

# ОПТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ ПРИБОРОВ НОЧНОГО ВИДЕНИЯ

В.Волков, Г.Леонова,  
В.Саликов, С.Украинский  
gup-alpha@mtu-net.ru

**П**риборы ночного видения (ПНВ) сейчас интенсивно развиваются [1]. Они находят широкое применение там, где требуется наблюдение при низких уровнях освещенности: охрана объектов, работа спасательных, пограничных и таможенных служб, спецподразделений МВД; экологический, диспетчерский и технологический контроль и пр. В статье описываются новые схемы оптических систем для ПНВ: объективы, насадка, окулярные системы, оптика целеуказателей. Рассматриваются их возможности и основные характеристики.

Для решения с помощью ПНВ перечисленных задач им нужны эффективные оптические системы и элементы: объективы (в том числе для лазерных целеуказателей и осветителей) и окулярные системы. В статье рассмотрены новые оптические системы такого типа. Они рассчитаны для приборов, использующих ЭОП поколений 2<sup>+</sup>, 2<sup>++</sup>, 3 и 4.

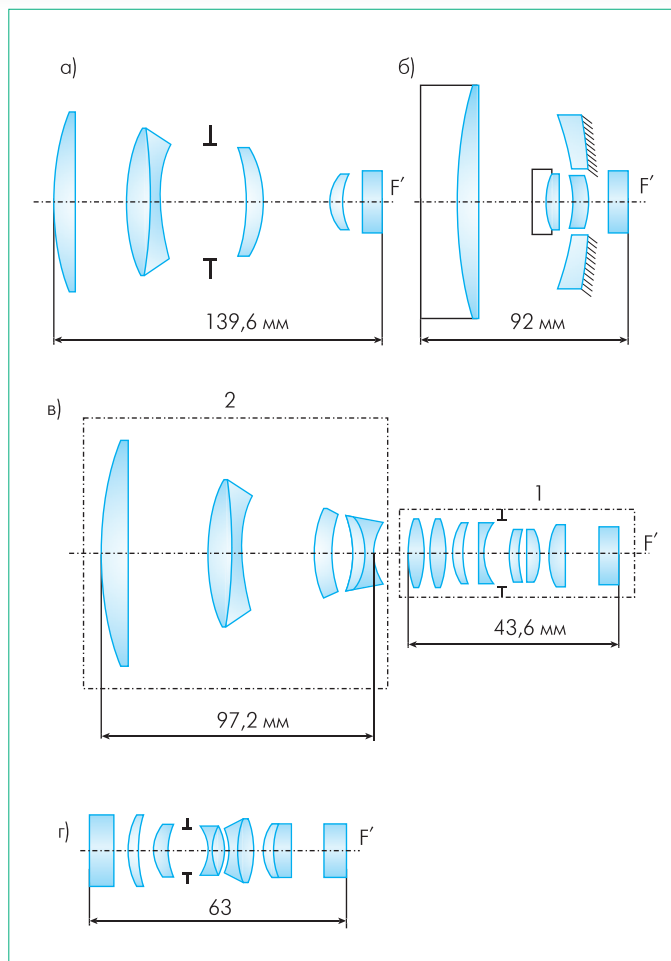
## ОБЪЕКТИВЫ

Рассмотрим оптические схемы объективов (рис.1). Схемы линзового и зеркально-линзового объективов для ночного бинокля приведены на рис.1а и 1б, соответственно, а их параметры представлены в таблице (столбцы Рис.1а и Рис.1б, соответственно).

Преимущества зеркально-линзового объектива связаны с более высоким качеством изображения, меньшей массой и габаритами. Однако такой объектив более сложен в сборке и юстировке и имеет более высокую стоимость. В связи с этим выбор того или иного объектива определяется экономическими соображениями в каждом конкретном случае.

Есть еще одна альтернатива, связанная с применением телескопической линзовой насадки на объектив псевдобинокулярных очков ночного видения. Она дает возможность не только улучшить дальность действия очков, но и легко производить монтаж или демонтаж насадки в полевых условиях, не нарушая герметичности прибора. Схема такой насадки в сочетании с объективом очков ночного видения приведена на рис.1в, ее увеличение 4<sup>×</sup>. В сочетании с объективом очков она обеспечивает параметры, приведенные в таблице (столбец Рис.1в-н), а линзовый объектив, представленный на рис.1в, имеет параметры, приведенные в столбце Рис.1в-о. Однако этот объектив не подходит для работы с очками под водой. В связи с этим был рассчитан гидрообъектив (рис.1г), который имеет параметры, приведенные в таблице (столбец Рис.1г).

