в.г. волков, п.д. гиндин

ЭЛЕМЕНТЫ ПРИБОРОВ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЯ

В 2-х книгах Книга 1

ТЕХНОСФЕРА МОСКВА 2024



УДК 622.232.8:621.384.3.01:531.714.2 ББК 32.816 В67

В67 Волков В.Г., Гиндин П.Д.

Элементы приборов визуализации изображения В 2-х книгах Книга 1 М.: ТЕХНОСФЕРА, 2024. – 872 с. ISBN 978-5-94836-698-2

В книге сначала рассматриваются все основные виды приборов визуализации изображения (ПВИ): их принцип действия, возможности, преимущества, недостатки. В дальнейшем, что и определяет главное содержание книги, рассмотрены основные элементы ПВИ:

 – для приборов ночного видения (ПНВ) – объективы, фильтры, электронно-оптические преобразователи (ЭОП), осветители и целеуказатели, окулярные системы, принадлежности и модульный принцип их построения;

 – для активно-импульсных приборов ночного видения (АИ ПНВ) – импульсные ЭОП, импульсные лазерные осветители;

 – для телевизионных систем (ТВС) – объективы, фильтры, ТВ-камеры, ТВ-мониторы, принадлежности общего назначения и стабилизаторы для ТВ-камер;

 – осветители и целеуказатели для ПНВ, ТВС, АИ ПНВ: светодиодные, лазерные, для ПВИ наземного и подводного видения;

для тепловизионных приборов (ТВП) – инфракрасные (ИК) объективы,
ИК-фильтры, сканирующие системы, фотоприемные устройства, блоки
электронной обработки, системы охлаждения и стабилизации температуры,
ИК-осветители и целеуказатели;

– для многоканальных ПВИ (МПВИ) – двух- и многоканальные объективы, их просветляющие и дихроичные покрытия, двух- и многоканальные фотоприемные устройства, мультиспектральные и гиперспектральные ТВ-камеры, модули для МПВИ, многоканальные модульные осветители-целеуказатели.

Для всех типов ПВИ рассмотрены их источники первичного питания – химические источники тока (ХИТ) – первичные ХИТ-элементы, герметичные щелочные и кислотные аккумуляторы, герметичные литиевые аккумуляторы, зарядка аккумуляторов и соответствующие зарядные устройства.

Данная книга является учебным пособием для студентов вузов, а также для аспирантов, научных и инженерно-технических работников, специализирующихся в области разработки, производства и применения ПВИ и их основной элементной базы в различных отраслях науки и техники.

© Волков В.Г., Гиндин П.Д., 2024 © АО «РИЦ «ТЕХНОСФЕРА», оригинал-макет, оформление, 2024

ISBN 978-5-94836-698-2

Содержание

Введение	
Глава 1. Общие сведения о приборах визуализации изображения (ПВИ)	
1.1. Принцип действия приборов ночного видения (ПНВ)	
1.2. Принцип действия низкоуровневых телевизионных систем (НТВС) 16
1.3. Принцип действия АИ ПНВ и АИ НТВС	
1.4. Принцип действия тепловизионных приборов (ТВП)	
1.5. Принцип действия многоканальных ПВИ (МПВИ)	
Глава 2. Элементы приборов ночного видения	
2.1. Объективы	
2.1.1. Основные параметры и характеристики	
2.1.2. Гидрообъективы	
2.1.3. Линзовые объективы	
2.1.4. Зеркально-линзовые объективы	<u></u> 46
2.1.5. Объективы с переменным фокусным расстоянием	
2.1.6. Объективы для осветителей и целеуказателей	
2.2. Фильтры	
2.2.1. Фильтры для ПНВ	
2.2.2. Фильтры для пилотажных OHB	
2.2.3. Фильтры для авиационных обзорно-прицельных систем	
2.2.4. Фильтры для АИ ПНВ и АИ ТВС	
2.3. Электронно-оптические преобразователи (ЭОП)	
2.3.1. Основные параметры ЭОП	
2.3.2. ЭОП общего назначения	
2.3.3. Импульсные и высокоскоростные ЭОП	
2.3.4. ЭОП с ультрафиолетовым фотокатодом	208
2.3.5. ЭОП с цветным изображением	
2.3.6. ТПИ	
2.4. Окулярные системы	
2.4.1. Основные параметры окулярных систем	
2.4.2. Окуляры для монокулярных ПНВ	
2.4.3. Голографические окулярные системы	
2.5. Принадлежности ПНВ и модульный принцип их построения	
Глава 3. Элементы телевизионных систем (ТВС)	
3.1. Основные параметры ТВ-систем	
3.2. Объективы для TBC	
3.2.1. ТВ-объективы стандартные	358



3.2.2. Объективы для SWIR ТВ-камер	
3.2.3. УФ-объективы	
3.3. ТВ-камеры	
3.3.1. Классификация ТВ-камер	399
3.3.2. ТВ-камеры нулевого поколения	
3.3.3. ТВ-камеры общего назначения	
3.3.4. Высокочувствительные ТВС	
3.3.5. УФ ТВ-камеры	
3.3.6. SWIR ТВС для области спектра 0,8–1,7 мкм	516
3.3.7. ИК ТВ-трубки для работы в области спектра 0,4–2,2 мкм	
3.3.8. ТВ-камеры для квадрокоптеров	550
3.3.9. Высокоскоростные ТВ-камеры	
3.4. Принадлежности для ТВС	
3.4.1. Принадлежности общего назначения	
3.4.2. Стабилизаторы для ТВ-камер	631
Глава 4. Осветители и целеуказатели для ПНВ и ТВС	656
4.1. Светолиолные излучатели для ПНВ	656
4.2. Лазерные полупроволниковые излучатели для ПНВ	663
4.3. Светолиолные излучатели лля ТВС	675
4.4. Лазерные полупроволниковые излучатели лля целеуказателей	
и лальномеров	688
4.5. Полупроволниковые излучатели для перспективных	
иелеуказателей лазерных, лазерных лальномеров и приборов	
Ценеруалистичности средения данности данности с странострования	706
4.6. Применение полупроволниковых излучателей в универсальных	
прицельных комплексах	720
4.7. Осветители с поляризацией излучения	727
4.8. УФ-осветители	729
4.9. Осветители для специальной техники	735
4.10. Лазерные осветители для АИ ПНВ	761
4.11. ИК-светодиодные осветители для систем видеонаблюдения	787
4.12. Светодиодные излучатели для профессиональных фонарей	803
4.13. Светодиодные прожекторы и фонари для подводного освещения	816
4.14. Полупроводниковые излучатели для приборов подводного видения	830
4.15. Тактические светодиодные фонари	

Введение

В настоящее время в современной технике широкое распространение получили оптико-электронные приборы визуализации изображения (ПВИ). Они используются в системах охраны и досмотра, при проведении спасательных работ, для обеспечения пожарной и радиационной безопасности, в криминалистике, при проведении работ по добыче полезных ископаемых, в медицине, в строительстве, транспорте, в производственных технологических процессах, в метрологии, для мониторинга и др.

К ПВИ относятся пассивно-активные и активно-импульсные приборы ночного видения (ПНВ), телевизионные системы (ТВС), тепловизионные приборы (ТВП) и многоканальные ПВИ (МПВИ).

В работах [1—3] подробно изложены идеология построения и принцип действия этих ПВИ, описаны их технические параметры и характеристики, показаны их современные и перспективные возможности, рассмотрены методы их испытаний в лабораторных и в натурных условиях.

Однако для того, чтобы со знанием дела разрабатывать, производить и эксплуатировать ПВИ, необходимо хорошо знать их современную и перспективную элементную базу.

В связи с этим в настоящей работе рассмотрены основные элементы ПВИ:

- для ПНВ объективы, фильтры, электронно-оптические преобразователи (ЭОП), осветители и целеуказатели, принадлежности;
- для АИ ПНВ импульсные ЭОП, импульсные лазерные осветители;
- для TBC объективы, фильтры, TB-камеры, TB-мониторы, принадлежности;
- осветители и целеуказатели для ПНВ, ТВС, АИ ПНВ;
- для ТВП ИК-объективы, фильтры, сканирующие системы, фотоприемные устройства, мультиплексоры, системы охлаждения и стабилизации температуры;
- для МПВИ двух- и многоканальные объективы, двух- и многоканальные фотоприемные устройства.

Для всех типов ПВИ рассмотрены их источники первичного питания.

Авторы данной книги многие годы своей инженерной и научно-технической деятельности посвятили вопросам разработки, исследования и развития ПВИ для различных областей их применения, а также проблемам создания оптимальной основной элементной базы для всех типов ПВИ.

Данная книга является учебным пособием для студентов вузов.

Кроме того, авторы считают, что настоящая книга окажется полезной для аспирантов, научных и инженерно-технических работников, специализирую-



щихся в области разработки, производства и применения ПВИ и их основной элементной базы в различных отраслях науки и техники.

Авторы с признательностью примут замечания и предложения по улучшению содержания и формы изложенного в данной книге материала для новой встречи с читателями.

Литература

- 1. Гейхман И.Л., Волков В.Г. Видение и безопасность. М.: Новости, 2009. 840 с.
- 2. Волков В. Г., Гиндин П. Д. Техническое зрение. Инновации. М.: Техносфера, 2014. — 840 с.
- 3. Волков В. Г., Гиндин П. Д. Достижения в технике видения. М.: Техносфера, 2019, в двух книгах: книга 1, 580 с, книга 2, 436 с.

ГЛАВА І

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ПРИБОРАХ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЯ (ПВИ)

I.I. Принцип действия приборов ночного видения (ПНВ)

Проблема обеспечения видения при низких уровнях освещенности (сумерки, ночь) и в полной темноте всегда оставалась актуальной как для военной, так и для гражданской техники. Однако решение этой проблемы стало одной из наиболее трудных задач, так как потребовало серьезной научной подготовки и создания значительной технико-экономической базы. Предпосылкой для создания приборов ночного видения (ПНВ) стало открытие в начале XIX века инфракрасного (ИК) излучения. Однако устройство, способное «видеть» предметы не в оптическом (видимом), а в ИК-диапазоне спектра, было создано лишь в 1934 г. Этот момент принято считать началом эры ночного видения [1.1.1, 1.1.2].

Развитие ПНВ можно разбить на ряд этапов, с которыми связано появление их определенных поколений. Каждое последующее поколение отличалось от предыдущего большей дальностью видения, лучшим качеством изображения, снижением массы и габаритов, увеличением времени работы, повышением стойкости к воздействию световых помех и целым рядом других преимуществ. Главным признаком, по которому различаются поколения ПНВ, является их основной элемент — электронно-оптический преобразователь (ЭОП), предназначенный для преобразования невидимого глазом ИК-изображения в видимое и усиления его по яркости. Поколения ЭОП и соответствующие им поколения ПНВ таковы: $0, 1, 1^+, 2, 2^+, 2^{++}, 3, 3^+, 4, 5$ [1.1.1, 1.1.2].

Принцип действия ПНВ основан на преобразовании инфракрасного (ИК) излучения в видимое и на усилении низких уровней яркости, создаваемых на наблюдаемом объекте свечением ночного неба, звезд и луны в видимой и ближней ИК-области спектра. Принцип действия ПНВ поясняется на рис. 1.1.1 [1.1.1, 1.1.2].

Объектив 1 (рис. 1.1.1) создает перевернутое изображение объекта на полупрозрачном фотокатоде ЭОП 2. Перед фотокатодом 4 ЭОП 2 может быть установлен красный фильтр 3, который служит для повышения контраста в изображении объекта. Световой поток, попадая на фотокатод 4, возбуждает фотоэлектроны. Распределение их плотности соответствует распределению освещенности на фотокатоде. Фотоэлектроны такого «электронного изображения» ускоряются электрическим полем, формируемым с помощью электронной оптики 5 ЭОП. Ускорение электронов происходит за счет энергии высоковольт-





Рис. 1.1.1. Принцип действия ПНВ

ного источника питания (ВИП) 6, который подает на экран 7 ЭОП высоковольтное напряжение. Ускоренные фотоэлектроны фокусируются электронной оптикой 5 на катодолюминесцирующий экран 7. Последний под воздействием фотоэлектронов излучает свет в видимой области спектра. Экран 7 обычно изготавливается из люминофора желто-зеленого цвета свечения. Электронная оптика 5 оборачивает изображение, которое наблюдается глазом через окуляр 8.

ВИП 6 подключен к первичному источнику питания 9 — бортсети или аккумуляторной батарее. В состав ПНВ может входить ИК-осветитель 10. Он состоит из ИК излучателя 11 (лампа, ИК-светодиод или ИК полупроводниковый лазерный излучатель), оптики 12 формирования (коллимирования) его излучения и ИК-фильтра 13 (устанавливаемого только для лампы и подавляющего ее видимое и ультрафиолетовое излучение). Излучатель 11 подключен к блоку его питания 14 (преобразователь напряжения или блок накачки), который питается от автономного источника 15 или от общего источника 9.

Осветитель служит для работы прибора в почти полной темноте. Его использование необязательно: он применяется только в активных либо в пассивно-активных приборах и эффективен лишь при условии нормальной прозрачности атмосферы.

В качестве фотокатодов в ЭОП первоначально получили применение кислородно-серебряно-цезиевые (S-1), а в дальнейшем — многощелочные (S-20, S-25 или 2⁺) и полупроводниковые фотокатоды с отрицательным электронным сродством на основе арсенида галлия.

Исторически ПВИ в виде ПНВ на основе ЭОП появились первыми. Их создание было связано прежде всего с успехами в области разработки ЭОП в 30–40-х годах XX века. Они использовались как ПНВ для военных целей. Первые образцы таких приборов с успехом были использованы во время Второй мировой войны. Это были активные ПНВ нулевого поколения. Их отличительные особенности:

- линзовые объективы;
- ЭОП с кислородно-серебряно-цезиевым фотокатодом (S-1), чувствительным в области спектра от 0,4 до 1,2 мкм; однокамерные, стеклянная конструкция;
- наличие инфракрасного (ИК) прожектора, выполненного на базе обычной лампы накаливания, но с ИК-фильтром, пропускающим излучение только в области спектра 0,8–1,2 мкм и отсекающим видимую его область;
- выносной источник питания, конструктивно отделенный от ЭОП.



В дальнейшем уже после войны в 50-х годах были разработаны каскадные ЭОП, в связи с чем можно было использовать ЭОП двух- и трехкамерного типа. Это привело к резкому увеличению их коэффициента усиления по яркости (от сотен для однокамерного до нескольких сотен тысяч для трехкамерного), хотя и сопровождалось уменьшением разрешающей способности (соответственно, с 60–100 штр/мм до 30 штр/мм).

