1,0	1,6475	33,86	ТФ1	5,8
7	9,728	1,5	1,5181	58,94	КФ4	6,0
8	-12,647		1			6,1
$S_F = -2,78$ мм; $S'_F = -2,94$ мм; $S_H = 5,38$ мм; $S'_H = -11,10$ мм						

Объектив микроскопа ахроматический: $f' = 4,85$ (мм) ; $A = 0,55$

(система без иммерсии)



Числовая апертура..... 0,55
 Фокусное расстояние, мм4,85
 Расстояние от первой поверхности объектива до предмета, мм-1,18

За объективом устанавливается тубусная ахроматическая линза.

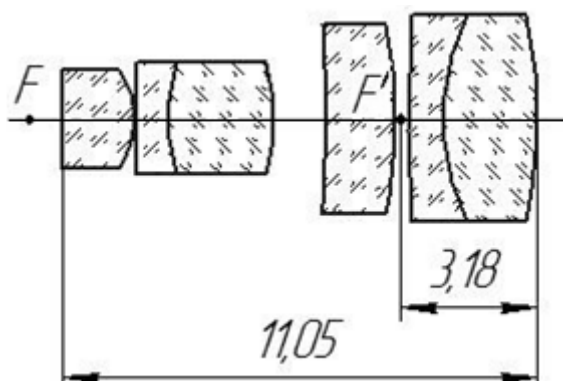
Увеличение системы, состоящей из объектива и тубусной линзы

с фокусным расстоянием 250 мм-51,5^x

Конструктивные параметры объектива

№	r , мм	d , мм	Показатель преломления	Коэффициент дисперсии	Марка стекла	Полный диаметр
			1			
1	∞	1,68	1,5163	64,05	К8	1,6
2	-2,399	0,06	1			2,6
3	∞	0,82	1,5795	53,85	БФ7	2,9
4	5,176	2,94	1,43385	95,1	ФК8	4,2
5	-5,176	1,22	1			4,2
6	-42,76	1,88	1,5110	63,25	К5	4,7
7	-14,588	0,35	1			5,0
8	18,664	0,94	1,6725	32,22	ТФ2	5,2
9	5,152	3,53	1,5110	63,25	К5	5,4
10	-18,493		1			5,4
$S_F = -1,18$ мм; $S'_F = -4,02$ мм; $S_H = 3,66$ мм; $S'_H = -8,82$ мм						

Объектив микроскопа ахроматический: $f' = 4,25$ (мм); $A = 0,60$
(система без иммерсии)



Числовая апертура..... 0,6
 Фокусное расстояние, мм 4,25
 Расстояние от первой поверхности объектива до предмета, мм -0,76

За объективом устанавливается тубусная ахроматическая линза.

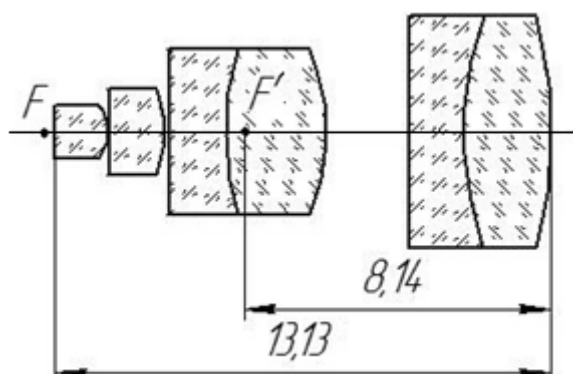
Увеличение системы, состоящей из объектива и тубусной линзы
 с фокусным расстоянием 250 мм -58,9^x

Конструктивные параметры объектива

№	r , мм	d , мм	Показатель преломления	Коэффициент дисперсии	Марка стекла	Полный диаметр
			1			
1	∞	1,7	1,5163	64,05	К8	1,14
2	-2,0	0,05	1			2,3
3	∞	0,7	1,5795	53,85	БФ7	2,6
4	4,406	2,5	1,43385	95,1	ФК8	2,9
5	-4,406	1,2	1			3,9
6	-25,0	1,6	1,5100	63,25	К3	4,4
7	-10,423	0,3	1			4,7
8	40,93	0,8	1,6725	32,22	ТФ2	4,8
9	5,546	2,2	1,5100	63,25	К3	4,9
10	-10,375		1			5,2
$S_F = -0,76$ мм; $S'_F = -3,18$ мм; $S_H = 3,49$ мм; $S'_H = -7,43$ мм						

Объектив микроскопа ахроматический: $f' = 2,79$ (мм) ; $A = 1,25$

(масляная иммерсия)



Числовая апертура..... 1,25
 Фокусное расстояние, мм 2,79
 Расстояние от первой поверхности объектива до предмета, мм -0,44

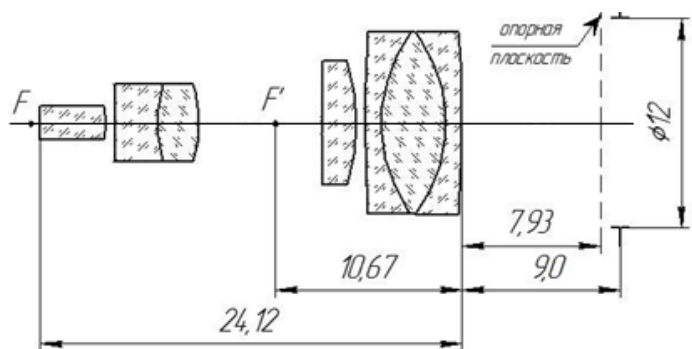
За объективом устанавливается тубусная ахроматическая линза.

Увеличение системы, состоящей из объектива и тубусной линзы
 с фокусным расстоянием 250 мм -89,53^x

Конструктивные параметры объектива

№	r , мм	d , мм	Показатель преломления	Коэффициент дисперсии	Марка стекла	Полный диаметр
			1,5150	47,976		
1	∞	1,39	1,5263	63,34	K20	1,40
2	-1,135	0,05	1			2,26
3	-11,324	1,46	1,5110	64,27	K5	3,70
4	-2,999	0,15	1			4,40
5	-49,55	1,46	1,6475	33,86	TФ1	4,84
6	7,709	2,65	1,5004	66,01	K2	6,14
7	-5,888	2,18	1			6,14
8	148,25	1,46	1,7398	28,15	TФ4	6,60
9	8,851	2,33	1,5110	64,27	K5	7,00
10	-11,858		1			7,00
$S_F = -0,28$ мм ($n_1 = 1,0$); $S'_F = -8,14$ мм; $S_H = 2,51$ мм ($n_1 = 1,0$); $S'_H = -10,93$ мм						

Объектив микроскопа апохроматический: 20 x 0,65 (система без иммерсии)



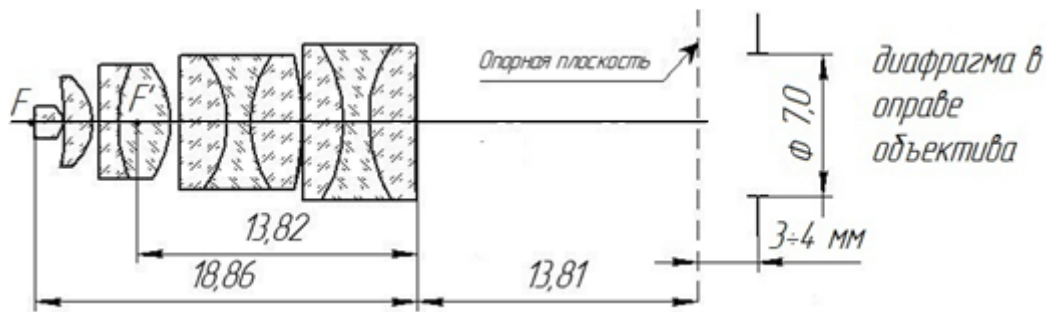
Длина тубуса, мм.....	160
Числовая апертура.....	0,65
Увеличение, крат	-19,7
Фокусное расстояние, мм	8,40
Линейное поле в пространстве изображений, мм	18,00
Толщина покровного стекла, мм	0,17
Расстояние от 1-ой поверхности объектива до верхней поверхности покровного стекла, мм.....	-0,81
Расстояние от первой поверхности объектива до предмета, мм	-0,98
Расстояние от последней поверхности объектива до изображения, мм...	154,93
Расстояние от предмета до изображения, мм.....	180,03

Конструктивные параметры объектива

№	r , мм	d , мм	Показатель преломления	Коэффициент дисперсии	Марка стекла	Полный диаметр
			1			
1	∞	3,80	1,5636	60,75	ТК1	1,9
2	-3,623	0,53	1			4,4
3	-30,48	2,38	1,5646	55,8	БК9	5,1
4	8,52	2,40	1,3920	99,0	LiF	6,5
5	-6,934	6,94	1			7,1
6	66,62	2,02	1,5163	64,05	К8	10,8
7	-12,043	0,48	1			10,9
8	72,60	0,95	1,5335	51,6	БФ3	10,7
9	8,90	3,67	1,43385	95,1	Флюорит	10,4
10	-8,746	0,95	1,5145	51,13	КФ1	10,4
11	-59,40		1			

$$S_F = -0,49 \text{ мм}; S'_F = -10,66 \text{ мм}; S_H = 7,91 \text{ мм}; S'_H = -19,06 \text{ мм}$$

Объектив микроскопа апохроматический: 60 x 1,40 (масляная иммерсия)



Длина тубуса, мм.....	160
Числовая апертура.....	1,40
Увеличение, крат	-59,81
Фокусное расстояние, мм	2,92
Линейное поле в пространстве изображений, мм	18,00
Толщина покровного стекла, мм	0,17
Расстояние от 1-ой поверхности объектива до верхней поверхности покровного стекла, мм.....	-0,19
Расстояние от первой поверхности объектива до предмета, мм	-0,36
Расстояние от последней поверхности объектива до изображения, мм... ..	160,81
Расстояние от предмета до изображения, мм.....	180,0

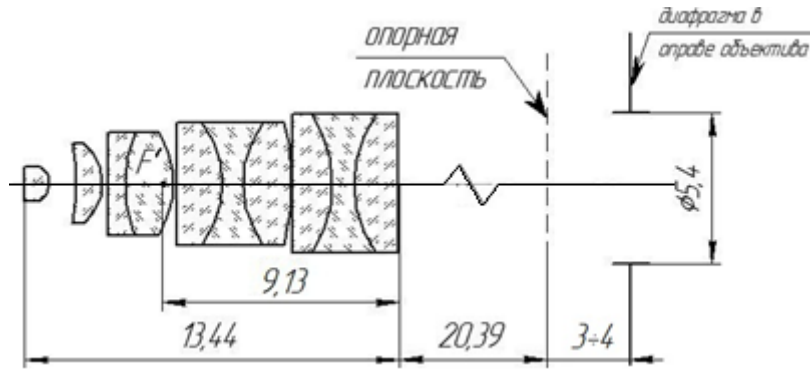
Конструктивные параметры объектива

№	r , мм	d , мм	Показатель преломления	Коэффициент дисперсии	Марка стекла	Полный диаметр
			1,5150	47,976		
1	∞	1,39	1,5324	60,45	БК4	1,6
2	-1,087	0,12	1			2,2
3	-11,09	1,38	1,5110	64,27	К5	4,4
4	-2,759	0,30	1			4,7
5	∞	0,91	1,6076	46,10	БФ25	5,6
6	6,79	2,6	1,43385	95,1	Флюорит	6,5
7	-4,81	0,46	1			6,5
8	∞	2,35	1,43385	95,1	Флюорит	6,6
9	-5,01	1,10	1,5480	45,85	ЛФ10	7,3
10	5,68	2,60	1,43385	95,1	Флюорит	7,3
11	-12,82	0,05	1			7,3
12	∞	2,0	1,5335	55,45	К15	7,4
13	-7,02	1,2	1,4562	58,5	Квасцы	7,7
14	7,02	2,4	1,5181	58,94	КФ4	7,7
15	141,58		1			7,7

$$S_F = -0,19 \text{ мм} (n_1 = 1,0); S'_F = -13,82 \text{ мм}; S_H = 2,73 \text{ мм} (n_1 = 1,0);$$

$$S'_H = -16,74 \text{ мм}$$

Объектив микроскопа апохроматический: 90 x 1,40 (масляная иммерсия)



Длина тубуса, мм.....	160
Числовая апертура.....	1,40
Увеличение, крат	-91
Фокусное расстояние, мм	1,94
Линейное поле в пространстве изображений, мм	18,0
Толщина покровного стекла, мм	0,17
Расстояние от 1-ой поверхности объектива до верхней поверхности покровного стекла, мм.....	-0,11
Расстояние от первой поверхности объектива до предмета, мм	-0,28
Расстояние от последней поверхности объектива до изображения, мм...	167,19
Расстояние от предмета до изображения, мм.....	180,0

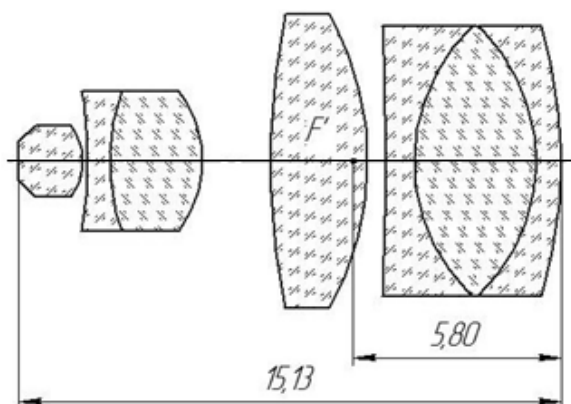
Конструктивные параметры объектива

№	r, (мм)	d, (мм)	Показатель преломления	Коэффициент дисперсии	Марка стекла	Полный диаметр
1	∞	0,90	1,5324	60,45	БК4	1,24
2	-0,73	0,98	1			1,42
3	-7,41	0,92	1,5110	64,27	К5	2,90
4	-1,85	0,20	1			3,11
5	∞	0,60	1,6076	46,10	БФ25	3,70
6	4,57	1,75	1,43385	95,1	Флюорит	4,30
7	-3,34	0,14	1			4,30
8	-94,19	1,60	1,43385	95,1	Флюорит	4,40
9	-3,60	0,75	1,5480	45,85	ЛФ10	4,90
10	3,77	1,75	1,43385	95,1	Флюорит	4,90
11	-8,59	0,05	1			4,90
12	∞	1,40	1,5335	55,45	К15	5,00
13	-4,70	0,80	1,4562	58,5	Квасцы	5,20
14	4,45	1,60	1,5147	60,62	К14	5,20
15	-94,19		1			5,20

$S_F = -0,16 \text{ мм} (n_1 = 1,0); S'_F = -9,07 \text{ мм}; S_H = 1,77 \text{ мм} (n_1 = 1,0);$
 $S'_H = -11,01 \text{ мм}$

Объектив микроскопа апохроматический: $f' = 4,19$; $A = 0,95$

(система без иммерсии)



Объектив исправлен для бесконечно-удаленного изображения.

