

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Сибирский государственный университет геосистем и технологий»
(СГУГиТ)

И. В. Парко, Е. Г. Бобылева

ПРИКЛАДНАЯ ОПТИКА ОКУЛЯРЫ ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Утверждено редакционно-издательским советом университета
в качестве учебного пособия для обучающихся по направлениям подготовки
12.03.02 Оптотехника, 12.03.01 Приборостроение (уровень бакалавриата)

Новосибирск
СГУГиТ
2025

УДК 681.7
П182

Рецензенты: кандидат технических наук, начальник управления конструирования АО «Новосибирский приборостроительный завод»
В. Л. Парко
кандидат технических наук, доцент, СГУГиТ *А. С. Сырнева*

Парко, И. В.

П182 Прикладная оптика. Окуляры оптических систем : учебное пособие / И. В. Парко, Е. Г. Бобылева. – Новосибирск : СГУГиТ, 2025. – 43 с. – Текст : непосредственный.

ISBN 978-5-907998-42-1

Учебное пособие подготовлено старшими преподавателями И. В. Парко и Е. Г. Бобылевой на кафедре фотоники и приборостроения СГУГиТ.

Учебное пособие содержит общие требования к окулярам оптических систем, анализ характеристик известных типов окуляров с учетом особенностей их работы, рекомендации по выбору готовой оптической схемы, сведения об отдельных окулярах с указанием их конструктивных характеристик.

Учебное пособие по дисциплине «Прикладная оптика» предназначено для обучающихся по направлению подготовки 12.03.02 Оптотехника (уровень бакалавриата), а также может быть использовано для обучающихся по направлению подготовки 12.03.01 Приборостроение (уровень бакалавриата).

Рекомендовано к изданию кафедрой фотоники и приборостроения, Ученым советом Института оптики и технологий информационной безопасности СГУГиТ.

Печатается по решению редакционно-издательского совета СГУГиТ

УДК 681.7

ISBN 978-5-907998-42-1

© СГУГиТ, 2025

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	4
1. Общие требования к окулярам оптических систем	5
2. Типы окуляров оптических систем	8
2.1. Схемы и основные характеристики окуляров	8
2.2. Окуляр Рамсдена	10
2.3. Окуляр Кельнера	11
2.4. Симметричный окуляр.....	11
2.5. Окуляр с удаленным зрачком.....	12
2.6. Окуляр Эрфле	12
2.7. Широкоугольный окуляр.....	12
2.8. Окуляр Гюйгенса.....	13
2.9. Окуляры оптических приборов специального назначения.....	14
3. Конструкции окуляров.....	16
4. Допуски на величины окуляров.....	19
Заключение.....	20
Библиографический список.....	21
Приложение. Конструктивные параметры основных типов окуляров оптических систем.....	22

ВВЕДЕНИЕ

Настоящее учебное пособие предназначено для обучающихся института оптики и технологий информационной безопасности, выполняющих расчетно-графические, курсовые и выпускные квалификационные работы по дисциплинам «Прикладная оптика», «Основы проектирования и конструирования», «Методы расчета оптических систем», «Моделирование и расчет оптических систем», «Современные методы проектирования оптических и оптико-электронных приборов», «Теоретические основы оптико-электронных приборов и систем», «Типовые конструкции оптических приборов».

В процессе проектирования оптической схемы прибора важную роль играет переход от габаритного расчета исходной базовой схемы к конкретным оптическим системам. Поэтому очень важно иметь достаточно широкий выбор оптических компонентов и сборочных единиц, хорошо изученных, технологически отработанных и широко применяющихся. Однако оптические системы могут иметь характеристики, отличающиеся от полученных в результате габаритного расчета. Возникают определенные трудности по выбору готовых оптических систем, оценки их качества изображения.

Учебное пособие дает рекомендации по правильному использованию известных оптических схем окуляров приборов.

В учебное пособие включены: анализ характеристик известных типов окуляров с учетом особенностей их работы; рекомендации по выбору готовой оптической схемы; рекомендации по конструированию окуляров оптических систем; сведения об отдельных окулярах с указанием их конструктивных характеристик, приведенных в приложении.

1. ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ОКУЛЯРАМ ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Окуляром называется часть оптической системы, передающая изображение предмета непосредственно в глаз наблюдателя. В окуляре рассматривается изображение предмета, построенное предыдущими элементами оптической системы. Для нормального (эмметропического) глаза необходимо, чтобы пучок лучей, выходящий из окуляра, был параллельным. Поэтому, если окуляр повернуть на 180° , он может быть использован как объектив. Угловое поле зрения такого объектива значительно превышает угловое поле зрения простого объектива [1].

Основными характеристиками окуляра являются: заднее фокусное расстояние f' , видимое увеличение Γ , угловое поле зрения в пространстве изображений $2\omega'$, диаметр выходного зрачка D' , положение выходного зрачка S'_p , передний фокальный отрезок S_F [2].

Схема окуляра представлена на рис. 1 эквивалентной линзой.

Величина фокусного расстояния выбирается в пределах от 10 до 50 мм. При меньшей величине f' отрезок S'_p определяется положением выходного зрачка и будет слишком мал, что не позволит совместить его со зрачком глаза наблюдателя. При увеличении f' возрастает диаметр линз окуляра, что влечет за собой увеличение габаритных размеров всего прибора.

Угловое поле зрения $2\omega'$ зависит от типовой схемы окуляра. Угловые поля современных окуляров лежат в пределах от 15° до 110° и более.

Величина удаления выходного зрачка S'_p определяется условиями наблюдения. Это удаление должно гарантировать совмещение плоскости выходного зрачка и глаза наблюдателя, то есть попадание всех лучей в глаз и безопасность при работе в условиях вибрации и тряски.

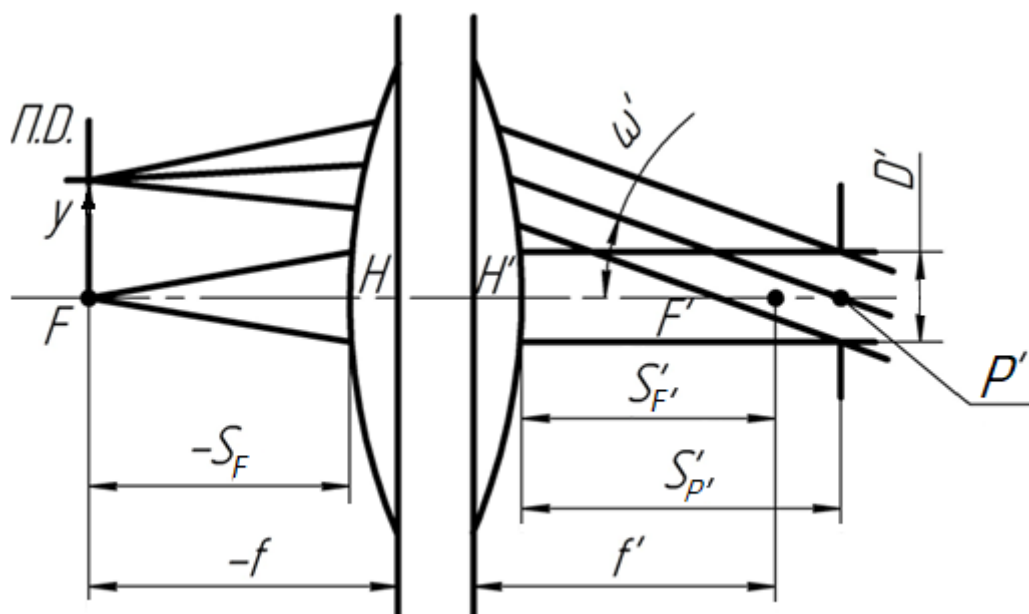


Рис. 1. Схема окуляра

Величина отрезка S_F определяет возможность размещения сетки, призмы и т. д.

Видимое увеличение окуляра определяется формулой [2]

$$\Gamma = \frac{250}{f'}. \quad (1)$$

В процессе развития окуляров оптических систем перед конструкторами стоят две противоречивые задачи. Первая – повышение полезного углового поля $2\omega'$, а следовательно, и углового поля всего прибора, в пределах которого aberrации окуляра достаточно малы. Вторая – достижение большего удаления выходного зрачка $S'_{P'}$ для приборов, работающих в условиях тряски, вибрации.

Рассматривая aberrационные характеристики окуляров, необходимо отметить, что равенство относительных отверстий объектива и окуляра оптической системы определяет и коррекцию aberrаций широких пучков (сферическая aberrация и кома). Поэтому коррекция aberrаций широких пучков должна быть выполнена в окуляре столь же тщательно, как и в объективе. Но так как объектив имеет сравнительно небольшие угловые поля, то коррекции

полевых aberrаций (астигматизма, кривизны поверхности изображения, дисторсии) сравнительно легко достигают в области aberrаций III порядка. Поэтому объективы делают обычно очень простыми (склеенными из двух линз). Окуляры же делают сложными, чтобы иметь возможность исправить полевые aberrации в пределах довольно большого углового поля $2\omega'$. Чем больше эта величина, тем труднее становится задача коррекции всех aberrаций и тем сложнее конструкция окуляра. При расчете оптических схем таких aberrаций конструктор обязан учитывать aberrации высших порядков (пятого и седьмого) для обеспечения высокого качества изображения в пределах заданного углового поля прибора.

2. ТИПЫ ОКУЛЯРОВ ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

2.1. Схемы и основные характеристики окуляров

Тип окуляра определяется его конструкцией и оптической схемой, а, следовательно, и числом параметров, позволяющим влиять на абберационную коррекцию в пределах углового поля. Для каждого типа окуляра этот максимально допустимый угол $2\omega'$ имеет свое значение.

В табл. 1 приведены схемы основных типов окуляров оптических систем.

Таблица 1

Схемы и основные параметры окуляров

Название типа	Эскиз	Основные данные и соотношения
Рамсдена		<p>Угловое поле $2\omega' = 45^\circ$.</p> <p>Передний фокальный отрезок $S_F = -0,4 \cdot f'$.</p> <p>Задний фокальный отрезок $S'_{F'} = -0,4 \cdot f'$.</p> <p>Положение выходного зрачка $S'_{p'} = (0,25 - 0,3) \cdot f'$</p>
Кельнера		<p>Угловое поле $2\omega' = 50^\circ$.</p> <p>Передний фокальный отрезок $S_F = -0,3 \cdot f'$.</p> <p>Задний фокальный отрезок $S'_{F'} = 0,35 \cdot f'$.</p> <p>Положение выходного зрачка $S'_{p'} = (0,4 - 0,7) \cdot f'$</p>

Название типа	Эскиз	Основные данные и соотношения
Симметричный		<p>Угловое поле $2\omega' = (40 - 50)^\circ$.</p> <p>Передний фокальный отрезок $S_F = -0,75 \cdot f'$.</p> <p>Задний фокальный отрезок $S'_{F'} = 0,75 \cdot f'$.</p> <p>Положение выходного зрачка $S'_{p'} = (0,75 - 1,2) \cdot f'$</p>
С удаленным зрачком		<p>Угловое поле $2\omega' = 50^\circ$.</p> <p>Передний фокальный отрезок $S_F = -0,35 \cdot f'$.</p> <p>Задний фокальный отрезок $S'_{F'} = (0,9 - 1,1) \cdot f'$.</p> <p>Положение выходного зрачка $S'_{p'} = (0,9 - 1,25) \cdot f'$</p>
Эрфле II рода		<p>Угловое поле $2\omega' = 65^\circ$.</p> <p>Передний фокальный отрезок $S_F = -0,35 \cdot f'$.</p> <p>Задний фокальный отрезок $S'_{F'} = 0,7 \cdot f'$.</p> <p>Положение выходного зрачка $S'_{p'} = (0,7 - 0,9) \cdot f'$</p>
Широкоугольный		<p>Угловое поле $2\omega' \geq 90^\circ$.</p> <p>Передний фокальный отрезок $S_F = -0,4 \cdot f'$.</p> <p>Задний фокальный отрезок $S'_{F'} = 0,7 \cdot f'$.</p> <p>Положение выходного зрачка $S'_{p'} = (0,6 - 0,75) \cdot f'$</p>

Название типа	Эскиз	Основные данные и соотношения
Гюйгенса		Угловое поле $2\omega' = 30^\circ$. Положение выходного зрачка $S'_{p'} = f'/3$

2.2. Окуляр Рамсдена

Окуляр Рамсдена состоит из двух одинаковых плоско-выпуклых линз, расположенных выпуклыми поверхностями друг к другу. Если оптические силы линз равны $\Phi_1 = \Phi_2$, то оптическая сила Φ всего окуляра –

$$\Phi = 2 \cdot \Phi_1 - \Phi_1^2 \cdot d_2, \quad (2)$$

где d_2 – расстояние между линзами, мм.

Минимальное значение Φ получается при

$$\Phi_1 = \Phi_2 = \frac{1 - \sqrt{1 - \Phi \cdot d_2}}{d_2}. \quad (3)$$

Для расчета обычно задают величину $d_2 = 0,75 \cdot f'$, тогда $\Phi_1 = 0,667 \cdot \Phi$.