ПНВ нулевого поколения не могли работать в пассивном режиме (без подсвета) из-за высокого уровня темновых шумов фотокатода S-1, обусловленных значительным уровнем его термоэмиссии; можно было вести наблюдение или при использовании подсвета, или при исключительно высоком уровне естественной освещенности, либо требовалось термоэлектрическое охлаждение фотокатода. Дальность действия таких ПНВ была невысока. С одной стороны, это определялось малым коэффициентом усиления яркости ЭОП с фотокатодом S-1 и низкой чувствительностью последнего (которая в известной степени компенсировалась работой в ближней ИК-области спектра, где выше уровни природных контрастов по сравнению с видимой областью). С другой стороны, излучение подсвета рассеивалось в атмосфере, причем главным образом в обратном направлении. Излучение обратного рассеяния создавало фоновую помеху, которая накладывалась на изображение наблюдаемого объекта и снижала контраст в его изображении. Это обстоятельство ограничивало дальность действия ПНВ даже при нормальной прозрачности атмосферы, а при пониженной ее прозрачности (дымка, туман, дождь, снегопад и пр.) ПНВ просто становился неработоспособным. Излучение ИК-подсвета демаскировало прибор при условии его применения для полиции или для военных целей. Демаскировка может быть обеспечена как с помощью любого индикатора ИК-излучения или аналогичного ПНВ, так и непосредственно невооруженным глазом, который при низких уровнях освещенности мог воспринимать ИК-излучение ближнего диапазона вплоть до 1,2 мкм. Из-за наличия в составе ПНВ ИК-прожекторов ПНВ обладают значительными массой, габаритами и энергопотреблением. ЭОП нулевого поколения, как и все малогабаритные преобразователи изображения, имеют электростатическую фокусировку последнего. Но при этом из-за наличия плоского стеклянного входа и выхода разрешающая способность ЭОП резко падает от центра к краям поля зрения до уровня не более 2-3 штр/мм. Из-за этого эффективная величина поля зрения ПНВ не превышает 1/4 его номинального значения. ЭОП стеклянной конструкции не переносят засветок, излучение которых рассеивается по всему стеклянному корпусу ЭОП. ПНВ нулевого поколения неустойчивы к световым помехам. Единственный способ борьбы с ними — выключение прибора. ЭОП нулевого поколения имеют выносной источник питания, что также увеличивает массу и габариты ПНВ. Используемые в ПНВ светосильные линзовые объективы также обладали значительной массой и габаритами, а также сравнительно низким качеством изображения [1.1.1, 1.1.2].

В 60-х годах были разработаны новые многощелочные (МЩ) фотокатоды типа S-20. Их высокая чувствительность и низкая термоэлектронная эмиссия

10

позволили отказаться от ИК-прожектора (или свести к минимуму время его применения — только для особо темных ночей). Коэффициент усиления таких ЭОП составлял от 50—100 (в однокамерных) до 250—500 тысяч (в трехкамерных). В результате появилась возможность создания чисто пассивных (без подсвета) или пассивно-активных (с подсветом только при значительном падении уровня естественной ночной освещенности) ПНВ. Все остальные указанные недостатки приборов нулевого поколения оставались прежними [1.1.1, 1.1.2].

Существенного прогресса удалось добиться благодаря созданию в 70-х годах новых ЭОП первого поколения в металлокерамическом корпусе модульной конструкции с волоконно-оптическими деталями (ВОД) на входе и выходе вместо прежних стеклянных окон и с новыми фотокатодами S-25.

Изображение, формируемое объективом на входе ВОД, плоское. С помощью ВОД оно сопрягается с криволинейной поверхностью фотокатода и совпадающей с ним эквипотенциальной поверхностью электростатического поля, создаваемого фокусирующими электродами электростатической оптики. Изображение, образованное фотоэлектронами на поверхности фотокатода, переносится на поверхность экрана, заставляя его люминесцировать. Выходная ВОД сопрягает криволинейную поверхность экрана ЭОП с эквипотенциальной поверхностью электростатического поля. Благодаря этому почти нет потерь по разрешению на краю поля зрения ЭОП (и, соответственно, ПНВ) по отношению к центру. Это коренным образом отличает указанные ЭОП I поколения от описанных выше ЭОП нулевого поколения, в которых имели место потери по разрешающей способности именно из-за несовпадения плоского окна с криволинейной эквипотенциальной поверхностью электростатического поля. Для получения высокого коэффициента усиления яркости отдельные модули могут быть объединены в двух- или трехмодульную конструкцию, что сокращает габариты ЭОП. В случае выхода из строя одного модуля он мог быть отстыкован и заменен новым. В двух- или трехкамерном ЭОП при неудовлетворительной работе одной камеры браковался весь ЭОП. Металлокерамическая конструкция и наличие ВОД снижали чувствительность ЭОП к засветкам и светорассеянию. В ПНВ используются зеркально-линзовые объективы, которые обладают более высоким качеством изображения, меньшей массой и габаритами по сравнению с линзовыми объективами [1.1.1, 1.1.2].

ПНВ первого поколения на основе указанных выше модульных ЭОП обладают, соответственно, более высоким качеством изображения.

Их появление совпало с достигнутым прогрессом в области разработки многощелочных фотокатодов с повышенной инфракрасной чувствительностью S-20 и S-25. Это позволило повысить дальность действия ПНВ по сравнению с приборами нулевого поколения.

Однако ПНВ первого поколения имели целый ряд недостатков. Их продольные габариты (и, соответственно, масса) оставались сравнительно велики из-за значительного продольного габарита ЭОП. В чаще всего используемых трехмодульных ЭОП наблюдалось снижение разрешающей способности от модуля к модулю, возрастание искажения изображения на краях поля зрения



за счет дисторсии. Сравнительно велика была и инерционность изображения, обусловленная наличием трех люминесцирующих экранов. Оставалась высокой чувствительность к засветкам от ярких источников света, что приводило к свертыванию изображения или появлению ореолов, приводящих к потере видимости. Применение электрических резистивных или фотоэлектрических средств защиты от световых помех не обеспечило кардинального решения проблемы видимости в таких условиях [1.1.1, 1.1.2].

В 70-х годах появились микроканальные ЭОП второго поколения, что позволило разработать и ПНВ второго поколения. В отличие от ЭОП первого поколения ЭОП второго поколения содержит только один модуль, но его коэффициент усиления яркости практически не уступает величине, характерной для трехмодульного ЭОП первого поколения. В ЭОП второго поколения дополнительно устанавливается микроканальная пластина (МКП), содержащая большое количество микроканалов. При попадании фотоэлектрона с фотокатода ЭОП в единичный микроканал электрон бомбардирует его внутреннюю поверхность. Последняя представляет собой полупроводник, обладающий свойством вторичной эмиссии. При соударении фотоэлектрона с полупроводником возникает некоторое количество вторичных электронов, которые под действием ускоряющего поля вдоль оси микроканала вызывают лавинообразный процесс. В результате на выходе микроканала появляется целый поток электронов, бомбардирующих люминесцирующий экран, на котором создается усиленное подобным образом изображение. Описанный лавинный процесс умножения происходит под влиянием электрического поля, образованного приложенным к экрану и МКП высоким напряжением (порядка 0,8–0,9 кВ). Микроканалы имеют наклон во избежание сквозного пролета электрона без соударений о стенки микроканала. Однородное электрическое поле, существующее между МКП и экраном, обеспечивает формирование изображения без фокусировки. Это уменьшает продольные габариты ЭОП. Его разрешающая способность превышает разрешение трехмодульного ЭОП первого поколения, но функция передачи модуляции выше за счет уменьшения количества модулей и ВОД, а дисторсия по этой же причине стала примерно в три раза меньше [1.1.1, 1.1.2].

Недостатком ЭОП с МКП является снижение отношения сигнал/шум по сравнению с ЭОП первого поколения за счет шумов МКП. Однако это может быть компенсировано за счет оптической системы. В ЭОП с МКП предусмотрена автоматическая регулировка яркости, позволяющая работать в широком диапазоне изменения освещенности. Эти ЭОП менее чувствительны к световым помехам, чем ЭОП первого поколения, так как засветка в них локализуется за счет насыщения соответствующих микроканалов только в пределах размера изображения источника световой помехи, не создавая ореола.

ЭОП второго поколения может быть выполнен в виде двух вариантов: с внутренним усилением (инверторного типа); бипланарного типа.

Первый вариант, по существу, представляет собой модуль ЭОП первого поколения, но содержащий дополнительно МКП, установленную непосредственно перед экраном ЭОП. Электронная оптика оборачивает (инвертирует) изо12



Второй вариант ЭОП с МКП использует прямой перенос изображения в плоскопараллельном электростатическом поле. Такие бипланарные ЭОП обеспечивают воспроизведение изображений практически без искажений и без изменения масштаба изображения.

При прямом переносе изображения не происходит его оборачивание (инвертирование). В связи с этим перевернутое изображение на фотокатоде ЭОП остается перевернутым и на его экране. Это требует применения окулярной системы с оборачиванием изображения. В ряде случаев это неудобно. Поэтому в бипланарный ЭОП экран наносят на волоконно-оптический оборачивающий элемент («твистер»), который обеспечивает разворот изображения на 180° за счет поворота на 180° выходного торца элемента по отношению ко входному. Достоинством варианта без оборачивания изображения является его простота и низкая стоимость за счет наличия стеклянного входа и выхода. Однако наличие ВОД на выходе ЭОП обеспечивает возможность его стыковки либо с другим ЭОП, либо с ТВ-камерой. Наличие сферической поверхности на выходе ВОД упрощает окуляр, так как благодаря такому решению ВОД превращается в часть окулярной оптики. Недостатком бипланарных ЭОП является несколько меньшее усиление яркости, чем в ЭОП инверторного типа, так как ускоряющее напряжение в них меньше из-за небольшого расстояния между фотокатодом и МКП. Достоинством таких ЭОП являются минимальные масса и габариты. В связи с этим они и нашли наибольшее распространение в технике ПНВ [1.1.1, 1.1.2].

ЭОП третьего поколения отличаются от ЭОП второго поколения бипланарного типа только использованием фотокатода с отрицательным электронным сродством на основе арсенида галлия (GaAs) вместо многощелочного фотокатода. Это обеспечивает в 5–7 раз большую чувствительность, чем у ЭОП второго поколения. Недостатком ЭОП является большая стоимость. Интегральная чувствительность фотокатода — 1800–2200 мкА/лм [1.1.1–1.1.3].

ЭОП поколения 3⁺ — тот же ЭОП поколения 3, но с использованием фотокатода на основе соединения индий-галлий арсенид (InGaAs), работающий в области спектра 0,4—1,3 мкм. В этой области спектра выше уровень природных контрастов и, соответственно, выше дальность действия ПНВ. Кроме того, можно визуализировать излучение лазерных целеуказателей-дальномеров, работающих на длине волны 1,06 мкм. Интегральная чувствительность фотокатода — 1400—1600 мкА/Лм [1.1.1, 1.1.3].





Рис. 1.1.2. Ночной бинокль: *a*) псевдобинокулярный бинокль Альфа-3122; *б*) бинокулярный бинокль БН-2

ЭОП поколения 4 — ЭОП поколения 3, но без ионно-барьерной пленки, с импульсным ВИП. Дело в том, что ионно-барьерная пленка ухудшает отношение сигнал шум, однако без нее возможно повреждение фотокатода положительно заряженными ионами. Но если ВИП работает в импульсном режиме, то за время действия короткого импульса высоковольтного напряжения сравнительно малоподвижные ионы не успевают достигнуть фотокатода, а более подвижные электроны успевают достигнуть экрана, создавая изображение. Поэтому можно устранить ионно-барьерную пленку и повысить тем самым отношение сигнал/шум. Кроме того, частота работы ВИП автоматически меняется в зависимости от уровня естественной освещенности, расширяя тем самым динамический диапазон работы ПНВ по освещенности. Интегральная чувствительность фотокатода — 1800-2200 мкА/Лм [1.1.1-1.1.3].



Рис. 1.1.3. Ночной монокуляр МДН-1: *а*) модель МДН-1; *б*) удерживаемый в руках ночной монокуляр и изображение в него



Рис. 1.1.4. Ночной универсальный прицельный комплекс «Альфа-1962»



Рис. 1.1.5. Лазерный целеуказатель для комплекса «Альфа-1962»





Рис. 1.1.6. Очки ночного видения (OHB): *a*) псевдобинокулярные OHB 40 ИМ OAO «Катод»; δ) бинокулярные очки ночного видения; *в*) очки ночного видения для пилота

ЭОП поколения 5 — ЭОП поколения 4, но вместо фотокатода на основе арсенида галлия используется фотокатод на основе соединения InGaAs и барьеров Шоттки, работающий в области спектра 0,8–1,7 мкм (а при термоэлектриче-





Рис. 1.1.7. Ночные прицелы: *а*) ночной танковый прицел ПН2М для легкого стрелкового оружия; *б*) ночной танковый прицел

ском охлаждении — и до 2,2 мкм). В этой области спектра не только выше уровень природных контрастов, но и уровень ЕНО, а также возрастает пропускание атмосферы, допускающее работу ПНВ при пониженной ее прозрачности (дымка, туман, дождь, снегопад, даже тактический дым). Можно визуализировать излучение лазерных целеуказателей-дальномеров с длиной волны 1,54 мкм. Это поколение находится пока еще в стадии разработки [1.1.1, 1.1.2].

Одновременно с развитием ЭОП совершенствовались их источники питания, которые в ПНВ первого-третьего поколений имеют микроминиатюрное исполнение, включают в свой состав систему автоматической регулировки яркости, а конструктивно встроены в корпус ЭОП, к которому подводится только напряжение первичного источника питания (1,5 В; 2,2–3 В; 9 В) в зависимости от типа ЭОП.

В пассивно-активных приборах вместо ИК-прожекторов стали использоваться малогабаритные осветители на базе ИК-светодиодов и полупроводниковых лазерных излучателей.

Если в ПНВ нулевого поколения использовались только линзовые объективы 1.1. Принцип действия приборов ночного видения (ПНВ)





Рис. 1.1.8. Дневно-ночной бинокль ОАО ПО КМЗ



Рис. 1.1.9. Переносной ночной прибор наблюдения ПДНК ОАО НПЗ





Рис. 1.1.10. Изображение в ПНВ: *a*) солдата армии США и техники; *б*) солдат армии США на местности; *в*) солдата армии США с ночным прицельным комплексом; *г*) леса; *д*) местности; *е*) львицы

и окуляры, то в приборах последующих поколений уже широко используются зеркально-линзовые объективы. В окулярной системе находит применение «голографическая» оптика, допускающая не только снижение массы, но и возможность одновременного видения изображения как с экрана ЭОП, так и непосредственно объектов наблюдения, минуя ЭОП [1.1.1, 1.1.2].

На рис. 1.1.2—1.1.9 представлены типичные ПНВ, а на рис. 1.1.10 — характер изображения в ПНВ [1.1.3].

Список литературы

1.1.1. Гейхман И.Л., Волков В.Г. Основы улучшения видимости в сложных условиях. — М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 1999. — 286 с.



Глава 1. Общие сведения о приборах визуализации изображения (ПВИ)

- 1.1.2. Гейхман И.Л., Волков В.Г. Видение и безопасность. М.: Новости, 2009. 840 с.
- 1.1.3. Волков В. Г., Гиндин П. Д. Техническое зрение. Инновации. М.: Техносфера, 2014. — 840 с.