Очки ночного видения используются обычно вместе с лазерным целеуказателем, монтируемым на оружии, образуя ночной прицельный комплекс, используемый спецподразделениями МВД в ночных условиях [1]. К такому целеуказателю был разработан объектив для коллимации его излучения.

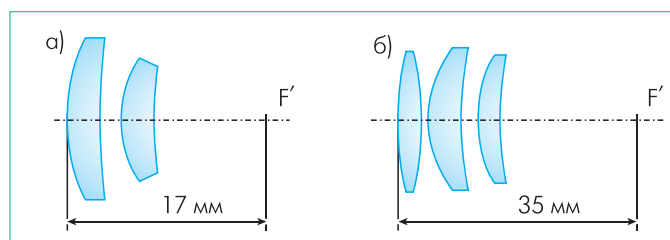


**Рис.1** Оптические схемы объективов: а) оптическая схема линзового объектива с фокусным расстоянием 100 мм; б) оптическая схема зеркально-линзового объектива с фокусным расстоянием 100 мм; в) оптическая схема линзового объектива с фокусным расстоянием 26 мм (1) с телескопической насадкой (2) и увеличением 4<sup>x</sup>; г) оптическая схема линзового гидро-объектива с фокусным расстоянием 26 мм

Схема объектива дана на рис.2а, а его параметры приведены в таблице (столбец Рис.2а, левые варианты). Однако для стрельбы под водой такой объектив не пригоден. В связи с этим была рассчитана его модификация (рис.2б), параметры которой приведены в таблице (столбец Рис.2а/б, правые варианты).

Для активно-импульсных ПНВ (АИ ПНВ) с импульсным лазерным подсветом и синхронизированным с ним импульсным управлением от электронно-оптического преобразователя (ЭОП) в приемной части ПНВ предложена схема комбинированного объектива [1]. Его зеркально-линзовый канал (рис.3) с фокусным расстоянием 150 мм, эффективным относительным отверстием 1:1,5 и углом поля зрения 7° сфокусирован на фотокатод ЭОП. Другие его параметры: расчетная длина волны 0,8 мкм; диапазон ахроматизации 0,404–0,9 мкм; коэффициент передачи контраста для точки на оси на пространственной частоте (характеризующей число штрихов на миллиметр) 15 штр/мм – 0,95; тот же коэффициент на частоте 30 штр/мм – 0,9; тот же коэффициент (при тех же частотах), но для края поля зрения, – 0,7 и 0,4, соответственно, и масса в стекле 450 г.

Центральная часть (1) первого линзового элемента объектива и линза (2) образуют линзовый объектив с фокусным



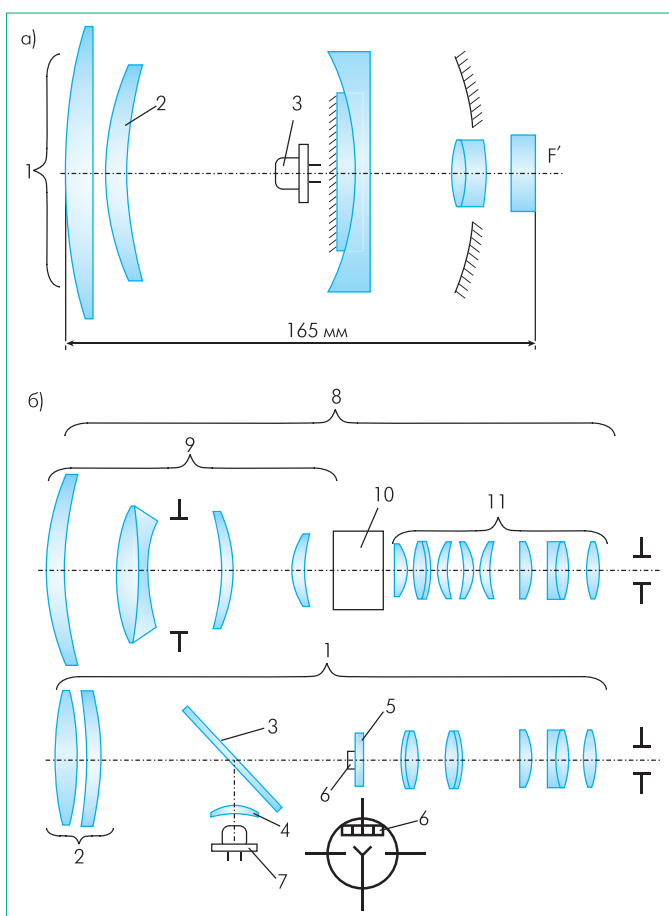
**Рис.2** Оптическая схема линзового объектива: а) для лазерного целеуказателя и его модификации б) для системы подводного видения