Хроматические aberrации, сферическая aberrация, кома, кривизна изображения и дисторсия не поддаются исправлению. Меняя расстояние d_2 , можно хорошо исправить астигматизм. Сферическая aberrация в этом окуляре всегда отрицательная и большая. Качество изображения не удовлетворяет современным требованиям, вследствие этого окуляр не применяется. В табл. 2 даны конструктивные параметры окуляра Рамсдена.

Таблица 2

Конструктивные данные окуляра Рамсдена

r , мм	d , мм	$n_D (n_e)$
0 (∞)		1
-17,2	3,5	1,5163 (1,5183)
17,2	21,7	1
0 (∞)	2,3	1,5163 (1,5183)
		1
$f' = 25,0$ мм		$S'_{F'} = 7,1$ мм

2.3. Окуляр Кельнера

В окуляре Кельнера глазная линза склеена из двух линз (положительная – из крона, отрицательная – из флинта). При этом первоначально оба стекла имели одинаковые показатели преломления для основного цвета, но различные дисперсии. Такая компоновка позволяла исправить хроматизм положения (частично и хроматизм увеличения) окуляра. Применяя в дальнейшем в глазной линзе стекла с различными показателями преломления, можно в значительной мере влиять и на сферическую aberrацию. Наибольшее применение окуляры данного типа нашли в геодезических приборах, биноклях и отсчетных микроскопах.

Число параметров окуляра Кельнера при заданных марках стекол равно шести; пять – радиусы кривизны и один – расстояние между компонентами. Пять параметров обеспечивают выполнение условия масштаба, требований к положению входного зрачка и положению заднего фокуса, устранение aberrации (обычно это кома и астигматизм). Остальные aberrации неисправимы. Оставшийся шестой параметр используется для исправления aberrаций в зрачках или для уменьшения трудностей изготовления, например, для получения плоских поверхностей у коллектива или глазной линзы.

2.4. Симметричный окуляр

Симметричный окуляр состоит из двух компонентов, каждый из которых представляет собой склейку из положительной и отрицательной линз. Рассто-

яние между линзами порядка 0,2 мм. В окуляре хорошо исправлены астигматизм и дисторсия, но не поддается коррекции кривизна изображения. Отсутствие положительного коллектива способствует увеличению выноса выходного зрачка. Число параметров этого окуляра равно трем, причем один из них служит для удовлетворения условию масштаба, а два других – для исправления комы и астигматизма. Введение в компоненты радиуса склейки позволяет хорошо исправить сферическую и хроматическую аберрации, что делает такой окуляр особенно пригодным в тех случаях, когда в его фокусе стоит сетка.

2.5. Окуляр с удаленным зрачком

Окуляры, состоящие из двух компонентов, не могут иметь угловое поле $2\omega'$ больше 50° . Естественным оказалось добавить еще одну линзу для увеличения углового поля. В качестве такой линзы в окулярах с удаленным зрачком служит отрицательный коллектив, склеенный из двух линз. Введение такого коллектива вблизи фокальной плоскости позволяет получить большой вынос выходного зрачка и частично скомпенсировать кривизну поверхности изображения. Сферическая и хроматическая аберрации компенсируются введением поверхности склейки и выбором материалов оптических деталей.

2.6. Окуляр Эрфле

В окулярах Эрфле за счет уменьшения аберраций высших порядков удалось довести угловое поле $2\omega'$ до 65° . Однако изображение, даваемое этим окуляром, на краю углового поля очень низкого качества за счет астигматизма и дисторсии. Частично астигматизм компенсируется аккомодацией глаза наблюдателя. Сферическая и хроматическая аберрации для осевой точки предмета хорошо исправлены; сетки резко видны в середине поля зрения.

2.7. Широкоугольный окуляр

Широкоугольные окуляры с угловыми полями $2\omega'$ от 80 до 100° – это, как правило, многолинзовые системы. Расчет таких окуляров возможен только с учетом аберраций высших порядков. Если в фокальной плоскости окуляра стоит сетка, то необходимо исправить сферическую аберрацию. Если для окуляров Рамсдена и Кельнера она неисправима, то в широкоугольных окулярах

становится возможно компенсировать сферическую aberrацию благодаря большому числу параметров. Так как окуляр является несимметричной конструкцией относительно плоскости диафрагмы, то с трудом поддаются исправлению кома и дисторсия. Практически определено, что для правильного восприятия перспективы и оценки расстояний окуляр должен обладать отрицательной дисторсией порядка 3–10 % на краю углового поля. Одним из способов устранения дисторсии является применение асферических поверхностей. Астигматизм и хроматические aberrации исправляются, как правило, легко применением изопланатических и концентрических поверхностей и введением хроматических радиусов склеек. В широкоугольных окулярах исправление кривизны поверхности изображения достигается за счет введения отрицательной линзы в фокальную плоскость или применения толстых менисков, или применения особых марок стекол легких флинтгов и тяжелых кронов.

2.8. Окуляр Гюйгенса

Окуляр Гюйгенса применяется в микроскопах, состоит из двух плоско-выпуклых линз, обращенных плоскостями к глазу наблюдателя. Эквивалентный передний фокус окуляра находится между линзами, что затрудняет расположение сеток.

Сферическая и хроматическая aberrации окуляра Гюйгенса больше, чем для окуляров Рамсдена. Кома в окуляре Гюйгенса может быть полностью исправлена, дисторсия и кривизна поля уступают значениям окуляра Рамсдена. Поле зрения окуляра Гюйгенса доходит до 45° , но наиболее частое использование – 30° [3].

В приложении представлены конструктивные параметры основных типов окуляров [4]. По характеру исправления остаточных aberrаций окуляры Кельнера, симметричные окуляры и окуляры с удаленным зрачком подразделяются на наборы. Каждый из наборов содержит окуляры с фокусными расстояниями 20, 25, 30, 35, 40 и 50 мм. Выбор типа окуляра и его фокусного расстояния определяется техническими требованиями, предъявляемыми к оптической системе.

2.9. Окуляры оптических приборов специального назначения

Окуляры оптических приборов специального назначения включают ортоскопические окуляры, фотоокуляры, проекционные (так называемые Гомалы). Большинство окуляров по умолчанию имеют посадочный диаметр 23,2 мм и являются взаимозаменяемыми в микроскопах разных производителей. Параметры некоторых из них представлены в табл. 3.

Таблица 3

Конструктивные характеристики некоторых
окуляров специального назначения

Название типа	Радиус r , мм	Толщина по оси d , мм	Показатель преломления n_D	Основные данные и соотношения
С поверхно- стью параболы	–236,60	7,0	1,6126	Угловое поле $2\omega' = 87^\circ$. Задний фокальный отрезок $S'_{F'} = 9,02$ мм. Заднее фокусное расстояние $f' = 20,01$ мм. Уравнение параболы $y^2 = 30,38 \cdot z$. * – радиус при вершине параболы
	–35,00	2,0	1,6128	
	39,99	13,0	1,6126	
	–41,12	0,2	1,0000	
	15,19*	16,0	1,5467	
	–32,06	2,0	1,5480	
Ортоскопиче- ский 1	32,3	6,5	1,5163	Угловое поле $2\omega' = 40^\circ$. Передний фокальный отрезок $S_F = -f' / 2$. Задний фокальный отрезок $S'_{F'} = 19,2$ мм.
	–16,0	3,0	1,6259	
	16,0	6,5	1,5163	
Ортоскопиче- ский 1	–32,3	1,0	1,0000	Заднее фокусное расстояние $f' = 25,0$ мм. Положение выходного зрачка $S'_{p'} \approx 0,75 \cdot f'$. Аберрации окуляра исправ- лены хорошо
	22,2	3,5	1,5891	
	∞			

Название типа	Радиус r , мм	Толщина по оси d , мм	Показатель преломления n_D	Основные данные и соотношения
Ортоскопиче- ский 2	11,86	3,0	1,5163	Угловое поле $2\omega' = 40^\circ$. Передний фокальный отрезок $S_F = -4,4$ мм. Задний фокальный отрезок $S'_{F'} = 6,3$ мм. Заднее фокусное расстояние $f' = 8,9$ мм. Положение выходного зрачка $S'_{p'} \approx 0,75 \cdot f'$. Аберрации окуляра исправ- лены хорошо
	-5,76	1,0	1,6178	
	5,76	3,0	1,5163	
	-11,86	0,4	1,0000	
	8,10	2,0	1,5891	
	∞			
Гомал (проекцион- ный)	-25,01	2,4	1,6204	Для работы с объективом микроскопа с фокусным рас- стоянием $f' = (4 - 3)$ мм
	-12,50	0,5	1,5163	
	130,00	2,3	1,000	
	-6,50	0,6	1,5740	
	12,50	3,1	1,5821	
	-200,00	0,2	1,000	
	58,10	2,9	1,6491	
	-21,50			

Из приведенного краткого обзора различных типов окуляров видно, что конструктор располагает довольно широким выбором окуляров, начиная от простых и кончая сложными и дорогими, но обладающими высокими характеристиками.

В приложении представлены конструктивные параметры основных типов окуляров [4]. По характеру исправления остаточных аберраций окуляры Кельнера, симметричные окуляры и окуляры с удаленным зрачком подразделяются на наборы. Каждый из наборов содержит окуляры с фокусными расстояниями 20, 25, 30, 35, 40 и 50 мм. Выбор типа окуляра и его фокусного расстояния определяется техническими требованиями, предъявляемыми к оптической системе.

3. КОНСТРУКЦИИ ОКУЛЯРОВ

В связи с тем, что с прибором работают люди, обладающие аметропией глаз (дальнозоркостью или близорукостью), необходимо смещать фокальную плоскость окуляра от ее нормального положения для резкого видения изображения сетки. В случае миопического (близорукого) глаза это смещение будет направлено в сторону сетки, а в случае гиперметропического (дальнозоркого) – от сетки. Поэтому при конструировании окуляра необходимо предусмотреть его подвижку для фокусировки. Обычно смещение окуляра рассчитывают исходя из аметропии глаза ± 5 диоптрий.

На рис. 2 перемещение окуляра для фокусировки производится в тубусе 1 прибора по окулярной резьбе.

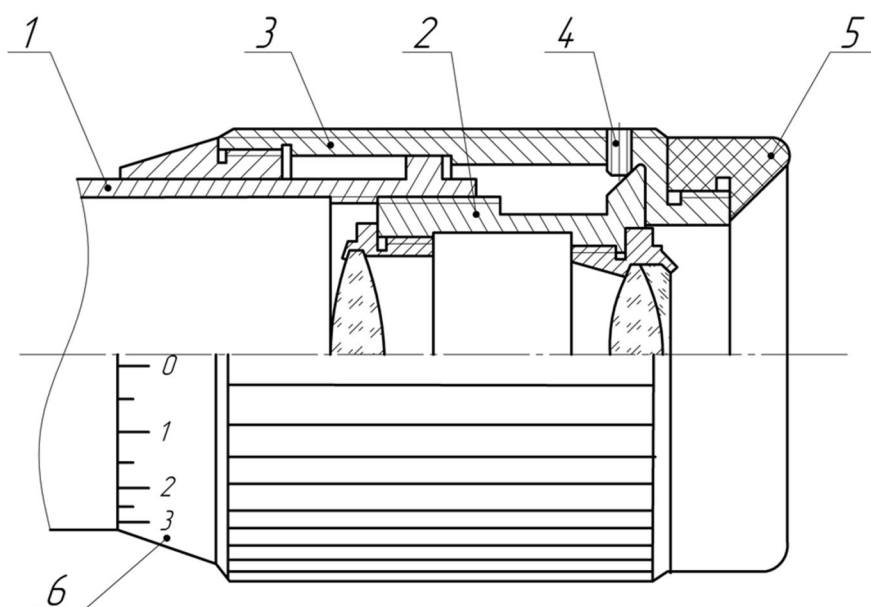


Рис. 2. Конструкция окуляра Кельнера:

1 – тубус; 2 – корпус окуляра; 3 – муфта; 4 – стопорный винт;
5 – наглазник; 6 – диоптрийная шкала

Длина резьбы тубуса прибора и на корпусе окуляра 2 должна быть такой, чтобы обеспечить перемещение окуляра в обе стороны от его среднего

положения. При этом учитывается требование юстировки окуляра, так как его фокусное расстояние выдерживается с допуском $\pm 2\%$. Длина резьбовой части корпуса окуляра должна исключить и качку за счет допускаемых зазоров резьбы. Обычно ее длина составляет 4–5 шагов резьбы.

Вращение окуляра по резьбе при его перемещении производится муфтой 3, укрепленной на корпусе 2 тремя стопорными винтами 4. В муфту ввинчена диоптрийная шкала 6 с нанесенными на ней делениями. Для удобства работы и защиты от посторонних засветок на муфту 3 надевают наглазник 5. Приведенная конструкция окуляра довольно проста, но имеет недостаток, так как при перемещении окуляра для фокусировки происходит его вращение. В такой конструкции невозможно применение несимметричного наглазника, кроме того, она не обеспечивает полной герметизации.

Чтобы устранить эти недостатки, применяют конструкцию (рис. 3) с поступательным перемещением окуляра 1 на скользящей шпонке 2. В такой конструкции вращается только кольцо 3, связанное с корпусом окуляра винтом 4 и сухарем 5, заложенным в паз корпуса.

