

High technology of night vision system with image intensifiers manufacture. State and summary of 2003 year

V. I. Loktionov

Katod Joint-Stock Company, Novosibirsk, Russia

State and summary of night vision system with image intensifiers (hereinafter I^2) technology developed by JSC "Katod" are reviewed. Improvements in I^2 technology, achieved by JSC "Katod" may be divided into three full based directions: unfilmed I^2 , I^2 with 25 mm photocathode diameter and halo-free I^2 with automatic gate. Advantages of night vision system (hereinafter NVS) achieved with use of the new technologies presented.

УДК 621.383

Оптические системы для приборов ночного видения

В. Г. Волков, Г. А. Леонова, В. Л. Саликов, С. А. Украинский
ФГУП "Альфа", Москва, Россия

Описаны новые схемы оптических систем для приборов ночного видения: объективы, телескопическая насадка, окулярные системы, оптика целеуказателей. Рассмотрены их возможности и основные характеристики.

В настоящее время интенсивно развиваются приборы ночного видения (ПНВ). Они находят широкое применение везде, где требуется наблюдение при низких уровнях освещенности, а в ряде случаев — и при пониженной прозрачности атмосферы. Для таких ПНВ необходима разработка эффективных оптических систем. К ним относятся объективы, окулярные системы и объективы для лазерных целеуказателей и осветителей. В настоящей статье рассмотрены новые оптические системы такого рода. Они рассчитаны для приборов, в которых используются электронно-оптические преобразователи (ЭОП) поколений 2^+ , 2^{++} , 3 и 4.

Линзовый объектив (рис. 1, а) для ночного бинокля имеет: фокусное расстояние 100 мм; относительное отверстие 1:1,5; угол поля зрения 10° (линейное поле зрения 17,5 мм); расчетную длину волны 0,8 мкм; диапазон ахроматизации 0,65—0,9 мкм; коэффициент передачи контраста для точки на оси на пространственной частоте 15 штр/мм — 0,9, на частоте 30 штр/мм — 0,75, для края поля зрения — 0,6 и 0,3, соответственно, для данных частот; массу в стекле 202 г.

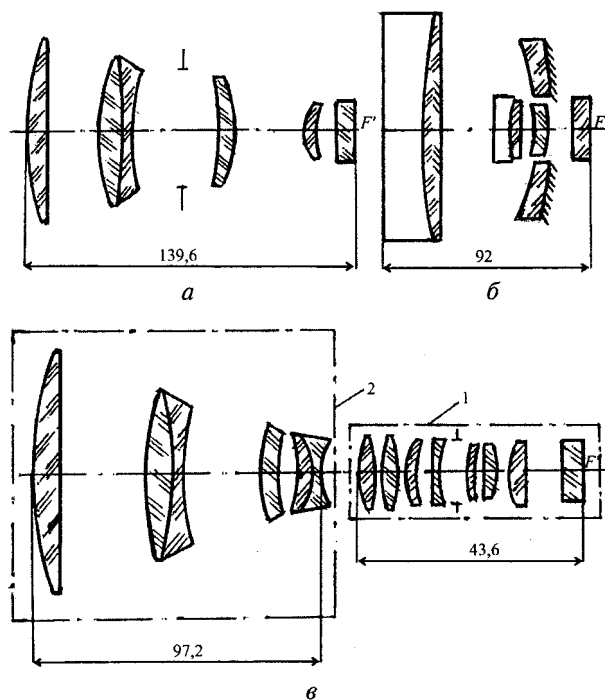


Рис. 1. Оптические схемы объективов:

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) в сочетании с телескопической насадкой (2) с увеличением $4\times$

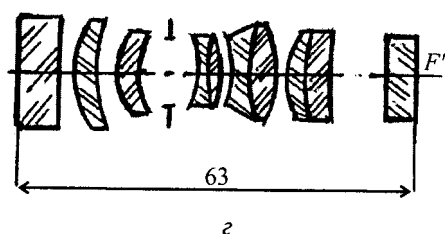


Рис. 1. Окончание. *г* — оптическая схема линзового гидро-объектива с фокусным расстоянием 26 мм