Таблица параметров объективов, представленных на рисунках 1, 2 и 4

Параметры объективов	Рис.1а	Рис.1б	Рис.1в-н	Рис.1в-о	Рис.1г	Рис.2а/б	Рис.4а	Рис.4б
Фокусное расстояние, мм	100	100	104	26	26	13/26	200	50
Относительное отверстие	1:1,5	1:1,5	1:1,55	1:1,2	1:1,3	1:1,2	1:1,32	1:1,5
Угол поля зрения, град (мрад)	10	10	5	40	30	1/0,5 мрад	6	20
Линейное поле зрения, мм	17,5	17,5	9,08	17,5	17,5	–	17,5	–
Расчетная длина волны, мкм	0,8	0,8	0,656	0,8	0,546	0,85/0,546	1,7	8-12
Диапазон ахроматизации, мкм	0,65–0,9	0,4–0,9	0,5–0,9	0,65–0,9	0,48–0,6	0,8–0,9/0,5–0,6	1,3–2,3	–
Коэффициент передачи контраста на оси (15/30 штр/мм)	0,9/0,75	0,95/0,85	0,593/0,393	0,9/0,75	0,98/0,75	–	0,85/0,75	–
Коэффициент передачи контраста на краю поля зрения (15/30 штр/мм)	0,6/0,3	0,8/0,5	0,5/0,271	0,6/0,3	0,7/0,5	–	0,6/0,3	–
Диаметр максимального кружка рассеяния, мкм	–	–	–	–	–	3/4	–	50/150*
Масса в стекле, г	202	120	211	20	30/20**	2,5/10	3444	–

Примечание: Рис.1в-н – данные для насадки; Рис.1в-о – данные для объектива; \* для точки на оси/для края поля зрения; \*\* с иллюминатором/без иллюминатора.

расстоянием 115 мм и относительным отверстием 1:1,4. Объектив рассчитан на длину волны 0,863 мкм и сфокусирован на импульсный лазерный п/п излучатель ИЛПИ-110. Объектив формирует его излучение в угле подсвета  $1 \times 0,5^\circ$ . Диаметр наибольшего кружка рассеяния объектива составляет 0,1 мм. Другой вариант комбинированного объектива (рис.3б) предусматривает наличие в АИ ПНВ дневного канала (1) с увеличением  $8^\times$  и углом поля зрения  $8^\circ$ . Первый двухлинзовый элемент (2) этого канала в сочетании с дихроичным зеркалом (3), пропускающим свет в спектральном диапазоне 0,4–0,75 мкм и отражающим излучение на длине волны  $0,85 \pm 0,03$  мкм, и линзой (4) образует объектив, формирующий излучение импульсного лазерного осветителя. Такой объектив имеет те же параметры, что и линзовый объектив