К недостаткам этих двух конструкций следует отнести смещение плоскости выходного зрачка, что создает определенные трудности при наличии в приборе налобника [5].

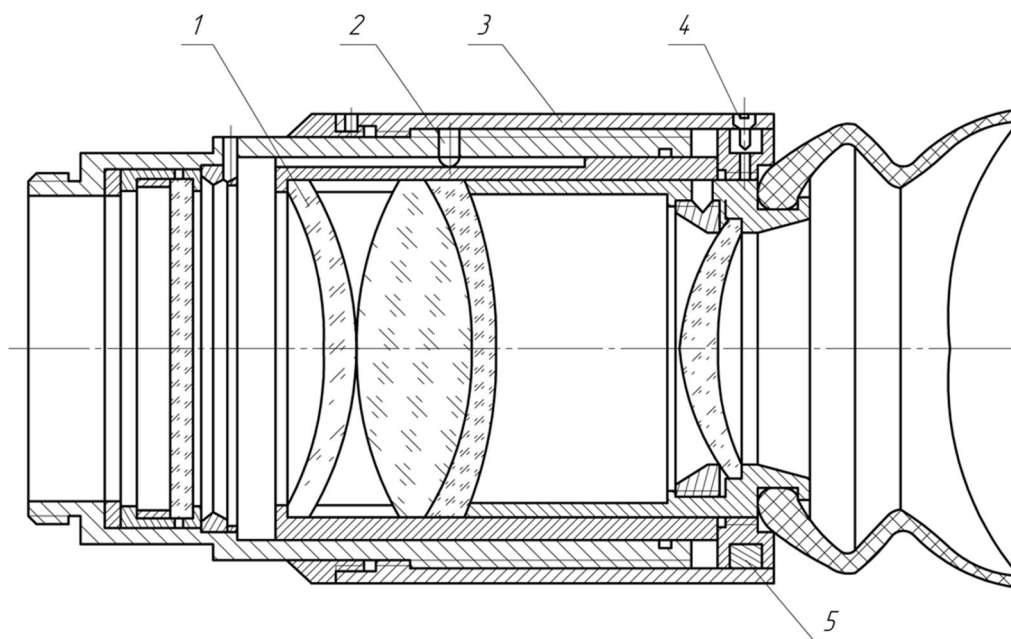


Рис. 3. Окуляр с поступательным перемещением:

1 – окуляр; 2 – шпонка; 3 – кольцо; 4 – винт; 5 – сухарь

Этого недостатка лишена конструкция окуляра с внутренней фокусировкой (рис. 4). Глазная линза 5, установленная в оправе 4 на корпусе 2, неподвижна. Оправа с фокусирующим элементом 3 перемещается в корпусе 2 с помощью кремальеры 1 по скользящей шпонке 7 относительно сетки 6. Фокусировка происходит за счет изменения воздушных промежутков между линзами окуляра.

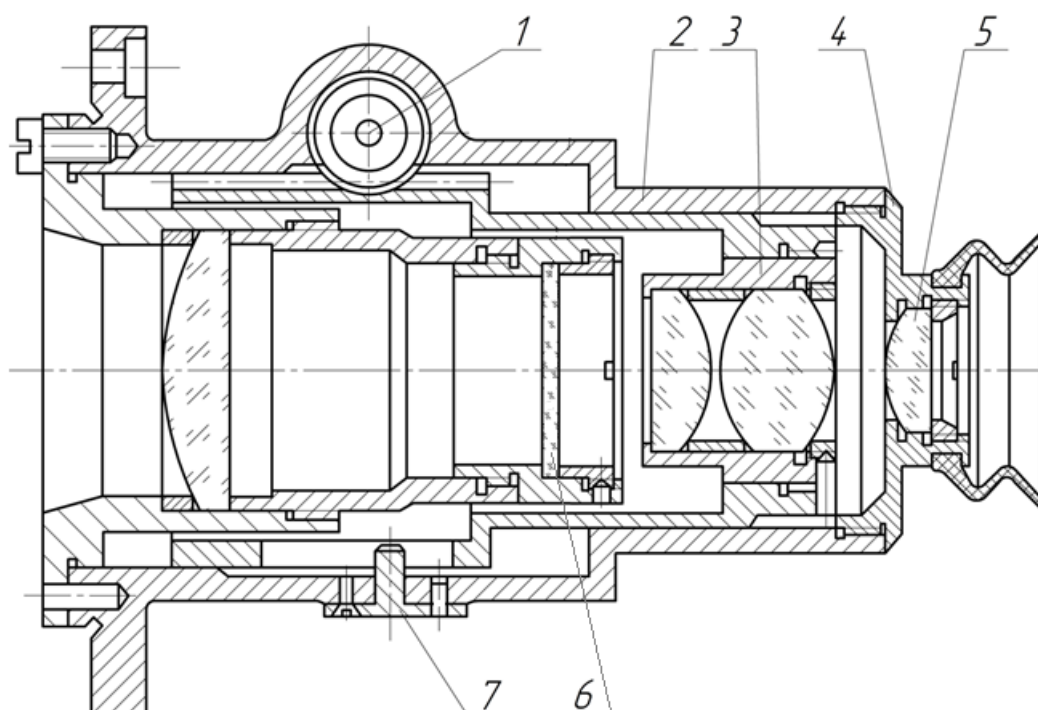


Рис. 4. Окуляр с внутренней фокусировкой:

1 – кремальера; 2 – корпус; 3 – фокусирующий элемент; 4 – оправа;
5 – глазная линза; 6 – сетка; 7 – шпонка

4. ДОПУСКИ НА ВЕЛИЧИНЫ ОКУЛЯРОВ

После выбора и окончательного расчета оптической схемы окуляра производится оценка технологичности изготовления отдельных компонентов. Для этого составляется таблица влияния параметров системы на аберрации, и из нее устанавливаются допустимые отклонения от номинальных значений радиусов, толщин линз, воздушных промежутков и констант марок стекол. Одновременно устанавливаются требования к материалу заготовки. На предварительном этапе расчета исходя из практики изготовления окуляров можно назначить (табл. 3, 4) рекомендуемые величины допусков [6].

Таблица 4

Требования к материалу оптических деталей окуляров

Оптическая деталь	Δn_e	$\Delta(n_{F'} - n_{C'})$	Однородность	Двойное лучепреломление	Ослабление	Бессвильность	Пузырность
Линза окуляра	4Г	4Г	3–4	3	5–6	2Б	11; 21–12; 22

Таблица 5

Допуски на изготовление оптических деталей окуляров

Оптическая деталь	Класс точности пробного стекла по ГОСТ 2786–82 [7]	Допуски на пробное стекло (число колец или полос)		Допуск на толщину, мм	Допуск на децентрировку, мм
		N	ΔN		
Линза	2	3–5	0,5–0,8	0,2–0,3	0,01–0,05

На фокусные расстояния f' устанавливаются следующие допуски: на отдельные линзы $\pm 0,5\%$; на склеенные линзы $\pm 1,0\%$; на окуляр $\pm 2\%$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Требования, предъявляемые к окулярам, отличаются от требований, предъявляемых к объективам. Окуляры являются последним звеном оптической системы, передающим изображение непосредственно в глаз наблюдателя, но используют их совместно с объективами. К конструктивным особенностям окуляра относится возможность размещения сетки для измерений и возможность обеспечения перефокусировки окуляра для компенсации аметропии глаза. Сам орган зрения – глаз – является объектом исследования. Знание физиологической оптики – это необходимое условие для выбора и совершенствования оптических окуляров.

Весь порядок изложения предлагаемого материала определяется теми этапами, которые последовательно проходит обучающийся (разработчик) при расчете и проектировании оптического прибора и систем: от формулировки задачи в виде исходных данных окуляра до ее практической реализации в виде габаритного и абберационного расчета с анализом качества получаемого изображения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бегунов Б. Н., Заказнов Н. П. Теория оптических систем : учеб. пособие для вузов. – М. : Машиностроение, 1973. – 488 с.
2. ГОСТ 7427–76. Геометрическая оптика. Термины, определения и буквенные обозначения. – М. : Изд-во стандартов, 1988. – 17 с.
3. Вычислительная оптика : справочник / М. М. Русинов, А. П. Граматин, П. Д. Иванов и др. ; под общ. ред. М. М. Русинова. – Л. : Машиностроение, 1984. – 423 с.
4. Каталог приборов и устройств, разработанных и изготовленных в ЛИТМО / М-во высш. и сред. спец. образования СССР. Ленингр. ин-т точной механики и оптики. – Л. : [б. и.], 1975. – 87 с.
5. Плотников В. С., Варфоломеев Д. И., Пустовалов В. Е. Расчет и конструирование оптико-механических приборов : учебник для техникумов. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1983. – 256 с.
6. Справочник технолога-оптика : к изучению дисциплины / М. А. Окатов, Э. А. Антонов, А. Байгожин ; ред. М. А. Окатов. – 2-е изд., испр. и доп. – СПб. : Политехника, 2004. – 679 с.
7. ГОСТ 2786–82. Стекла пробные для проверки радиусов и формы сферических оптических поверхностей. Технические условия. – М. : Изд-во стандартов, 1998. – 12 с.

Конструктивные параметры основных типов окуляров оптических систем

Первый набор симметричных окуляров

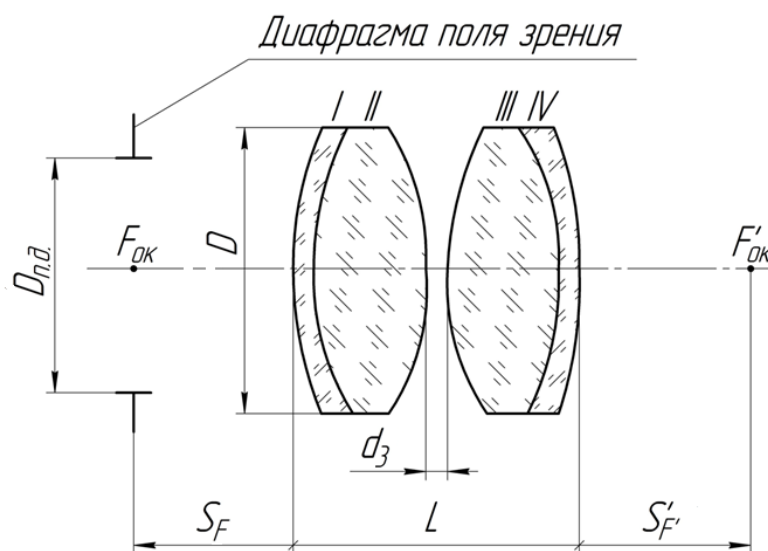


Таблица П.1

Основные данные окуляров, мм

Обо- значе- ние оку- ляра	Фокус- ное рассто- яние f'	Вершинные фокусные расстояния		Поле зре- ния $2\omega'$	Габаритные размеры, мм		
		переднее S_F	заднее S'_F		Длина L	Световой диаметр D	Расстояние между линзами d_3
1C-F20	20,00	-14,9	14,9	40°	15,1	17,5	0,1
1C-F25	25,00	-18,8	18,8		18,1	22,0	0,1
1C-F30	29,90	-22,7	22,7		21,2	26,0	0,2
1C-F35	34,83	-26,3	26,3		25,2	30,5	0,2
1C-F40	40,00	-30,4	30,4		28,2	34,5	0,2
1C-F50	49,77	-37,7	37,7		35,5	43,0	0,5

Конструктивные параметры линз окуляров, мм

Обозначение	Номер линзы	Радиус r_1	Радиус r_2	Толщина по оси d	Световой диаметр D	Марка стекла	Фокусное расстояние f'	Вершинные фокусные расстояния	
								переднее S_F	заднее S'_F
1С-F20	I	54,70	16,81	1,5	17,5	Ф2	-39,5	40,8	-39,0
	II	16,81	-24,39	6,0		K8	20,1	-18,4	17,7
	III	24,39	-16,81	6,0		K8	20,1	-17,7	18,4
	IV	-16,81	-54,70	1,5		Ф2	-39,5	39,0	-40,8
	I + II	—	—	7,5		—	38,5	-34,7	37,3
	III + IV	—	—	7,5		—	38,5	-37,3	34,7
1С-F25	I	68,66	21,01	1,5	22,0	Ф2	-49,1	50,4	-48,6
	II	21,01	-30,58	7,5		K8	25,2	-23,1	22,1
	III	30,58	-21,01	7,5		K8	25,2	-22,1	23,1
	IV	-21,01	-68,66	1,5		Ф2	-49,1	48,6	-50,4
	I + II	—	—	9,0		—	48,3	-43,7	46,9
	III + IV	—	—	9,0		—	48,3	-46,9	43,7
1С-F30	I	82,41	25,20	2,0	26,0	Ф2	-58,9	60,7	-58,4
	II	25,20	-36,64	8,5		K8	30,1	-27,7	26,6
	III	36,64	-25,20	8,5		K8	30,1	-26,6	27,7
	IV	-25,20	-82,41	2,0		Ф2	-58,9	58,4	-60,7
	I + II	—	—	10,5		—	58,0	-52,6	56,2
	III + IV	—	—	10,5		—	58,0	-56,2	52,6
1С-F35	I	96,25	29,47	2,5	30,5	Ф2	-69,0	71,2	-68,3
	II	29,47	-42,67	10,0		K8	35,2	-32,3	31,1
	III	42,67	-29,47	10,0		K8	35,2	-31,1	32,3
	IV	-29,47	-96,25	2,5		Ф2	-69,0	68,3	-71,2
	I + II	—	—	12,5		—	67,5	-61,1	65,3
	III + IV	—	—	12,5		—	67,5	-65,3	61,1
1С-F40	I	109,91	33,77	2,5	34,5	Ф2	-79,0	81,3	-78,4
	II	33,77	-49,04	11,5		K8	40,4	-37,1	35,7
	III	49,04	-33,77	11,5		K8	40,4	-35,7	37,1
	IV	-33,77	-109,91	2,5		Ф2	-79,0	78,4	-81,3
	I + II	—	—	14,0		—	77,4	-70,2	75,0
	III + IV	—	—	14,0		—	77,4	-75,0	70,2
1С-F50	I	137,35	42,07	3,0	43,0	Ф2	-98,3	101,0	-97,5
	II	42,07	-61,07	14,5		K8	50,3	-46,2	44,4
	III	61,07	-42,07	14,5		K8	50,3	-44,4	46,2
	IV	-42,07	-137,35	3,0		Ф2	-98,3	97,5	-101,0
	I + II	—	—	17,5		—	96,5	-87,5	93,2
	III + IV	—	—	17,5		—	96,5	-93,2	87,5