1.2. Принцип действия низкоуровневых телевизионных систем (HTBC)

Достоинством ПНВ является их максимальная простота и надежность, минимальные масса, габариты, энергопотребление, стоимость, высокий срок службы. Однако им свойственен и ряд недостатков: невозможность дистанционной передачи изображения на расстояние, его дублирования и обработки, невозможность оперативной замены прицельной марки и шкалы, сравнительно низкая стойкость к воздействию световых помех, невозможность запоминания и тиражирования изображения [1.2.1].

В связи с этим появились НТВС. Их достоинства по сравнению с ПНВ:

- практически круглосуточная работа за счет использования системы автоматической регулировки яркости и усиления, автоматического введения нейтральных фильтров и диафрагмирования объектива,
- дистанционная передача изображения и его одновременный вывод на несколько ТВ-мониторов (дублирование информации),
- цифровая обработка изображения в реальном масштабе времени,
- возможность ввода изображения в персональный компьютер, его запоминания и тиражирования,
- простая замена в электронном канале служебной информации: прицельных марок, шкал, цифровых данных, надписей и символов,
- большая по сравнению с ПНВ устойчивость к воздействию световых помех за счет применения антиблюминга,
- большее удобство наблюдения изображения с экрана ТВ-монитора по сравнению с использованием для той же цели окуляра в ПНВ,
- возможность автоматизации процессов обнаружения и распознавания за счет использования встроенного микропроцессора.

В настоящее время малогабаритные замкнутые HTBC широко используются для охраны различных объектов, обеспечения спасательных, ремонтных и монтажных работ в сложных условиях видимости, таможенного контроля, работы спецслужб, пограничных и правоохранительных органов.

При этом одной из главных задач является повышение чувствительности HTBC в целях обеспечения круглосуточного наблюдения. В таких условиях диапазон естественной освещенности меняется в очень широких пределах. В яркий солнечный день освещенность на местности составляет $(5-10) \cdot 10^5$ лк, в пасмурный день — 10^3 лк, в сумерки — от 10^2 до 1 лк, в лунную ночь при наличии полной луны — 10^{-1} лк, при наличии месяца — 10^{-2} лк, в ясную звездную ночь — 10^{-3} лк, в облачную звездную ночь — 10^{-4} лк. В затемненных помещениях освещенность



может опуститься еще ниже вплоть до полной темноты. Поэтому к современным HTBC предъявляются достаточно жесткие требования по чувствительности и широте динамического диапазона работы по освещенности [1.2.2–1.2.4].

Возможны следующие направления реализации НТВС:

- 1) сопряжение ТВ-камер с ЭОП,
- 2) создание активно-импульсных (АИ) ТВ ПВИ,
- применение высокочувствительных ТВ-камер, работающих в реальном масштабе времени или с накоплением,
- 4) дополнительное использование средств ИК-подсвета.

Первый способ создания высокочувствительных НТВС получил наиболее широкое распространение. Сопряжение ЭОП с матрицей ПЗС ТВ-камеры образует так называемый гибридно-модульный преобразователь изображения (ГМП). ЭОП преобразует изображение с низким уровнем освещенности в видимое и усиливает его по яркости. Поскольку ЭОП выполняет роль усилителя изображения — Image Intensifier (II) для ПЗС — Charge Coupled Device (ССD), то в зарубежной литературе ГМП сокращенно называют ICCD (Intensifier CCD). При этом возможны два варианта построения ГМП [1.2.2–1.2.4].

Матрица ПЗС находится вне ЭОП; изображение с экрана последнего с помощью оптики переноса (проекционный объектив или волоконно-оптическая деталь) передается на матрицу ПЗС. Она преобразует оптическое изображение в видеосигнал, который затем поступает в ТВ-монитор для последующего наблюдения изображения с его экрана (собственно ICCD).

На рис. 1.2.1 показана схема ТВ-камеры НТВС на базе такого ГМП.

Матрица ПЗС располагается внутри ЭОП. На фотокатоде ЭОП создается изображение наблюдаемого объекта и окружающего его фона. Фотокатод преобразует оптическое изображение в электронное. Оно ускоряется электростатическим полем ЭОП и переносится на матрицу ПЗС, смонтированную внутри ЭОП вместо экрана. При этом подложка матрицы ПЗС утончена до 10-15 мкм и обращена к потоку электронов. Этот поток либо непосредственно переносится на матрицу ПЗС, либо предварительно усиливается в микроканальной пластине. За рубежом такие ГМП называют Electron – bombarded CCD (EBCCD) в отличие от традиционных ICCD, ис-



Рис. 1.2.1. Блок-схема НТВС на базе ІССD: 1 — объектив, 2 — ЭОП, 3 — фотокатод, 4 — микроканальная пластина, 5 — экран, 6 — оптика переноса: 6а — волоконно-оптическая деталь либо 6б — проекционный объектив, 7 — матрица ПЗС, 8 — видеоусилитель, 9 — ТВ-монитор



Рис. 1.2.2. Блок-схема НТВС на базе ЕВССD: где 1 — объектив, 2 — ЭОП, 3 — фотокатод, 4 — матрица ПЗС, 5 — видеоусилитель, 6 — ТВ-монитор





Рис. 1.2.3. Общая блок-схема НТВС



Рис. 1.2.4. Внешний вид EBCCD фирмы Hamamatsu



Рис. 1.2.5. Кривые спектральной чувствительности обычного ПЗС, кривая 1, и с повышенной ИК чувствительностью, кривая 2



Рис. 1.2.6. Внешний вид корпусной камеры на базе ПЗС

пользующих внешнюю матрицу ПЗС [1.2.2–1.2.4].

На рис. 1.2.2 показана схема ТВ-камеры НТВС на базе такого ГМП. В таком ГМП меньше масса и габариты, отсутствуют потери, связанные с преобразованием электронного потока в излучение экрана ЭОП, энергетические потери в оптике переноса, потери разрешающей способности и контраста в оптике переноса, а также влияние инерционности экрана ЭОП, меньше уровень шумов из-за его отсутствия [1.2.2–1.2.4].

Блок-схема НТВС на базе ГМП дана на рис. 1.2.3. Объектив 1 с регулируемой ирисовой апертурной диафрагмой 2 создает изображение на фотокатоде ЭОП 3. Диаметр диафрагмы 2 определяет уровень освешенности фотокатода ЭОП 3. Изображение с его экрана через фокон 4 передается на матрицу ПЗС ТВ-камеры 5. Видеосигнал с ее выхода усиливается в видеоусилителе 6 и поступает в ТВ-монитор 7, с экрана которого наблюдается оконечное изображение. Синхрогенератор 8 обеспечивает кадровую и строчную развертку в блоках 5-7, а также подачу тактовых импульсов на ТВ-камеру 5. Сигнал с ее выхода регулирует работу блока 9 автоматической регулировки усиления, блока 10 автоматической регулировки яркости ЭОП, а также сервопривода 11, управляющего двигателем 12 с приводом. Двигатель изменяет через свой привод диаметр диафрагмы 2. В ТВ-камере 5 происходит непрерывное сравнение выходного видеосигнала с его опорным значением. В случае рассогласования этих сигналов блоки 9-12 обеспечивают оптимальный режим работы

ТВ-камеры по рабочей освещенности и усилению. Это позволяет добиться широкого динамического диапазона работы ТВ-камеры [1.2.2–1.2.4].

рис. 1.2.4 показан Ha внешний вид EBCCD фирмы Hamamatsu. На рис. 1.2.5 показаны кривые спектральной чувствительности обычного ПЗС. На рис. 1.2.6 показан внешний вид корпусной ТВ-камеры на базе матрицы ПЗС, на рис. 1.2.7 — бескорпусной ТВ-камеры на базе матрицы ПЗС. На рис. 1.2.8 показаны кривые коэффициента передачи контраста обычной матрицы ПЗС (кривая 1), ІССД (кривая 2), ЕВССД (кривая 3). Преимущество ЕВССО здесь очевидно.

Основным элементом НТВС являются ТВ-камеры [1.2.2–1.2.4]. Различают корпусные для работы на открытом воздухе или в помещении, бескорпусные (модульные) ТВ-камеры для встраивания их в НТВС любого типа. Различают цветные, черно-белые ТВ-камеры, а также ТВ-камеры типа



Рис. 1.2.7. Внешний вид бескорпусной камеры на базе ПЗС



Рис. 1.2.8. Сравнение кривых коэффициента передачи контраста обычного ПЗС, кривая 1, ICCD, кривая 2, и EBCCD, кривая 3

«день/ночь», которые могут работать как в цветном, так и в черно-белом режиме. ТВ-камеры могут иметь стандартное (350—380 ТВ-линий) или высокое (свыше 500 ТВ-линий) разрешение. ТВ-камеры могут работать в обычных условиях, но существуют ТВ-камеры для работы при экстремальных внешних условиях, в том числе и при повышенном уровне радиации. ТВ-камеры могут быть в купольном исполнении для охраны помещений. Различают также аналоговые и цифровые (сете-



Рис. 1.2.9. Цифровой бинокль Модель DC48



Рис. 1.2.10. ТВ-камера на базе ICCD, модель ГЕО НТК 4 ОАО «Геофизика-НВ»





вые) ТВ-камеры. В цифровых ТВ-камерах воплощена технология Internet Protocol (IP), поэтому их называют IP-камеры.

За последние годы появились так называемые цифровые ПНВ, в частности ночные бинокли (рис. 1.2.9). Они представляют собой НТВС, в которых используются настолько чувствительные матрицы ПЗС, что они могут конкурировать по чувствительности с ГМП. Отсутствие ЭОП позволяет добиться высокого качества изображения. Будущее определенно за такими НТВС.

Однако широко применяются и НТВС на базе ICCD. В частности, на рис. 1.2.10 представлена ТВ-камера на базе ICCD, модель ГЕО НТК 4 ОАО «Геофизика-НВ».

Список литературы

- 1.2.1. Краткая история создания приборов ночного видения. armyman/info/stati/26402.
- 1.2.2. Гейхман И.Л., Волков В.Г. Основы улучшения видимости в сложных условиях. М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 1999. 286 с.
- 1.2.3. Гейхман И.Л., Волков В.Г. Видение и безопасность. М.: Новости, 2009. 840 с.
- 1.2.4. Волков В. Г., Гиндин П. Д. Техническое зрение. Инновации. М.: Техносфера, 2014. — 840 с.

I.3. Принцип действия АИ ПНВ и АИ НТВС

ПНВ и HTBC свойственны главные недостатки: невозможность работы при пониженной прозрачности атмосферы и при воздействии мощных световых помех, а также неспособность точного измерения дальности до объекта наблюдения.

Указанные выше недостатки ПНВ и НТВС во многом оказались преодоленными благодаря созданию активно-импульсных (АИ) ПНВ.

Действие активно-импульсных (АИ) ПНВ основано на импульсном методе наблюдения, предложенном академиком А.А. Лебедевым в 1936 г. [1.3.1–1.3.9]. Сущность метода сводится к следующему. Объект наблюдения освещается короткими световыми импульсами, длительность которых значительно меньше времени распространения света до объекта и обратно. При этом объект наблюдается в оптический прибор, снабженный быстродействующим затвором, открывающимся в такт с посылкой световых импульсов на определенное время. В том случае, когда временная задержка между моментом излучения импульса и моментом открывания затвора равна удвоенному времени, необходимому для прохождения светом расстояния до объекта и обратно, наблюдатель будет видеть только сам объект и участок пространства, непосредственно его окружающий. Глубина этого пространства определяется как временем открытого состояния затвора, так и длительностью светового импульса [1.3.1].

В дальнейшем этот метод был описан в зарубежной литературе, в которой он обычно называется методом стробирования по дальности (Gated Viewing).



Для реализации этого метода необходимы импульсный осветитель, генерирующий достаточно короткие импульсы света, а также преобразователь изображения, оснащенный быстродействующим затвором. Первоначально в качестве такого осветителя использовался ламповый прожектор, а в приемной части аппаратуры устанавливался обычный ЭОП. Импульсный режим работы приемной части обеспечивался либо установкой перед фотокатодом ЭОП быстродействующего затвора Керра или Поккельса, либо импульсным управлением (стробированием) ЭОП непосредственно по напряжению высоковольтного питания. Использование указанных затворов приводило к неоправданным энергетическим потерям, а стробирование по напряжению питания требовало ламповых электронных блоков, обладающих значительными массой, габаритами и энергопотреблением [1.3.1].

В конце 40-х годов М. М. Бутслову и его коллективу удалось разработать импульсные ЭОП с электронным компенсированным затвором [1.3.1]. Применение этих ЭОП позволило существенно упростить блок стробирования и снизить его массу, габариты и энергопотребление.

Ощутимого прогресса в развитии АИ ПНВ удалось достигнуть только в начале 60-х годов в связи с созданием лазеров. По сравнению с искровыми ламповыми источниками лазеры обладают существенными преимуществами:

- высокой яркостью и направленностью излучения;
- монохроматичностью излучения, позволяющей использовать в приемной части прибора узкополосные фильтры, отсекающие излучение световых помех;
- малой длительностью импульсов излучения (единицы и десятки нс), позволяющих получить сравнительно малые глубины просматриваемого пространства, измеряемые долями и единицами метров. Это позволяло резко повысить контраст изображения в сильно рассеивающих средах (дымка, туман, дождь, снегопад, вода и пр.).

В этой связи самые благоприятные результаты были получены при использовании твердотельных лазеров, работающих в режиме модулированной добротности и генерирующих наиболее короткие мощные импульсы излучения с длительностью 20–50 нс.

Принцип АИ ПНВ, как уже говорилось, основан на импульсном методе наблюдения. Он сводится к подсвету наблюдаемого объекта излучением импульсного лазерного осветителя и синхронизированным с ним импульсным управлением (стробированием) ЭОП в приемной части ПНВ.

Блок-схема АИ ПНВ с использованием твердотельных лазеров представлена на рис. 1.3.1 [1.3.1].