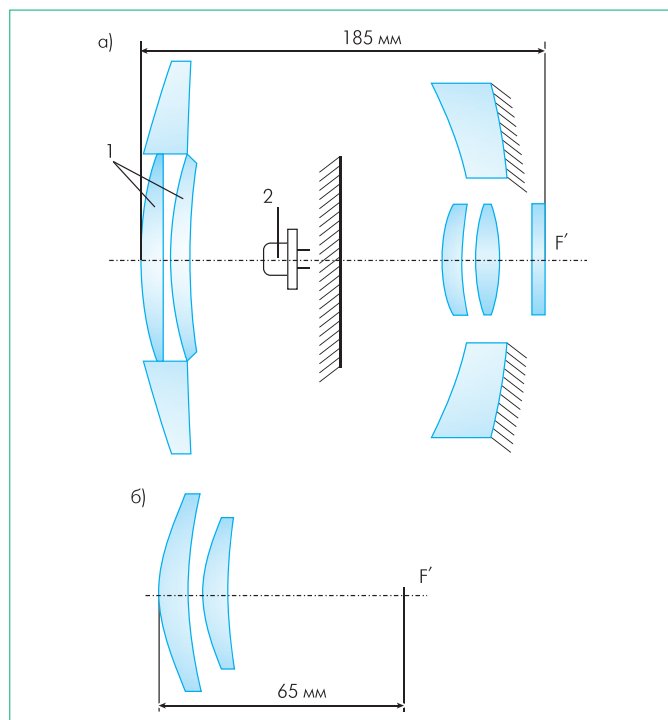


**Рис.3** Оптическая схема комбинированного объектива для активно-импульсного ПНВ:  
 а) зеркально-линзовый объектив с коаксиальным линзовым объективом формирования излучения лазерного осветителя: центральная часть первой линзы (1), используемая одновременно в качестве первой линзы объектива формирования излучения, вторая линза (2), импульсный лазерный полупроводниковый излучатель (ИЛПИ) (3);  
 б) дневной канал наблюдения (1): двухлинзовый элемент (2), дихроичное зеркало (3), линза (4), визирная марка (5), светодиодный индикатор дальности (6), ИЛПИ (7), активно-импульсный приемный ночной канал наблюдения (8), линзовый объектив (9), ЭОП ЭПМ-44Г (бипланарного поколения  $2^+$  без оборачивания изображения) (10), микроскоп (11)

на рис.3а. С визирной маркой (5) дневного канала сопряжен четырехрядный девяти сегментный индикатор дальности (6) ночного активно-импульсного канала. Поле зрения дневного наблюдения формируется блоком (1) на рис.3б.

Для светодиодных и лазерных осветителей может быть использована линза Френеля [2]. Ее фокусное расстояние от 10 до 300 мм, относительное отверстие до 1:1, работает в видимой и ближней инфракрасной области спектра, формирует угол подсвета (в зависимости от типа излучателя) от  $1$  до  $10^\circ$ , диаметр кружка рассеяния 0,1 мм, масса меньше 10 г.

Объективы для ПНВ традиционно ахроматизированы в области спектра 0,4–0,9 мкм. Это связано с рабочей областью наиболее употребительных фотокатодов многощелочных или арсенид-галлиевых фотокатодов ЭОП. Однако за последние годы получили развитие ЭОП четвертого поколения и, соответственно, ПНВ, работающие в области спектра 1–2,3 мкм [3]. В связи с этим появились объективы для этой области спектра. На рис.4а показана схема такого объектива, параметры, которого приведены в таблице (столбец Рис.4а). В центральной нерабочей части первого линзового элемента объектива установлен двухлинзовый объектив (1) формирования излучения светодиодного излучателя. Объектив имеет фокусное расстояние 100 мм, относительное отверстие 1:1,2, расчетную длину волны 1,7 мкм, угол подсвета  $1^\circ$  и максимальный кружок рассеяния 0,12 мм. Он сфокусирован на лазерный полупроводниковый излучатель LD-17 [5], генерирующий на этой длине волны.



**Рис.4** Оптические схемы инфракрасных объективов:  
 а) оптическая схема линзового объектива для области спектра 1,3–2,3 мкм: объектив формирования излучения (1), лазерный п/п излучатель (2);  
 б) оптическая схема двухлинзового объектива для области спектра 8–14 мкм

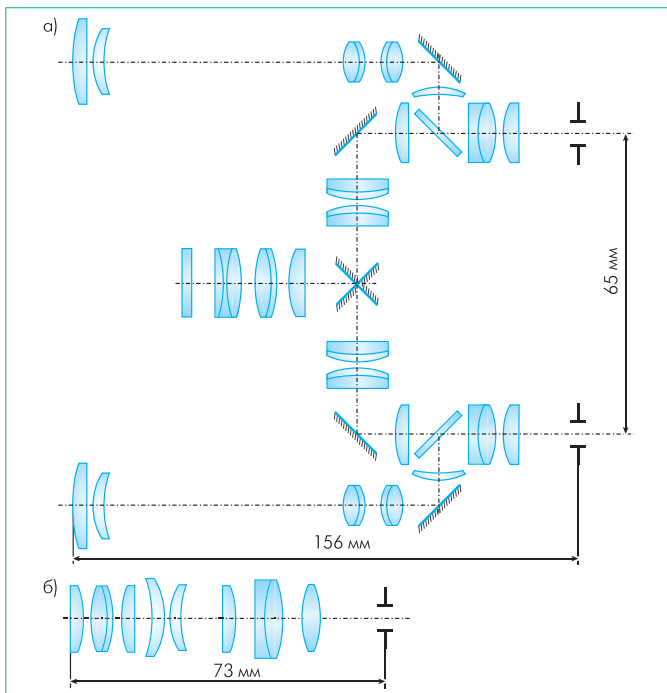
Для обеспечения обнаружения теплоизлучающих объектов ПНВ целесообразно укомплектовать теплообнаружителем, выполненным на базе тепловизионного ЭОП [4]. Для такого ЭОП был разработан двухлинзовый германиевый объектив (рис.4б), приведенный в таблице (столбец Рис.4б). Это вполне приемлемое решение для задач теплообнаружения.