Второй набор симметричных окуляров

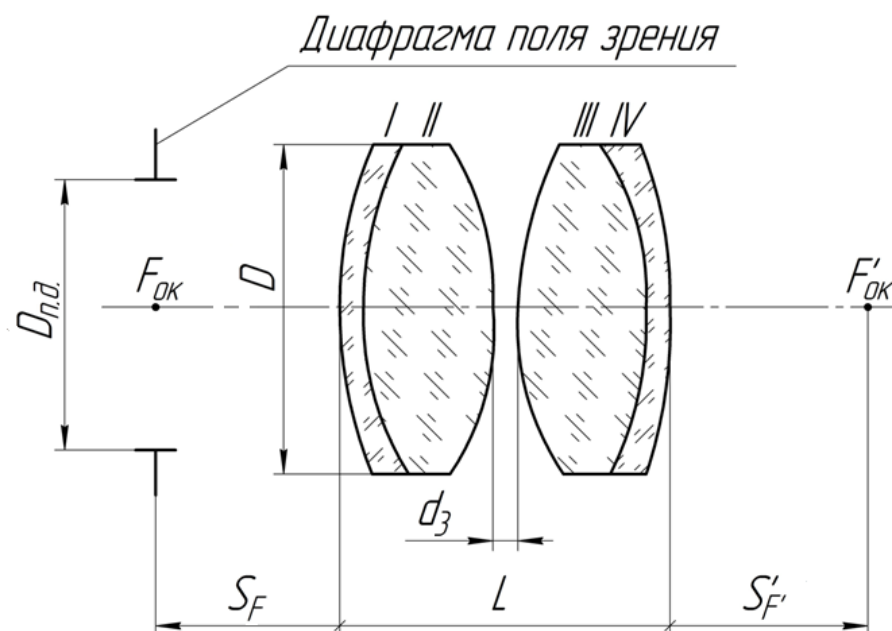


Таблица П.3

Основные данные окуляров, мм

Обозначение окуляра	Фокусное расстояние f'	Вершинные фокусные расстояния		Поле зрения $2\omega'$	Габаритные размеры, мм		
		переднее S_F	заднее $S'_{F'}$		Длина L	Световой диаметр D	Расстояние между линзами d_3
2С-F20	19,90	-14,8	14,8	40°	15,1	17,5	0,1
2С-F25	25,00	-18,8	18,8		18,1	22,0	0,1
2С-F30	30,00	-22,8	22,8		21,1	26,0	0,1
2С-F35	34,84	-26,4	26,4		25,2	30,5	0,2
2С-F40	39,84	-30,3	30,3		28,2	34,5	0,2
2С-F50	50,00	-38,2	38,2		35,5	43,5	0,5

Конструктивные параметры линз окуляров, мм

Обозначение	Номер линзы	Радиус r_1	Радиус r_2	Толщина по оси d	Световой диаметр D	Марка стекла	Фокусное расстояние f'	Вершинные фокусные расстояния	
								переднее S_F	заднее $S_{F'}$
2С- F20	I	59,90	18,34	1,5	17,5	Ф2	-42,9	44,3	-42,5
	II	18,34	-23,94	6,0		K8	21,0	-19,2	18,6
	III	23,94	-18,34	6,0		K8	21,0	-18,6	19,2
	IV	-18,34	-59,90	1,5		Ф2	-42,9	42,5	-44,3
	I + II	—	—	7,5		—	38,6	-34,7	37,4
	III + IV	—	—	7,5		—	38,6	-37,4	34,7
2С- F25	I	75,00	23,03	1,5	22,0	Ф2	-53,8	55,2	-53,4
	II	23,03	-30,14	7,5		K8	26,4	-24,1	23,4
	III	30,14	-23,03	7,5		K8	26,4	-23,4	24,1
	IV	-23,03	-75,01	1,5		Ф2	-53,8	53,4	-55,2
	I + II	—	—	9,0		—	48,6	-43,7	47,1
	III + IV	—	—	9,0		—	48,6	-47,1	43,7
2С- F30	I	89,82	27,68	2,0	26,0	Ф2	-65,0	66,7	-64,1
	II	27,68	-36,22	8,5		K8	31,6	-29,1	28,3
	III	36,22	-27,68	8,5		K8	31,6	-28,3	29,1
	IV	-27,68	-89,82	2,0		Ф2	-65,0	64,1	-66,7
	I + II	—	—	10,5		—	58,1	-52,7	56,5
	III + IV	—	—	10,5		—	58,1	-56,5	52,7
2С- F35	I	104,85	32,17	2,5	30,5	Ф2	-75,3	77,5	-74,6
	II	32,17	-42,07	10,0		K8	36,7	-33,7	32,8
	III	42,07	-32,17	10,0		K8	36,7	-32,8	33,7
	IV	-32,17	-104,85	2,5		Ф2	-75,3	74,6	-77,5
	I + II	—	—	12,5		—	67,7	-61,2	65,6
	III + IV	—	—	12,5		—	67,7	-65,6	61,2
2С- F40	I	119,54	36,64	2,5	34,5	Ф2	-85,6	87,8	-85,0
	II	36,64	-48,23	11,5		K8	42,0	-38,5	37,5
	III	48,23	-36,64	11,5		K8	42,0	-37,5	38,5
	IV	-36,64	-119,54	2,5		Ф2	-85,6	85,0	-87,8
	I + II	—	—	14,0		—	77,5	-70,2	75,3
	III + IV	—	—	14,0		—	77,5	-75,3	70,2
2С- F50	I	150,8	46,13	3,0	43,5	Ф2	-107,6	110,3	-106,8
	II	46,13	-60,21	14,0		K8	52,6	-48,4	47,1
	III	60,21	-46,13	14,0		K8	52,6	-47,1	48,4
	IV	-46,13	-150,80	3,0		Ф2	-107,6	106,8	-110,3
	I + II	—	—	17,0		—	97,0	-88,0	94,0
	III + IV	—	—	17,0		—	97,0	-94,0	88,0

Третий набор симметричных окуляров

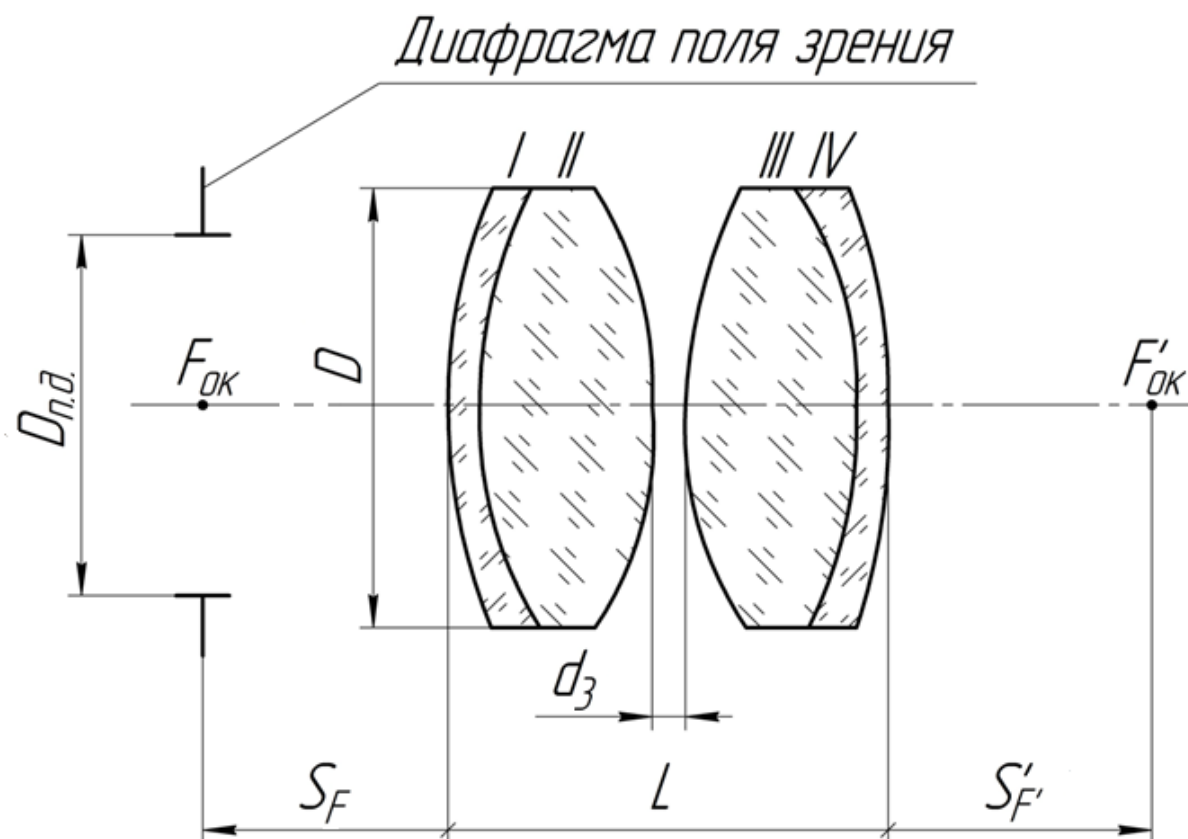


Таблица П.5

Основные данные окуляров, мм

Обозначение окуляра	Фокусное Расстояние f'	Вершинные фокусные расстояния		Поле зрения $2\omega'$	Габаритные размеры, мм		
		переднее S_F	заднее $S'_{F'}$		Длина L	Световой диаметр D	Расстояние между линзами d_3
3C-F20	19,9	-14,8	14,8	40°	15,1	17,5	0,1
3C-F25	25,0	-18,8	18,8		18,1	22,0	0,1
3C-F30	30,0	-22,8	22,8		21,1	26,0	0,1
3C-F35	34,9	-26,4	26,4		25,2	30,5	0,2
3C-F40	40,0	-30,4	30,4		28,2	34,5	0,2
3C-F50	49,7	-38,1	-38,1		34,5	43,5	0,5

Таблица П.6

Конструктивные параметры линз окуляров, мм

Обозначение	Номер линзы	Радиус r_1	Радиус r_2	Толщина по оси d	Световой диаметр D	Марка стекла	Фокусное расстояние f'	Вершинные фокусные расстояния	
								переднее S_F	заднее S'_F
3С-F20	I	59,27	19,64	1,5	18,5	Ф2	-47,7	49,1	-47,3
	II	19,64	-24,39	6,0		K8	21,9	-20,1	19,6
	III	24,39	-19,64	6,0		K8	21,9	-19,6	20,1
	IV	-19,64	-59,27	1,5		Ф2	-47,7	47,3	-49,1
	I + II	—	—	7,5		—	38,5	-34,7	37,2
	III + IV	—	—	7,5		—	38,5	-37,2	34,7
3С-F25	I	74,65	24,59	1,5	22,0	Ф2	-59,4	60,8	-58,9
	II	24,59	-30,60	7,5		K8	27,5	-25,2	24,6
	III	30,60	-24,59	7,5		K8	27,5	-24,6	25,2
	IV	-24,59	-74,65	1,5		Ф2	-59,4	58,9	-60,8
	I + II	—	—	9,0		—	48,4	-43,7	46,9
	III + IV	—	—	9,0		—	48,4	-46,9	43,7
3С-F30	I	91,14	29,78	2,0	26,0	Ф2	-71,7	73,6	-71,1
	II	29,78	-36,64	8,5		K8	33,0	-30,4	29,8
	III	36,64	-29,78	8,5		K8	33,0	-29,8	30,4
	IV	-29,78	-91,14	2,0		Ф2	-71,7	71,1	-73,6
	I + II	—	—	10,5		—	58,2	-52,8	56,5
	III + IV	—	—	10,5		—	58,2	-56,5	52,8
3С-F35	I	103,72	34,51	2,5	30,5	Ф2	-84,0	86,3	-83,2
	II	34,51	-42,95	10,0		K8	38,5	-35,4	34,7
	III	42,95	-34,51	10,0		K8	38,5	-34,7	35,4
	IV	-34,51	-103,72	2,5		Ф2	-84,0	83,2	-86,3
	I + II	—	—	12,5		—	67,6	-61,3	65,5
	III + IV	—	—	12,5		—	67,6	-65,5	61,3
3С-F40	I	119,54	39,47	2,5	34,5	Ф2	-95,5	97,8	-94,7
	II	39,47	-49,04	11,5		K8	44,0	-40,5	39,6
	III	49,04	-39,47	11,5		K8	44,0	-39,6	40,5
	IV	-39,47	-119,54	2,5		Ф2	-95,5	94,7	-97,8
	I + II	—	—	14,0		—	77,4	-70,2	75,1
	III + IV	—	—	14,0		—	77,4	-75,1	70,2
3С-F50	I	149,73	49,18	3,0	43,5	Ф2	-118,6	121,4	-117,7
	II	49,18	-61,07	14,0		K8	54,7	-50,4	49,4
	III	61,07	-49,18	14,0		K8	54,7	-49,4	50,4
	IV	-49,18	-149,73	3,0		Ф2	-118,6	117,7	-121,4
	I + II	—	—	17,0		—	96,5	-87,8	93,5
	III + IV	—	—	17,0		—	96,5	-93,5	87,8