Прибор работает следующим образом. В импульсном лазерном осветителе 1 функционирует активная среда 3 излучателя 2. Активная среда 3 возбуждается излучением лампы 4 закачки, запихиваемой блоком 5 ее питания. Генерация лазерного излучения поддерживается с помощью зеркал М1 и М2 резонатора. Модулятор добротности 6, возбуждаемый его блоком 7 питания, создает режим Q-модуляции. Оптика 8 формирует требуемый угол подсвета и направляет излучение осветителя 1 на объект наблюдения. Импульсы излучения, отразившись





Рис. 1.3.1. Блок-схема АИ ПНВ с использованием импульсного осветителя на основе твердотельного лазера: 1 — импульсный лазерный осветитель, 2 — импульсный лазерный излучатель, 3 — активная среда; М, М2 — зеркала резонатора, 4 — лампа накачки, 5 — блок ее питания, 6 — модулятор добротности, 7 — блок его питания, 8 — оптика формирования излучения (телескопическая система Галилея), 9 — фотоприемник, 10 — блок управления и синхронизации, 11 — задающий генератор импульсов (ЗГИ), 12 — блок регулируемой задержки (БРЗ), 13 — формирователь стробирующих импульсов (ФСИ), 14 — блок наблюдения, 15 — объектив, 16 — фильтр, 17 — импульсный ЭОП, 18 — окуляр (или первый компонент оптики переноса), 19 — второй компонент оптики переноса, 20 — ТВ-канал, 21 — передающая ТВ-камера, 22 — видеоусилитель, 23 — ТВ-монитор, 24 — синхрогенератор, 25 — блок деления частоты строк (при окулярном выводе изображения элементы 19–25 отсутствуют)

от объекта, поступают в блок 14 наблюдения. Объектив 15 формирует изображение объекта на фотокатоде импульсного ЭОП 17. Фильтр 16 служит для отсечения излучения световых помех, действующих в широкой области спектра. До прихода импульса излучения на фотокатод ЭОП 17 затвор последнего заперт. В момент прихода отраженного от объекта наблюдения импульса излучения затвор ЭОП отпирается на время, равное или несколько превышающее длительность этого импульса. Для обеспечения указанной синхронной работы осветителя 1 и блока 14 наблюдения служит фотоприемник 9, преобразующий часть энергии импульса лазерного излучения в импульсный электрический сигнал, который запускает ЗГИ 11, работающий в ждущем режиме. ЗГИ 11 формирует синхронизирующие импульсы, которые задерживаются в БРЗ 12 на время, равное прохождению импульсом излучения расстояния от прибора до объекта наблюдения и обратно. С выхода БРЗ 12 синхроимпульс возбуждает ФСИ 13, который создает стробирующие импульсы, отпирающие затвор ЭОП 17. Последний усиливает изображение по яркости, преобразуя его в видимое. Изображение наблюдается оператором через окуляр 18. Оператор, плавно регулируя задержку, может перемещать узкую зону просматриваемого пространства по глубине до тех пор, пока в ее пределы не попадет наблюдаемый объект.





Рис. 1.3.2. Блок-схема АИ ПНВ с использованием осветителя на базе импульсного лазерного полупроводникового излучателя (ИЛПИ): 1 — импульсный лазерный осветитель, 2 — объектив формирования излучения, 3 — ИЛПИ, 4 — блок его накачки (усилитель тока на полупроводниковых элементах), 5 — блок управления и синхронизации, 6 — ЗГИ, 7 — БРЗ, 8 — ФСИ, 9 — блок наблюдения, 10 — объектив, 11 — полосовой (или отсекающий) фильтр, 12 — импульсный ЭОП, 13 — окуляр (или первый компонент оптики переноса, если изображение вводится в ТВ-канал), 14 — второй компонент оптики переноса, 15 — ТВ-канал, 16 — передающая ТВ-камера, 17 — видеоусилитель, 18 — ТВ-монитор, 19 — синхрогенератор, 20 — блок деления частоты строк

Если на выходе блока 14 наблюдения установлен ТВ-канал 20, то изображение с экрана ЭОП переносится на светочувствительный элемент передающей ТВ-камеры 21 с помощью первого 18 и второго 19 компонентов оптики переноса. ТВ-камера 21 преобразует изображение в электрический сигнал, который усиливается в видеоусилителе 22 и передается в ТВ-монитор 23, где видеосигнал преобразуется в оптическое изображение. Синхрогенератор 24 служит для кадровой и строчной синхронизации работы блоков 21–23, а также для синхронизации ЗГИ 11. Для выполнения последней функции сигнал строчной частоты с синхрогенератора 24 поступает в блок 25 деления частоты, который делит частоту строк до уровня, близкого к частоте работы осветителя 1 и кратного ей [1.1.1]. Таким образом, вместо АИ ПНВ появилась АИ НТВС.

Однако минимальных габаритов, массы, энергопотребления, а также наиболее высоких эксплуатационных показателей удалось добиться при использовании в АИ ПВИ осветителей на базе импульсных лазерных полупроводниковых излучателей (ИЛПИ).

Блок-схема АИ ПНВ с осветителем на базе ИЛПИ представлена на рис. 1.3.2. Он работает так же, как и АИ ПНВ, представленный на рис. 1.3.1, только ЗГИ 6 запускается синхроимпульсами от блока 4 накачки, с другого выхода которого импульсами тока возбуждается ИЛПИ 3, генерирующий равные им по длительности импульсы излучения.



АИ ПНВ независимо от блок-схемы позволяют повысить контраст в изображении наблюдаемого объекта, а значит, и дальность действия прибора за счет [1.3.1–1.3.9].

- отсечения задержкой излучения обратного рассеяния, которое в обычных активных ПНВ накладывается на изображение наблюдаемого объекта и снижает контраст в его изображении даже при нормальной или при незначительно ухудшенной прозрачности атмосферы;
- ослабления, равного скважности работы прибора, рассеянного в атмосфере излучения, определяемого уровнем естественной освещенности.

Это излучение в обычных пассивных ПНВ на базе ЭОП при пониженной прозрачности атмосферы также резко снижало контраст в изображении наблюдаемого объекта.

Так как объект наблюдения воспринимается в пределах очень узкой глубины просматриваемого пространства, то фон за объектом отсекается. Это позволяет наблюдать малоконтрастные объекты, которые не видны ни ночью в пассивные или активные оптико-электронные приборы, ни даже днем в обычные оптические наблюдательные приборы. Например, в АИ ПНВ отчетливо были видны сооружения из снега (вал) или фигуры людей в белых халатах на фоне снежной целины. Это открывает большие возможности применения АИ ПНВ для спасателей или для разведки природных ресурсов, например, для выделения угля на фоне породы.

Поскольку изображение объекта наблюдения появляется только при определенной величине задержки, соответствующей дальности до объекта, то по величине задержки можно измерять дальность до объекта. Точность измерения дальности обычно достигает ± 10 или ± 5 м, но при необходимости может быть и выше не менее чем на порядок. Эта точность не зависит от дальности до объекта, а определяется только длительностью импульса строба и импульса подсвета. В отличие от обычных лазерных дальномеров в АИ ПНВ исключена возможность выдачи ложного значения дальности за счет реакции дальномера на случайные предметы, находящиеся между полезным объектом и прибором (например, ветки деревьев, провода и пр.), сигнал от которых может значительно превышать сигнал от полезного объекта. В АИ ПНВ все эти ложные сигналы отсекаются задержкой [1.3.1].

За счет работы в импульсном режиме любая длительная световая помеха (излучение прожекторов, фар, пламя костров и пр.) ослабляется в число крат, равное скважности работы прибора (при условии достаточно надежного запирания затвора ЭОП). Так осуществляется временная селекция наблюдаемого объекта на фоне помех. Дополнительная помехозащищенность достигается применением в блоке наблюдения полосового (или отсекающего) фильтра с полосой пропускания, соответствующей рабочей области спектра лазерного осветителя. Реальные значения степени защиты от помех за счет указанной спектрально-временной селекции могут достигать $10^5 - 10^7$. Этого достаточно для того, чтобы наблюдение не нарушалось при воздействии на прибор прожектора с силой света до $4 \cdot 10^6$ кд, а также для ведения наблюдения и в дневных условиях при уровне естественной



освещенности $5 \cdot 10^4 - 10^5$ лк — ясный солнечный день. Таким образом, АИ-режим позволяет реализовать круглосуточное наблюдение [1.3.1].

Изменение величины задержки позволяет выделять либо подсвечиваемый объект наблюдения, либо подсвечиваемый ближний фон за ним. В первом случае оператор видит светлый объект на темном фоне — изображение объекта в «положительном» контрасте. Во втором случае — темный силуэт наблюдаемого объекта на светлом фоне — изображение объекта в «отрицательном» контрасте. С энергетической точки зрения выгоднее наблюдать в «отрицательном» контрасте, так как обычно природные фоны имеют более высокий коэффициент яркости, чем наблюдаемый объект, и, следовательно, для достижения требуемой дальности действия необходима меньшая сила света осветителя. Но при этом теряются многие информативные признаки объекта, так как виден только его силуэт (внешний контур), а нижняя часть сливается с фоном. Кроме того, ближнего фона может и не быть (если объект проецируется на фоне неба, например), поэтому наиболее универсально наблюдение в «положительном» контрасте, для которого и приводятся обычно все данные по дальности действия [1.3.1].

АИ ПНВ может работать в пассивном, активно-непрерывном и в активноимпульсном режимах (в зависимости от внешних условий). Недостатком АИ-режима является ограниченность глубины просматриваемого пространства, определяемой длительностью строба, а также тем, что поле зрения в АИ-режиме равно только углу подсвета лазерного осветителя. Из энергетических соображений этот угол не может быть большим и обычно не превышает 1–3°.

Таким образом, для обнаружения наблюдаемого объекта приходится вести поиск как по полю, так и по глубине, что приводит к совершенно неприемлемым затратам по времени. Поэтому поиск ведут обычно в более широкопольном пассивном режиме. Дальность обнаружения объекта обычно в 1,3–1,5 раза превы-



Рис. 1.3.3. Изображение мишени, имитирующей ростовую фигуру человека (РФЧ) при работе АИ ПНВ в условиях тумана в режимах: *a*) пассивном, *б* — активно-непрерывном; *в*) активно-импульсном (АИ). Преимущество АИ-режима здесь очевидно



Рис. 1.3.4. Изображение при работе АИ ПНВ в АИ-режиме танка (борт) (А), шлюпки с гребцами (*б*), РФЧ (*в*): слева — реальная РФЧ, справа — ее мишень





Рис. 1.3.5. Внешний вид малогабаритного АИ ПНВ с 10-модульным осветителем НИИПФ



Рис. 1.3.7. Внешний вид АИ бинокля ОАО «Дедал»



Рис. 1.3.8. Внешний вид переносного АИ ПНВ с 4-модульным осветителем ЦКБ «Точприбор»



Рис. 1.3.6. Внешний вид АИ бинокля НИИ «Полюс»



Рис. 1.3.9. Внешний вид АИ НТВС ФГУП СКБ ТНВ НТЦ НПО «Орион»



Рис. 1.3.10. Внешний вид подводной АИ НТВС ОАО «ТУРН»



Рис. 1.3.11. Внешний вид АИ НТВС с дистанционной передачей изображения. ФГУП СКБ ТНВ НТЦ НПО «Орион»



Рис. 1.3.12. Внешний вид АИ ночной прибор командира танка АИ ТКН. ОАО ЦКБ «Точприбор»

шает дальность его распознавания. Поэтому в пассивном режиме объект только обнаруживают, а распознают его и измеряют дальность в АИ-режиме, который имеет перед пассивным режимом преимущество по дальности. Если это невозможно из-за низкой освещенности, то поиск ведут в активно-непрерывном режиме, а при низкой прозрачности привлекают какой-либо дополнительный канал поиска. Круглосуточный поиск объектов можно вести по бликам лазерного из-



лучения подсвета, отраженного от оптических или оптико-электронных средств этих объектов. Дальность обнаружения объектов по бликам может достигать нескольких километров [1.3.1].

На рис. 1.3.3. и 1.3.4 представлены характерные изображения в АИ ПНВ, а на рис. 1.3.5–1.3.12 — внешний вид ряда АИ ПНВ.

Список литературы

- 1.3.1. Гейхман И.Л., Волков В.Г. Основы улучшения видимости в сложных условиях. М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 1999. 286 с.
- 1.3.2. Волков В. Г. Применение активно-импульсных приборов наблюдения для видения бликующих элементов. Вопросы обороной техники, серия 11, 1995 г. — Вып. 1–2 (144–145). — С. 3–7.
- 1.3.3. Мираж-1200. Прибор обнаружения оптических и оптоэлектронных систем и круглосуточного видения. Проспект НПЦ Транскрипт. — Москва, 2001.
- 1.3.4. Гольченко А. Н., Олихов И. М. Полупроводниковый лазер с электронной накачкой новый короткоимпульсный источник излучения // Электронная промышленность, 1996. № 3. С. 65–70.
- 1.3.5. Волков В.Г., Кощавцев Н.Ф., Лелейкин В.И., Плешков А.А. Активноимпульсный переносной телевизионный прибор наблюдения с дистанционной передачей изображения // Прикладная физика, 1999. — Вып. 2. — С. 146–150.
- 1.3.6. Волков В. Г. Активно-импульсные приборы ночного видения // Специальная техника, 2002. — № 3. — С. 2–11.
- 1.3.7. Гейхман И.Л., Волков В. Г. Основы улучшения видимости в сложных условиях. — М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 1999. — 286 с.
- 1.3.8. Гейхман И.Л., Волков В.Г. Видение и безопасность. М.: Новости, 2009. 840 с.
- 1.3.9. Волков В. Г., Гиндин П. Д. Техническое зрение. Инновации. М.: Техносфера, 2014. — 840 с.

I.4. Принцип действия тепловизионных приборов (ТВП)

Тепловизионные приборы (ТВП) — это устройства, позволяющие наблюдать объекты за счет наличия у них радиационного (теплового) контраста с фоном [1.4.1–1.4.16].

Принцип действия ТВП основан на преобразовании естественного теплового излучения от объектов и местности в видимое изображение. Обязательным условием его формирования является наличие температурного контраста между объектом и местностью (фоном), а в пределах контура объекта — между его отдельными элементами. Современные ТВП способны воспринимать температурные контрасты до 0,05–0,1 К [1.4.9–1.4.16].

28

ТВП имеют целый ряд достоинств: обеспечение больших дальностей видения независимо от уровня естественной освещенности, что позволяет им работать круглосуточно, возможность работы в условиях интенсивных световых помех и до определенной степени — при пониженной прозрачности атмосферы (туман, дождь, снегопад, пыль, дым и пр.). Эти приборы способны воспринимать тепловое излучение от объектов через среды, непрозрачные для видимого или ближнего ИК-излучения, но прозрачные для теплового излучения: листва, маскировочные сети, небольшой слой земли, нагромождение предметов и пр. Это дает возможность наблюдать замаскированные или скрытые объекты.

К недостаткам ТВП-приборов следует отнести зависимость их дальности действия от температурных контрастов, низкое геометрическое разрешение, плохое воспроизведение линии горизонта, защищенность только от тех световых помех, спектральная область которых не совпадает с рабочим спектральным диапазоном прибора, высокую сложность, значительную стоимость. Кроме того, ТВП работают при пониженной прозрачности атмосферы при условии, что размеры рассеивающих ее частиц не соизмеримы с рабочими длинами волн ТВП. Специфичность ТВП-изображения требует определенных навыков работы с прибором [1.4.9–1.4.16].

ТВП широко используются в специальной технике для наблюдения, прицеливания, вождения транспортных средств ночью и при ограниченных условиях видимости (дымка, туман, дождь, снегопад, пыль, дым, наличие световых помех и пр.).

Условно ТВП в зависимости от их дальности действия можно разбить на три группы [1.4.15]:

1 — ТВП малой дальности действия: до 0,7–1 км по ростовой фигуре человека и до 1,5–2 км по автомашине,

2 — ТВП средней дальности действия: соответственно — 1,2–1,5 км и 2–4 км, а также до 8 км по самолету,

3 — ТВП повышенной дальности действия, превышающей значения, указанные в п. 2.