### ОКУЛЯРНЫЕ СИСТЕМЫ

Рассмотрим окулярные системы. Для псевдобинокулярных очков ночного видения и ночных биноклей используется псевдобинокулярный микроскоп (рис.5а). При создании дневного/ночного прибора наблюдения такой микроскоп был дополнен дневными каналами (1), имеющими увеличение  $6\times$  и угол поля зрения  $8^\circ$ , причем удаление выходного зрачка (20 мм) и его диаметр (10 мм) были сохранены прежними. Масса микроскопа при этом возросла всего на 20 г и составила 85 г.

Для ночного монокуляра с использованием бипланарного ЭОП без оборачивания изображения необходим монокулярный микроскоп. Его схема приведена на рис.5б. Микроскоп имеет: увеличение  $12,5\times$ ; линейное поле зрения 17,5 мм; расчетную длину волны 0,545 мкм; диапазон ахроматизации 0,53–0,56 мкм и удаление выходного зрачка 20 мм при его диаметре 10 мм. Он пригоден как для обычного, так и подводного применения монокуляра. Последний может быть использован в составе ночного прицельного комплекса, о котором говорилось выше.

Таким образом, существует достаточно широкая номенклатура оптических систем для ПНВ разного типа.



**Рис.5** Оптические схемы окулярных систем: а) оптическая схема псевдобинокулярного микроскопа с дневными каналами; б) оптическая схема монокулярного микроскопа

### ЛИТЕРАТУРА

1. Гейхман И.Л., Волков В.Г. Основы улучшения видимости в сложных условиях. – М., Недра-Бизнесцентр, 1999. – 286 с.
2. Волков В.Г. Применение линз Френеля в качестве объективов формирования излучения лазерных осветителей, используемых в технике ночного видения. — Вопросы оборонной техники. Серия 11, 1996, вып.1–2, с. 33–36.
3. Волков В.Г. Приборы ночного видения новых поколений. — Специальная техника, 2001, №5, с.2–8.
4. Волков В.Г. Электронно-оптические преобразователи. Обзор №5592. – М.:НТЦ "Информтехника", 2002, 143 с.
5. Laser diodes and light emitting diodes 1.6–4.6 mkm. – Проспект АО "ТЕХНОЭКРАН" при ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН, С.-Петербург, 2004.

### Метаматериалы для видимого света

Сделан еще один шаг в развитии технологии метаматериалов, позволивший им не только приблизиться к диапазону видимого света (как мы уже сообщали в этом номере), но и впервые разработать метаматериалы с отрицательным показателем преломления (ОПП) для красной области видимого света. Сделали это специалисты компании Ames Laboratory (США).

Как и в предыдущих исследованиях (под руководством проф. В.Шалаева в Purdue University), использовался сэндвич из плоского серебряного листа и фторида магния на стеклянной подложке. На его поверхности формировалась путем травления матрица из 100-нм овальных отверстий. ОПП такого материала составил 0,6 для света длиной волны 780 нм. Использование серебра продиктовано его меньшим сопротивлением и потерями энергии, что было одним из ограничивающих факторов при проектировании метаматериалов.

[www.nanometer.ru/2007/01/08/9252038.html](http://www.nanometer.ru/2007/01/08/9252038.html)

### Заседание Президиума Российской Академии наук

27 февраля 2007 года состоялось очередное заседание Президиума Российской Академии наук, на котором было заслушано научное сообщение "Фундаментальные проблемы исследования и применения метаматериалов". Докладчики: акад. Гуляев Ю.В., чл.-корр. Лагарьков А.Н. и чл.-корр. Никитов С.А.

В докладе обсуждались новые явления, связанные с метаматериалами, такие как сверхразрешение элементов, находящихся на расстоянии, меньшем длины волны; возможность организации с их помощью систем маскировки и другие возможности.

В обсуждении приняли участие: академики Дианов Е.М., Фортвов В.Е., Андреев А.Ф. и Месяц Г.А.

[www.ras.ru/news/](http://www.ras.ru/news/)