Первый набор окуляров Кельнера

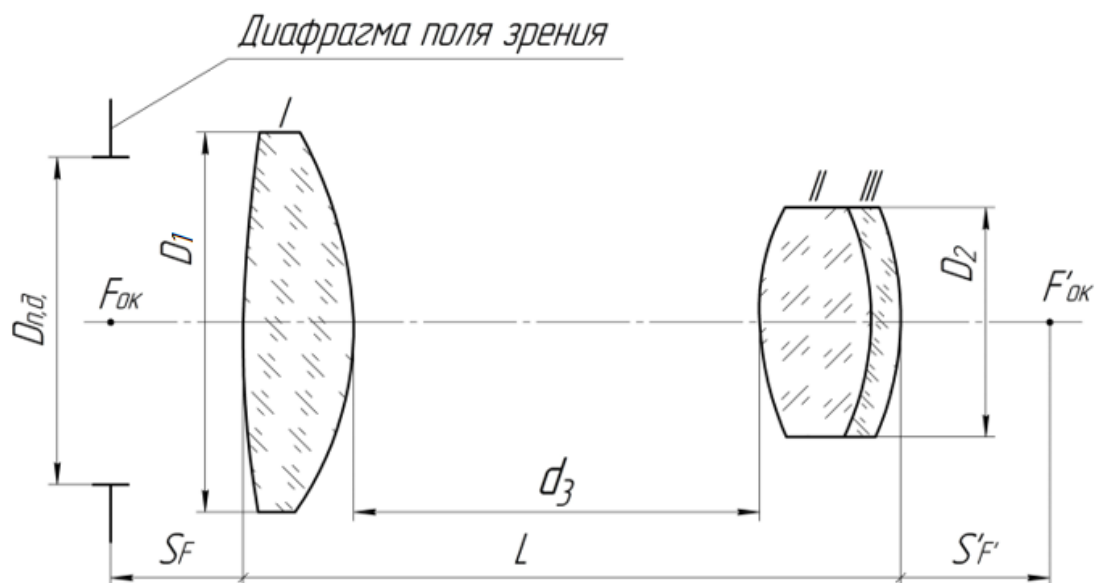


Таблица П.7

Основные данные окуляров, мм

Обозначение окуляра	Фокусное расстояние f'	Вершинные фокусные расстояния		Поле зрения $2\omega'$	Габаритные размеры, мм			
		переднее S_F	заднее S'_F		Длина L	Световые диаметры		Расстояние между линзами d_3
						D_1	D_2	
1К-F20	20,15	-6,1	7,2	50°	25,0	19,5	11,2	14,5
1К-F25	25,13	-7,9	9,0		31,0	24,5	14,0	18,0
1К-F30	30,14	-9,3	11,4		36,5	30,0	17,0	21,5
1К-F35	35,69	-11,7	14,5		42,0	34,0	20,0	25,0
1К-F40	40,24	-12,9	15,2		48,0	39,0	22,5	29,0
1К-F50	50,25	-15,8	19,3		60,0	49,0	28,0	36,0

Конструктивные параметры линз окуляров, мм

Обозначение	Номер линзы	Радиус r_1	Радиус r_2	Толщина по оси d	Световой диаметр D	Марка стекла	Фокусное расстояние f'	Вершинные фокусные расстояния	
								переднее S_F	заднее S'_F
1К-F20	I	53,26	-24,92	5,0	19,5	К8	33,60	-31,30	32,3
	II	14,39	-10,73	4,5	11,2	К15	12,10	-10,40	10,8
	III	-10,73	-76,45	1,0		Ф13	-20,20	19,88	-20,7
	II + III	—	—	5,5		—	26,90	-26,80	23,5
1К-F25	I	66,18	-31,09	6,0	24,5	К8	41,50	-38,80	40,2
	II	18,05	-13,54	5,5	14,0	К15	15,30	-13,10	13,7
	III	-13,54	-95,53	1,5		Ф13	-25,30	25,10	-26,4
	II + III	—	—	7,0		—	33,80	-33,60	29,4
1К-F30	I	80,00	-37,48	7,5	30,0	К8	50,15	-46,70	48,54
	II	21,69	-16,30	6,0	17,0	К15	19,90	-17,70	17,9
	III	-16,30	-114,96	1,5		Ф13	-35,60	35,40	-36,7
	II + III	—	—	7,5		—	40,50	-40,30	35,8
1К-F35	I	93,29	-47,84	8,0	34,0	К8	61,90	-58,40	60,1
	II	25,34	-19,10	7,0	20,0	К15	21,40	-18,60	19,3
	III	-19,10	— 134,25	2,0		Ф13	-35,70	35,50	-37,1
	II + III	—	—	9,0		—	47,30	-47,10	41,8
1К-F40	I	106,31	-49,94	9,0	39,0	К8	66,60	-62,50	64,7
	II	28,90	-21,69	8,0	22,5	К15	24,30	-21,20	22,0
	III	-21,69	— 153,50	2,0		Ф13	-41,40	40,20	-41,9
	II + III	—	—	10,0		—	54,00	-53,80	47,8
1К-F50	I	133,10	-62,21	12,0	49,0	К8	83,20	-77,70	80,6
	II	36,13	-27,11	9,5	28,0	К15	30,40	-26,60	27,5
	III	-27,11	— 191,22	2,5		Ф13	-50,60	50,30	-52,3
	II + III	—	—	12,0		—	67,50	-67,20	60,1

Второй набор окуляров Кельнера

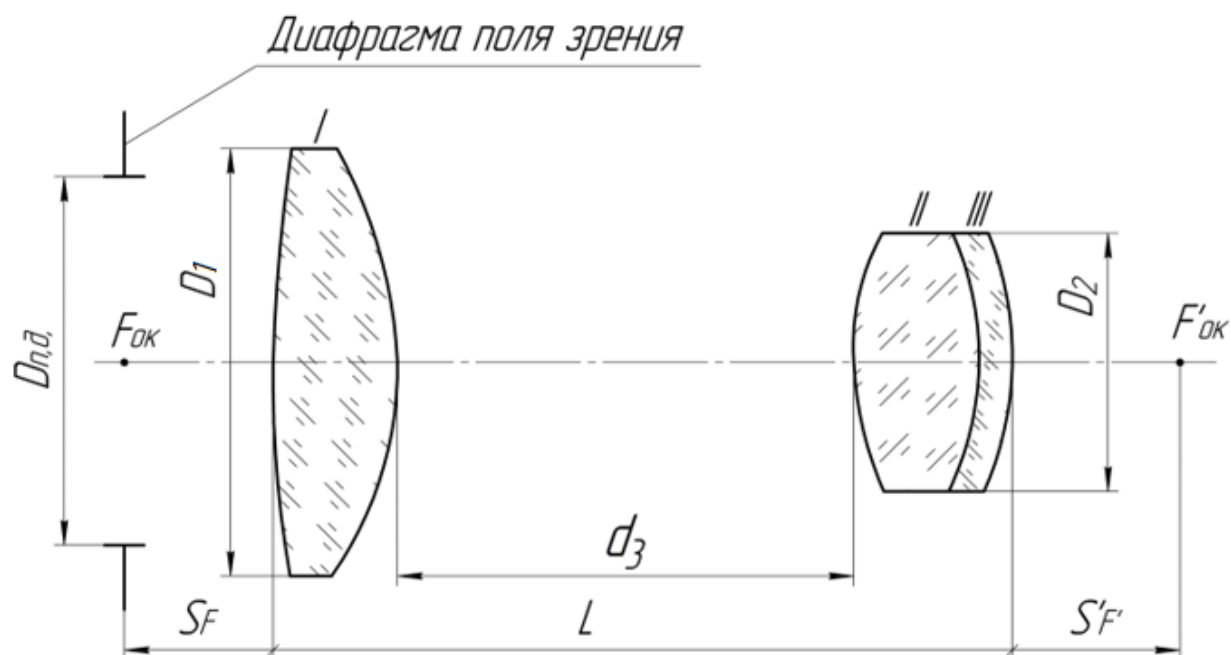


Таблица П.9

Основные данные окуляров, мм

Обо- значе- ние оку- ляра	Фо- кусное рас- стоя- ние f'	Вершинные фокусные расстояния		По ле зре- ния $2\omega'$	Габаритные размеры, мм			
		переднее S_F	заднее S'_F		Длина L	Световые диа- метры		Расстояние между линзами d_3
						D_1	D_2	
2К-F20	20,32	−6,2	6,5	50°	26,5	19,5	11,2	14,5
2К-F25	25,10	−7,8	7,6		33,0	24,5	14,0	18,0
2К-F30	30,17	−9,3	9,5		39,5	30,0	17,0	21,5
2К-F35	35,12	−11,4	11,0		45,5	34,0	20,0	25,0
2К-F40	40,24	−12,9	12,5		52,0	39,0	22,5	29,0
2К-F50	50,24	−15,8	15,7		65,5	49,0	28,0	36,0

Конструктивные параметры линз окуляров, мм

Обозначение	Номер линзы	Радиус r_1	Радиус r_2	Толщина по оси d	Световой диаметр D	Марка стекла	Фокусное расстояние f'	Вершинные фокусные расстояния	
								переднее S_F	заднее S'_F
2К-F20	I	53,28	-25,92	5,0	19,5	K8	34,2	-31,90	33,1
	II	14,39	-10,73	6,0	11,2	K15	12,4	-10,00	10,6
	III	-10,73	-78,45	1,0		Φ13	-20,0	19,80	-20,6
	II + III	—	—	7,0		—	27,0	-26,90	22,6
2К-F25	I	65,18	-31,09	6,0	24,5	K8	41,3	-38,60	40,0
	II	18,05	-13,54	7,5	14,0	K15	15,6	-12,60	13,3
	III	-13,54	-95,53	1,5		Φ13	-25,3	25,50	-26,3
	II + III	—	—	9,0		—	33,7	-33,50	28,1
2К-F30	I	80,00	-37,48	7,5	30,0	K8	50,1	-46,70	48,5
	II	21,69	-16,30	9,0	17,0	K15	18,8	-15,20	16,1
	III	-16,30	-114,96	1,5		Φ13	-30,4	30,20	-31,5
	II + III	—	—	10,5		—	40,5	-40,34	33,9
2К-F35	I	93,29	-43,84	8,0	34,0	K8	58,5	-54,80	56,7
	II	25,34	-19,10	10,5	20,0	K15	22,0	-17,80	18,8
	III	-19,10	-134,25	2,0		Φ13	-35,6	35,40	-37,1
	II + III	—	—	12,5		—	47,3	-47,00	39,5
2К-F40	I	106,31	-49,94	9,0	39,0	K8	66,6	-62,50	64,7
	II	28,90	-21,69	12,0	22,5	K15	25,1	-20,20	21,4
	III	-21,69	-153,50	2,0		Φ13	-40,4	40,20	-41,8
	II + III	—	—	14,0		—	54,0	-53,80	45,2
2К-F50	I	133,10	-62,21	12,0	49,0	K8	83,2	-77,70	80,6
	II	36,13	-27,11	15,0	28,0	K15	31,3	-25,30	26,8
	III	-27,11	-191,22	2,5		Φ13	-50,5	50,30	-52,3
	II + III	—	—	17,5		—	67,5	-67,20	56,4