Числовая апертура.....0,95

Фокусное расстояние, мм4,19

Расстояние от первой поверхности объектива до предмета, мм-0,20

За объективом устанавливается тубусная ахроматическая линза.

Увеличение системы, состоящей из объектива и тубусной

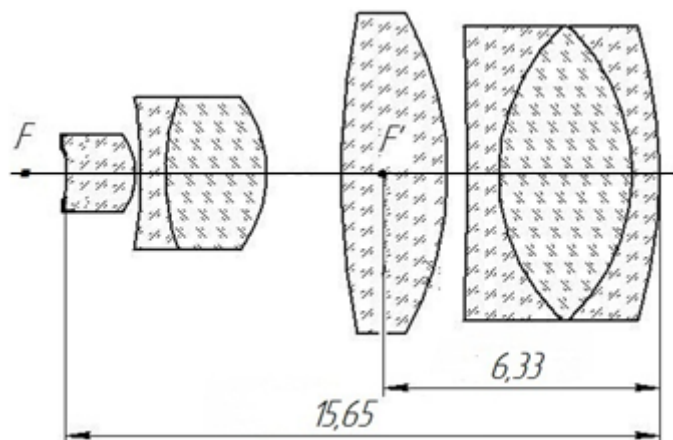
линзы с фокусным расстоянием 250 мм59,7^x

Конструктивные параметры объектива

№	r , мм	d , мм	Показатель преломления	Коэффициент дисперсии	Марка стекла	Полный диаметр
			1			
1	-6,73	1,78	1,5163	64,05	К8	1,10
2	-1,69	0,15	1			2,90
3	-11,12	0,60	1,5608	46,8	ЛФ3	3,90
4	5,57	2,60	1,43385	95,1	Флюорит	5,56
5	-3,16	1,90	1			5,56
6	20,99	2,70	1,5175	51,13	КФ7	8,20
7	-8,28	0,50	1			8,20
8	-85,90	0,80	1,5713	56,04	БК10	8,00
9	5,18	3,40	1,43385	95,1	Флюорит	7,54
10	-5,18	0,70	1,5480	45,85	ЛФ10	7,54
11	-12,88		1			8,00
$S_F = -0,2$ мм; $S'_F = -5,79$ мм; $S_H = 3,99$ мм; $S'_H = -9,98$ мм						

Объектив микроскопа апохроматический: $f' = 4,23$ (мм); $A = 0,95$

(система без иммерсии)



Числовая апертура..... 0,95
 Фокусное расстояние, мм4,23
 Расстояние от первой поверхности объектива до предмета, мм0,22

За объективом устанавливается тубусная ахроматическая линза.

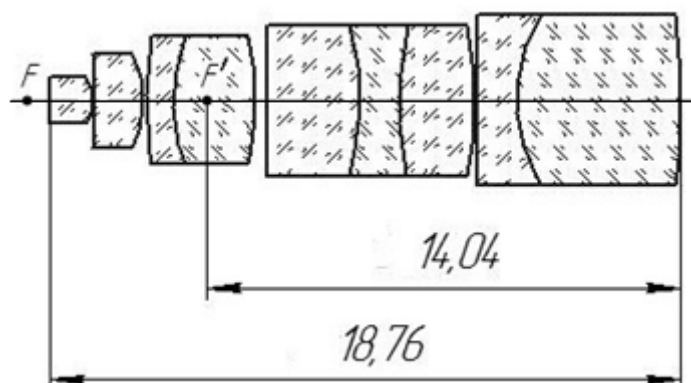
Увеличение системы, состоящей из объектива и тубусной линзы
 с фокусным расстоянием 250 мм59,1^x

Конструктивные параметры объектива

№	r , мм	d , мм	Показатель преломления	Коэффициент дисперсии	Марка стекла	Полный диаметр
			1			
1	-7,30	1,90	1,5163	64,05	К8	1,30
2	-1,75	0,16	1			3,10
3	-39,85	0,60	1,6220	56,7	ТК20	4,40
4	5,822	2,70	1,3920	99,0	Lif	5,30
5	-3,15	2,02	1			5,70
6	22,005	2,80	1,5163	64,05	К8	8,10
7	-8,60	0,57	1			8,40
8	553,2	0,70	1,5480	53,94	БФ4	8,00
9	5,656	3,50	1,3920	99,0	Lif	7,70
10	-5,467	0,70	1,5480	45,85	ЛФ10	7,70
11	-12,99		1			8,05
$S_F = -0,22$ мм; $S'_F = -6,33$ мм; $S_H = 4,00$ мм; $S'_H = -10,56$ мм						

Объектив микроскопа апохроматический: $f' = 2,76$ (мм) ; $A = 1,0$

(масляная иммерсия)



Числовая апертура..... 1,0
 Фокусное расстояние, мм2,76
 Расстояние от первой поверхности объектива до предмета, мм-0,58

За объективом устанавливается тубусная ахроматическая линза.

Увеличение системы, состоящей из объектива и тубусной линзы

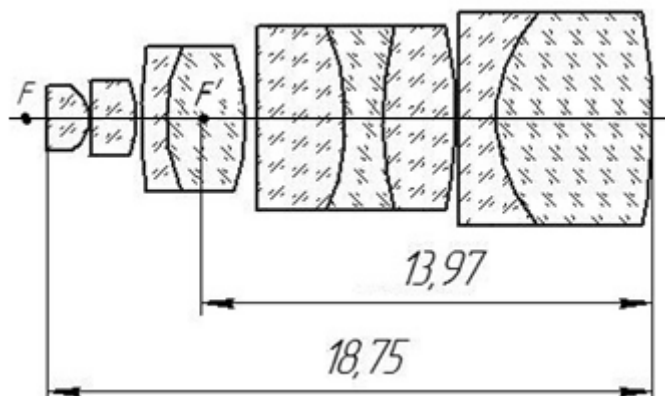
с фокусным расстоянием 250 мм-90,2^x

Конструктивные параметры объектива

№	r , мм	d , мм	Показатель преломления	Коэффициент дисперсии	Марка стекла	Полный диаметр
			1,5150	47,976		
1	∞	1,29	1,5263	63,34	K20	1,42
2	-1,16	0,05	1			2,10
3	-11,64	1,42	1,5100	63,25	K3	2,80
4	-2,90	0,10	1			3,45
5	14,52	0,80	1,61294	44,0	K _z FS1	3,80
6	5,75	2,45	1,43585	95,1	Флюорит	4,30
7	-6,82	0,35	1			4,30
8	∞	2,75	1,43385	95,1	Флюорит	4,50
9	-7,38	1,15	1,61294	44,0	K _z FS1	4,50
10	10,42	2,25	1,43385	95,1	Флюорит	5,00
11	-12,02	0,10	1			5,00
12	∞	1,15	1,4704	66,81	ЛК6	5,10
13	4,85	4,9	1,43385	95,1	Флюорит	5,60
14	-17,95		1			5,60
$S_F = -0,38$ мм ($n_1 = 1,0$); $S'_F = -14,0$ мм; $S_H = 2,38$ мм ($n_1 = 1,0$); $S'_H = -16,76$ мм						

Объектив микроскопа апохроматический: $f' = 2,76$ (мм) ; $A = 1,30$

(масляная иммерсия)



Числовая апертура.....1,30
 Фокусное расстояние, мм2,76
 Расстояние от первой поверхности объектива до предмета, мм-0,54

За объективом устанавливается тубусная ахроматическая линза.

Увеличение системы, состоящей из объектива и тубусной линзы

с фокусным расстоянием 250 мм.....-90,4^x

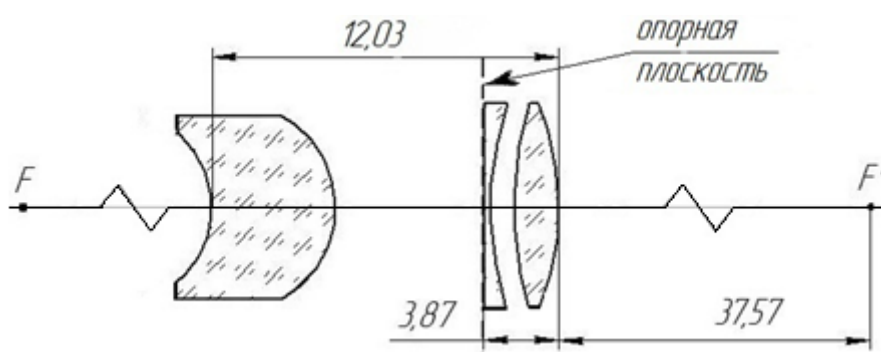
Конструктивные параметры объектива

№	r , мм	d , мм	Показатель преломления	Коэффициент дисперсии	Марка стекла	Полный диаметр
			1,5150	47,976		
1	∞	1,33	1,5263	63,34	K20	2,0
2	-1,159	0,05	1			2,318
3	-11,59	1,42	1,5100	63,25	K3	3,9
4	-2,897	0,10	1			4,5
5	14,52	0,80	1,61294	44,0	K _z FS1	5,2
6	5,649	2,45	1,43385	95,1	Флюорит	5,7
7	-6,761	0,35	1			5,7
8	∞	2,75	1,43385	95,1	Флюорит	5,9
9	-7,080	1,15	1,61294	44,0	K _z FS1	5,9
10	11,17	2,25	1,43385	95,1	Флюорит	6,60
11	-12,13	0,10	1			6,6
12	∞	1,15	1,4704	66,81	ЛК6	6,6
13	4,831	4,85	1,43385	95,1	Флюорит	7,2
14	-17,95		1			7,2

$S_F = -0,355$ мм ($n_1 = 1,0$); $S'_F = -13,93$ мм; $S_H = 2,40$ мм ($n_1 = 1,0$);
 $S'_H = -16,70$ мм

Объектив микроскопа планахроматический: 3,5 x 0,1 (ОМ-3)

(система без иммерсии)



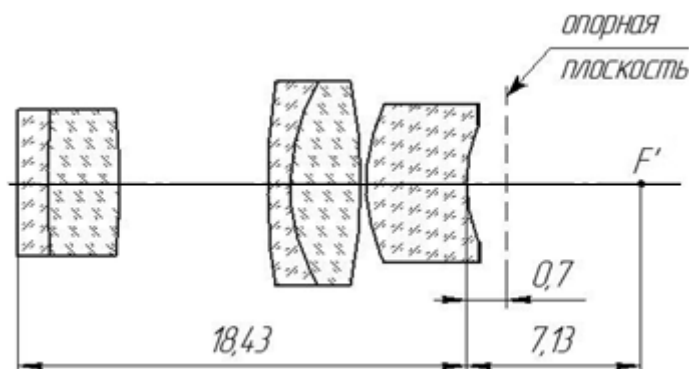
Длина тубуса, мм.....	160
Числовая апертура.....	0,1
Увеличение, крат	- 3,53
Фокусное расстояние, мм	29,92
Линейное поле в пространстве изображений, мм	18,0
Расстояние от первой поверхности объектива до предмета, мм	-24,85
Расстояние от последней поверхности объектива до изображения, мм.....	143,12
Расстояние от предмета до изображения, мм.....	180,0

Конструктивные параметры объектива

№	<i>r</i> , мм	<i>d</i> , мм	Показатель преломления	Коэффициент дисперсии	Марка стекла	Полный диаметр
			1			
1	-5,035	1,8	1,5163	64,1	К8	4,9
2	-5,397	6,4	1			5,8
3	424,60	1,2	1,7172	29,5	ТФ3	7,7
4	16,827	0,33	1			8,2
5	18,621	2,3	1,6126	58,3	ТК16	8,2
6	-14,125		1			8,2
$S_F = -16,37 \text{ мм}; S'_F = 37,57 \text{ мм}; S_H = 13,55 \text{ мм}; S'_H = 7,65 \text{ мм}$						

Объектив микроскопа ахроматический: 9 x 0,2 (ОМ-2)

(система без иммерсии)



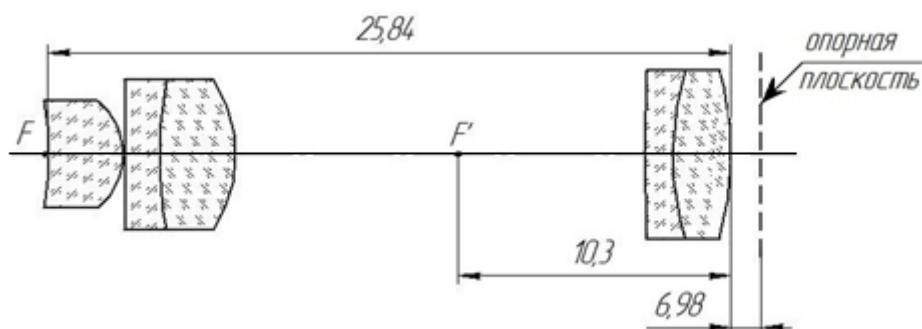
Длина тубуса, мм.....	160
Числовая апертура.....	0,20
Увеличение, крат	-9,07
Фокусное расстояние, мм	15,50
Линейное поле в пространстве изображений, мм	18,00
Расстояние от первой поверхности объектива до предмета, мм	13,84
Расстояние от последней поверхности объектива до изображения, мм...	147,73
Расстояние от предмета до изображения, мм.....	180,0

Конструктивные параметры объектива

№	<i>r</i> , мм	<i>d</i> , мм	Показатель преломления	Коэффициент дисперсии	Марка стекла	Полный диаметр
			1			
1	∞	1,2	1,6128	36,93	Ф1	6,0
2	29,04	3,0	1,6126	58,34	ТК16	6,8
3	-23,55	6,05	1			6,8
4	25,94	0,95	1,6725	32,22	ТФ2	8,4
5	8,241	2,90	1,5163	64,05	К8	8,4
6	-21,04	0,2	1			8,4
7	7,586	4,13	1,6076	46,10	БФ25	8,4
8	6,081		1			6,5
$S_F = -12,13 \text{ мм}; S'_F = 7,13 \text{ мм}; S_H = 3,37 \text{ мм}; S'_H = -8,37 \text{ мм}$						