Зеркально-линзовый объектив (см. рис. 1, б) для ночного бинокля имеет: фокусное расстояние 100 мм; эффективное относительное отверстие 1:1,5; угол поля зрения 10° (линейное поле зрения 17,5 мм); расчетную длину волны 0,8 мкм; диапазон ахроматизации 0,4–0,9 мкм; коэффициент передачи контраста для точки на оси на пространственной частоте 15 штр/мм — 0,95, на частоте 30 штр/мм — 0,85, для края поля зрения — 0,8 и 0,5, соответственно, для данных частот; массу в стекле 120 г. Была рассчитана модификация этого объектива с расчетной длиной волны 1,06 мкм при диапазоне ахроматизации 0,8–1,7 мкм для ЭОП 4-го поколения. Преимущества зеркально-линзового объектива связаны с более высоким качеством изображения, меньшей массой и продольным габаритом. Однако такой объектив более сложен в сборке и юстировке, имеет более высокую стоимость. В связи с этим выбор того или иного объектива диктуется экономическими соображениями в каждом конкретном случае.

Есть еще один вариант, связанный с применением телескопической линзовой насадки на объектив псевдобинокулярных очков ночного видения. Это дает возможность не только приблизить дальность действия очков к дальности действия ночного бинокля, 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 дана на рис. 1, в. Насадка имеет увеличение $4\times$. В сочетании с объективом очков она обеспечивает: фокусное расстояние 104 мм; относительное отверстие 1:1,55; угол поля зрения 5° (линейное поле зрения 9,08 мм); расчетную длину волны 0,656 мкм; диапазон ахроматизации 0,5–0,9 мкм; коэффициент передачи контраста для точки на оси на пространственной частоте 15 штр/мм — 0,593, на частоте 30 штр/мм — 0,393, для края поля зрения — 0,5 и 0,271, соответственно, для данных частот; массу в стекле 211 г.

Представленный на рис. 1, в линзовый объектив имеет: фокусное расстояние 26 мм, относительное отверстие 1:1,2, угол поля зрения 40° (линейное поле зрения 17,5 мм); расчетную длину волны 0,8 мкм; диапазон ахроматизации 0,65–0,9 мкм; коэффициент передачи контраста для точки на оси на пространственной частоте

15 штр/мм — 0,9, на частоте 30 штр/мм — 0,75, для края поля зрения — 0,6 и 0,3, соответственно, для данных частот; массу в стекле 20 г. Однако этот объектив не подходит для работы очков под водой. В связи с этим был рассчитан гидро-объектив (см. рис. 1, г), который имеет фокусное расстояние 26 мм; относительное отверстие 1:1,3; угол поля зрения 30° (линейное поле зрения 17,5 мм); расчетную длину волны 0,546 мкм; диапазон ахроматизации 0,48–0,6 мкм; коэффициент передачи контраста для точки на оси на пространственной частоте 15 штр/мм — 0,98, на частоте 30 штр/мм — 0,75, для края поля зрения — 0,7 и 0,5, соответственно, для данных частот; массу в стекле 30 г (с иллюминатором) и 20 г (без иллюминатора).

Очки ночного видения используются совместно с лазерным целеуказателем, монтируемым на оружии, образуя ночной прицельный комплекс для обеспечения стрельбы в ночных условиях с ходу из любого положения оружия. Для такого целеуказателя был рассчитан объектив для коллимации его излучения. Схема объектива дана на рис. 2, а. Объектив имеет фокусное расстояние 13 мм; относительное отверстие 1:1,2; угол поля зрения 1 мрад; расчетную длину волны 0,85 мкм, диапазон ахроматизации 0,8–0,9 мкм; диаметр максимального кружка рассеяния 3 мкм; массу в стекле 2,5 г. Но для стрельбы под водой такой объектив непригоден. В связи с этим рассчитана его модификация (см. рис. 2, б), которая имеет: фокусное расстояние 26 мм, относительное отверстие 1:1,2; угол поля зрения 0,5 мрад; расчетную длину волны 0,546 мкм; диапазон ахроматизации 0,5–0,6 мкм; диаметр максимального кружка рассеяния 4 мкм; массу в стекле 10 г.