Третий набор окуляров Кельнера

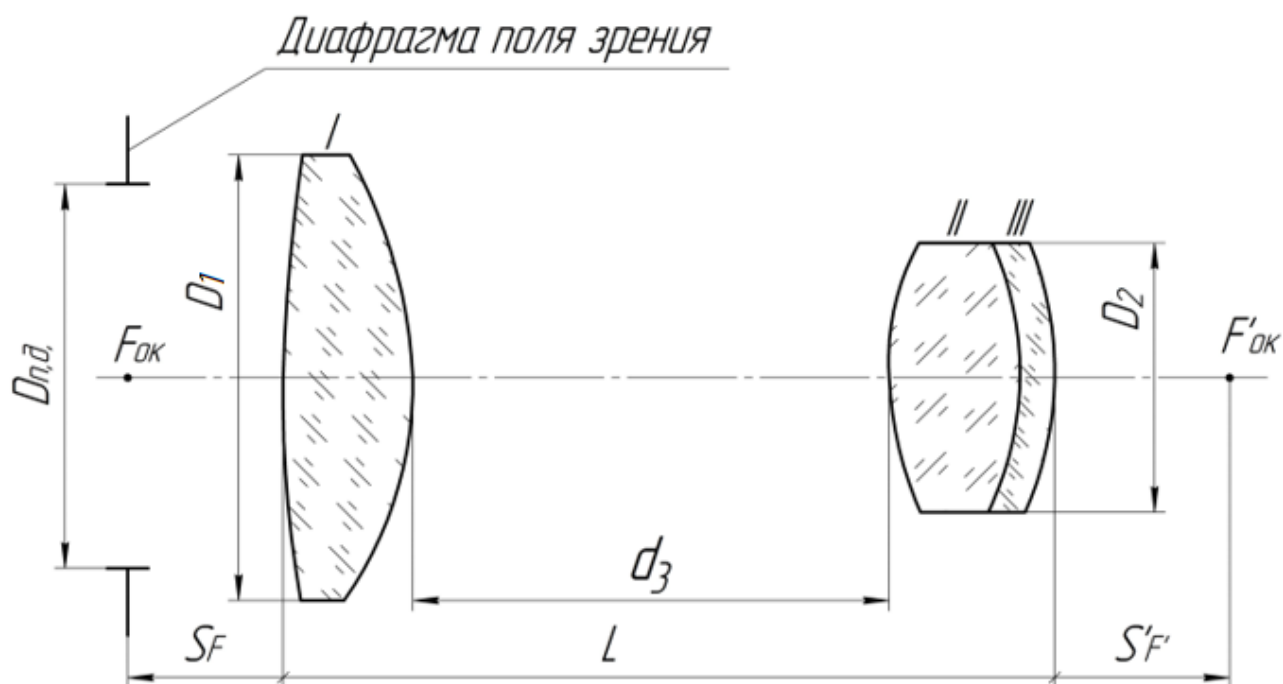


Таблица П.11

Основные данные окуляров, мм

Обо- значе- ние оку- ляра	Фо- кусное рас- стоя- ние f'	Вершинные фокусные расстояния		По ле зре- ния $2\omega'$	Габаритные размеры, мм			
		переднее S_F	заднее $S'_{F'}$		Длина L	Световые диа- метры		Расстояние между линзами d_3
						D_1	D_2	
ЗК-F20	20,16	-7,3	7,2	50°	23,8	19,5	11,2	13,3
ЗК-F25	24,92	-9,7	9,1		29,6	24,5	14,0	16,6
ЗК-F30	30,05	-10,6	11,5		34,8	30,0	17,0	19,8
ЗК-F35	35,18	-13,3	13,3		40,2	34,0	20,0	23,2
ЗК-F40	40,19	-15,2	15,2		45,7	39,0	22,5	26,7
ЗК-F50	50,35	-18,6	19,2		57,3	49,0	28,0	33,3

Конструктивные параметры линз окуляров, мм

Обозначение	Номер линзы	Радиус r_1	Радиус r_2	Толщина по оси d	Световой диаметр D	Марка стекла	Фокусное расстояние f'	Вершинные фокусные расстояния	
								переднее S_F	заднее S'_F
ЗК-F20	I	24,92	-53,26	5,0	19,5	K8	33,4	-32,3	31,1
	II	14,39	-10,73	4,5	11,2	K15	12,1	-10,4	10,8
	III	-10,73	-76,45	1,0		Ф13	-20,0	19,9	-20,7
	II + III	—	—	5,5		—	26,9	-26,8	23,5
ЗК-F25	I	31,09	-66,18	5,0	24,5	K8	41,4	-40,3	39,1
	II	18,05	-13,54	5,5	14,0	K15	15,3	-13,1	13,7
	III	-13,54	-95,53	1,5		Ф13	-25,3	25,1	-26,4
	II + III	—	—	7,0		—	33,8	-33,6	29,4
ЗК-F30	I	37,48	-80,00	7,5	30,0	K8	50,15	-48,5	46,7
	II	21,69	-16,30	6,0	17,0	K15	18,3	-15,9	16,5
	III	-16,30	-114,96	1,5		Ф13	-30,4	30,2	-31,5
	II + III	—	—	7,5		—	40,5	-40,3	35,9
ЗК-F35	I	43,84	-93,29	8,0	34,0	K8	58,5	-56,8	54,8
	II	25,34	-19,10	7,0	20,0	K15	21,4	-18,7	19,3
	III	-19,10	-134,25	2,0		Ф13	-35,7	35,8	-37,1
	II + III	—	—	9,0		—	47,4	-47,1	41,8
ЗК-F40	I	49,94	-106,31	9,0	39,0	K8	66,6	-64,7	62,5
	II	28,90	-21,69	8,0	22,5	K15	24,4	-21,2	22,0
	III	-21,69	-153,50	2,0		Ф13	-40,4	40,23	-41,9
	II + III	—	—	10,0		—	54,1	-53,8	47,8
ЗК-F50	I	62,21	-133,10	12,0	49,0	K8	83,2	-80,7	77,7
	II	36,13	-27,11	9,5	28,0	K15	30,4	-26,6	27,6
	III	-27,11	-191,22	2,5		Ф13	-50,6	50,3	-52,4
	II + III	—	—	12,0		—	67,5	-67,2	60,1

Первый набор окуляров с удаленным зрачком

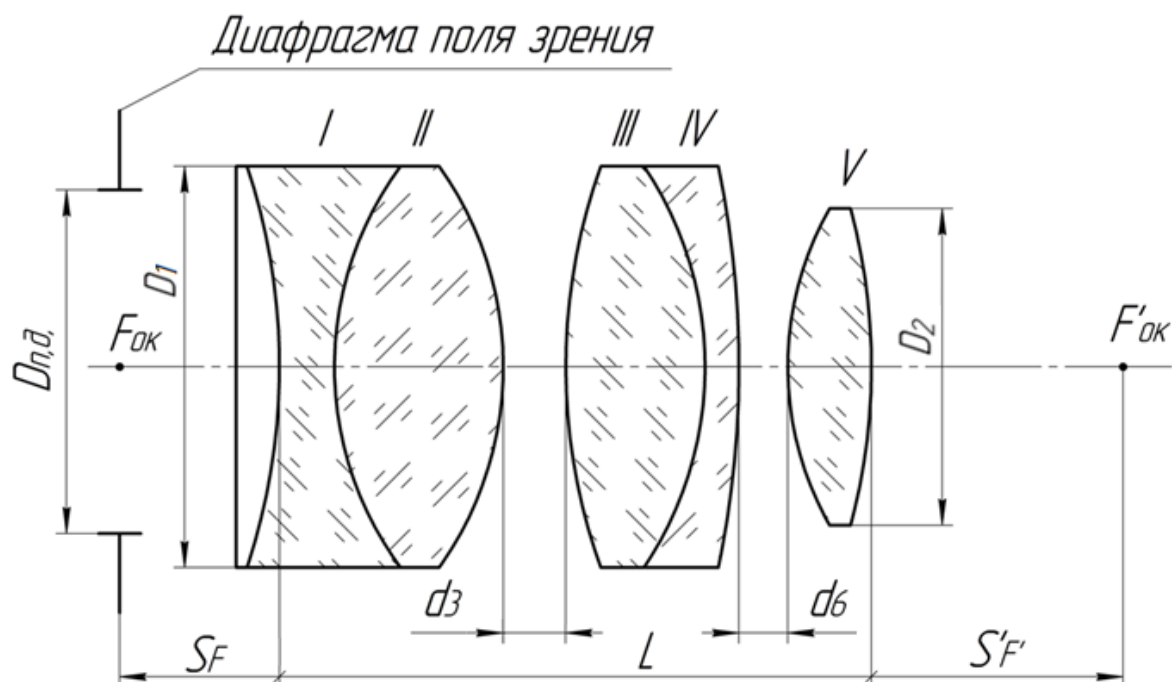


Таблица П.13

Основные данные окуляров, мм

Обо- значе- ние оку- ляра	Фокус- ное рассто- яние f'	Вершинные фокусные расстояния		Поле зре- ния $2\omega'$	Габаритные размеры, мм				
		переднее S_F	заднее $S'_{F'}$		Длина L	Световые диаметры		Расстояние между линзами	
						D_1	D_2	d_3	d_6
1У-F20	19,93	−6,2	18,4	50°	27,9	23,0	21,0	0,2	0,2
1У-F25	24,89	−7,7	22,7		35,4	28,6	26,2	0,2	0,2
1У-F30	29,90	−9,5	27,5		41,6	34,5	31,5	0,3	0,3
1У-F35	34,28	−11,1	31,3		47,6	40,0	37,0	0,3	0,3
1У-F40	42,30	−16,0	39,6		52,3	46,0	42,0	0,4	0,4
1У-F50	49,77	−16,7	45,5		67,5	57,5	52,5	0,5	0,5

Конструктивные параметры линз окуляров, мм

Обозначение	Номер линзы	Радиус r_1	Радиус r_2	Толщина по оси d	Световой диаметр D	Марка стекла	Фокусное расстояние f'	Вершинные фокусные расстояния	
								переднее S_F	заднее S'_F
1У-F20	I	-28,20	19,34	2,0	23,0	Ф13	-17,9	18,7	-18,5
	II	19,34	-19,34	10,5		К8	20,5	-16,7	16,7
	III	32,96	-17,63	9,0		К8	23,5	-19,4	21,3
	IV	-17,63	-86,95	1,5		Ф13	-35,5	35,3	-36,7
	V	28,20	-86,95	4,5	21,0	К8	41,5	-40,7	39,2
	I + II	—	—	12,5	23,0	—	207,1	-162,9	252,8
	III + IV	—	—	10,5		—	59,8	-59,0	53,7
1У-F25	I	-35,04	23,94	2,5	28,6	Ф13	-22,3	23,2	-22,9
	II	23,94	-23,94	13,0		К8	25,4	-20,6	20,6
	III	41,15	-21,69	11,5		К8	29,1	-23,8	26,3
	IV	-21,69	-108,12	2,0		Ф13	-43,6	43,3	-45,1
	V	35,04	-108,12	6,0	26,2	К8	51,6	-50,6	48,6
	I + II	—	—	15,5	28,6	—	252,5	-198,6	308,2
	III + IV	—	—	13,5		—	75,0	-73,9	67,0
1У-F30	I	-42,07	28,79	3,0	34,5	Ф13	-26,8	27,8	-27,5
	II	28,79	-28,79	15,5		К8	30,5	-24,9	24,9
	III	49,58	-26,06	13,5		К8	35,0	-28,8	31,7
	IV	-26,06	-130,02	2,0		Ф13	-52,3	52,0	-53,8
	V	42,07	-130,02	7,0	31,5	К8	61,9	-60,8	58,4
	I + II	—	—	18,5	34,5	—	308,3	-243,0	375,9
	III + IV	—	—	15,5		—	90,3	-89,2	80,8
1У-F35	I	-48,92	33,50	3,0	40,0	Ф13	-31,2	32,3	-31,9
	II	33,50	-33,50	18,0		К8	35,4	-28,9	28,9
	III	54,47	-30,19	15,0		К8	39,7	-33,0	36,0
	IV	-30,19	-150,8	3,0		Ф13	-60,7	60,2	-63,0
	V	48,92	-150,8	8,0	37,0	К8	72,0	-70,7	67,9
	I + II	—	—	21,0	40,0	—	367,0	-290,8	445,5
	III + IV	—	—	18,0		—	99,6	-98,3	88,8
1У-F40	I	-57,63	38,61	4,0	46,0	Ф13	-36,2	37,7	-37,2
	II	38,61	-38,61	19,5		К8	40,6	-33,6	33,6
	III	66,18	-34,91	16,5		К8	46,5	-39,0	42,5
	IV	-34,91	-165,3	3,0		Ф13	-71,1	70,6	-73,4
	V	57,63	-165,3	8,5	42,0	К8	93,4	-91,8	89,4
	I + II	—	—	23,5	46,0	—	409,2	-327,2	492,0
	III + IV	—	—	19,5		—	118,0	-116,2	106,4
1У-F50	I	-70,01	48,04	5,0	57,5	Ф13	-44,6	46,4	-45,8
	II	48,04	-48,04	24,5		К8	50,6	-41,7	41,7
	III	80,00	-43,28	21,0		К8	57,3	-47,8	52,2
	IV	-43,28	-215,30	4,5		Ф13	-87,1	86,4	-90,6
	V	70,01	-215,30	11,5	52,5	К8	103,0	-101,1	97,2
	I + II	—	—	29,5	57,5	—	551,1	-439,7	665,9
	III + IV	—	—	25,5		—	145,9	-143,8	130,6