Объектив микроскопа ахроматический: 20 x 0,40 (ОМ-31)

(система без иммерсии)



Длина тубуса, мм.....	160
Числовая апертура.....	0,40
Увеличение, крат	-19,3
Фокусное расстояние, мм	8,49
Линейное поле в пространстве изображений, мм	18,00
Толщина покровного стекла, мм	0,17
Расстояние от 1-й поверхности объектива до верхней поверхности покровного стекла, мм.....	-0,41
Расстояние от первой поверхности объектива до предмета, мм	-0,58
Расстояние от последней поверхности объектива до изображения, мм.....	153,59
Расстояние от предмета до изображения, мм.....	180,0

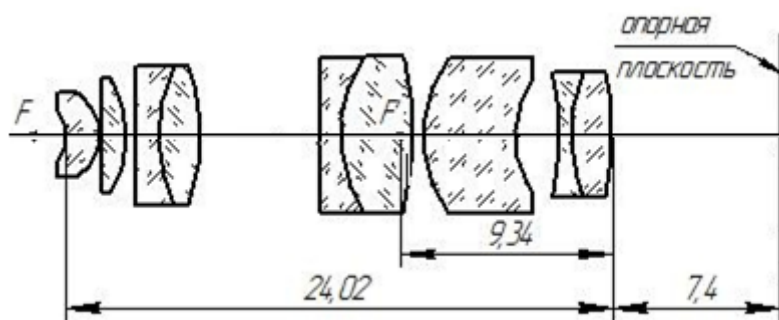
Конструктивные параметры объектива

№	r , мм	d , мм	Показатель преломления	Коэффициент дисперсии	Марка стекла	Полный диаметр
			1			
1	-1,838	2,87	1,6126	58,34	ТК16	1,32
2	-2,606	0,08	1			4,04
3	-82,22	1,29	1,7550	27,52	ТФ5	5,70
4	15,812	2,88	1,5163	64,05	К8	5,70
5	-5,224	15,47	1			5,70
6	57,94	1,08	1,6725	32,22	ТФ2	6,68
7	11,041	2,17	1,4704	66,81	ЛК6	6,68
8	-11,940		1			6,40
$S_F = -0,08$ мм; $S'_F = -10,30$ мм; $S_H = 8,41$ мм; $S'_H = -18,79$ мм						

Примечание: Для устранения хроматизма увеличения объектив следует применять с компенсационными окулярами.

Объектив микроскопа ахроматический: 40 x 0,65

(система без иммерсии)



Длина тубуса, мм.....	160
Числовая апертура.....	0,65
Увеличение, крат	-38,8
Фокусное расстояние, мм	4,22
Линейное поле в пространстве изображений, мм	18,0
Толщина покровного стекла, мм	0,17
Расстояние от 1-ой поверхности объектива до верхней поверхности покровного стекла, мм.....	-1,45
Расстояние от первой поверхности объектива до предмета, мм	-1,62
Расстояние от последней поверхности объектива до изображения, мм.....	154,4
Расстояние от предмета до изображения, мм.....	180,0

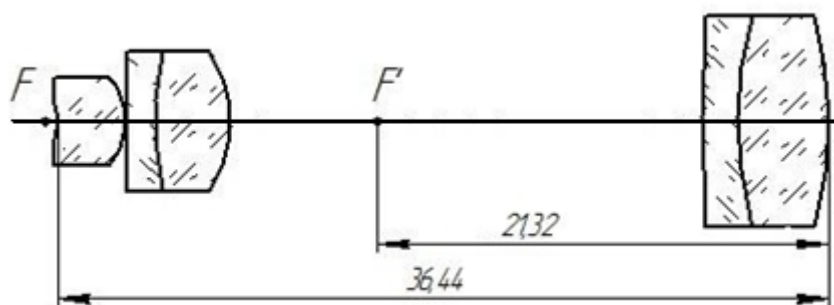
Конструктивные параметры объектива

№	r , мм	d , мм	Показатель преломления	Коэффициент дисперсии	Марка стекла	Полный диаметр
			1			
1	-1,856	1,5	1,5263	63,34	К20	2,3
2	-2,114	0,05	1			3,7
3	∞	1,1	1,5163	64,05	К8	4,9
4	-4,860	0,37	1			5,1
5	73,11	1,05	1,6199	36,33	Ф13	5,6
6	7,502	1,8	1,5163	64,05	К8	6,1
7	-9,01	5,2	1			6,1
8	39,03	1,0	1,6475	33,86	ТФ1	6,7
9	6,242	3,17	1,5163	64,05	К8	6,9
10	-14,555	0,5	1			6,9
11	6,008	3,97	1,5163	64,05	К8	6,8
12	4,196	2,0	1			5,0
13	-11,60	0,5	1,6199	36,33	Ф13	5,0
14	6,99	1,81	1,6111	55,81	ТК4	5,5
15	-11,803		1			5,5

$S_F = -1,46 \text{ мм}; S'_F = -9,34 \text{ мм}; S_H = 2,76 \text{ мм}; S'_H = -13,56 \text{ мм}$

Объектив микроскопа ахроматический: $f'=10,0$; $A=0,5$

(система без иммерсии)



Числовая апертура..... 0,5
 Фокусное расстояние, мм10,0
 Расстояние от первой поверхности объектива до предмета, мм-0,53

За объективом устанавливается тубусная ахроматическая линза.

Увеличение системы, состоящей из объектива и тубусной линзы

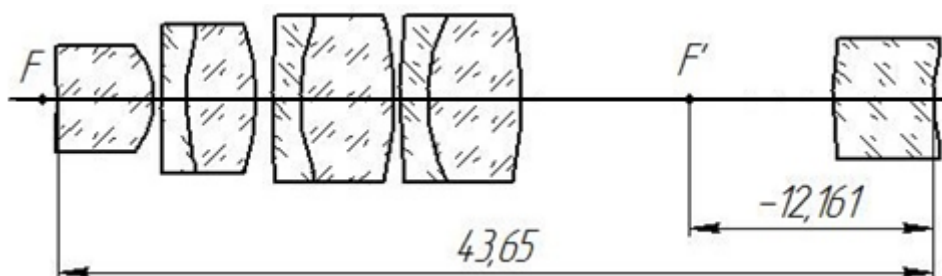
с фокусным расстоянием 250 мм.....-25.0^x

Конструктивные параметры объектива

№	r , мм	d , мм	Показатель преломления	Коэффициент дисперсии	Марка стекла	Полный диаметр
			1			
1	-2,109	3,26	1,6126	58,34	ТК16	1,7
2	-2,992	0,09	1			4,2
3	-94,41	1,26	1,7550	27,52	ТФ5	4,8
4	15,776	3,62	1,5175	51,13	КФ7	6,6
5	-5,649	22,22	1			6,6
6	70,80	1,68	1,7172	29,5	ТФ3	9,5
7	17,061	4,31	1,4704	66,81	ЛК6	10,0
8	-19,861		1			10,0
$S_F = -0,56$ мм; $S'_F = -21,32$ мм; $S_H = 9,46$ мм; $S'_H = -31,34$ мм						

Объектив микроскопа ахроматический: 40 x 0,65

(система без иммерсии)



Длина тубуса, мм.....	160
Числовая апертура.....	-39,8
Увеличение, крат	0,65
Фокусное расстояние, мм	4,04
Линейное поле в пространстве изображений, мм	25,0
Толщина покровного стекла, мм	0,17
Расстояние от 1-ой поверхности объектива до верхней поверхности покровного стекла, мм.....	-0,76
Расстояние от первой поверхности объектива до предмета, мм	-0,93
Расстояние от последней поверхности объектива до изображения, мм.....	148,56
Расстояние от предмета до изображения, мм.....	193,12

Конструктивные параметры объектива

№	r , мм	d , мм	Показатель преломления	Коэффициент дисперсии	Марка стекла	Полный диаметр
			1			
1	-3,981	4,8	1,7440	50,40	СТК19	1,4
2	-3,981	0,3	1			5,3
3	35,97	1,3	1,52940	51,80	ОФ1	6,1
4	12,388	3,5	1,43385	95,10	Флюорит	6,6
5	-10,471	0,75	1			7,4
6	35,40	1,4	1,6625	41,77	ОФ5	7,7
7	9,908	4,7	1,43385	95,1	Флюорит	7,7
8	-17,14	0,3	1			8,3
9	35,40	1,4	1,6625	41,77	ОФ5	8,3
10	9,908	4,7	1,43385	95,1	Флюорит	8,3
11	-17,14	15,5	1			8,3
12	18,578	5,0	1,5332	52,0	КФ8	6,0
13	9,333		1			5,0
$S_F = -0,77$ мм; $S'_F = -12,17$ мм; $S_H = 3,27$ мм; $S'_H = -16,21$ мм						

5. Окуляры микроскопов

Симметричные окуляры

Окулярное поле в пространстве предметов ($2\omega \leq 40^\circ$)

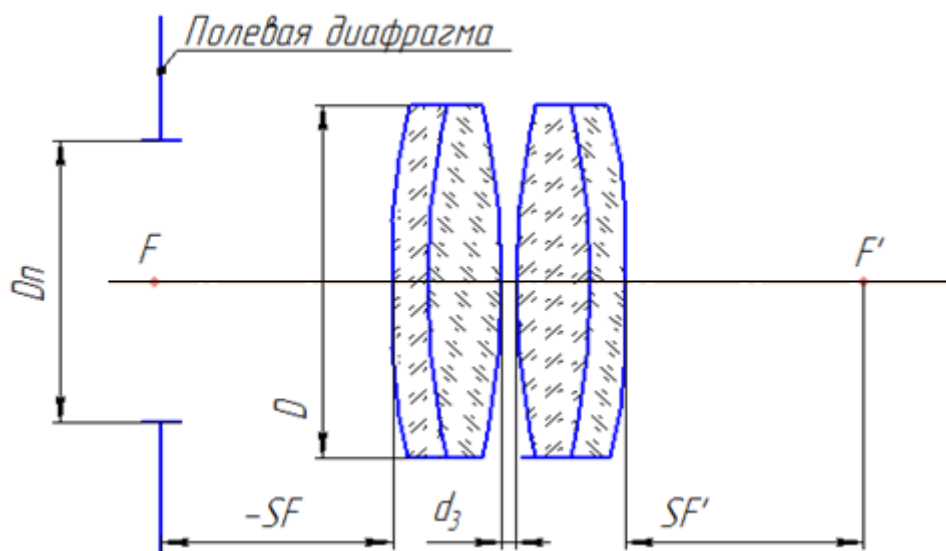


Таблица 5.1

f , мм	r , мм	d , мм	Марка стекла	S_F , мм	$S'F$, мм	S_H , мм	$S'H$, мм	D_n , мм
10 $2\omega' = 43^\circ$	39.91	1	ТФ1	-7.08	7.08	3.12	-3.12	8.8
	10.45	3.5	К6					
	-10.88	0.2	1					
	10.88	3.5	К8					
	-10.45	1	ТФ1					
20	54.70	1.5	1 Ф102	-14.9	14.9	5.1	-5.1	17.5
16.81	6.0	К6						
-24.39	0.1	1						
24.39	6.0	К8						
-16.81	1.5	Ф102						
25	68.66	1.5	1 Ф102	-18.9	18.9	6.1	-6.1	22.0
21.01	7.5	К8						
-30.58	0.1	1						
30.58	7.5	К8						
-21.01	1.5	Ф102						
30	-68.66	1	1	-22.8	22.8	7.2	-7.2	26.0

f , мм	r , мм	d , мм	Марка стекла	S_F , мм	S^*F , мм	S_H , мм	S^*H , мм	D_n , мм
	82.41 25.20 -36.64 36.64 -25.20 -82.41	2.5 8.5 0.2 8.5 2.5	Φ102 K8 1 K8 Φ102 1					
35	96.25 29.47 -42.67 42.67 -29.47 -96.25	2.5 10.0 0.2 10.0 2.5	1 Φ102 K8 1 K8 Φ102 1	-26.4	26.4	8.6	-8.6	30.5
40	109.91 33.77 -49.04 49.04 -33.77 -109.91	2.5 11.5 0.2 11.5 2.5	1 Φ102 K8 1 K8 Φ102 1	-30.5	30.5	9.5	9.5	34.5
50	137.35 42.07 -61.07 61.07 -42.07 -137.35	3 14.5 0.5 14.5 3	1 Φ102 K8 1 K8 Φ102 1	-37.9	37.9	12.1	-12.1	43.5
60.6 $2\omega'=35^\circ$	170.23 62.95 -75.44 75.44 -62.95 -170.23	2 13.5 0.5 13.5 2	1 TΦ1 K8 1 K8 TΦ1 1	-50.0	50.0	10.6	-10.6	44
72 $2\omega'=37^\circ$	205.10 62.94 -88.58 88.58 -62.94 -205.10	3.4 17.4 0.3 17.4 3.4	1 Φ102 K8 1 K8 Φ102 1	-57.9	57.9	14.1	-14.1	60
80.1			1	-68.7	68.7	11.4	-11.4	58

$f,$ <i>мм</i>	$r,$ <i>мм</i>	$d,$ <i>мм</i>	Марка стекла	$S_F,$ <i>мм</i>	$S^*F,$ <i>мм</i>	$S_H,$ <i>мм</i>	$S^*H,$ <i>мм</i>	$D_n,$ <i>мм</i>
$2\omega'=33^\circ$	319.66	3.0	ТФ1					
	88.96	14.0	К8					
	-88.96	0.5	1					
	88.96	14.0	К8					
	-88.96	3.0	ТФ1					
	-319.66		1					
115 $2\omega'=20^\circ$	328.10	1.3	1 Ф102					
	100.46	5.9	К8					
	-144.21	0.5	1	-102.39	102.39	12.67	-12.67	61.6
	144.21	5.9	К8					
	-100.46	1.3	Ф102					
	-328.10		1					

Окуляры с удалённым зрачком

Окулярное поле в пространстве предметов ($2\omega \leq 50^\circ$)