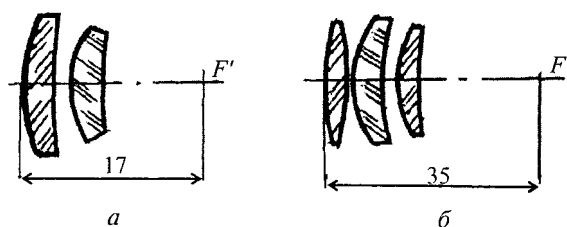


Рис. 2. Оптическая схема линзового объектива (а) для лазерного целеуказателя и его модификация (б) для системы подводного видения

Для активно-импульсного ПНВ предложена схема комбинированного объектива. Ее 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. Расчетная длина волны 0,8 мкм; диапазон ахроматизации 0,404–0,9 мкм; коэффициент передачи контраста для точки на оси на пространственной частоте 15 штр/мм — 0,95, на частоте 30 штр/мм — 0,9, для края поля зрения — 0,7 и 0,4, соответствен-

но, для данных частот; масса в стекле 450 г. Центральная часть первого линзового компонента объектива и вторая линза образуют линзовый объектив с фокусным расстоянием 115 мм и относительным отверстием 1:1,4 (см. рис. 3, а). Объектив рассчитан для длины волны 0,863 мкм и сфокусирован на импульсный лазерный полупроводниковый излучатель ИЛПИ-110, формируя его излучение в угле подсвета $1 \times 0,5^\circ$. Диаметр наибольшего кружка рассеяния этого объектива составляет 0,1 мм. Другой вариант комбинированного объектива (см. рис. 3, б) предусматривает наличие в АИ ПНВ дневного канала с увеличением $8\times$ и с углом поля зрения 8° . Первый двухлинзовый компонент этого канала в сочетании с дихроичным зеркалом, пропускающим свет в области спектра 0,4–0,75 мкм, отражающим излучение на длине волны $0,85 \pm 0,03$ мкм, и линзой образует объектив формирования излучения импульсного лазерного осветителя. Такой объектив имеет те же параметры, что и линзовый объектив по рис. 3, а. С визирной маркой дневного канала сопряжен четырехразрядный девяти сегментный индикатор дальности ночного активно-импульсного канала.

Объективы для ПНВ традиционно ахроматизированы в области спектра 0,4–0,9 мкм. Это связано с рабочей областью спектра наиболее употребительных фотокатодов многощелочных или арсенид-галлиевых фотокатодов ЭОП. Однако за последние годы наметилась тенденция развития ЭОП 4-го поколения и, соответственно, ПНВ, работающих в области спектра 1–2,3 мкм [2]. В связи с этим появились объективы для этой области спектра. На рис. 4, а дана схема такого объектива. Он имеет фокусное расстояние 200 мм; эффективное относительное отверстие 1:1,32; угол поля зрения 6° (линейное поле зрения 17,5 мм); расчетную длину волны 1,7 мкм; диапазон ахроматизации 1,3–2,3 мкм; коэффициент передачи контраста для точки на оси на пространственной частоте 15 штр/мм — 0,85, на частоте 30 штр/мм — 0,75, для края поля зрения — 0,6 и 0,3, соответственно, для данных частот; массу в стекле 3,444 кг. В центральной нерабочей части первого линзового компонента объектива установлен двухлинзовый объектив формирования излучения светодиодного излучателя. Объектив имеет фокусное расстояние 100 мм, относительное отверстие 1:1,2; расчетную длину