Второй набор окуляров с удаленным зрачком

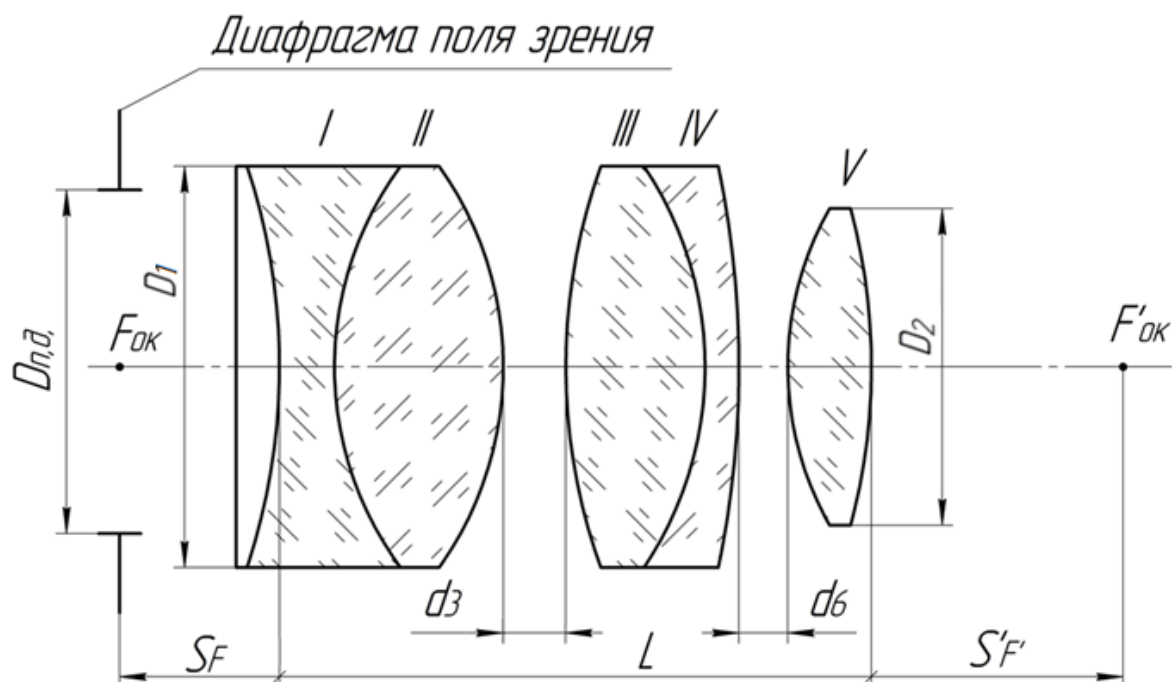


Таблица П.15

Основные данные окуляров, мм

Обо- значе- ние оку- ляра	Фокус- ное рассто- яние f'	Вершинные фокусные расстояния		Поле зре- ния $2\omega'$	Габаритные размеры, мм				
		переднее S_F	заднее $S'_{F'}$		Длин а L	Световые диаметры		Расстояние между линзами	
						D_1	D_2	d_3	d_6
2У-F20	19,85	−5,8	18,4	50°	28,9	23,0	21,0	0,2	0,2
2У-F25	24,91	−7,2	23,4		35,9	28,6	26,2	0,2	0,2
2У-F30	29,90	−9,7	27,7		41,1	34,5	31,5	0,3	0,3
2У-F35	35,60	−11,7	33,2		48,1	40,0	37,0	0,3	0,3
2У-F40	39,94	−13,7	37,9		51,8	46,0	42,0	0,4	0,4
2У-F50	49,86	−16,6	47,3		65,0	57,5	52,5	0,5	0,5

Конструктивные параметры линз окуляров, мм

Обозначение	Номер линзы	Радиус r_1	Радиус r_2	Толщина по оси d	Световой диаметр D	Марка стекла	Фокусное расстояние f'	Вершинные фокусные расстояния	
								переднее S_F	заднее S'_F
2У- F20	I	-26,32	19,81	2,0	23,0	Ф13	-17,8	18,4	-18,2
	II	19,81	-19,81	10,5		К8	20,9	-17,1	17,1
	III	32,96	-17,29	9,5		К8	23,6	-19,2	21,3
	IV	-17,29	-86,06	1,5		Ф13	-35,6	35,3	-36,8
	V	26,32	-86,06	5,0	21,0	К8	39,3	-38,5	36,8
	I + II	—	—	12,5	23,0	—	344,7	-272,9	424,8
	III + IV	—	—	11,0		—	59,8	-59,0	53,5
2У- F25	I	-33,27	24,92	2,5	28,6	Ф13	-22,3	23,2	-22,9
	II	24,92	-24,92	13,5		К8	26,4	-21,5	21,5
	III	41,69	-21,80	11,5		К8	29,3	-24,0	26,6
	IV	-21,80	-108,60	2,0		Ф13	-44,8	43,5	-45,3
	V	33,27	-108,60	6,0	26,2	К8	49,7	-48,7	46,6
	I + II	—	—	16,0	28,6	—	405,0	-319,1	500,5
	III + IV	—	—	13,5		—	75,9	-74,8	67,8
2У- F30	I	-39,67	29,78	2,5	34,5	Ф13	-26,7	27,6	-27,3
	II	29,78	-29,78	15,0		К8	31,3	-25,9	25,9
	III	47,31	-25,88	13,5		К8	34,3	-28,2	31,0
	IV	-25,88	-129,36	2,5		Ф13	-52,0	51,6	-53,9
	V	39,67	-129,36	7,0	31,5	К8	59,1	-58,0	55,5
	I + II	—	—	17,5	34,5	—	583,1	-469,6	709,4
	III + IV	—	—	16,0		—	86,5	-85,3	76,8
2У- F35	I	-46,72	35,04	3,0	40,0	Ф13	-31,4	32,5	-32,2
	II	35,04	-35,04	18,0		К8	36,9	-30,4	30,4
	III	55,72	-30,60	15,0		К8	40,4	-33,6	36,6
	IV	-30,60	-152,93	3,5		Ф13	-61,6	61,0	-64,3
	V	46,72	-152,93	8,5	37,0	К8	72,1	-70,7	67,8
	I + II	—	—	21,0	40,0	—	653,4	-523,7	797,8
	III + IV	—	—	18,5		—	101,9	-100,4	90,9
2У- F40	I	-53,39	39,82	3,5	46,0	Ф13	-35,8	37,0	-36,7
	II	39,82	-39,82	19,5		К8	41,8	-34,8	34,8
	III	65,58	-35,17	17,0		К8	46,7	-39,0	42,5
	IV	-35,17	-166,76	2,5		Ф13	-71,5	71,0	-73,4
	V	53,39	-166,76	8,5	42,0	К8	78,8	-77,4	74,5
	I + II	—	—	23,0	46,0	—	777,0	-628,7	941,2
	III + IV	—	—	19,5		—	117,1	-115,5	105,4
2У- F50	I	-66,67	50,16	4,5	57,5	Ф13	-44,9	46,4	-46,1
	II	50,16	-50,16	24,5		К8	52,6	-43,8	43,8
	III	83,51	-43,84	21,0		К8	58,6	-49,0	53,5
	IV	-43,84	-200,90	4,0		Ф13	-90,1	89,5	-93,3
	V	66,67	-200,90	11,0	52,5	К8	97,6	-95,8	92,1
	I + II	—	—	29,0	57,5	—	1047,1	-847,2	1270,1
	III + IV	—	—	25,0		—	146,9	-144,4	132,4

Третий набор окуляров с удаленным зрачком

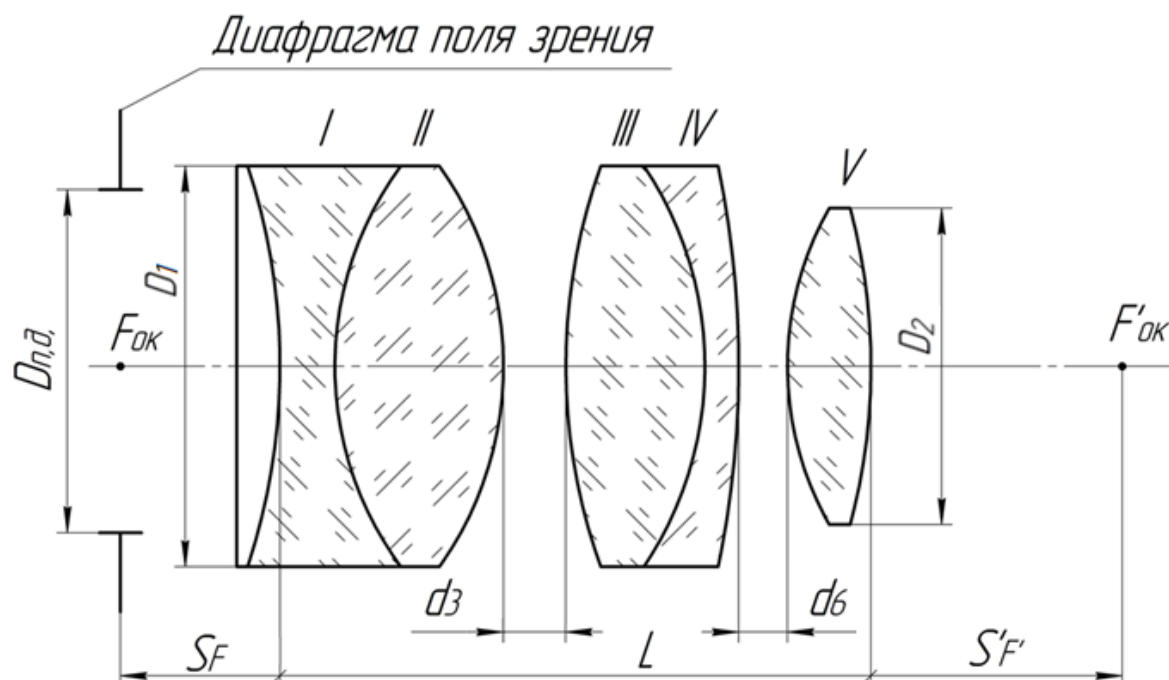


Таблица П.17

Основные данные окуляров, мм

Обо- значе- ние оку- ляра	Фокус- ное рассто- яние f'	Вершинные фокусные расстояния		Поле зре- ния $2\omega'$	Габаритные размеры, мм				
		переднее S_F	заднее $S'_{F'}$		Длина L	Световые диаметры		Расстояние между линзами	
						D_1	D_2	d_3	d_6
3У-F20	19,73	−5,7	19,0	50°	28,4	23,0	21,0	0,2	0,2
3У-F25	25,15	−7,7	24,2		35,4	28,6	26,2	0,2	0,2
3У-F30	29,87	−9,1	28,0		42,1	34,5	31,5	0,3	0,3
3У-F35	35,00	−12,1	32,8		46,1	40,0	37,0	0,3	0,3
3У-F40	39,88	−13,5	38,1		52,3	46,0	42,0	0,4	0,4
3У-F50	49,86	−16,8	47,3		66,0	57,5	52,5	0,5	0,5

Конструктивные параметры линз окуляров, мм

Обозначение	Номер линзы	Радиус r_1	Радиус r_2	Толщина по оси d	Световой диаметр D	Марка стекла	Фокусное расстояние f'	Вершинные фокусные расстояния	
								переднее S_F	заднее S'_F
ЗУ- F20	I	-25,44	20,39	2,0	23,0	Ф13	-17,7	18,4	-18,2
	II	20,39	-20,39	10,5		К8	21,5	-17,7	17,7
	III	32,92	-17,68	9,0		К8	23,5	-19,4	21,3
	IV	-17,68	-84,97	1,5		Ф13	-35,8	35,6	-37,0
	V	25,44	-84,97	4,5	21,0	К8	38,2	-37,5	35,9
	I + II	—	—	12,5	23,0	—	688,3	-549,1	852,3
	III + IV	—	—	10,5		—	59,2	-58,3	52,9
ЗУ- F25	I	-32,17	25,70	2,5	28,6	Ф13	-22,4	23,2	-23,0
	II	25,70	-25,70	13,0		К8	27,0	-22,3	22,3
	III	42,67	-22,46	11,0		К8	30,0	-25,0	27,4
	IV	-22,46	-106,84	2,0		Ф13	-45,7	45,3	-47,2
	V	32,17	-106,84	6,0	26,2	К8	48,2	-47,3	45,2
	I + II	—	—	15,5	28,6	—	888,9	-712,1	1096,6
	III + IV	—	—	13,0		—	76,2	-75,1	68,6
ЗУ- F30	I	-38,34	30,60	2,5	34,5	Ф13	-26,7	27,5	-27,4
	II	30,60	-30,60	15,5		К8	32,2	-26,6	26,6
	III	48,23	-26,06	13,5		К8	34,7	-28,5	31,3
	IV	-26,06	-127,50	2,5		Ф13	-52,6	52,2	-55,6
	V	38,34	-127,50	7,5	31,5	К8	57,5	-56,4	53,7
	I + II	—	—	18,0	34,5	—	1117,9	-899,9	1373,6
	III + IV	—	—	16,0		—	87,4	-86,1	77,8
ЗУ- F35	I	-44,89	35,60	2,5	40,0	Ф13	-30,2	31,1	-30,9
	II	35,60	-35,60	17,0		К8	36,3	-30,3	30,0
	III	54,46	-30,58	15,0		К8	40,1	-33,3	36,6
	IV	-30,58	-148,78	2,5		Ф13	-61,8	61,4	-63,7
	V	44,89	-148,78	8,5	37,0	К8	67,3	-66,0	63,9
	I + II	—	—	19,5	40,0	—	2107,2	-1724,3	2559,3
	III + IV	—	—	17,5		—	87,4	-86,1	77,8
ЗУ- F40	I	-51,50	40,09	3,5	46,0	Ф13	-35,4	36,5	-36,3
	II	40,09	-40,09	19,5		К8	42,0	-35,0	35,0
	III	65,75	-35,82	16,5		К8	47,2	-39,7	43,1
	IV	-35,82	-170,23	3,0		Ф13	-72,8	72,3	-75,2
	V	51,50	-170,23	9,0	42,0	К8	77,1	-75,7	72,5
	I + II	—	—	23,0	46,0	—	1182,0	-957,9	1439,4
	III + IV	—	—	19,5		—	117,7	-116,0	106,1
ЗУ- F50	I	-63,36	50,63	4,5	57,5	Ф13	-44,1	45,6	-45,3
	II	50,63	-50,63	24,0		К8	52,9	-44,4	44,4
	III	80,38	-44,15	20,5		К8	58,0	-48,8	53,0
	IV	-44,15	-213,50	4,0		Ф13	-89,4	88,8	-92,5
	V	63,36	-213,50	12,0	52,5	К8	95,3	-93,5	89,1
	I + II	—	—	28,5	57,5	—	2408,3	-1961,1	2934,1
	III + IV	—	—	24,5		—	145,0	-143,0	130,3