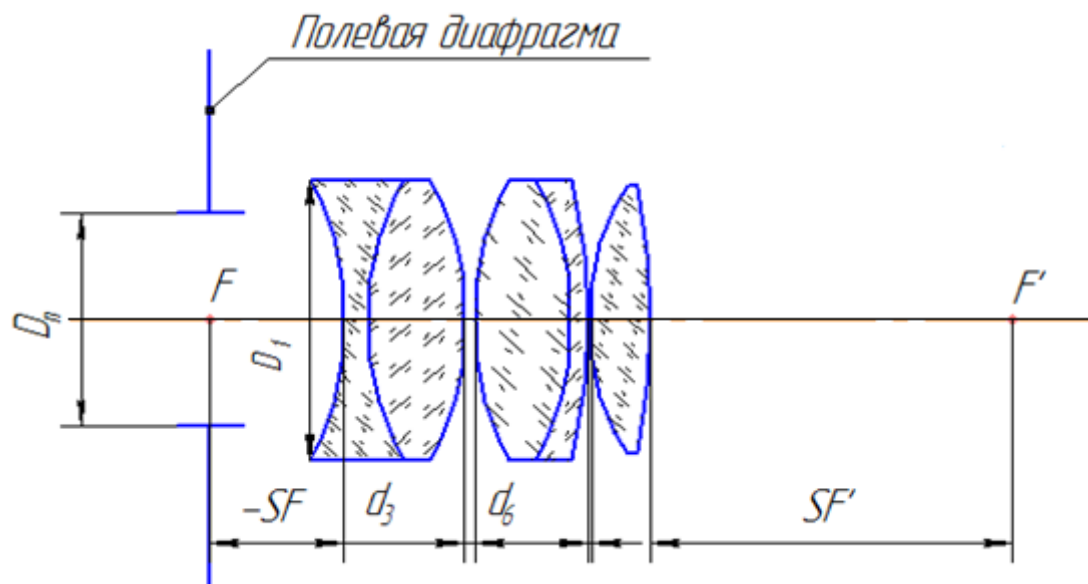


Таблица 5.2

f , мм	r , мм	d , мм	Марка стекла	S_F , мм	$S'F$, мм	S_H , мм	$S'H$, мм	D_n , (мм)
20	-28.20	2.0	1 Ф13	-6.3	18.4	13.7	-1.6	23.0
	19.34	10.5	К8					23.0
	-19.34	0.2	1					23.0
	32.96	9.0	К8					23.0
	-17.63	1.5	Ф13					23.0
	-86.95	0.2	1					23.0
	28.20	4.5	К8					21.0
	-86.95		1					21.0
25	-35.04	2.5	1 Ф13	-7.8	22.6	17.2	-2.4	28.6
	23.94	13.0	К8					28.6
	-23.94	0.2	1					28.6
	41.15	11.5	К8					28.6
	-21.69	2.0	Ф13					28.6
	-108.12	0.2	1					26.6
	35.04	6.0	К8					26.2
	-108.12		1					26.2

f , мм	r , мм	d , мм	Марка стекла	S_F , мм	$S`F$, мм	S_H , мм	$S`H$, мм	D_n , (мм)
30	-42.07	3.0	1 Φ13	-9.6	27.5	20.4	-2.5	34.5
	28.79	15.5	К8					34.5
	-28.79	0.3	1					34.5
	49.58	13.5	К8					34.5
	-26.06	2.0	Φ13					34.4
	-130.02	0.3	1					34.5
	42.07	7.0	К8					31.5
	-130.02		1					31.5
35	-48.92	3.0	1 Φ13	-11.5	32.1	21.0	-2.9	40
	33.5	18.0	К8					40
	-33.5	0.5	1					40
	54.47	15.0	К8					40
	-30.19	3.0	Φ13					40
	-150.8	0.3	1					40
	48.92	8.0	К8					37
	150.8		1					37
40	-57.63	4.0	1 Φ13	-13.9	37.1	26.1	-2.9	46
	38.61	19.5	К8					46
	-38.61	0.4	1					46
	66.18	16.5	К8					46
	-34.91	3.0	Φ13					46
	-165.3	0.4	1					46
	-67.63	8.5	К8					42
	-165.3		1					42
50	-70.01	5.0	1 Φ13	-16.8	45.5	33.2	4.5	57.5
	48.04	24.5	К8					57.5
	-48.04	0.5	1					57.5
	80.00	21.0	К8					57.5
	-43.28	4.5	Φ13					57.5
	-215.30	0.5	1					57.5
	70.01	11.5	К8					52.5
	-215.30		1					52.5

$f,$ мм	$r,$ мм	$d,$ мм	Марка стекла	$S_F,$ мм	$S`F,$ мм	$S_H,$ мм	$S`H,$ мм	$D_n,$ (мм)
60	-200.40	3.6	1 Ф13	-35.6	47.2	24.4	12.8	63
	229.10	16.8	К8					63
	-63.39	0.6	1					63
	117.49	19.2	К8					61
	61.09	3.6	Ф13					61
	-252.30	0.6	1					61
	86.30	12.0	К8					54
	-259.40		1					54

Окуляр Кельнера

Окулярное поле в пространстве предметов ($2\omega \leq 40^\circ$)

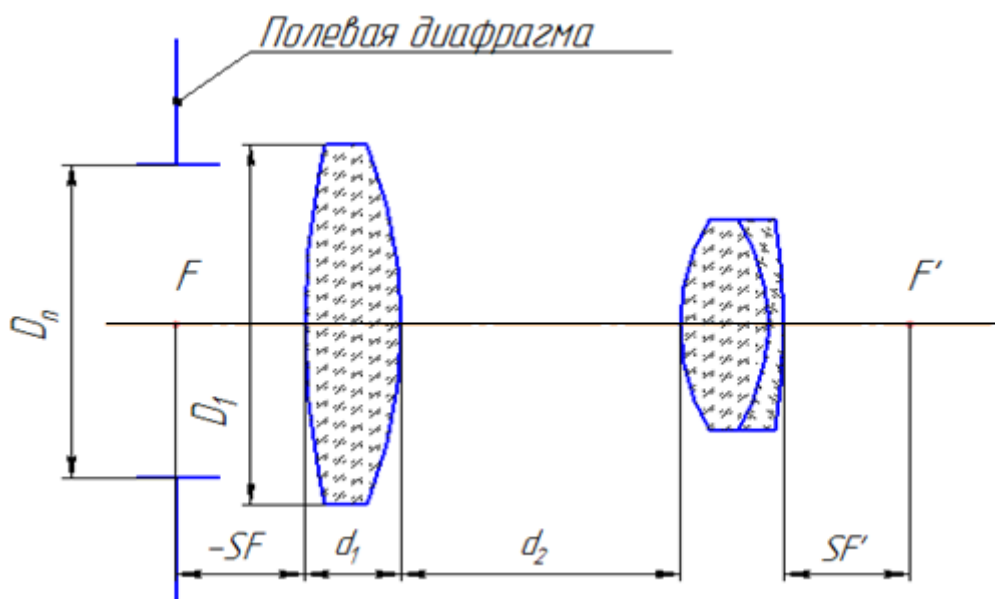


Таблица 5.3

f , мм	r , мм	d , мм	Марка стекла	S_F , мм	$S'F$, мм	S_H , мм	$S'H$, мм	D_n , (мм)
20	53.26	5.0	1 К8	-5.8	7.3	14.2	12.7	19.5
	-24.92	14.5	1					19.5
	14.39	4.5	БК6					11.2
	-10.73	1.0	Ф13					11.2
	-76.45		1					11.2
25	66.18	6.0	1 К8	7.4	9.0	17.6	-16.0	24.5
	-31.09	18.0	1					24.5
	18.05	5.5	БК6					14.0
	-13.54	1.5	Ф13					14.0
	-95.53		1					14.0
30	80.00	7.5	1 К8	-8.9	11.5	21.1	-18.5	30.0
	-37.84	21.5	1					30.0
	21.69	6.0	БК6					17.0
	-16.30	1.5	Ф13					17.0
	-114.96		1					17.0

f , мм	r , мм	d , мм	Марка стекла	S_F , мм	S^*F , мм	S_H , мм	S^*H , мм	D_n , (мм)
35	93.29	8.0	1 К8	-10.8	13.4	24.2	-21.6	34.0
	-43.84	25.0	1					34.0
	25.34	7.0	БК6					20.0
	-19.10	2.0	Ф13					20.0
	-134.25		1					20.0
40	106.31	9.0	1 К8	-12.2	15.2	27.8	-24.8	39.0
	-49.94	29.0	1					39.0
	28.90	8.0	БК6					22.5
	-21.69	2.0	Ф13					22.5
	-153.50		1					22.5
50	133.10	12.0	1 К8	-14.9	19.4	35.1	30.6	49.0
	-62.21	36.0	1					49.0
	36.13	9.5	БК6					28.0
	-27.11	2.5	Ф13					28.0
	-191.22		1					28.0
10	-12.39	1.5	1 К8	-3.3	4.3	6.7	-5.7	7.0
	5.86	7.3	1					7.0
	-7.01	2.3	ТК2					4.8
		1.5	Ф1					4.8
			1					4.8
59	-56.64	6.0	1 К8	-8.8	29.4	60.2	-29.6	43.0
	146.71	47.4	1					43.0
	-15.57	7.8	ТК2					24.0
	-44.00	2.0	Ф1					24.0
			1					24.0
100 $2\omega'=38^\circ$	-96.05	10.2	1 К8	-49.9	14.8	50.1	-85.2	72.9
	248.79	80.4	1					72.9
	-26.40	13.2	ТК2					40.7
	-74.61	3.4	Ф1					40.7
			1					40.7

Окуляры Эрфле

Окулярное поле в пространстве предметов ($2\omega \leq 55^\circ$)

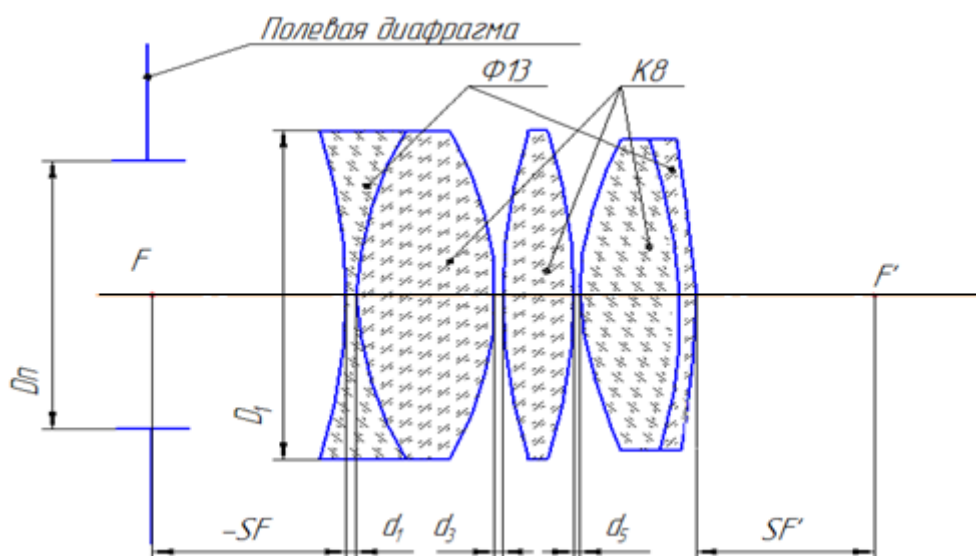


Таблица 5.4

f , мм	r , мм	d , мм	Марка стекла	S_F , мм	$S'F$, мм	S_H , мм	$S'H$, мм	$D_{\text{об}}$ мм
20	-44.89	1.5	1 Ф13	-6.1	13.5	13.9	-6.5	29
	25.54	13.0	К8					29
	-25.54	0.2	1					29
	56.76	6.5	К8					29
	-56.76	0.2	1					29
	23.54	11.0	К8					26
	-27.50	1.5	Ф13					26
	-136.30		1					26
25	-56.01	1.7	1 Ф13	-8.9	17.0	11.1	-8.0	36.5
	31.89	15.0	К8					36.5
	-31.89	0.25	1					36.5
	70.78	7.6	К8					36.5
	-70.78	0.25	1					36.5
	29.41	13.8	К8					32.5
	-34.41	1.8	Ф13					32.5
	-170.23		1					32.5

f , мм	r , мм	d , мм	Марка стекла	S_F , мм	$S`F$, мм	S_H , мм	$S`H$, мм	D_n , мм
30	-67.31	2.2	1	-10.8	21.4	19.4	-8.6	44.0
	38.34	18.0	Φ13					44.0
	-38.34	0.3	K8					44.0
	84.97	0.0	1					44.0
	-84.97	0.3	K8					44.0
	35.29	15.0	1					39.0
	-41.36	2.2	K8					39.0
	-204.20		Φ13					39.0
35	-78.47	2.5	1	-12.4	25.3	12.3	12.6	51
	44.50	21.0	Φ13					51
	-44.50	0.4	K8					51
	99.11	10.5	1					51
	-99.11	0.4	K8					51
	41.15	17.0	1					45.5
	-45.15	2.5	K8					45.5
	-238.0		Φ13					45.5
40	-89.71	3.8	1	-13.3	28.6	26.7	-11.7	58.5
	50.87	24.0	Φ13					58.5
	-50.87	0.4	K8					58.5
	113.26	12.0	1					58.5
	-113.26	0.4	K8					58.5
	47.07	19.0	1					52.0
	-55.94	3.8	K8					52.0
	-271.50		Φ13					52.0
50	-112.30	4.0	1	-18.6	36.8	31.4	13.2	73.0
	63.62	29.0	Φ13					73.0
	-63.62	0.5	K8					73.0
	141.32	13.5	1					73.0
	-141.32	0.5	K8					73.0
	58.83	23.0	1					65.0
	-68.79	4.0	K8					65.0
	-340.40		Φ13					65.0

Широкоугольные окуляры

Окулярное поле в пространстве предметов ($2\omega \leq 75^\circ$)