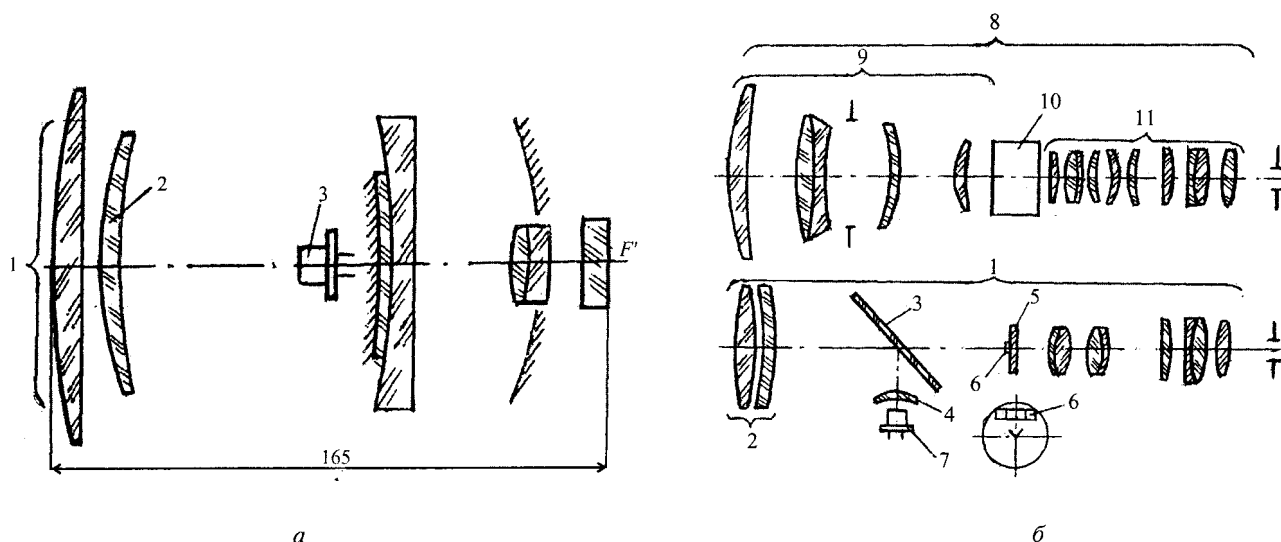


Рис. 3. Оптическая схема комбинированного объектива для активно-импульсного ПНВ:

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

Для светодиодных и лазерных осветителей может быть использована линза Френеля [1]. Она имеет 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° , имеет диаметр кружка рассеяния 0,1 мм, массу менее 10 г.

волны 1,7 мкм; угол подсвета 1° ; максимальный кружок рассеяния 0,12 мм. Он сфокусирован на лазерный полупроводниковый излучатель LD-17 [4], генерирующий на этой длине волны.

Для обеспечения обнаружения теплоизлучающих объектов прибор ночного видения целесообразно укомплектовать теплообнаружителем, выполненным на базе тепловизионного ЭОП [3].

Для такого ЭОП был рассчитан двухлинзовый германиевый объектив (рис. 4, б) с фокусным расстоянием 50 мм, относительным отверстием 1:1,5, углом поля зрения 20° . Он работает в области спектра 8–12 мкм. Диаметр кружка рассеяния для точки на оси составляет 0,05 мм, для края поля зрения — 0,15 мм. Это вполне приемлемо для решения задач теплообнаружения.

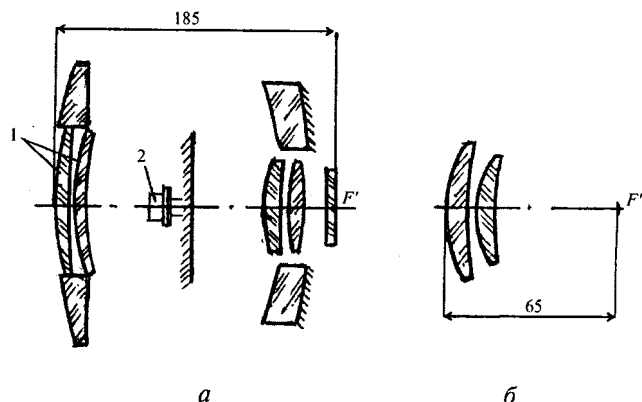


Рис. 4. Оптические схемы инфракрасных объективов:
 а — оптическая схема линзового объектива для области спектра 1,3–2,3 мкм: 1 — объектив формирования излучения; 2 — лазерный полупроводниковый излучатель;
 б — оптическая схема двухлинзового объектива для области спектра 8–14 мкм