К приборам первой группы относятся ТВП для легкого стрелкового оружия, наголовные и удерживаемые в руках ТВП наблюдения. К приборам второй группы относятся ТВП прицелы для переносных ракетных комплексов, удерживаемые в руках и переносные ТВП наблюдения. К приборам третьей группы относятся ТВП возимые для наземных транспортных средств, корабельные и авиационные приборы наблюдения и прицеливания.

ТВП с 60-х годов XX века развивались по двум основным направлениям: с использованием дискретных приемников излучения совместно с механическими системами сканирования (развертки) изображения и приборов без механического сканирования. При этом можно выделить 5 поколений ТВП.

Нулевое поколение основано на применении одиночных приемников излучения и двумерной развертки изображения с помощью сканирующей оптико-механической системы. Блок-схема ТВП нулевого поколения дана на рис. 1.4.1.





Рис. 1.4.1. Блок-схема ТВП нулевого поколения: ФП — фотоприемник одноэлементный, СР — система развертки изображения по двум координатам, ПУ — предусилитель, ГКМ газовая криогенная машина, БЭО — блок электронной обработки, ВИП — вторичный источник питания, М — мотор с приводом



Рис. 1.4.2. Блок-схема ТВП 1-го поколения: ФП — линейка фотоприемников, СР — система развертки изображения по 1-й координате, ПУ — предусилитель, ГКМ — газовая криогенная машина, МУК — модуль управления и коммутации, МВИП — модуль вторичных источников питания, М — мотор с приводом

Первое поколение связано с применением одномерных линеек фотоприемников и одномерной оптико-механической развертки изображения. Блок-схема ТВП 1-го поколения дана на рис. 1.4.2.

Второе поколение ТВП характеризуется применением матриц фотоприемников в виде 2–6 линеек с ВЗН (временная задержка и накопление) и одномерной оптико-механической развертки изображения. Блок-схема ТВП 2-го поколения дана на рис. 1.4.3. Главное отличие ТВП 2-го поколения от 1-го: выходной сигнал в ТВ-формате здесь создается модулем цифровой обработки (МЦО) в самом фотоэлектронном модуле. Переход от одного ТВП к другому осуществляется простым перепрограммированием МЦО. ТВП 2-го поколения включают микро-



30



Рис. 1.4.3. Блок-схема ТВП 2-го поколения: ФП — линейки фотоприемников, СР — система развертки изображения по 1-й координате, ПУ — предусилитель, ГКМ — газовая криогенная машина, АЦП — аналого-цифровой преобразователь, МЭО — модуль электронной обработки, МЦО — модуль цифровой обработки, МВИП — модуль вторичных источников питания, М — мотор с приводом, АЧТ — абсолютно черное тело

процессорные устройства, которые осуществляют вторичную (после мультиплексирования и выхода из холодной зоны) электронную обработку фотосигналов, включающую аналого-цифровое преобразование, усиление, компенсацию постоянной составляющей фотосигналов, компенсацию разброса вольтовой чувствительности интерполяцию или замену отсчетов «не работающих» элементов, формирование прицельной марки, кодирование изображения в условные цвета, обновление калибровочных, корректирующих коэффициентов при изменении фоновой освещенности для компенсации постоянной составляющей, формирование импульсов управления и питающих напряжений фотоприемного устройства ($\Phi\Pi Y$), которое имеет на периферии кремниевые охлаждаемые микросхемы. Они осуществляют функции накопления фототока одновременно от всех фоточувствительных элементов (Φ ЧЭ) и мультиплексирование сигналов, полученных за предыдущий цикл накопления, на выходные шины. В модуле электронной обработки (МЭО) сигналы поступают на вход АЦП и оцифровываются. После этого осуществляется операция временной задержки и суммирования сигналов в специальных программируемых логических микросхемах (ПЛИС). В простейшем случае МЭО должен обеспечивать функции вычитания фоновой составляющей, селекцию данных, отобранных по определенным признакам «не работающих» элементов, усиление и ряд других функций. После этого фотосигналы с помощью АЦП переводились в цифровой код и проходили обработку в специальном микропроцессоре. Уже к концу 90-х годов были получены образцы ФПУ, где число «не работающих» каналов не превышало 2-5% [1.4.15].

Третье поколение ТВП основано на применении «смотрящих» двумерных многоэлементных фокально-плоскостных матриц (ФПМ) фотоприемников (FPA — Focal Plane Array) без использования оптико-механических систем развертки изображения. Блок-схема ТВП 3-го поколения представлена



Рис. 1.4.4. Блок-схема ТВП 3-го поколения: 1 — ИК-объектив, 2 — матрица ИК-фотоприемников, 3 — блок охлаждения или термостабилизации матрицы, 4 — предусилители, 5 — мультиплексор, 6 — аналоговый корректор неоднородности сигналов, 7 — аналогоцифровой преобразователь, 8 — цифровой корректор неоднородности сигналов, 9 — корректор неработающих элементарных фотоприемников матрицы, 10 — блок формирования изображения с микропроцессорной обработкой видеосигнала, 11 — ТВ-монитор, 12 — цифровой выход для подключения к персональному компьютеру, 13 — окулярная система, 14 — тактовый генератор, 15 — первичный источник питания (аккумуляторная батарея)

на рис. 1.4.4. Наличие элементов 3 и 13 необязательно и зависит от типа прибора. Неоднородности сигналов элементарных фотоприемников матрицы предварительно корректируются в аналоговой форме, преобразуются в цифровую форму и окончательно корректируются с использованием данных, полученных в процессе калибровки. Далее сигналы исправляются (возможно вычитание неработающих элементов матрицы с их заполнением) и направляются в блок 10 формирования изображения. На его выходе информация выдается либо в качестве видеосигнала, направляемого в ТВ-монитор, либо в цифровой форме для передачи в персональный компьютер. Для глубокого (криогенного) охлаждения матрицы (T = 75-80 K) используется газовая холодильная машина, работающая по замкнутому циклу Сплит-Стирлинга. Для неглубокого охлаждения (Т = 150-250 К) или термостабилизации работы неохлаждаемой матрицы используется система термоэлектрического охлаждения. Основными преимуществами этих приборов являются: отсутствие оптико-механической развертки изображения и, соответственно, малые масса, габариты и энергопотребление, бесшумная, работа, высокое отношение сигнал/шум и качество изображения, широкий динамический диапазон, возможность связи с современными компьютерами, видео- и ТВ-аппаратурой, цифровая обработка изображения в реальном масштабе времени [1.4.15].

Четвертое поколение ТВП характеризуется применением разноцветных ФПМ, работающих в двух или нескольких областях спектра одновременно. Такой режим работы позволяет использовать все преимущества различных областей спектра и с помощью микропроцессорной техники сформировать интегрирован-



ное изображение, обеспечивающее более высокую информативность, чем ТВП 3-го поколения [1.4.15]. Такие ТВП находятся в стадии разработки.

Выпускаемые за последние годы ТВП относятся главным образом ко второму и третьему поколениям, хотя выпускаются ТВП и более ранних поколений.

Разновидностью ТВП являются современные малогабаритные теплообнаружители. Они отличаются от обычных ТВП низкой разрешающей способностью, т.к. предназначены не для распознавания, а только для обнаружения в поле зрения прибора теплоизлучающих объектов. Вместо изображения оператор наблюдает на экране индикатора теплообнаружителя светящуюся точку, сигнализирующую о теплоизлучающем объекте. Теплообнаружители имеют меньшие массу, габариты и стоимость по сравнению с ТВП. Как правило, теплообнаружители не применяются автономно, а используются в составе приборного комплекса, содержащего канал распознавания.

Для лучшего производственного освоения ТВП в 70-е годы XX века были разработаны и внедрены в производство стандартные общие модули. Первоначально они были разработаны для ТВП 1-го поколения одновременно в США и в странах Западной Европы — Германии, Франции и Великобритании. Производятся общие модули ТВП и в России. Общие модули ТВП в США и Германии именуются Common Module (CM), во Франции — Systeme Modulaire (SMT), в Великобритании — Thermal Imaging Common Module (TICM).

В состав ТВП 1-го поколения входит модульный блок детектор/Дьюар с отдельным блоком неохлаждаемых предусилителей. В США и в Германии число элементов в линейках КРТ-фотодетекторов было стандартным — 60, 120, 180, во Франции — обычно 55 элементов в линейке, в Великобритании — от 24 до 88 элементов в линейке (TICM, Class II). Кроме общих модулей ФПУ, были разработаны следующие общие модули [1.4.18]:

• ИК-объективы,

32

- оптико-механические системы развертки изображения,
- системы охлаждения ФПУ (сосуды Дьюара, микрокриогенные системы (MKC) — газовые холодильные машины Сплит-Стирлинг, системы Джоуля — Томсона, МКС Гиффорда — МакМагона, термоэлектрические охладители),
- блоки электронной обработки фотосигналов,
- индикаторы изображения (на основе ЭЛТ, ЖК-индикаторы, OLED-индикаторы и др.),
- окулярные системы,
- блоки вторичного питания (преобразователи напряжения первичных источников питания в рабочее напряжение ТВП,
- источники первичного питания (аккумуляторные батареи),
- стандартные узлы крепления (кронштейны, штативы, треноги и др.).

На рис. 1.4.5–1.4.14 — внешний вид типичных ТВП, на рис. 1.4.15–1.4.19 — характер изображения различных объектов, наблюдаемых в ТВП.

Работа ТВП осуществляется в двух спектральных диапазонах: 3–5,5 мкм и 8–14 мкм. Эти диапазоны соответствуют окнам прозрачности атмосферы. В об-



ласти спектра 3–5 мкм располагается максимум спектральной характеристики излучения работающих авиационных двигателей. В диапазоне 3–5 мкм по сравнению с диапазоном 8–14 мкм существенно меньше влияние естественного земного фона. В области длин волн вблизи 4,5 мкм обнаруживается максимум спектральной характеристики излучения ракетных факелов межконтиненталь-



Рис. 1.4.5. Носимый ТВП «ИРТИС-2000» 0-го поколения



Рис. 1.4.6. *а*) Возимый ТВП наблюдения 1-го поколения «Акация»; *б*) Возимый ТВП наблюдения 2-го поколения «Пособие-2»



Рис. 1.4.7. Танковый ТВП прицел 2-го по-коления «Агава»



Рис. 1.4.8. ТВП прицел для наведения ПТУРС



Рис. 1.4.9. Переносной ТВП 1-го поколения



Рис. 1.4.10. Возимый ТВП 3-го поколения



Рис. 1.4.11. ТВП бинокль 3-го поколения



Рис. 1.4.12. ТВП очки ночного видения TIG-7





Рис. 1.4.13. ТВП Тherm-Арр для смартфона



Рис. 1.4.15. Изображение фигуры человека в ТВП



Рис. 1.4.14. ТВП прицел для легкого стрелкового оружия



Рис. 1.4.16. Изображение автомашин в ТВП



Рис. 1.4.17. Изображение танка в ТВП



Рис. 1.4.18. Изображение вертолета в ТВП



Рис. 1.4.19. Изображение самолета в ТВП

ных баллистических ракет на средних после старта высотах полета в атмосфере. Область спектра 3-5 мкм благоприятна с точки зрения работы при повышенной влажности атмосферы (над водой, в джунглях). В диапазоне длин волн 8-14 мкм находится максимум спектральной характеристики излучения объектов с относительно низкой, близкой к человеческому телу температурой. Тела с температурой в интервале 0-40 °C испускают довольно интенсивное ИК-излучение в полосе 8-25 мкм с максимумом, лежащем в диапазоне 9-12 мкм [1.4.17].

Для лучшего производственного освоения ТВП в 70-е годы XX века были разработаны и внедрены в производство стандартные общие модули. Первоначально они были разработаны для ТВП 1-го поколения одновременно в США и в странах Западной Европы — Германии, Франции и Великобритании. Производятся общие модули ТВП и в России.

Общие модули ФПУ до настоящего времени используются в действующих ТВП гражданского и военного назначения. Общие модули ФПУ с числом элементов 60 применяются в основном в системах наблюдения, 120-элементные — в при-



Класс	Типы ТВП	Модули ТВП 2-го поколения	Модули ТВП 3-го поколения
0	ТВП системы детальной разведки воздуш- ного, морского и наземного базирования, прицельные системы самолетов	8×288 (KPT)	1024×640 (KPT)
1	Обзорно-прицельные ТВП системы верто- летов, бронетанковых и морских объектов обнаружения	4×288 (KPT)	768×376 (KPT)
2	ТВП вождения, пилотирования, прицелы артиллерии, БМП и БТР	2×288 (256) (KPT)	384×288 (KPT)
3	Переносные ТВП для сухопутных войск	_	256×256 (InSb, KPT, PtSi)
4	Малогабаритные носимые ТВП	(PbS, PbSe)	320×240 (МБМ)

Таблица 1.4.1. Па	раметрический	ряд ТВП модулей	ФПУ 2-го и 3-го	поколений
-------------------	---------------	-----------------	-----------------	-----------

целах танков и других объектов бронетанковой техники, 80-элементные — в прицелах самолетов и вертолетов. По программам модернизации ТВП происходит замена общих КРТ-модулей на КРТ-модули для ФПУ с временем задержки и накопления (ВЗН) для ТВП модулей 2-го поколения и для ТВП модулей 3-го поколения [1.4.18].

Общие модули SPRITE ФПУ приняты в Великобритании в качестве «общих модулей» 2-го класса (TICM II, Class II) для ТВП 1-го поколения. В Великобритании ТВП на основе SPRITE ФПУ называют ТВП поколения 1⁺ (1 plus), подчеркивая их превосходство перед линейками ФПУ 1-го поколения. Классические общие модули TICM II — это 8-элементные SPRITE ФПУ для области спектра 8–12 мкм и МКС Сплит-Стирлинга или МКС Джоуля — Томсона. SPRITE ФПУ для области спектра 3–5 мкм с ТЭО получили гораздо меньшее распространение [1.4.18].

Наибольшее распространение приобрели ТВП 3-го поколения. В них отсутствует модуль оптико-механической развертки изображения, а присутствуют модули ТВП камер. Они делятся на MWIR и LWIR модули.

Модуль MWIR (Middle Wave Infra Red) работает в области спектра 3–5 мкм, а модуль LWIR (Long Wave Infra Red) — в области спектра 8–12 мкм.

В соответствии с реализацией российской программы «Инфравид» предложены 5 основных классов ТВП и, соответственно, модули ФПУ, образуя параметрический ряд ТВП модулей ФПУ 2-го и 3-го поколений [1.4.19]. Их параметрический ряд представлен в табл. 1.4.1.

Список литературы

- 1.4.1. Эккарт Ф. Электронно-оптические преобразователи изображений и усилители рентгеновского изображения. М. — Л.: Госэнергоиздат, 1961. — 240 с.
- 1.4.2. Иванов А. В., Тяпкин Б. В. Инфракрасная техника в военном деле. М.: Советское радио, 1963. — 359 с.