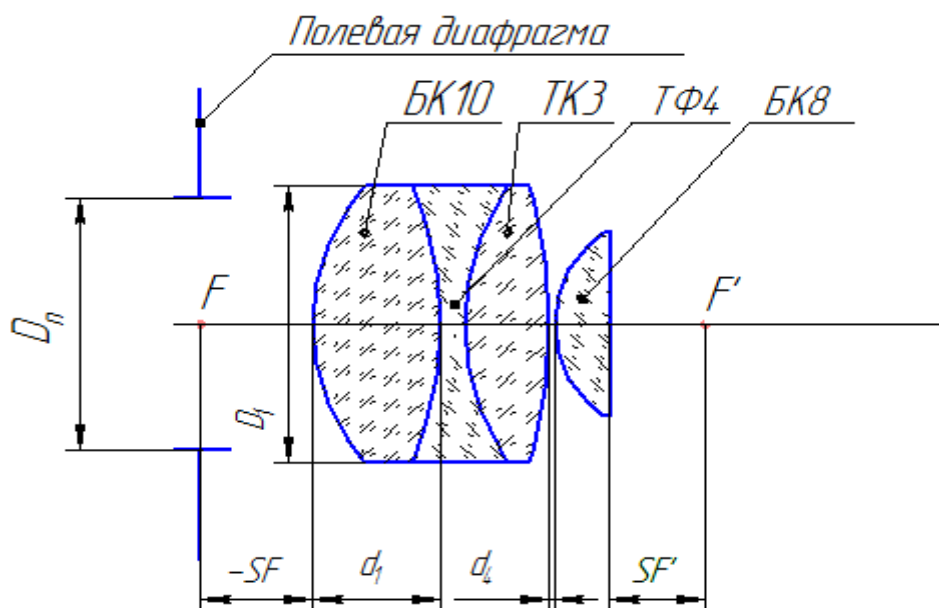


Таблица 5.5

f , мм	r , мм	d , мм	Марка стекла	S_F , мм	$S'F$, мм	S_H , мм	$S'H$, мм	D_n , мм
25 $2\omega' = 80^\circ$	38.04	17.48	1 БК10	-5.38	12.14	19.62	-12.86	42
	-31.64	2.40	ТФ4					42
	40.76	11.57	ТКЗ					42
	-62.84	0.25	1					40
	16.38*	10.65	БК8					34
	∞		1					32
28.5 $2\omega' = 80^\circ$	43.28	19.93	1 БК10	-6.1	13.8	22.4	-14.7	42
	-36.13	2.74	ТФ4					42
	46.45	13.19	ТКЗ					42
	-71.70	0.30	1					40
	18.67*	12.14	БК8					35
	∞		1					32
30 $2\omega' = 80^\circ$	45.71	21.00	1 БК10	-6.5	14.6	23.5	-15.4	51
	-38.02	2.90	ТФ4					51
	48.98	13.90	ТКЗ					51
	-75.51	0.30	1					51
	19.86*	12.80	БК8					41
	∞		1					38

* - Радиус кривизны параболоида при вершине

Широкоугольный окуляр

Окулярное поле в пространстве предметов ($2\omega \leq 75^\circ$)

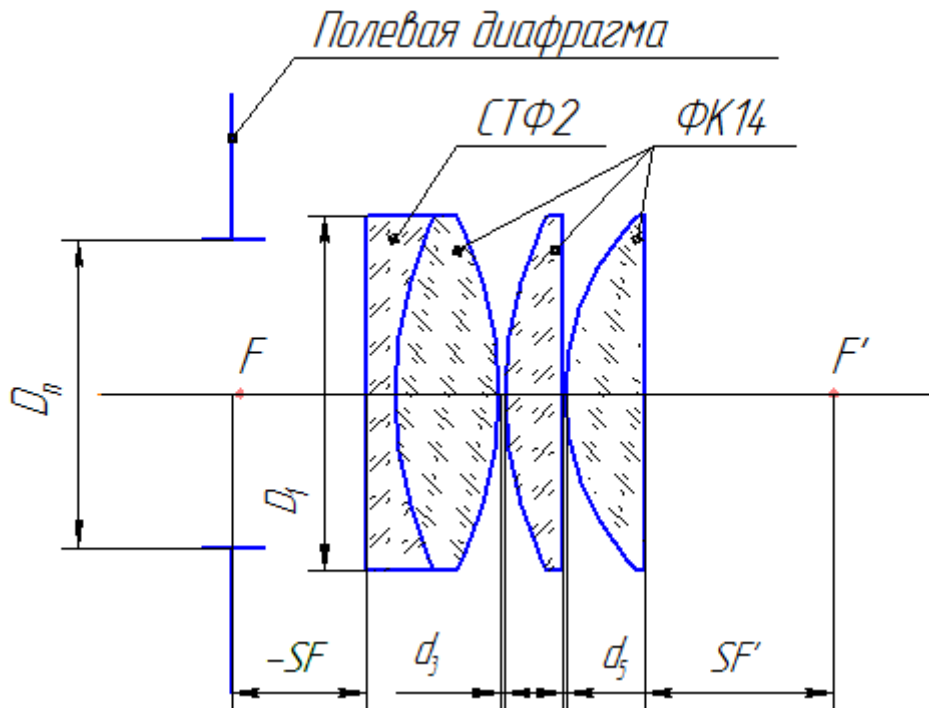


Таблица 5.6

$f,$ мм	$r,$ мм	$d,$ мм	Марка стекла	$S_F,$ мм	$S^*F,$ мм	$S_H,$ мм	$S^*H,$ мм	$D_n,$ мм
12.6 $2\omega' = 80^\circ$	∞	1.8	1	-5.2	10	7.4	2.6	20.1
	17.99	7.4	СТФ2					20.6
	-17.99	0.1	1					21.0
	20.00	3.8	ФК14					21.3
	∞	0.1	1					19.0
	12.22	3.0	ФК14					18.3
	∞		1					

Особоширокоугольный окуляр

Окулярное поле в пространстве предметов ($2\omega \leq 90^\circ$)

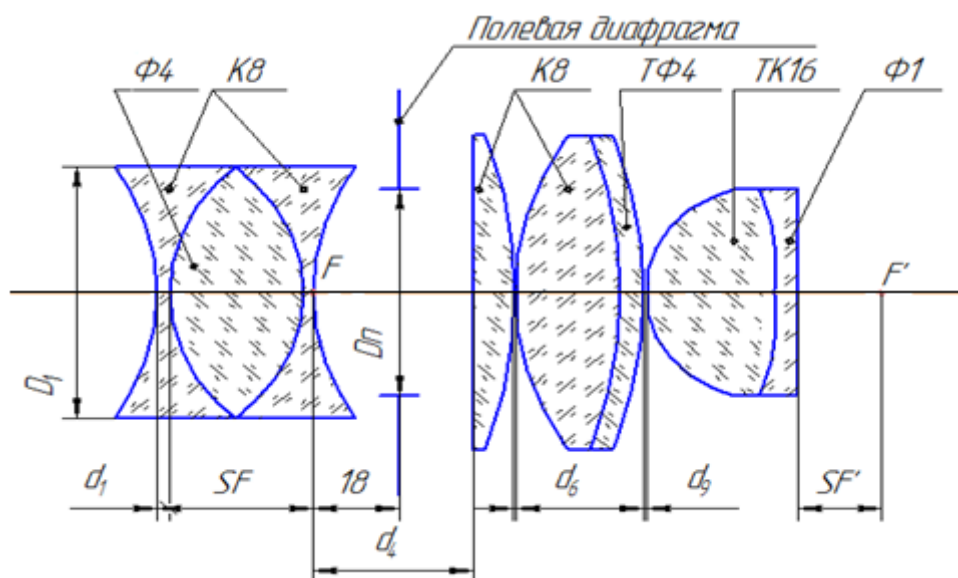


Таблица 5.7

f , мм	r , мм	d , мм	Марка стекла	S_F , мм	$S'F$, мм	S_H , мм	$S'H$, мм	D_n , мм
24.28 $2\omega' = 90^\circ$	-65.61	3.0	1 К8	32.75	16.0	57.03	-8.28	52.0
	37.67	27.0	Ф4					52.0
	-37.67	3.0	К8					52.0
	65.61	28.75	1					52.0
	409.30	15.0	К8					48.5
	-73.45	0.1	1					70.0
	120.23	22.0	К8					70.0
	-56.23	5.0	ТФ4					70.0
	-106.41	0.1	1					70.0
	26.75*	24.5	ТК16					57.5
-80.17	3.0	Ф1	55.0					
∞			1					50.0

* - Радиус кривизны параболоида при вершине

Особоширокоугольный окуляр

Окулярное поле в пространстве предметов ($2\omega \leq 90^\circ$)

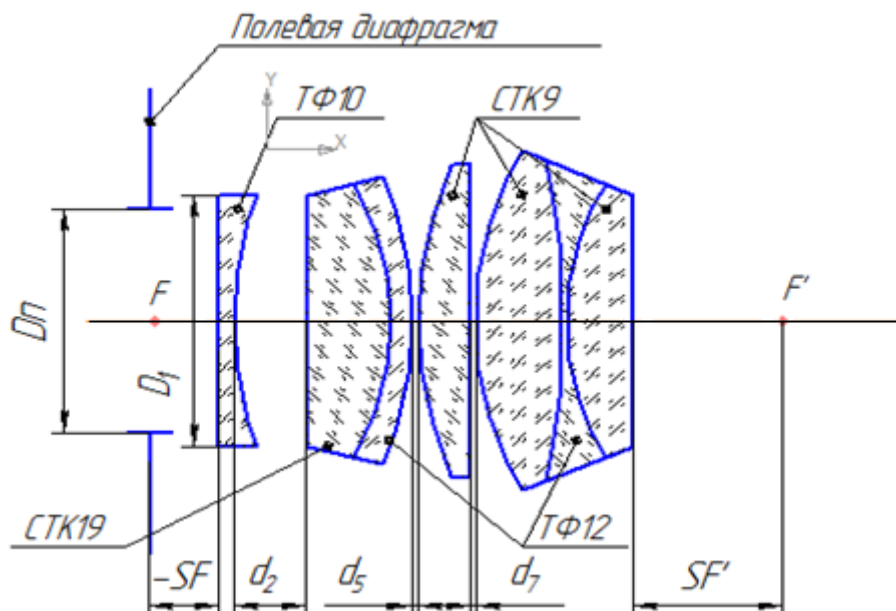


Таблица 5.8

f , мм	r , мм	d , мм	Марка стекла	S_F , мм	$S'F$, мм	S_H , мм	$S'H$, мм	D_n , мм
25 $2\omega' = 90^\circ$	∞	2.10	1 ТФ10	-4.74	19.55	20.20	-5.39	40.7
	41.69	7.00	1					40.0
	∞	12.50	СТК9					41.9
	-27.67	2.10	ТФ12					43.0
	-49.89	0.06	1					46.8
	49.89	8.30	СТК9					49.1
	∞	0.06	1					48.4
	38.73	10.40	СТК9					43.9
	-89.95	2.10	ТФ12					43.0
	34.67	5.60	СТК9					34.6
∞		1	33.8					

Особоширокоугольный окуляр

Окулярное поле в пространстве предметов ($2\omega \leq 90^\circ$)

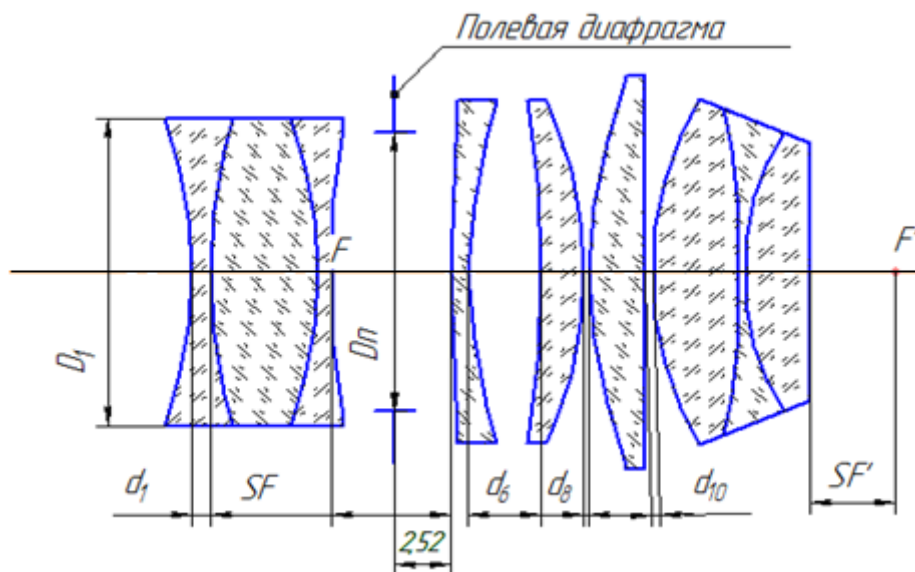


Таблица 5.9

f , мм	r , мм	d , мм	Марка стекла	S_F , мм	$S`F$, мм	S_H , мм	$S`H$, мм	D_n , мм
25 $2\omega' = 90^\circ$	-80.35	4.0	OK706	26.3	19.5	51.3	-5.50	48.8
	45.08	20.0	ТФ2					53.0
	-72.11	4.0	OK706					53.6
	56.57	15.6	1					54.2
	295.00	3.2	ТФ2					61.2
	78.70	11.3	1					63.4
	-195.40	16.7	СТК15					66.4
	-43.95	0.05	1					69.0
	74.13	14.0	СТК15					77.4
	-606.70	0.05	1					76.8
	52.72	18.5	СТК15					67.6
	-136.77	3.6	ТФ10					65.2
	66.53	9.0	СТК15					52.6
	-626.60		1					50.4

6. Коллекторы микроскопов

Однолинзовые коллекторы

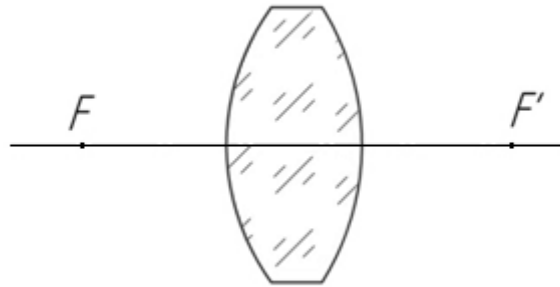


Таблица 6.1.