Набор окуляров Эрфле

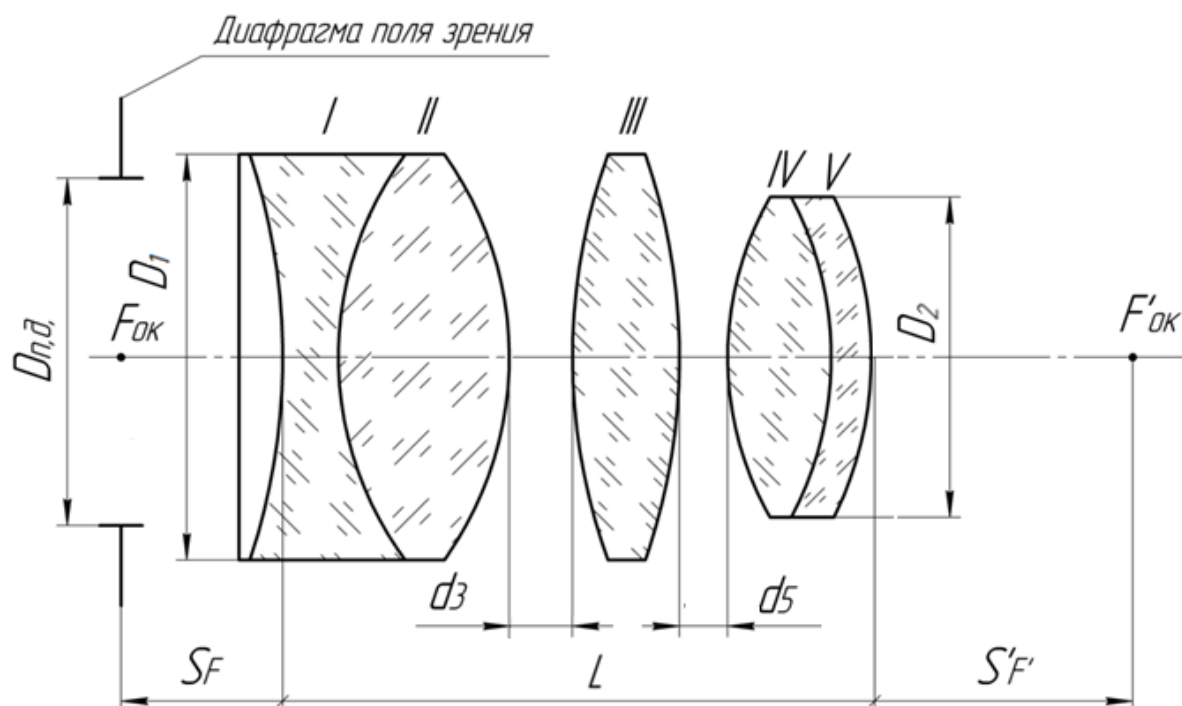


Таблица П.19

Основные данные окуляров, мм

Обо- значе- ние оку- ляра	Фо- кусное рас- стоя- ние f'	Вершинные фокусные расстояния		Поле зре- ния $2\omega'$	Габаритные размеры, мм				
		переднее S_F	заднее $S'_{F'}$		Длина L	Световые диаметры		Расстояние между линзами	
						D_1	D_2	d_3	d_5
Э-F20	16,19	−3,5	8,7	65°	33,9	29,0	26,0	0,20	0,20
Э-F25	27,87	−8,8	17,0		40,4	36,5	32,5	0,25	0,25
Э-F30	28,50	−9,4	20,0		47,0	44,0	39,0	0,30	0,30
Э-F35	34,72	−12,3	25,2		63,4	58,5	52,0	0,40	0,40
Э-F40	39,52	−13,3	28,5		54,3	51,0	45,5	0,40	0,40
Э-F50	49,51	−18,4	35,3		74,5	73,0	65,0	0,50	0,50

Конструктивные параметры линз окуляров, мм

Обозначение	Номер линзы	Радиус r_1	Радиус r_2	Толщина по оси d	Световой диаметр D	Марка стекла	Фокусное расстояние f'	Вершинные фокусные расстояния	
								переднее S_F	заднее S'_F
Э- F20	I	-44,89	25,54	1,5	29,0	Ф13	-25,7	26,3	-26,0
	II	25,54	-25,54	13,0		К8	26,9	-22,2	22,4
	III	25,76	-56,76	6,5		К8	35,0	-33,6	32,0
	IV	23,54	-27,50	11,0	26,0	К8	26,3	-22,7	22,1
	V	-27,50	-136,30	1,5		Ф13	-55,1	54,9	-56,3
	I + II	—	—	14,5	29,0	—	180,5	-146,2	210,8
	IV + V	—	—	12,5	26,0	—	44,2	-43,8	36,4
Э- F25	I	-56,0	31,89	1,7	36,5	Ф13	-32,1	33,2	-32,5
	II	31,89	-31,89	15,0		К8	33,3	-28,0	28,0
	III	70,78	-70,78	7,6		К8	69,3	-66,7	67,7
	IV	29,41	-34,42	13,8	32,5	К8	33,9	-28,4	27,6
	V	-34,42	-170,23	1,8		Ф13	-69,0	68,7	-70,4
	I + II	—	—	16,7	36,5	—	237,0	-195,5	273,8
	IV + V	—	—	15,6	32,5	—	55,3	-54,76	45,5
Э- F30	I	-67,31	38,34	2,2	44,0	Ф13	-38,6	39,4	-39,1
	II	38,34	-38,34	18,0		К8	40,1	-33,9	33,9
	III	84,97	-84,97	9,0		К8	83,8	-80,1	80,1
	IV	32,29	-41,36	15,0	39,0	К8	37,5	-32,8	31,5
	V	-41,36	-204,2	2,2		Ф13	-83,0	83,6	-84,7
	I + II	—	—	20,2	44,0	—	284,6	-234,6	328,9
	IV + V	—	—	17,2	39,0	—	60,8	-60,3	50,0
Э- F35	I	-78,41	44,50	2,5	58,5	Ф13	-44,8	45,8	-45,4
	II	44,50	-44,50	21,0		К8	46,5	-39,0	39,0
	III	99,11	-99,11	10,5		К8	97,0	-93,5	93,5
	IV	41,15	-48,15	17,0	52,0	К8	45,6	-40,1	39,2
	V	-48,15	-238,0	2,5		Ф13	-96,6	96,2	-98,5
	I + II	—	—	23,5	58,5	—	327,1	-262,4	378,0
	IV + V	—	—	19,5	52,0	—	77,3	-76,6	65,1
Э- F40	I	-89,71	50,87	3,8	51,0	Ф13	-51,1	52,6	-52,0
	II	50,87	-50,87	24,0		К8	53,2	-44,6	44,6
	III	113,26	-113,26	12,0		К8	110,9	-106,8	106,8
	IV	47,01	-55,04	19,0	45,5	К8	52,0	-45,9	44,8
	V	-55,04	-271,50	3,8		Ф13	-110,6	110,0	-113,6
	I + II	—	—	27,8	51,0	—	368,5	-301,8	427,4
	IV + V	—	—	22,8	45,5	—	88,3	-87,5	74,2
Э- F50	I	-112,30	63,32	4,0	73,0	Ф13	-63,9	65,4	-64,8
	II	63,32	-63,32	29,0		К8	66,0	-55,7	55,7
	III	141,32	-141,32	13,5		К8	138,1	-133,6	133,6
	IV	58,83	-68,79	25,0	65,0	К8	65,3	-57,2	55,8
	V	-68,79	-340,40	4,0		Ф13	-138,0	137,4	-141,1
	I + II	—	—	33,0	73,0	—	464,2	-383,7	534,9
	IV + V	—	—	27,0	65,0	—	110,6	-109,5	92,4

Набор окуляров Гюйгенса

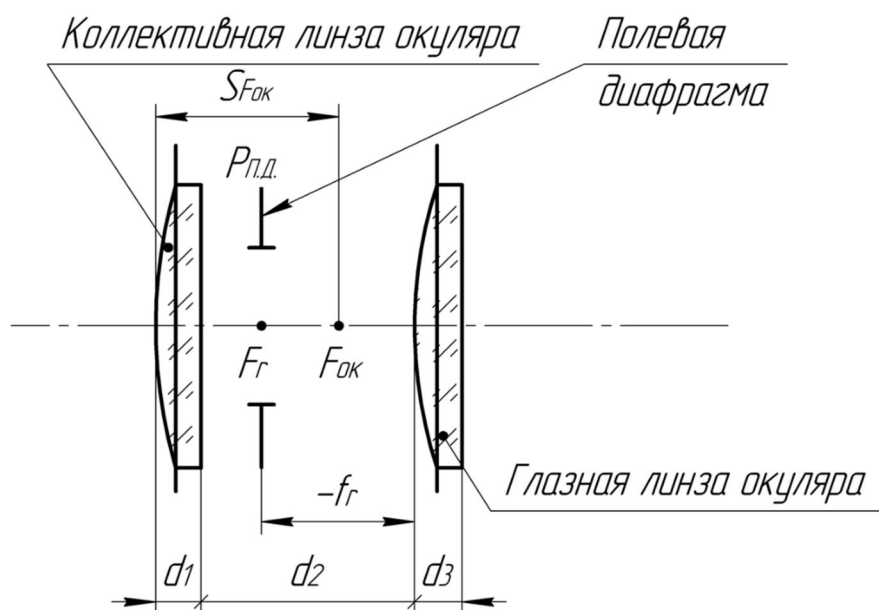


Таблица П.21

Конструктивные параметры линз окуляров, мм

Обозначение окуляра	Увеличение Г, крат	Радиус r_1	Радиус $r_2 = r_4$	Радиус r_3	Толщина по оси d_1	Расстояние между линзами d_2	Толщина по оси d_3	Марка стекла		Световой диаметр	
								коллективная линза	глазная линза	коллективная линза	глазная линза
АМ-6	4	25,39	∞	17,76	4,0	53,6	2,5	К14	К14	20,0	8,0
АМ-30	4	46,35	∞	23,77	4,5	67,0	3,0	К8	К8	19,0	11,0
АМ-4	4	25,39	∞	17,76	4,0	53,6	2,5	К14	К14	20,0	8,0
АМ-5	5	25,39	∞	15,42	5,0	47,4	2,0	К8	К8	20,0	10,0
АМ-11	7	22,80	∞	11,484	3,2	37,4	2,5	К8	К8	20,0	7,0
АМ-31	7	22,91	∞	16,218	4,0	34,3	3,5	К8	К8	20,0	6,4
АМ-7	7	22,80	∞	11,484	3,0	37,4	2,5	К8	К8	16,5	7,0
АМ-8	8	22,96	∞	11,86	5,0	31,6	2,0	К8	К8	20,0	10,0
М-10	10	24,07	∞	10,18	3,0	25,9	2,5	Ф1	К14	15,0	8,0
АМ-10	10	24,07	∞	10,18	3,0	25,9	2,5	Ф1	К14	15,0	8,0
М-11	15	18,66	∞	7,47	3,0	16,8	1,5	ТФ1	К14	9,0	5,0

Учебное издание

Парко Ирина Владимировна
Бобылева Елизавета Геннадьевна

ПРИКЛАДНАЯ ОПТИКА ОКУЛЯРЫ ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Редактор *О. В. Георгиевская*
Компьютерная верстка *А. П. Бочарниковой*

Изд. лиц. ЛР № 020461 от 04.03.1997.
Подписано в печать 18.12.2025. Формат 60 × 84 1/16.
Усл. печ. л. 2,49. Тираж 90 экз. Заказ 180.
Гигиеническое заключение
№ 54.НК.05.953.П.000147.12.02. от 10.12.2002.
Издательско-полиграфический центр СГУГиТ
630108, Новосибирск, ул. Плахотного, 10.
Отпечатано в издательско-полиграфическом центре СГУГиТ
630108, Новосибирск, ул. Плахотного, 8