Глава 1. Общие сведения о приборах визуализации изображения (ПВИ)

- 1.4.3. Фишман Р. Электронное ночное зрение: как видеть в темноте. URL: www.popmech.ru.
- 1.4.4. Инфракрасные приборы ночного видения в Германии. www.cnseries.ru.
- 1.4.5. История приборов ночного видения. www.studfiles.ru/preview/994572.
- 1.4.6. Применение приборов ночного видения вовремя 2-й мировой войны. Маkarih-203.livejournal.com/401099.html.
- 1.4.7. Советские ИК-приборы ночного видения (ПНВ) во Второй мировой войне. gmorder.livejournal.com/161112.html.
- 1.4.8. Краткая история создания ПНВ. Armyman/info/stati/26492.
- 1.4.9. Ллойд Д. Системы тепловидения. М.: Мир, 1978.
- 1.4.10. Тарасов В. В., Якушенков Ю. Г. Тенденции развития тепловизионных систем второго и третьего поколений // Оптико-электронные системы визуализации и обработки оптических изображений, 2001. Вып. 1.
- 1.4.11. Алев Р. М., Иванов В. П., Овсянников В. А. Несканирующие тепловизионные приборы. Основы теории и расчета. — Казань: Изд-во Казанск. ун-та, 2004. — 228 с.
- 1.4.12. Госсорг Ж. ИК термография. М.: Мир, 1988.
- 1.4.13. Макаров А. С., Омелаев А. И., Филиппов В. Л. Введение в технику разработки и оценки сканирующих тепловизионных систем. — Казань: Унипресс, 1988. 310 с.
- 1.4.14. Гейхман И.Л., Волков В.Г. Основы улучшения видимости в сложных условиях. М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 1999. 286 с.
- 1.4.15. Гейхман И.Л., Волков В.Г. Видение и безопасность. М.: Новости, 2009. 840 с.
- 1.4.16. Волков В. Г., Гиндин П. Д. Техническое зрение. Инновации. М.: Техносфера, 2014. — 840 с.
- 1.4.17. Пономаренко В. П. Квантовая фотосенсорика. М.: АО «НПО «Орион», 2018. 648 с.
- 1.4.18. Ушакова М.Б. Зарубежные тепловизионные приборы первого, второго и третьего поколений // Прикладная физика, 2004. — Часть 1. — № 4. — С. 70–78.
- 1.4.19. Бурлаков И.Д., Пономаренко В.П., Филачев А.М., Дегтярев Е.В. Фотоприемные устройства для тепловизионной аппаратуры второго поколения // Прикладная физика, 2007, № 2. — С. 44–53.

I.5. Принцип действия многоканальных ПВИ (МПВИ)

Для обеспечения всепогодности, круглосуточности, высокой помехозащищенности, а также повышения вероятности обнаружения и опознавания потребовалось создание нового поколения ПВИ, включающих один или несколько независимых оптико-электронных каналов. Такие ПВИ называются комбинированными, комплексированными или интегрированными, а в общем случае — многоканальными ПВИ (МПВИ). Ни один из самостоятельных низкоуровневых каналов визуализа-


ции изображения не обеспечивает всей совокупности требований, стоящих перед приборами видения ночью. Обеспечение выполнения этих требований возможно при совместном использовании различных оптико-электронных приборов, включающих различные дополняющие друг друга каналы, то есть путем комбинирования и комплексирования [1.5.1–1.5.5].

Анализ отдельных каналов визуализации изображений показал, что классические ПНВ на ЭОП имеют высокое разрешение, высокие коэффициенты усиления яркости, привычные для восприятия контрасты изображения, но сильную зависимость дальности действия и качества изображения от освещенности, прозрачности атмосферы, контрастов; активно-импульсный канал имеет высокую помехозащищенность, однако демаскирует себя, имеет относительно узкое поле зрения, крайне затруднительный поиск цели; ТВП обеспечивают большие поля зрения, большие дальности обнаружения, высокую помехозащищенность, но непривычный для восприятия вид изображения. Кроме этого, при высокой влажности, отсутствии заметных изменений температуры видимость цели в ТВП резко ухудшается. В ТВП часто не видна линия горизонта, они имеют высокую стоимость.

НТВС позволяют выводить изображение на монитор, осуществлять обработку изображения в реальном масштабе времени, но они обладают всеми известными недостатками ПНВ.

Поэтому наиболее эффективным является сочетание в МПВИ каналов, работающих на различных принципах или в различных спектральных диапазонах. Эти каналы должны были быть подобраны так, чтобы недостатки одних каналов компенсировались бы достоинствами других. Это увеличивает эффективность системы, особенно в условиях использования маскировки целей и активного противодействия оптико-электронным средствам, так как создать помехи в широкой области спектра и обеспечить эффективную маскировку крайне сложно.

МПВИ делятся на комплексированные, комбинированные и интегрированные.

Комплексированные МПВИ состоят из двух или нескольких каналов, работающих в различных спектральных диапазонах и объединенных по конструктивно-механическому принципу. Эти каналы имеют одно общее входное окно или несколько различных окон для разных спектральных областей. При этом каждый канал может работать самостоятельно в соответствии с его принципиальными возможностями. Информация выводится на отдельные дисплеи, соответствующие каждому каналу, или на единый дисплей, снабженный переключателями каналов. Совместная обработка информации, поступающей из отдельных каналов, отсутствует. МПВИ может быть смонтирован в нескольких корпусах, но устанавливается на едином носителе.

Комбинированные МПВИ состоят из двух или нескольких каналов, работающих в различных спектральных диапазонах и объединенных не только по конструктивно-механическому принципу, но и с частичным совмещением оптических осей, с наличием единого входного окна и с представлением информации на различных или общем дисплее. МПВИ смонтирован в едином корпусе. Каждый канал может работать самостоятельно.





Рис. 1.5.1. Многоканальный ночной бинокль



Рис. 1.5.2. Переносной МПВИ



Рис. 1.5.3. Возимый МПВИ

В интегрированных МПВИ осуществлено объединение различных каналов на основе общей оптической системы, а также системы обработки и представления интегрированного изображения на единый индикатор. При этом интегрированное изображение формируется на основе анализа сигналов с различных каналов по специфическим их признакам. Такое изображение формируется на основе суммирования наиболее информативных признаков изображений с отдельных каналов с помощью микропроцессорной обработки изображений в реальном масштабе времени.

Наиболее удачным сочетанием является использование оптических осей в многоканальной системе совместно ТПВ и АИ ТВ-каналов. Такое сочетание обеспечивает круглосуточную и всепогодную работу, продолжающуюся также и при наличии световых и пыле-дымовых помех, позволяет с высокой точностью измерять дальности до наблюдаемых объектов, а также такие важные их параметры, как скорость движения и координаты. В такой системе сравнительно легко может быть реализована ее адаптивность, возможность автоматизированного контроля ее параметров и модульный принцип построения. Использование изображений НТВ и ТПВ

каналов с единого ТВ-монитора позволяет перейти к интегрированной системе, а применение дополнительной ЭВМ — и к полностью автоматизированному устройству [1.5.3, 1.5.4].

Таким образом, существуют реальные возможности повысить эффективность разработки МПВИ за счет рационального построения их схем.

На рис. 1.5.1 представлен многоканальный ночной бинокль, состоящий из ТВП, НТВС, цветного дневного и лазерно-дальномерного каналов. На рис. 1.5.2. представлен установленный на треноге переносной МПВИ, состоящий из таких же каналов, но с большей дальностью действия. На рис. 1.5.3 показан возимый МПВИ, состоящий из ТВП, НТВС и лазерно-дальномерных каналов с повышенной дальностью действия. Все МПВИ имеют встроенный цифровой магнитный компас и систему GPS.



Список литературы

- 1.5.1. Краткая история создания ПНВ. Armyman/info/stati/26492.
- 1.5.2. Гейхман И.Л., Волков В.Г. Основы улучшения видимости в сложных условиях. М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 1999. 286 с.
- 1.5.3. Гейхман И.Л., Волков В.Г. Видение и безопасность. М.: Новости, 2009. 840 с.
- 1.5.4. Волков В. Г., Гиндин П. Д. Техническое зрение. Инновации. М.: Техносфера, 2014. — 840 с.
- 1.5.5. Алешин Б. С., Бондаренко А. Б., Волков В. Г., Драб Э. С., Цибулькин Л. М. Оптические приборы наблюдения, обработки и распознавания объектов в сложных условиях. М: ГНИИАС, 1999. 139 с.

ГЛАВА 2

ЭЛЕМЕНТЫ ПРИБОРОВ НОЧНОГО ВИДЕНИЯ

2.1. Объективы

2.1.1. Основные параметры и характеристики

К оптическим системам ПНВ относятся объективы, оптика для осветителей и целеуказателей, а также окулярные системы. Рассмотрим основные параметры объективов.

1а. Относительное отверстие. Оно равно отношению диаметра входного зрачка объектива к его фокусному расстоянию. Например, при диаметре входного зрачка 50 мм и фокусном расстоянии 100 мм относительное отверстие равно: О = 1:2. Это справедливо для линзового объектива. Для зеркально-линзового объектива различают геометрическое и эффективное относительное отверстие. Геометрическое относительное отверстие определяется так же, как сказано выше. Понятие «эффективное относительное отверстие» вводится из-за наличия в центральной части входного зрачка зеркально-линзового объектива мертвой нерабочей зоны. В результате рабочей зоной является кольцевая часть входного зрачка, внутренний диаметр которой равен диаметру нерабочей зоны, а внешний диаметр равен диаметру входного зрачка. С учетом этого эффективное относительное отверстие равно отношению диаметра круга, площадь которого равна площади рабочей кольцевой зоны, к фокусному расстоянию объектива. Это относительное отверстие зводной зрачка. С учетоя этого эффективное относительное отверстие равно отношению диаметра круга, площадь которого равна площади рабочей хольцевой зоны, к фокусному расстоянию объектива. Это относительное отверстие звачок зеркально-линзового объектива.

16. Фокусное расстояние f'_{ob} , мм. Определяет масштаб изображения и угол поля зрения ПНВ. Масштаб изображения (увеличение) Г в ПНВ определяется по формуле:

$$\Gamma = (f'_{ob}/f'_{ok}) \cdot \Gamma_{a}, \qquad (2.1.1.1)$$

где $f'_{ok.}$ — фокусное расстояние окуляра ПНВ, мм, $\Gamma_{_9}$ — электронно-оптическое увеличение ЭОП, крат.

Из формулы (2.1.1.1) следует, что масштаб изображения тем больше, чем больше фокусное расстояние объектива.

Различают объективы с постоянным фокусным расстоянием и с переменным фокусным расстоянием — панкратические объективы (вариообъективы или ZOOM-объективы). Фокусное расстояние может меняться плавно или ступенчато в зависимости от типа объектива. 2. Угол поля зрения 2ω, град. Он определяет угловой размер пространства объектов. Для ПНВ угол поля зрения объектива выбирается из соотношения:

$$2\omega = 2 \operatorname{arctg}(d_{\phi\kappa}/2f'_{ob}), \qquad (2.1.1.2)$$

где d_{фк} — диаметр фотокатода ЭОП, мм.

Из формулы (2.1.1.2) видно, что чем больше фокусное расстояние объектива, тем меньше его угол поля зрения. Таким образом, требование возрастания увеличения ПНВ за счет роста фокусного расстояния его объектива и одновременно требование возрастания угла поля зрения противоречат друг другу.

3. Спектральный рабочий диапазон (диапазон ахроматизации) Δλ, мкм или нм. Определяет рабочую область спектра, в пределах которого исправлены аберрации объектива, и прежде всего хроматическая аберрация. Выбирается равным рабочей спектральной области фотокатода ЭОП.

4. Расчетная длина волны λ_p, мкм или нм. Для нее при расчете обеспечивается наилучшее качество изображения объектива. Первоначально она выбиралась равной максимуму спектральной чувствительности фотокатода ЭОП. Однако это оказалось не вполне корректно, т.к. для ПНВ важна та область спектра, где достигается наибольший природный контраст объекта наблюдения с окружающим его фоном [2.1.1.1]. Эта область сдвинута в инфракрасный диапазон длин волн. С учетом этого и выбирают расчетную длину волны. Подробнее об этом изложено ниже.

Первоначально требования к величине расчетной длины волны $\lambda_{\scriptscriptstyle D}$ и диапазону ахроматизации $\Delta\lambda$ объектива назначались, исходя из спектральных характеристик фотокатода ЭОП: расчетная длина волны совпадала с длиной волны, соответствующей максимуму спектральной чувствительности фотокатода, а диапазон ахроматизации соответствовал спектральным границам чувствительности фотокатода и спектральной характеристике пропускания атмосферы. Однако такой подход не учитывал спектральной характеристики естественной ночной освещенности (ЕНО), яркости ночного неба, а также спектральных характеристик коэффициентов яркости типовых объектов наблюдения и фонов. И те, и другие характеристики обладали повышенными значениями в ближней ИК-области спектра. Соответственно этому именно там наблюдался и рост уровня ЕНО, и рост природных контрастов объектов на окружающих их фонах [2.1.1.]. В связи с этим изменилась и расчетная длина волны — она стала 0,8 мкм. Диапазон ахроматизации уже не охватывал всю видимую область спектра, т.к. там не было существенного выигрыша по указанным выше характеристикам, зато преобладал рассеянный свет, снижающий контраст в изображении. Из-за этого оказалось целесообразным установить перед фотокатодом ЭОП красные отсекающие фильтры КС-17 или КС-19. Соответственно этому диапазон ахроматизации сузился до 0,6-0,9 мкм (многощелочные фотокатоды ЭОП поколений 1; 2; 2⁺; 2⁺⁺; 3) и 0,6-1,1 мкм (фотокатоды ЭОП поколения 3⁺) [2.1.1.1]. Для фотокатодов ЭОП поколения 4, для которых характерен сдвиг спектральной чувствительности в область спектра 1,3–2,3 мкм [2.1.1.], наблюдается еще больший рост уровня ЕНО



и природных контрастов, сопровождающихся также повышением пропускания атмосферы. Та же тенденция сохранялась и для объективов, используемых для работы с матрицей ПЗС либо с матрицей фотоприемников на основе соединения InGaAs [2.1.1.1]. В связи с этим расчетная длина волны объективов для кремниевых матриц ПЗС сохранялась 0,8 мкм при диапазоне ахроматизации 0,4–1,1 мкм. Для подводных ПНВ диапазон ахроматизации и расчетная длина волны должны быть назначены с учетом спектральных кривых поглощения воды) [2.1.1.1]: соответственно 0,48–0,6 мкм и 0,51–0,546 мкм. Для новых ПНВ четвертого поколения расчетная длина волны должна быть равной 1,5 мкм при диапазоне ахроматизации 0,8–1,8 мкм, а в перспективе — соответственно 1,7 мкм и 2,2 мкм.

6. Пропускание τ. Определяется отношением светового потока, прошедшего через объектив, к световому потоку, падающему на его входной зрачок в пределах спектрального рабочего диапазона объектива.

 Коэффициент светорассеяния δ. Определяет паразитную освещенность за пределами полезного изображения вследствие рассеяния света в оптических элементах объектива и на его оптических поверхностях.