V , крат	A	f' , мм	r , мм	d , мм	Марка стекла	S , мм	S' , мм	$D_{св}$, мм
—	0,63	18,29	70,47 -13,213*	10,5	1 БФ13 1	-12,6	∞	24,0
-5	0,34	16,67	226,4 -45,1*	15,5	1 ТК2 1	-72,1	400,0	54,0
-7,4	0,47	30,17	69,82 -17,0*	14,0	1 ЛК5 1	-26,24	250,0	30,17
-9	0,62	22,1	69,5 -15,5*	14,0	1 ТК16 1	-17,0	220,0	30,0
-7,5	0,43	31,16	67,77 -17,1*	12,0	1 Кварц 1	-27,7	258,0	30,0

*Радиус при вершине параболидальной поверхности.

Двухлинзовые коллекторы

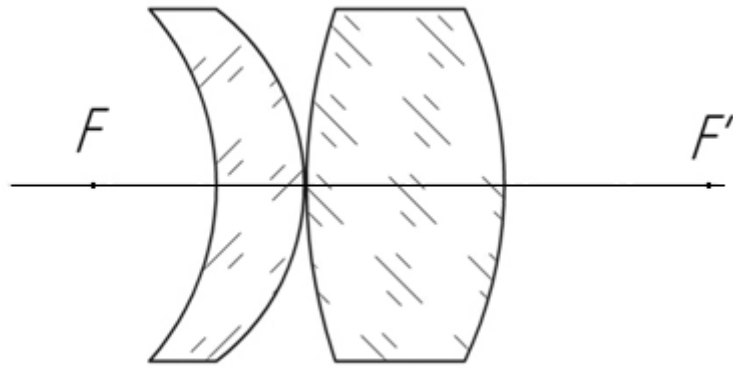


Таблица 6.2

V , крат	A	f' , мм	r , мм	d , мм	Марка стекла	S , мм	S' , мм	$D_{св}$, мм
-9,5	0,64	37,73	-63,39	13,0	1	-25,5	395,0	44,0
			-27,29	2,0	ТК2			44,0
			∞	15,5	1			54,0
			-40,3*		ТК2			54,0
-38,5	0,64	41,1	-63,39	15,5	1	-23,0	1480,0	34,0
			-27,2		Кварц			44,0
			∞		1			52,0
			-44,0*		Кварц			56,0
-6,5	0,67	28,3	-43,65	10,0	1	-20,0	210,0	34,0
			-20,42	2,0	ТК2			36,5
			∞	12,0	1			43,0
			-29,0*		ТК2			44,0

*Радиус при вершине параболоидальной поверхности.

Трехлинзовые коллекторы

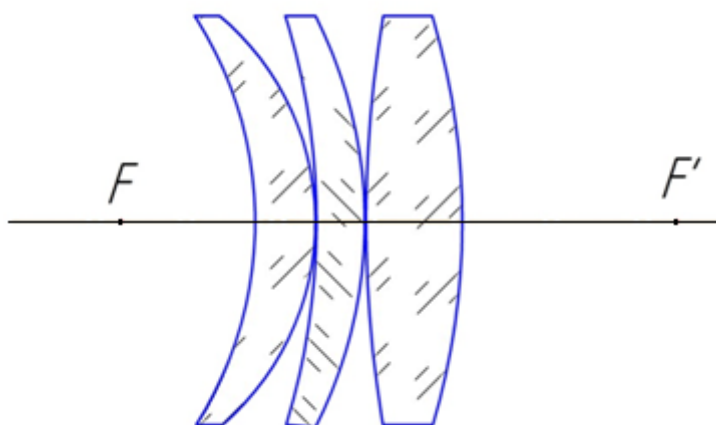


Таблица 6.3

V , крат	A	f' , мм	r , мм	d , мм	Марка стекла	S , мм	S' , мм	$D_{св}$, мм
-5	0,52	33,63	-39,28	6,0	1	-31,5	200,0	31,4
			-24,7		TK2			34,0
			-164,08	0,1	1			37,8
			-43,13	6,0	TK2			39,0
			114,48	0,1	1			40,5
			-114,48	10	TK2			40,6
			1					
-5	0,52	33,58	-31,4	5,0	1	-31,4	200,0	30,6
			-22,25		TK2			32,7
			-57,34	0,1	1			35,9
			-37,495	4,0	TK2			37,2
			102,53	0,1	1			40,6
			-59,246	8,0	TK2			41,0
			1					

Трехлинзовые коллекторы

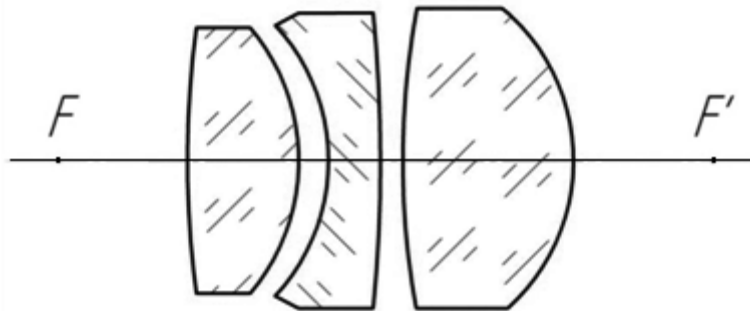


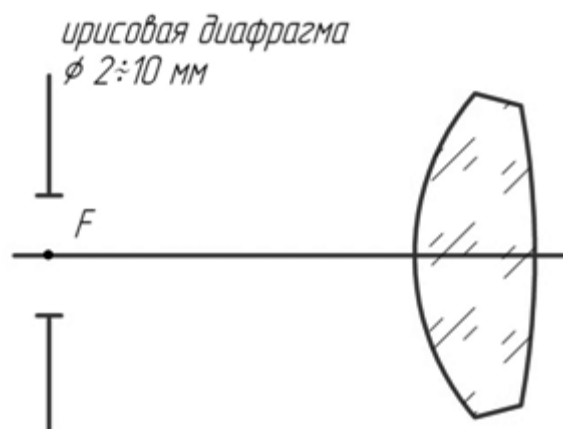
Таблица 6.4

V , крат	A	f' , мм	r , мм	d , мм	Марка стекла	S , мм	S' , мм	$D_{св}$, мм
-8	0,5	56,94	135,52	15,0	1	-31,4	480,0	36,0
			-28,05	1,0	ЛК5			48,0
			-27,35	7,0	1			60,0
			-203,7	0,5	ТФ5			
			112,98	23,0	1			
			-27,5*		ЛК5			
-7,4	0,4	41,1	44,57	14,0	1	-14,0	220,0	18,0
			-12,74	2,0	ЛК5			25,0
			-9,333	4,0	1			34,0
			-28,97	0,5	ТФ5			
			49,55	14,0	1			
			-16,74*		ЛК5			
					1			

* Радиус при вершине параболидальной поверхности.

7. Конденсоры микроскопов

Однолинзовый конденсор

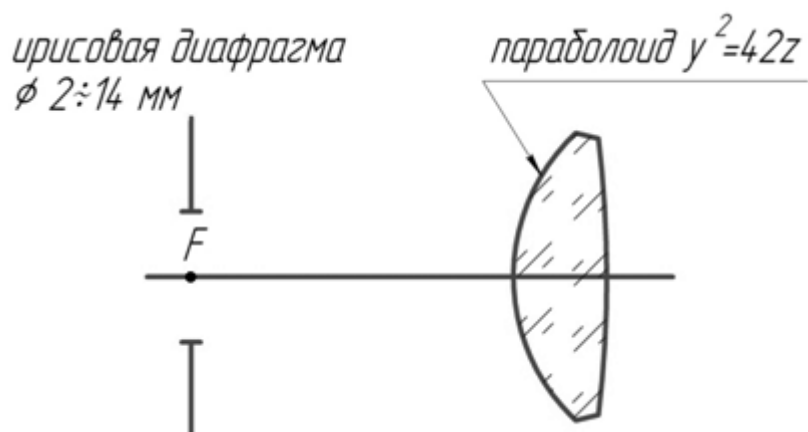


Числовая апертура A	0.3
Фокусное расстояние f'	31.841 мм
Передний фокальный отрезок S_F	-30.242 мм
Задний фокальный отрезок S'_F	26.590 мм
Передний вершинный отрезок S_H	1.600 мм
Задний вершинный отрезок S'_H	-5.251 мм
Расстояние от линзы до предметного столика	21.0 мм

Конструктивные параметры

r , мм	d , мм	Марка стекла	D_{CB} , мм
20,7	10,0	1	27,0
-67,97		К8	25,0
		1	

Однолинзовый конденсор



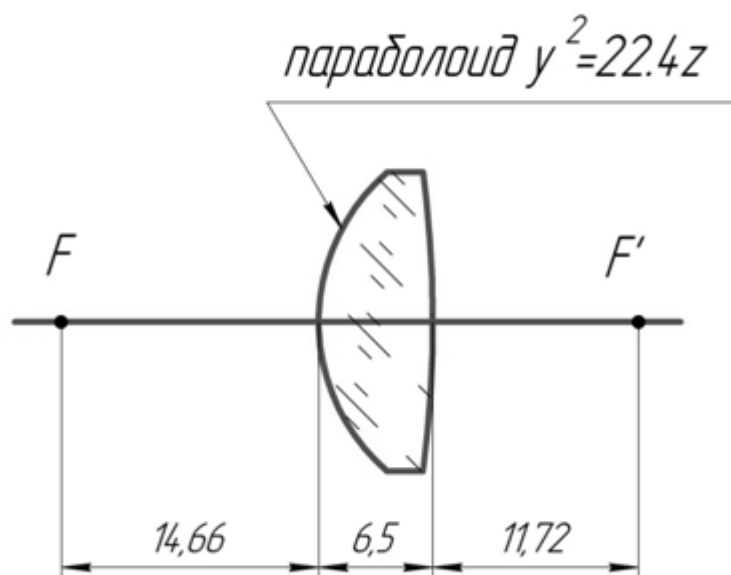
Числовая апертура A	0.4
Фокусное расстояние f'	35,499 мм
Передний фокальный отрезок S_F	-34,525 мм
Задний фокальный отрезок S'_F	29,728 мм
Передний вершинный отрезок S_H	0,974 мм
Задний вершинный отрезок S'_H	-5,771 мм
Расстояние от линзы до предметного столика.....	30,0 мм

Конструктивные параметры

r , мм	d , мм	Марка стекла	D_{CB} , мм
21,0*	10,0	1	27,0
-124,4		К8	25,0
		1	

* - Радиус при вершине параболоидальной поверхности

Однолинзовый конденсор с увеличенным рабочим расстоянием



Уравнение параболы $Y^2 = 22,4Z$

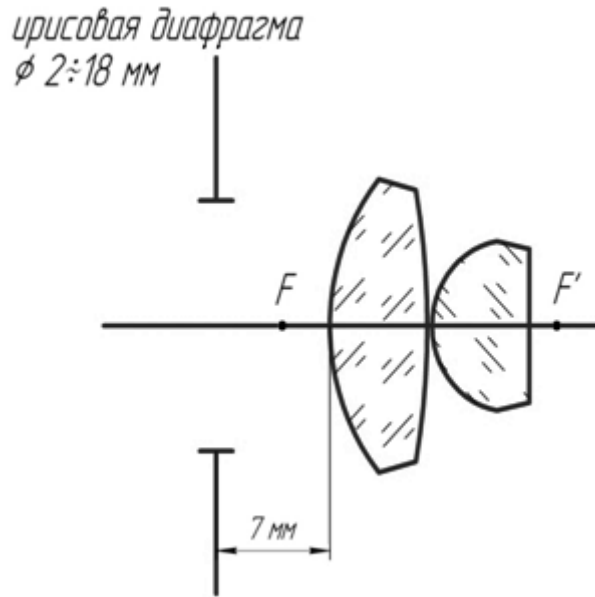
Числовая апертура A	0.52
Фокусное расстояние f'	15.151 мм
Передний фокальный отрезок S_F	-14.550 мм
Задний фокальный отрезок S'_F	11.680 мм
Передний вершинный отрезок S_H	0.600 мм
Задний вершинный отрезок S'_H	-3.471 мм
Расстояние от первой поверхности до полевой диафрагмы.....	31,400 мм
Расстояние от последней поверхности до изображения полевой диафрагмы.....	12,550 мм

Конструктивные параметры

r , мм	d , мм	Марка стекла	D_{CB} , мм
11,2* -64,69	6,5	1 TF1 1	17,0 17,0

*Радиус при вершине параболидальной поверхности

Двухлинзовый конденсор

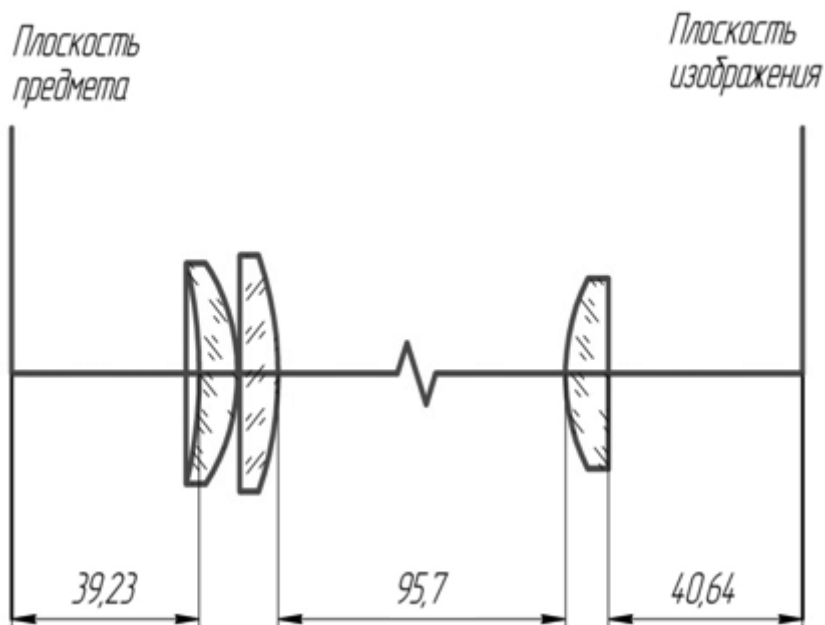


Числовая апертура A	1,2
Фокусное расстояние f'	6,701 мм
Передний фокальный отрезок S_F	-2,995 мм
Задний фокальный отрезок S'_F	1,693 мм
Передний вершинный отрезок S_H	3,706 мм
Задний вершинный отрезок S'_H	-5,008 мм
Расстояние от последней поверхности конденсора до предметного стекла	0,5 мм