Рассмотрим окулярные системы. Для псевдобинокулярных очков ночного видения и ночных биноклей используется псевдобинокулярный микроскоп (рис. 5, а). Для создания дневно-ночного прибора наблюдения такой микроскоп был рассчитан с дополнительными дневными каналами, имеющими увеличение $6\times$ и угол поля зрения 8° при сохранении прежних величин удаления выходного зрачка (20 мм) и его диаметра (10 мм). При этом масса микроскопа возросла всего лишь на 20 г и составила 85 г.

Для ночного монокуляра с использованием бипланарного ЭОП без оборачивания изображения необходим монокулярный микроскоп. Его схема дана на рис. 5, б. 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; удаление выходного зрачка 20 мм при его диаметре 10 мм. Микроскоп 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 разнообразного типа.

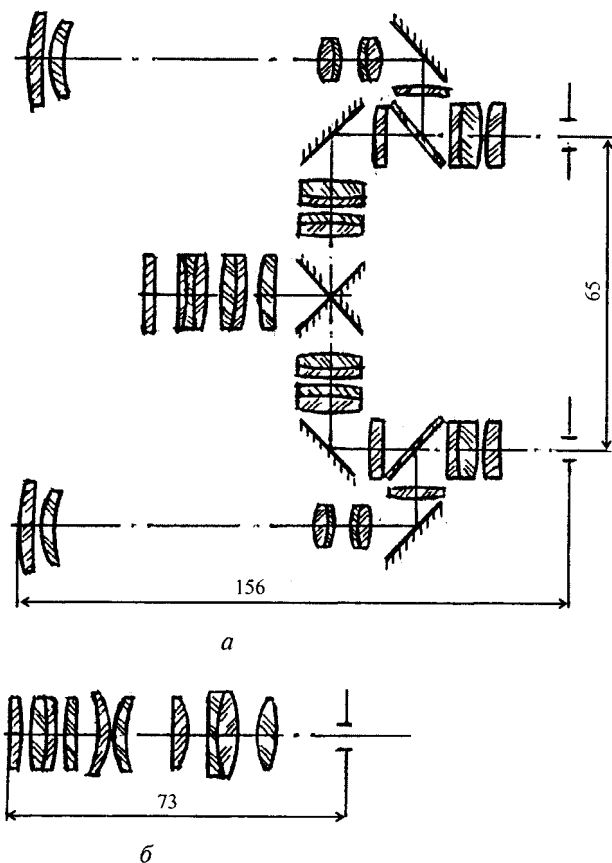


Рис. 5. Оптические схемы окулярных систем:
 а — оптическая схема псевдобинокулярного микроскопа с дневными каналами; б — оптическая схема монокулярного микроскопа

Л и т е р а т у р а

1. Волков В. Г. Применение линз Френеля в качестве объективов формирования излучения лазерных осветителей, используемых в технике ночного видения// Вопросы оборонной техники. Сер. 11. 1996. Вып. 1(148)—2(149). С. 33—36.

2. Волков В. Г. Приборы ночного видения новых поколений// Специальная техника, 2001. № 5. С. 2—8.

3. Волков В. Г. Электронно-оптические преобразователи// Обзор № 5592. НТЦ "Информтехника". — М., 2002. —143 с.

4. Laser diodes and light emitting diodes 1.6—4.6 μm / Проспект АО ТЕХНОЭКСАН при Физико-техническом институте им. А. Ф. Иоффе РАН. — СПб, 2004.

Статья поступила в редакцию 10 октября 2004 г.

Optical systems for night vision devices

V. G. Volkov, G.A. Leonova, V. L. Salicov, S. A. Ukrainsky
"ALPHA" Federal State Unitary Enterprise, Moscow, Russia

It is described new schemes of optical systems for night vision devices: objectives, afocal magnifier, ocular systems, objectives for laser aiming systems. It is examined its possibilities and the principal technical dates.

* * *