8. Предельная разрешающая способность N_{пр}, штр/мм. Определяет минимальное расстояние между двумя точками в пространстве предметов, при котором они еще могут быть раздельно изображены объективом в его фокальной плоскости. Различают предельную разрешающую способность объектива в центре и на краю поля зрения.

9. Частотно-контрастная характеристика T(N). Ее называют также функцией передачи модуляции. Она устанавливает зависимость коэффициента передачи контраста T(N) от пространственной частоты N, штр/мм. Различают полихроматическую ЧКХ для всей рабочей области спектра объектива и монохроматические ЧКХ для отдельных длин волн. ЧКХ рассчитывается и измеряется как для центра, так и для края поля зрения объектива.

10. Заднее вершинное фокусное расстояние $S'_{F'}$, мм. Оно равно расстоянию от вершины задней оптической поверхности объектива до его фокальной плоскости. Имеет значение для конструктивной стыковки объектива с ЭОП и для возможной установки перед фотокатодом ЭОП светофильтра. Не следует путать этот параметр с задним рабочим отрезком объектива — расстоянием от заднего среза его оправы (посадочной поверхности) до фокальной плоскости.

11. Оптическая длина объектива, мм — продольное расстояние между первой оптической поверхностью объектива и его фокальной плоскостью.

12. Масса в стекле, г, кг — суммарная масса оптических деталей объектива.

Все параметры, конструктивные характеристики, сводка аберраций и ЧКХ объектива представляются в его оптическом выпуске.

Объективы ПНВ делятся на линзовые и зеркально-линзовые.

Для наголовных ПНВ (очки ночного видения бинокулярные и псевдобинокулярные, наголовные ночные монокуляры) используются линзовые объективы, которые отличаются следующими типичными параметрами:

1) угол поля зрения 40-50°,

2) относительное отверстие от 1:1,4 до 1:1,



- 3) фокусное расстояние 25 или 20 мм,
- 4) минимальная масса и габаритные размеры.

Эти объективы обладают наибольшей сложностью из-за необходимости обеспечить высокое качество изображения для высокой светосилы в сочетании со значительным углом поля зрения. В табл. 2.4.1 приведены основные параметры этих объективов, а типичные схемы — на рис. 2.4.1–2.4.3.

В зарубежной технике эти объективы содержат асферические оптические поверхности. Нередко такие объективы выполнены с полным или частичным применением полимерных материалов. Отечественные объективы не содержат асферических поверхностей и оптических компонентов из полимерных материалов, хотя расчеты и соответствующие оптические выпуски таких объективов имеются. Это вызвано высокой стоимостью изготовления асферических оптических поверхностей и нестабильностью характеристик существующих отечественных полимерных оптических материалов, в особенности при воздействии радиоактивного излучения.

Список литературы

2.1.1.1. Гейхман И.Л., Волков В.Г. Видение и безопасность. — М.: Новости, 2009. — 840 с.

2.1.2. Гидрообъективы

Особо следует остановиться на гидрообъективах для очков ночного видения. Это — объективы, рассчитанные для работы с объектами, находящимися в водной среде.

При погружении в воду ПНВ с иллюминатором он вызовет изменение угла поля зрения и фокусного расстояния (а значит, и масштаба изображения) гидрообъектива в соответствии с формулами [2.1.2.1]:

$$tg \beta_a = n_w tg \beta_w (1 - tg^2 \beta_w (n_w^2 - 1))^{-0.5}, \qquad (2.1.2.1)$$

$$f_{w} = f_{a} n_{w} (1 - tg^{2} \beta_{w} (n_{w}^{2} - 1))^{-0.5}, \qquad (2.1.1.2)$$

где β_a , β_w — угол поля зрения гидрообъектива в воздухе и в воде соответственно, град.; f_a , f_w — фокусное расстояние гидрообъектива в воздухе и в воде соответственно, мм; n_w — показатель преломления воды.

При малых углах β_w значение tg $\beta_w \ll 1$, поэтому $f_w = f_a \cdot n_w$, т. е. масштаб изображения увеличивается в $n_w \sim 1,33$ раза. Кроме того, он еще и изменяется по полю зрения в соответствии с законом $(1 - tg^2\beta_w(n_w^2 - 1))^{-0.5}$ [2.1.2.1]. Это приводит к дополнительной дисторсии, которая при $\beta_w > 30^\circ$ превышает 15%. Легко также показать, что в воде угол поля зрения уменьшается в ~1,33 раза, т. е. на ~25%, а светосила — в ~ n_w^2 раз. В воде уменьшается фокусировка гидрообъектива для объектов, находящихся на конечном расстоянии. Они воспринимаются как расположенные на расстоянии в ~1,33 раза ближе к гидрообъективу, чем на самом деле.



Для сохранения практически неизменным угла поля зрения гидрообъектива при перемещении ПНВ из воздуха в воду может быть использован сферический иллюминатор. В случае его применения оптический центр гидрообъектива должен быть точно установлен в центре кривизны сферической поверхности иллюминатора. При этом лучи света идут практически нормально к оптической поверхности гидрообъектива, и возникают незначительные аберрации. Однако при перемещении гидрообъектива относительно иллюминатора возникают серьезные нарушения качества изображения, в особенности для больших углов поля зрения. Для компенсации качества изображения приходится дополнительно использовать корректирующие линзы. Расчет такого гидрообъектива должен быть выполнен с учетом наличия в ходе лучей сферического иллюминатора и корректирующей линзы. Это приводит к усложнению конструкции гидрообъектива, в особенности для светосильных и широкопольных оптических систем.

Основные параметры гидрообъективов для подводных наголовных ПНВ представлены в табл. 2.1.3.1, а их схемы — на рис. 2.1.3.4, 2.1.3.5.

Список литературы

2.1.2.1. Гейхман И.Л., Волков В.Г. Видение и безопасность. — М.: Новости, 2009. — 840 с.

2.1.3. Линзовые объективы

Рассмотрим линзовые объективы. Их основные схемы представлены на рис. 2.1.3.1–2.1.3.10, а основные параметры приведены в табл. 2.1.3.1, 2.1.3.2. Линзовые объективы проще в сборке и юстировке, однако обладают значительной массой и продольными габаритами, качество их изображения сравнительно низко, в особенности на краю поля зрения. Для повышения качества изображения линзовых объективов и снижения их массы используются киноформные оптические поверхности (рис. 2.1.3.10) [2.1.3.1].

Для современных очков ночного видения характерно их низкопрофильное исполнение, когда продольные габариты прибора минимальны. Это необходимо для разгрузки лицевой части головы оператора и его шейных мышц. Для таких



Рис. 2.1.3.1. Оптическая схема объектива «Цефей», оптический выпуск Л70-В-11157РР, f' = 20 мм, O = 1:1, $2\omega = 48^{\circ}$



Рис. 2.1.3.2. Оптическая схема объектива «Бизар-5», оптический выпуск Л1144-90-В321, f' = 25 мм, O = 1:1, 3, 2ω = 40°



Рис. 2.1.3.3. Оптическая схема объектива с призмой, оптический выпуск Л1104-98-B524, f' = 20 мм, O = 1:1,3, 2ω = 48°



Рис. 2.1.3.5. Оптическая схема гидрообъектива «Гидробизар-2», оптический выпуск Л1104-00-B591, f' = 25 мм, O = 1:1,3, 2ω = 30°



Рис. 2.1.3.7. Оптическая схема объектива «Петцваль», оптический выпуск Л1104-00-В608, f' = 100 мм, O = 1:1,8, $2\omega = 10^{\circ}$

Рис. 2.1.3.8. Оптическая схема объектива ЛИК-74 K, f' = 150 мм, O = 1:1, 2 ω = 7°



Рис. 2.1.3.9. Оптическая схема объектива ЛИК-58, оптический выпуск Л70-В-6070, f' = 450 мм, $O = 1:2, 2\omega = 6^{\circ}$



Рис. 2.1.3.4. Оптическая схема гидрообъектива «Гидробизар-1», оптический выпуск Л1104-00-B582, f' = 25 мм, O = 1:1,3, $2\omega = 30^{\circ}$



Рис. 2.1.3.6. Оптическая схема объектива по оптическому выпуску Л1104-00-В598, $f' = 20 \text{ мм}, \text{ O} = 1:1,2, 2\omega = 48^{\circ}$





Глава 2. Элементы приборов ночного видения



Рис. 2.1.3.10. Оптическая схема объектива «Арес-9», $f' = 150 \text{ мм}, O = 1:1,5, 2\omega = 9^{\circ}$ (звездочкой показана киноформная поверхность)

очков необходимы объективы, в которых оптическая ось изломана один или два раза. В соответствии с этим был рассчитан целый ряд объективов, у которых между последней по ходу луча оптической поверхностью и фокальной плоскостью введена призма (рис. 2.1.3.3), либо между отдельными линзовыми компонентами объектива име-

ется воздушный промежуток, достаточный для установки в нем одного или двух зеркал (рис. 2.1.3.6) [2.1.3.1].

Список литературы

2.1.3.1. Гейхман И.Л., Волков В.Г. Видение и безопасность. — М.: Новости, 2009. — 840 с.

2.1.4. Зеркально-линзовые объективы

Существенно более высокое качество изображения, меньшие массу и продольные габариты имеют зеркально-линзовые объективы. Они обладают по сравнению с линзовыми объективами рядом преимуществ [2.1.4.1]:

- 1) меньшие продольные габариты и масса,
- 2) более высокое качество изображения,
- 3) большая светосила,
- 4) более широкий диапазон ахроматизации.

Недостатки этих объективов по сравнению с линзовыми объективами:

- больший поперечный габарит при том же эффективном относительном отверстии, что и у аналогичного линзового объектива, за счет наличия нерабочей центральной зоны,
- большее виньетирование по полю, что создает трудности в создании широкоугольных объективов,
- более жесткие требования к сборке и юстировке, в особенности при повышенных требованиях к устойчивости к механическим нагрузкам,
- 4) наличие наружных и внутренних бленд для подавления постороннего и рассеянного света,
- 5) требование учета температурной компенсации качества изображения,
- 6) большая стоимость.

В связи с этим зеркально-линзовые объективы используются в основном там, где нет жестких ограничений по диаметру входного зрачка и не требуются широкие поля зрения: в основном это ночные бинокли и зрительные трубы, ночные прицелы для легкого стрелкового оружия, переносные ПНВ или возимые ПНВ со свободной компоновкой.

Примечание		14						УФ-объектив							Оптический журнал, 2003. № 9. С. 43—46	С зеркалом внутри		С призмой	С призмой
Масса в стекле,	í.	13	4,52	4,3	7,5	10	7	9,2	19,4	26	26	20	17,5	20		47,5		65	120
L,		12		26,64	28,9	36,3	28,8	42,7		45,1	45,1	47,32	54,56	43,8		84,7			
${ m S}_{ m F'},$	TAT TAT	11	0,059	8,04	6,5	12,2	7,7	7,0	9,66	11,6	11,6	12,88	11,66	15,6	3,078	15,6		11,1	10,1
срая поля /мм,	50 (40)	10				0,51/0,09			0,38/0,047	0,56/0,23	0,56/0,41			0,45/0,21					
очки на оси/и я, для N, штр	30	6		0,94/0,41	0,69/0,15	0,67/0,24	0,75/0,21	0,53/0,30	0,521/0,127	0,74/0,38	0,74/0,33	0,78/0,32	0,88/0,31	0,69/0,34	0,80/0,41	0,85/0,49		0,63/0,23	0,57/0,64
Т (N) для т зрени	10 (15)	8		0,99/0,90	0,93/0,51	0,94/0,83	0,97/0,54	0,80/0,73	0,815/0,529	0,96/0,78	0,96/0,78	0,97/0,62	0,98/0,76	0,95/0,96		0,95/0,87		0,98/0,93	0,89/0,94
ч		7																	
$\lambda_{\mathrm{p}},$		9	1,0	0,8	0,8	0,7	0,8	0,3371	0,656	0,7	0,7	0,8	0,8	0,7	0,7	0,8	0,7	0,7	0,7
$\Delta\lambda,$		5	0, 8-1, 1	0, 6-0, 9	0, 6-0, 9	0,486-0,9	0,6-0,9	0,31-0,36	0,48-0,852	0,546-0,9	0,546-0,9	0, 6-0, 9	0,6-0,9	0,546-0,9	0,486-0,9	0, 6-0, 9	0,486-0,9	0, 6-0, 9	0,546-0,9
200, Thair	· trind 1	4	40	80	80	43,6	09	34	60	52	52	48	48	48	40	48	40	48	48
эонапэтиз ерстие	онтО ато	3	1:0,8	1:2	1:1,5	1:1,2	1:1,3	1:1,25	1:1,1	1:1	1:1	1:1,2	1:1,3	1:1,2	1:1,1	1:1,3	1:1,1	1:1,3	1:1,3
f'. MM		2	10,27	10	10	15	15	15	18	18,8	18,8	20	20	20	20,357	20	20	20	20
Наименование (№ оптического	выпуска)	1	JI46-76-B65	Л1104-00-B592	J11104-00-B593	Л1104-96-В464	Л1104-00-В596	Л1104-00-B578	T18-8WW	Л1144-96-В467	Л1104-96-В462	Л1104-00-B568	Л1104-00-В604	Л1104-97-B512	С подвижным компонентом	Л1104-00-В580	Л1144-В91-352 («Бизар-7»)	Л1104-98-В524	JI1104-97-B521

Таблица 2.1.3.1. Основные параметры линзовых объективов для наголовных ПНВ

2.1. Объективы



14	С зеркалом внутри				Есть асферика	С призмой с крышей					С призмой	С призмой	С призмой		
13				15	25	97,81	52	20	21,4		66,82	115,3 (с призмой) 101,5 (без нее)	56 (с призмой) 31 (без нее)	21 (без иллюми- натора) 36 (с ним)	22 (без иллюми- натора)
12		35,1		36,0	34,5				46,37	45,2	63,8			60,55	52,62
11	5,5	11,8	11,12	10,5	6	10,1			13,37	12,2	0,011	9,4	8,1	15,5	11,62
10	0,54/0,25		0,61/0,03	0,40/0,18	0,4/-				0,52/0,00	0,619/0,017					
6	0,80/0,39	0,575/0,056	0,79/0,06	0,63/0,27	0,7/-			0,65/-	0,67/0,00	0,745/0,047	0,89/0,195		0,841/-	(0,81/0,62)	(0,82/0,62)
8	0,98/0,80	0,979/0,84	0,95/0,58	0,92/0,57	0,95/-	0,78/-		0,86/-	0,94/0,15	0,956/0,338	$0,989/\\0,841$		0,971/-	0,97/0,87	0,96/0,80
7		0,8													
9	0,7	1,0	0,656	0,7		0,7	0,78		0,8	0,7	0,8	0,656	0,8	0,546	0,546
5	0,546-0,9	0,9-1,5	0,486-0,9	0,486-0,9		0,486-0,9	0,584-0,9	0,486-1,0	0,589-0,9	0,546-0,9	0,546-0,9	0,58-0,8	0,546-0,9	0,48-0,60	0,48-0,60
4	48	46	47	48	47	47,2	50	30	40	40	40	40	40	30	30
3	1:1,2	1:1,5	1:0,99	1:1	1:1	1:1,3	1:1,08	1:1,1	1:1,3	1:1,3	1:1,3	1:1,23	1:1,2	1:1,3	1:1,3
2	20,194	20	20,3	20	20	20	21	23	25	25	25	25	25	25	25
1	Светосильный	Л1105-95-B458 («Биар»)	Л46-81-167	Л70-В-11157PP («Цефей»)	PG-1MS (Нидерланды)			Эффект-1	Л1101-B88-293 («Бизар-3»)	Л1144-90-В321 («Бизар-5»)	Л1105-94-В445 («Бизар-8»)	Объектив ГОИ	Светосильный	Л1104-00-В582 («Гидробизар-1»)	Л1104-00-В591 («Гидроби-