Конструктивные параметры

r, мм	d, мм	Марка стекла	D _{св} , мм
12,647	6,0	1	16,2
-41,310	0,3	К8	15,2
4,808	6,0	1	9,48
0		БК10	8,60
		1	

Трехлинзовый конденсор

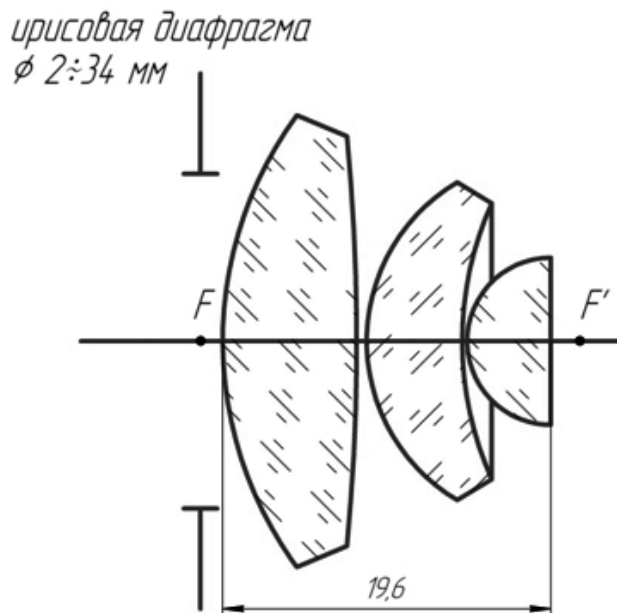


Числовая апертура A 0.8
 Фокусное расстояние f'34,333 мм
 Передний фокальный отрезок S_F-18,026 мм
 Задний фокальный отрезок S'_F 29,553 мм
 Передний вершинный отрезок S_H16.308 мм
 Задний вершинный отрезок S'_H -4,780 мм

Конструктивные параметры

r , мм	d , мм	Марка стекла	D_{CB} , мм
-30.76	10.0	1	42
-22.91		Тк2	42
-170.61	0.5	1	54
-40.93	12.0	К8	54
103.28	0.5	1	60
-103.28	12.0	К8	60
		1	

Трехлинзовый конденсор

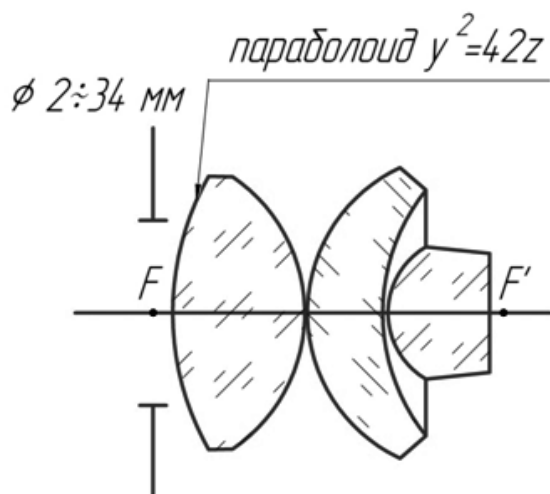


Числовая апертура A	1,4
Фокусное расстояние f'	7,957 мм
Передний фокальный отрезок S_F	1,368 мм
Задний фокальный отрезок S'_F	1,676 мм
Передний вершинный отрезок S_H	9,325 мм
Задний вершинный отрезок S'_H	-6,281 мм
Расстояние от линзы до предметного столика.....	-30,0 мм

Конструктивные параметры

r , мм	d , мм	Марка стекла	$D_{св}$, мм
22,81		1	27.0
-130,22	8,0	К8	24.5
11,05	0.6	1	19.0
20,70	5,7	К8	16.5
5,00	0.3	1	10.0
0	5,0	Ф2	9.0

Апланатический конденсор

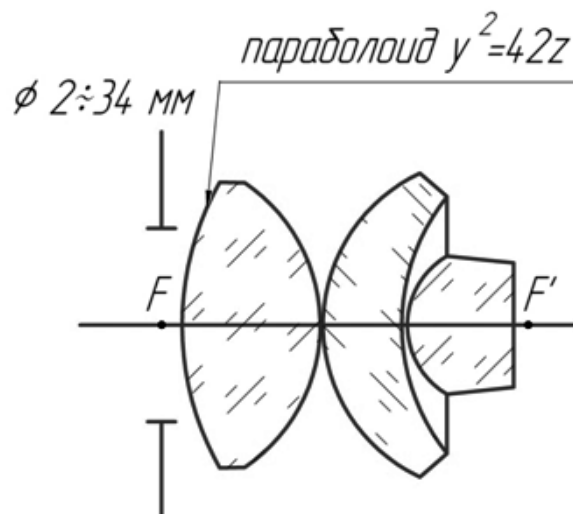


Числовая апертура A	1,4
Фокусное расстояние f'	10,591 мм
Передний фокальный отрезок S_F	-1,465 мм
Задний фокальный отрезок S'_F	1,023 мм
Передний вершинный отрезок S_H	9,126 мм
Задний вершинный отрезок S'_H	-9,568 мм

Конструктивные параметры

r, мм	d, мм	Марка стекла	D _{св} , мм
21,0	10,0	1	30,8
-124,4		К8	20,6
12,13	5,7	1	22,0
14,83		К8	18,6
5,80	7,7	1	10,0
0		К8	9,0
		1	

Апланатический конденсор



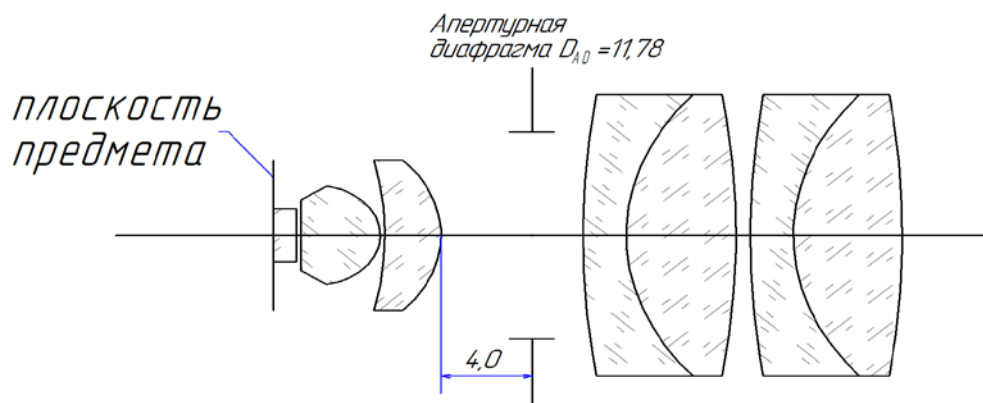
Числовая апертура A	1,4
Фокусное расстояние f'	35,551 мм
Передний фокальный отрезок S_F	-18,784 мм
Задний фокальный отрезок S'_F	30,963 мм
Передний вершинный отрезок S_H	16,767 мм
Задний вершинный отрезок S'_H	-4,588 мм

Конструктивные параметры

r, мм	d, мм	Марка стекла	D _{св} , мм
-30.76*	10.0	1 Тк3	42
-22.91	0.5	1	42
-170.61	12.0	К8	54
-40.93	0.5	1	54
103.28	12.0	К8	60
-103.28		1	60

*Радиус при вершине параболоидальной поверхности.

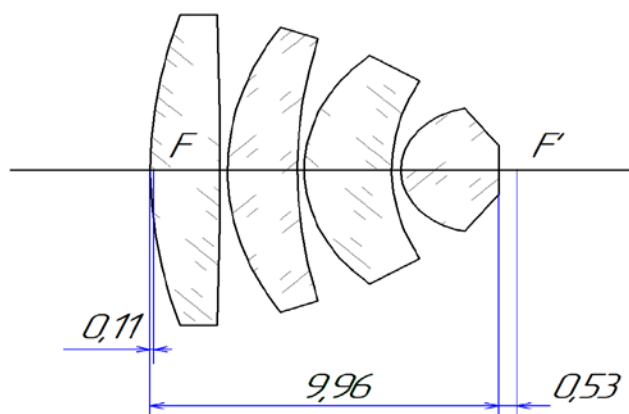
Конденсор микроскопа универсальный для проходящего света
(в обратном ходе лучей)



Расстояние от предмета до первой поверхности конденсора..... 0,78 мм
 Числовая апертура в пространстве предметов A1,2
 Фокусное расстояние f' 9,2 мм
 Иммерсия-кедровое масло n1,515

r , мм	d , мм	Показатель преломления, n	Марка стекла	$D_{св}$, мм
∞		1,515	Кедровое масло	-
∞	1,0	1,5147	К14	-
∞	0,2	1,515	Кедровое масло	3,0
∞	3,5	1,5163	К8	5,6
-2,831	0,2	1	-	8,4
-19,498	2,5	1,5163	К8	9,3
-6,166	6,27	1	-	13,0
55,85	1,9	1,6475	ТФ1	13,4
12,359	4,83	1,5688	ТК12	14,0
-53,21	0,64	1	-	14,4
55,85	1,9	1,6475	ТФ1	14,4
12,359	4,83	1,5688	ТК12	14,6
-53,21		1	-	

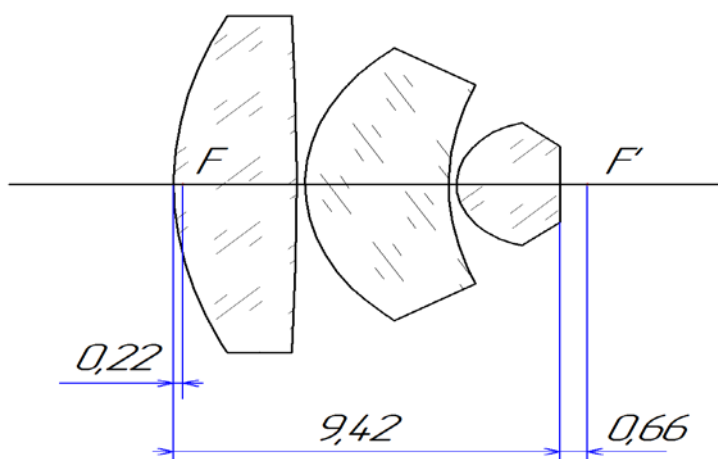
Кварцевый конденсор для ультрафиолетового микроскопа



- Числовая апертура в пространстве предметов для $\lambda=589,3$ нм.....1,27
- Числовая апертура в пространстве предметов для $\lambda=300$ нм..... 1,27
- Числовая апертура в пространстве предметов для $\lambda=237,4$ нм..... 1,28
- Фокусное расстояние f' для $\lambda=589,3$ нм.....6,02 мм
- Фокусное расстояние f' для $\lambda=300$ нм.....5,88 мм
- Фокусное расстояние f' для $\lambda=237,4$ нм.....5,78 мм
- Толщина предметного стекла.....0,50 мм
- Толщина слоя иммерсии.....0,30 мм
- Иммерсия - (74% глицерина; 26% воды)
- Материал линз - кристаллический кварц

r , мм	d , мм	Показатель преломления $n (\lambda=589,3)$	Показатель преломления $n (\lambda=300)$	Показатель преломления $n (\lambda=237,4)$	$D_{св}$, мм
18,239	2,0	1,54424	1,57803	1,60927	11,0
-192,31	0,2	1	1	1	11,0
9,12	2,0	1,54424	1,57803	1,60927	10,1
18,578	0,2	1	1	1	9,3
5,297	2,5	1,54424	1,57803	1,60927	8,1
6,546	0,267	1	1	1	6,3
2,208	2,787	1,54424	1,57803	1,60927	4,35
∞		1	1	1	1,73

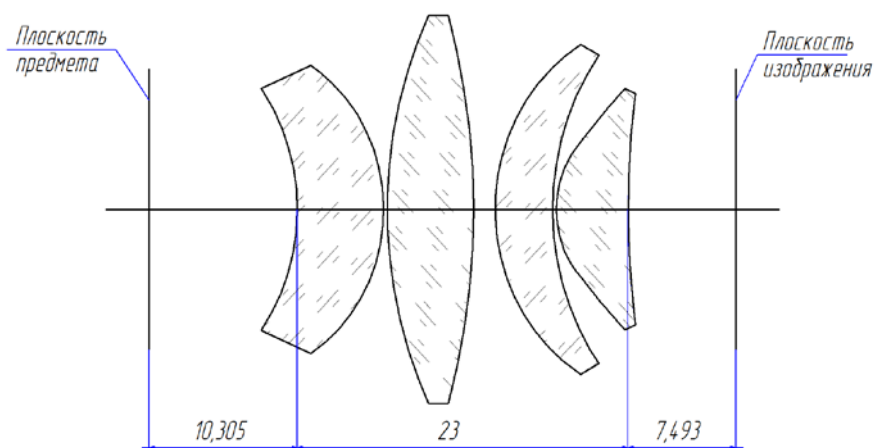
Кварцевый конденсор для ультрафиолетового микроскопа



- Числовая апертура в пространстве предметов для $\lambda=589,3$ нм.....1,41
 Числовая апертура в пространстве предметов для $\lambda=300$ нм.....1,36
 Числовая апертура в пространстве предметов для $\lambda=237,4$ нм..... 1,32
 Фокусное расстояние f' для $\lambda=589,3$ нм.....5,72 мм
 Фокусное расстояние f' для $\lambda=300$ нм.....5,59 мм
 Фокусное расстояние f' для $\lambda=237,4$ нм.....5,50 мм
 Толщина предметного стекла.....0,50 мм
 Толщина слоя иммерсии между фронтальной линзой и предметным стеклом.....0,3 мм
 Исправлен для $\lambda=300$ нм
 Иммерсия – водный раствор глицерина
 Материал линз - кристаллический кварц

r , мм	d , мм	Показатель преломления n ($\lambda=589,3$)	Показатель преломления n ($\lambda=300$)	Показатель преломления n ($\lambda=237,4$)	$D_{св}$, мм
12,162		1	1	1	11,0
	3,0	1,54424	1,57803	1,60927	11,0
-119,4	0,2	1	1	1	8,9
5,623	3,5	1,54424	1,57803	1,60927	6,5
8,433	0,19	1	1	1	4,0
2,051	2,53	1,54424	1,57803	1,60927	2,49
∞		1	1	1	

Конденсор микроскопа

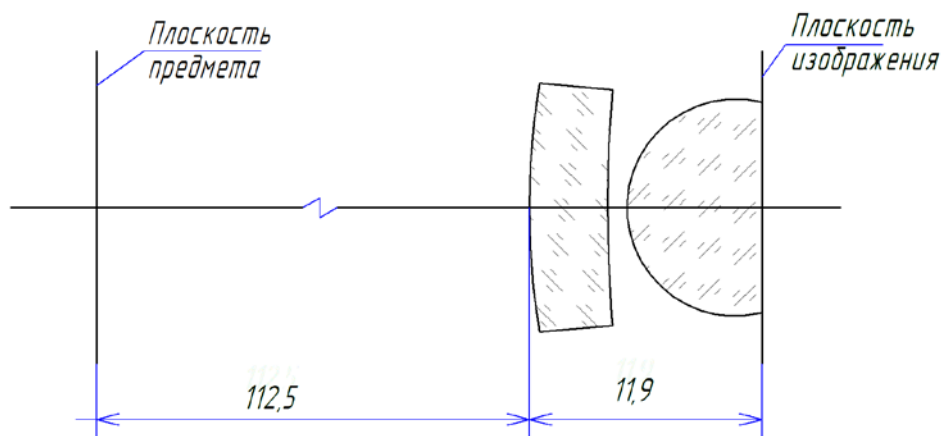


Линейное увеличение β 0,784^x
 Числовая апертура A 0,64
 Расстояние предмета от первой поверхности конденсора 10,30 мм
 Расстояние изображения от последней поверхности конденсора ... 7,49 мм
 Фокусное расстояние f' 7,80 мм
 Задний фокальный отрезок S'_F 1,30 мм
 Передний фокальный отрезок S_F 0,32 мм

r , мм	d , мм	Показатель преломления, n	Марка стекла	$D_{св}$, мм
-13,213		1	-	15,5
	6,0	1,7424	СТК9	18,5
-10,99		1	-	24,9
	0,25	1	-	24,9
28,44		1,6126	TK16	24,9
	6,0	1,6126	TK16	24,9
-45,5		1	-	21,15
	1,5	1	-	21,15
12,359		1,6126	TK16	19,8
	4,0	1,6126	TK16	19,8
16,866		1	-	17,26
	0,25	1	-	17,26
6,427*		1,4586	Кварцевое стекло KB	17,35
	5,0	1,4586	Кварцевое стекло KB	17,35
52,72		1	1	17,35

* Параболоидная поверхность $y^2 = 12,854z$

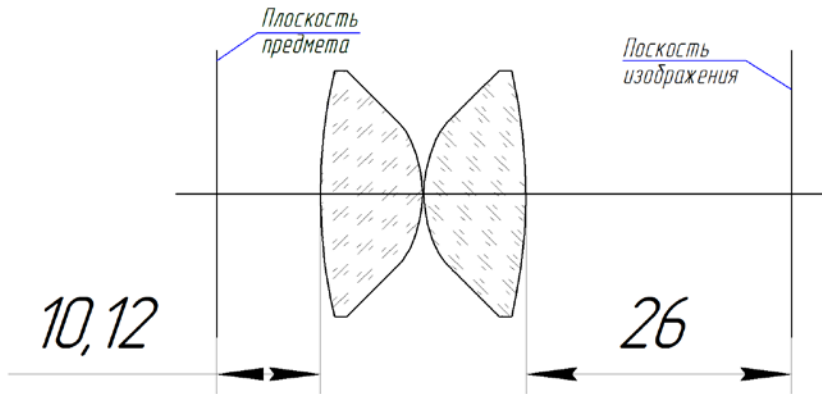
Конденсор германиевый иммерсионный



Числовая апертура в пространстве изображений..... 3,11
 Расстояние предмета от первой поверхности конденсора S - 112,5 мм
 Расстояние изображения от последней поверхности конденсора S' .. 0 мм
 Фокусное расстояние f' для $\lambda=2,577$ мкм..... 1,898 мм
 Задний фокальный отрезок S'_F -0,033 мм
 Передний фокальный отрезок S_F -0,146 мм

r , мм	d , мм	Показатель преломления n ($\lambda=2,577$ мкм)	Марка стекла	$D_{св}$, мм
38,02		1	-	12,70
	4,0	4,0609	Германий	12,06
72,44		1	-	11,06
	1,0	4,0609	Германий	-
5,546		1	-	-
	6,9	4,0609	Германий	-
∞		1	-	-

Конденсор микроскопа с гиперболическими поверхностями

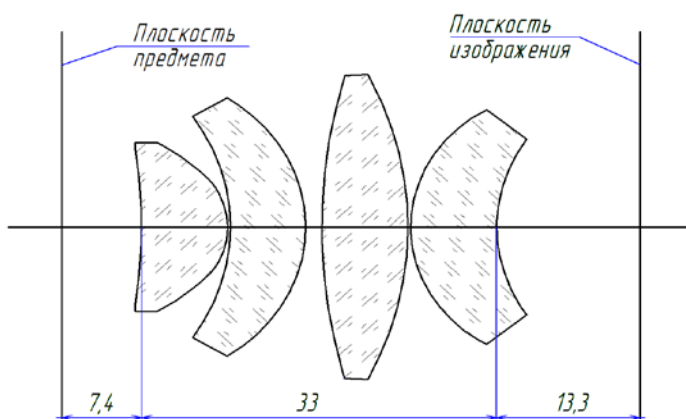


- Линейное увеличение β -2,06^x
 Числовая апертура A 0,66
 Расстояние предмета от первой поверхности конденсора S -10,12 мм
 Расстояние изображения от последней поверхности конденсора S' .. 26,0 мм
 Фокусное расстояние f' 10,82 мм
 Задний фокальный отрезок S'_F 3,72 мм
 Передний фокальный отрезок S_F -3,72 мм

r , мм	d , мм	Марка стекла	$D_{св}$, мм
52,72	10,0	1	17,86
-12,16*		К8	20,94
12,16*	0,1	1	22,80
-52,72	10,0	К8	21,20

* Поверхность гипербоида $y^2+x^2=24,32z+0,35z^2$

Конденсор микроскопа



Линейное увеличение в пространстве предметов β -1,253^x
 Числовая апертура A 0,76
 Расстояние предмета от первой поверхности конденсора -7,40 мм
 Расстояние изображения от последней поверхности конденсора... 13,30 мм
 Фокусное расстояние f' 9,68 мм
 Задний фокальный отрезок S'_F 0,32 мм
 Передний фокальный отрезок S_F 0,12 мм

r , мм	d , мм	Марка стекла	$D_{св}$, мм
-52,0	8,0	1	16,0
-7,621*		Кварцевое стекло КВ	19,3
-19,907	0,25	1	22,6
-15,56	7,0	ТК16	26,4
57,28	1,5	1	31,0
-34,43	8,0	ТК16	31,2
13,74	0,25	1	24,0
15,922	8,0	СТК9	18,0

* Параболоидная поверхность $y^2+x^2=-15,24$

8. Лампы накаливания

Электрической лампой накаливания называется источник излучения, которое получается в результате теплового излучения твердого тела, нагреваемого до высокой температуры проходящим через него электрическим током. Лампы накаливания широко применяются в качестве источников света и источников излучения как в видимой, так и в ближайших ультрафиолетовой и инфракрасной областях спектра.

Основные характеристики источников света:

- яркость светящегося тела;
- световой поток;
- спектральный состав излучения;
- срок службы;
- размеры светящегося тела.

Тип лампы	Мощность, <i>вт</i>	Световой поток, <i>лм</i>	Наибольший диаметр <i>D</i> , <i>мм</i>	Наибольшая длина <i>L</i> , <i>мм</i>	Наибольшая ширина тела накала <i>a</i> , <i>мм</i>	Наибольшая высота тела накала <i>b</i> , <i>мм</i>
СЦ-61	20	250	21	56	2,8	2,0
СЦ-69	25	340	33	67	5,0	1,3
СЦ-70	30	405	33	67	3,2	2,0
СЦ75	4	40	18	33	1,2	1,2
СЦ-80	9	84	18	33	1,7	1,7
СЦ-63	35	560	41	70	4,0	2,0
СЦ-64	50	1000	36	68	3,5	2,0
ОП12-100	100	2500	88	35	5,5	2,5
КИМ-9-75	75	-	12	45	2,6	2,6
К-12	300	6450	37	145	8,0	8,5
К12-90	90	2400	-	-	4,0	3,0
К-22	400	11600	37	155	8,9	6,4
К-30	170	4420	27	155	6,5	4,3
К-14	500	11000	37	155	10	10
ДРШ-100-2	100	-	12	85	0,3	0,3
ДПШ-250	250	12500	25,5	145	1,5	3,0

ЛИТЕРАТУРА

1. Русинов М.М. Габаритные расчеты оптических систем. - М.: Госгеолтехиздат, 1963.
2. Панов В.А., Андреев Л.Н. Оптика микроскопов. - Л.: Машиностроение, 1976.
3. Скворцов Т.Е., Панов В.А., Поляков Н.И. и др. Микроскопы. - Л.: Машиностроение, 1969.
4. Волосов Д.С., Цывкин М.В. Теория и расчет светооптических систем. - М.: Искусство, 1960.
5. Ишанин Г.Г., Козлов В.В. Источники оптического излучения. - СПб: Политехника, 2009.
6. Карякин Н.А. Световые приборы. - М.: Высшая школа, 1975.
7. Вычислительная оптика: Справочник. 3-е изд. под ред. Русинова М.М. - М. Книжный дом «Либроком», 2009.
8. Заказнов Н.П., Кирюшин С.И., Кузичев В.Н. Теория оптических систем: Учебное пособие. 4-е изд., - СПб: Издательство «Лань», 2008.
9. Шехонин А.А., Родионов С.А. Проектирование основных функциональных устройств оптических приборов. Уч. пособие – Л.: Лен, институт точной механики и оптики, 1988.

Университет 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.

КАФЕДРА ПРИКЛАДНОЙ И КОМПЬЮТЕРНОЙ ОПТИКИ

Кафедра прикладной и компьютерной оптики была образована в 1996 году путем объединения двух старейших кафедр оптического факультета: кафедры теории оптических приборов и кафедры оптических приборов и компьютерной оптики, в результате чего кафедра стала крупнейшей и ведущей в России в области прикладной оптики, оптических приборов и компьютерной оптики.

Кафедра имеет восемь учебно-исследовательских лабораторий: оптических измерений, контрольно-измерительных оптических приборов, микроскопов и медицинских оптических приборов, геодезических приборов, кинофотоприборов, компьютерных средств контроля оптики, исследования качества оптического изображения, а также лабораторию компьютерной оптики. На кафедре работают два сетевых компьютерных класса.

В учебном процессе используются научный потенциал и лабораторная база крупнейшего в России научного центра в области оптики – ВНЦ ГОИ им. С.И. Вавилова, ведущего оптического предприятия – ОАО «ЛОМО».

Достижения кафедры отмечены двумя Ленинскими премиями, пятью

Государственными премиями, премией Совета Министров, премией французской Академии Наук. Кроме того, работы, выполненные на кафедре, отмечались многочисленными медалями и дипломами международных и российских выставок, медалями С.П. Королева, Ю.А. Гагарина, премиями Минвуза.

В настоящее время кафедра ведет подготовку специалистов и научную работу в следующих взаимосвязанных направлениях:

- теория и проектирование оптических систем, традиционно называемые вычислительной оптикой;
- оптические измерения и контроль оптических элементов и систем;
- оптические приборы, включая общую теорию, микроскопы и контрольно-измерительные приборы, геодезические приборы, офтальмологическую оптику;

- математические методы, алгоритмы, программы и компьютерные системы решения оптических задач, что можно коротко назвать компьютерной оптикой.

С 1965 года на кафедре оптико-механических приборов благодаря новаторским идеям и методам С.А. Родионова получает развитие новое направление в прикладной оптике – разработка математических методов, алгоритмов и программного обеспечения для решения оптических задач. Результаты фундаментальных исследований С.А. Родионова в области формирования изображения, теории дифракции и математического моделирования были положены в основу разработки пакета программ для автоматизированного проектирования оптических систем ОПАЛ, широко известного в оптической промышленности.

В настоящее время объектами исследований в области компьютерной оптики, проводимых на кафедре являются:

- методы и программы проектирования оптических систем (методы синтеза, анализа аберраций и качества изображения, методы оптимизации, расчет допусков);

- обработка данных контроля оптических элементов и систем (интерферограммы, гартманогаммы и т.п.);

- компьютерное моделирование изображения с учетом различных факторов (частичная когерентность, поляризация, нелинейности и неизопланатизм и т.д.);

- теория и методы оптимальной компьютерной юстировки;

- моделирование процессов ближнепольной оптики.

Общепрофессиональная и специальная подготовка специалистов базируется на следующих составляющих:

- фундаментальных и широких знаниях в области предмета разработки и исследования (прикладной оптики, оптотехники, оптических приборов и систем);

- глубоких знаниях прикладной математики, включая математическое моделирование, численные методы, методы оптимизации и т.п.;

- владении современными компьютерными технологиями, особенно применяемыми в инженерной и научной деятельности.

В настоящее время кафедра прикладной и компьютерной оптики факультета оптико-информационных систем и технологий является одним из крупнейших подразделений Санкт-Петербургского национального исследовательского университета информационных технологий, механики и оптики, ориентированным на выпуск высококвалифицированных специалистов.

С информацией о кафедре можно ознакомиться на сервере:

<http://aco.ifmo.ru>

Цуканова Галина Ивановна
Безруков Вячеслав Алексеевич
Карпова Галина Васильевна
Багдасарова Ольга Васильевна

ГАБАРИТНЫЙ РАСЧЕТ И ВЫБОР КОМПОНЕНТОВ ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ МИКРОСКОПОВ

Учебное пособие

В авторской редакции
Редакционно-издательский отдел Университета ИТМО
Зав. РИО Н.Ф. Гусарова
Лицензия ИД № 004408 от 05.11.99
Подписано к печати 13.03.2015 Тираж 100 экз. Заказ 3254
Отпечатано в учреждении «Университетские телекоммуникации»
Адрес: 197101, Санкт-Петербург, Кронверкский пр. д. 49