Таблица 2.1.3.1. (Прололжение)



14	С призмой для ОНВ-2									С призмой	С призмой			Типа «Петцваль»						
13	58,57	18	25	20		45,5	42	33,5	30	46 (с призмой) 26 (без нее)	66,82 (с призмой) 27,3 (без нее)	37	68	11,5	30,14	30		27	92,9	
12	63,68		42,5		48,44		84,1	61, 2	60,55					41,5		46,4	57,7		50,5	
Ξ	0,001	9,6	12,6		20,34		10,6	12,9	11,4	9,3	8,1			7,5	7,444	12	13,9		7,2	11,324
10	0,40/0,10	0,66/0,34	0,62/0,11		0,62/0,11	0,60/0,38	0,56/0,28	0,72/0,21	0,71/0,23					0,69/0,27						
6	0,30/0,06	0,71/0,53	0,66/0,20	0,57/-	0,69/0,20	0,82/0,52	0,76/0,40	0,87/0,37	0,88/0,40	$0,841/\\0,014$	0,641/-	0,76/-	0,47/-	0,88/0,48				0,82/-		
8	0,88/0,88	0,91/0,93	0,94/0,90	0,82/-	0,91/0,45	0,98/0,87	0,96/0,81	0,98/0,79	0,98/0,81	0,971/0,0	0,971/-	-/6.0	0,74/-	0,99/0,84				0,93/-		
7																				
9	0,8	0,8	0,656		0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8			0,656	0,7	0,8	0,8		0,7	0,7
5	0,60-0,90	0,65-0,85	0,5-0,9	0,486-1,1	0,486-0,9	0,546-0,9	0,546-0,85	0,546-0,85	0,546-0,85	0,546-0,9	0,546-0,9	0,486-1,1	0,589-0,9	0,589-0,9	0,546-0,85	0,486-0,95	0,486-0,95	0,486-0,9	0,6-0,9	0,6-0,9
4	40	40	40	38	40	40	40	40	40	40	40	40	50	23	30	22,6	50	30	40	31
з	1:1,36	1:1,44	1:1,4	1:1,4	1:1,2	1:1,2	1:1,2	1:1,2	1:1,2	1:1,3	1:1,3	1:1,4	1:1,05	1:1,5	1:1,5	1:1,1	1:1,1	1:1	1:1	1:1,2
2	25,54	26	26	26	26,2	26,4	26,4	26,4	26,4	27	27	27	28	30	30	30	30	30	37	37
1		Л1104-99-В545	Л1101-87-В269	Ариэль-1	Л1101-B87-250 («Бизар-1»)	Л1104-99-В547	Л1104-99-В551	Л1104-99-В546	Л1104-99-В552	Л1104-98-В528	Л1104-98-В530	Витол	Светосильный	Л1144-96-В460	Петцваль с призмой	Л1104-99-В559	Л-467311-310	Ариэль-2	JI70-B71-B-3425 (Объектив 59)	3 K

Таблица 2.1.3.1. (Окончание)





							T (
Наименование		.ис 1РНОС					T(N)) для N, штр	/MM			Macra	
(Ne оптического выпуска)	f'. MM	сэтизонтО гэдэято	20, град.	Δλ , MKM	λ _p , MKM	4	10 (15)	30	50 (40)	S _F , MM	T,	в стек- ле, г	Примечание
1	2	3	4	5	6	~	8	6	10	11	12	13	14
Л81-В-3959 (Рекорд-5)	36	1:0,9	48	0,434-0,656	0,546					15,44	46,2	84,1	
Л70-В-4260 (Объектив 50 II)	37	1:0,85	30	0,589-0,9	0,7					3,64	87,21	252,6	
Л70-В-2742	37	1:1	40	0,486-0,766	0,589					8,78	72,75	172,3	
Л70-В-4483	37	1:1	40	0,589-0,9	0,7					6,79	54,26	98,6	
Л70-В-3094	37	1:1	40	0, 6-0, 9	0,7					12,72	45,48	83,9	
Модель CL-19, Япония, Коwa Аmerican Corp. Ltd.	37,5	1:1	19							16,2	45,46	140	7 линз
Л1144-96-В466	40	1:1,1	25,4	0,546-0,9	0,8		$0,949/\\0,833$	$0,691/\\0,536$	$0,416/\\0,423$	20,9	79	112	
Л46-78-В97М	40	1:1	36	0,546-0,9	0,656					6,848	66,3		
Л1104-02-В637	40	1:1,5	20	0,6-0,9	0,8		0,94/0,11	0,62/0,03		8,04	47,84	29	
Л1104-01-В613	40	1:1,1	24	0,656-0,9	0,8		0,97/0,07	0,76/0,17	0,57/0,07	15,7	91,0	99	
Модель СL-40 В, Япония, Коwa American Corp. Ltd.	40	1:1	11,5							3,4	56,8	210	8 линз
Светосильный	43	1:1,1	45	0,589-0,9			0,68/-	0, 3/-					
Эффект-2	45	1:1	30	0,486-0,9			0,72/-	0,53/-				142	
Л70-В-2605	50	1:1	40	0,589-0,9	0,7					12,26	91,7	386,2	

Таблица 2.1.3.2. Основные параметры линзовых объективов лля носимых, переносных и возимых []НВ



14						8 линз	7 линз	10 линз	е линз						
13	177,3				33,41	780	750	1040	210	275	1360	180		163	
12	59,07	79,86		87,9	83,9	81,5	75	130	56,8		112,3		142,9	119,1	133,7
=	12,87	16,86	23,1	23,8	5,14	7,4	3,14	4,25	35,6		3,92		13,6	39,8	20,5
10															
6					0,713/ 0,618					0,63/-		0,67/-	0,446/ 0,134		
8					0,899/ 0,853					0,75/-		0,87/-	$0,774/\\0,634$		
7															
6	0,7	0,8	0,7	0,7	0,65								0,527	0,7	0,656
5	0,589-0,9	0, 6-1, 1	0,546-0,9	0,589-0,9	0,5-0,85					0,546-0,8		0,6-0,9	0,48-0,8	0,589-0,85	0,589-0,9
4	40	18	50	20	13,68	17	11,5	28	14,3	20	11,5	10	24	11,5	13
ю	1:1,2	1:1,65	1:1,15	1:1,5	1:1,5	1:0,7	1:0,75	1:0,65	1:1,5	1:1,1	1:1	1:1,5	1:1,1	1:1,5	1:1,5
2	50	50	50,64	50	50	50	50	60	60	70	75	76	80	80	80
1	JI70-B-2442	Петцваль	Л46-12-75	Л1144-90-В336 («Бизар-6»)	Л1104-96-В474	Модель CL-44 B, Япония, Kowa American Corp. Ltd.	Модель CL-37, Япония, Коwa American Corp. Ltd.	Модель CL-45, Япония, Коwa American Corp. Ltd.	Модель CL-43, Япония, Коwa American Corp. Ltd.	CBer-9	Модель CL-39, Япония, Коwa American Corp. Ltd.	Диамант-1	Л1105-95-В456	Л1104-00-В575	Л1144-90-В329

Таблица 2.1.3.2. (Продолжение)





14		6 линз			6 линз										С афокаль- ной насадкой $\Gamma = 4x$, длина 97,2 мм			
13	158	230			1110	450		315	188	1056		181	210	202	211		140	
12	116,2	65	144,96		98,5	129,4	147,4	146,8	130,3					138,6		118,34	147,1	
11	22,1	47,4	53,86	21,65	59,3	19,2	52	26,2	12,1					18,1		9,08	26,4	17,4
10	$0,486/\\0,13$		0,425/ 0,155	0,30/0,01			0,55/0,10	0,49/-	0,40/-								0,75/0,17	
6	$0,626/\\0,008$		0,573/ 0,243	0,53/0,01			0,74/0,30	0,76/0,03	0,52/0,02	0,38/-	0,45	0,42	0,76			0,55/0,10	0,90/0,39	
8	$0,89/\\0,58$		0,833/ 0,599	0,87/0,1			0,94/0,60	0,97/0,23	0,85/0,07	0,58/-	0,78/-	0,7/-	0.91/-			0,950,80	0,99/0,95	
7																		
6	0,656		0,766	0,766		0,82	0,7	0,8	0,8					0,8	0,656		0,8	0,589
5	0,589-0,9		0,546-0,9	0,589-0,93		0,546-0,9	0,6-0,9	0,65-0,863	0,65-0,85	0,589-0,766	0,583-0,9	0,435-0,766	0, 6-0, 92	0,65-0,9	0,5-0,9		0,65-0,863	0,546-0,7
4	13	14,25	6	8	10,5	10	10,3	10	10	13	10	12	10	10	5	8	10	23
3	1:1,5	1:2	1:1,46	1:1,64	1:1,4	1:1,2	1:1,5	1:1,5	1:1,5	1:1,2	1:1,2	1:1,5	1:1,5	1:1,5	1:1,55	1:2	1:1,8	1:1,5
2	80	80	95	95	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	104	100,1	100	105
-	Л1144-93-В419	Модель CL-41, Япония, Коwa American Corp. Ltd.	Л46-03-181	PP-05-190	Модель CL-38, Япония, Коwa American Corp. Ltd.	Л70-В6999	Л1104-96-В480	Л1104-96-В467	Л1104-01-В630	ЛИК-48	ЛИК-67	ЛИК-72	Apec-2	АЛ32-03-В01	AJI31-03-B02	F-0.315.835 OKB «CKAH»	Л1104-00-B608	Л46-76-В66

Таблица 2.1.3.2. (Продолжение)



14																Есть кино- формная поверхность
13	520			450	2100		2020					1407	2127	2275		400
12	82	189,5			193,9		150		222,84	291,02	154,8			222,15		200,8
11	44,	24,6	10,16		15,9	40,13	16,2		38,84	46,5	35,2		39,4	38,5		-0,18
10		0,57/0,03											0,15/0,04	0,17/0,05		0,50/0,19
6		0,67/0,03		0,8		$0,541/\\0,607$		0,5/-		$0,667/\\0,548$	$0,471/\\0,219$	0,45/-	0,37/0,21	0,49/0,10	0,23/-	0,82/0,27
8		0,93/0,23		0,87/-		$0,881/\\0,867$		0,7/0,4		0,926/ 0,855	$0,843/\\0,539$	0,68/-	0,87/0,76	0.91/0.79	0,52/-	0,96/0,58
7																
9		0,8	0,7			0,863		0,589	0,766	0,766	0,766		0,8	0,82		0,76649
5		0,65-0,863	0,546-0,9	0,6-0,9		0,7-0,9		0,48-0,85	0,656-0,9	0,589-0,9	0,589-0,9	0,546-0,9	0,546-0,9	0,656-0,9	0,546-0,9	0,7-0,9
4	11,5	8,34	12	6	11,5	4,1	11,5	7	7	8	12	10	7	7	10	6
3	1:2,8	1:1,5	1:1,2	1:1,5	1:1,75	1:1,1	1:2	1:2	1:1,1	1:1,5	1:1,5	1:1,5	1:1,1	1:1,1	1:1,5	1:1,5
2	110	120	120	124	125	131	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
-	Модель CL-109, Япония, Коwa American Corp. Ltd.	Петцваль	Л46-7512-В1	Диамант-2	Модель CL-33 B, Япония, Коwa American Corp. Ltd.	Л1101-87-В272	Модель CL-42, Япония, Коwa American Corp. Ltd.	T-03.45.726 OKB «CKAH»	JI46-7506-B1	JI48-78-B-87	Л72-В-9464	ЛИК-69	ЛИК-74	Л70-В (ЛИК-77)	Гелиос-ПА	Apec-9

(эпнәжегородП)
2.1.3.2.
Таблица





14	Есть кино- формная	поверхность								Для ТВ-ка- нала		Есть кино- формная поверхность					
13	160				2860	2744		2500	2900	297	326,62	500					8500
12	201,31			315,26		267,8	267,45		434,5	113,6	16,72	342	404,85		495,5		669,03
=	-0,86		117,2	73,3		96	107,5					-1,51			11,94	134,77	34,03
10	0,66/0,64					0,15/0,05	0,4/0,2					0,56/ 0,05	1,35				
6	0,82/0,81				0,35	0,56/0,4	0, 6/0, 4	0,52	0,55			0,76/ 0,36	0,3	0,5			0, 3/-
8	0,95/0,95				0,53/-	0,8/0,5	0,9/0,8	0,8/-	0,77/-			$0,91/\\0,87$	0,5/-	0,71/-			0,6/-
7																	
6	0,76649		0,656	0,656		0,8	0,82			0,82	0,656	0,76649	0,656		0,656		0,656
5	0, 6-0, 9		0,589-0,77	0,589-0,9	0,546-0,9	0,589-0,9	0,70/0,92	0,486-0,951	0,67-0,92	0,656-0,92	0,589-0,766	0,6-0,9	0,589-0,766	0,589-0,9	0,589-0,766		0,546-0,8
4	10		10	10	10	9	5	7	5	5	9		6	9	7	9	6
3	1:2		1:1,5	1:1,65	1:1,5	1:1,5	1:1,4	1:1,56	1:1,47	1:2,67	1:1,5	1:2	1:1,5	1:1,5	1:1,56	1:1,66	1:2
2	150		198,5	200	200	200	200	200	200	200	250	260	300	300	377	400	450
1	Apec-11		Гелиос	Петцваль	ЛИК-70	ЛИК-76	Л85-B-12096 («Арес»)	Apec-1	Apec-3	Л1144-88-В291	Л70-В-2495	Apec-12	ЛИК-7	Антей	Л70-В-2756 («ЛИК-2»)	0.J-1	Л70-В-6070 (ЛИК-58)

(Окончание)
2.1.3.2.
Таблица



Основные параметры зеркально-линзовых объективов приведены в табл. 2.1.4.1, а внешний вид типичных их схем — на рис. 2.1.4.1–2.1.4.9. На рис. 2.1.4.2, 2.1.4.4, 2.1.4.5 представлены некоторые методы введения в поле зрения зеркально-линзовых объективов прицельной марки (визирной шкалы) [2.1.4.1].

Как известно, объективы ПНВ создают на фотокатоде ЭОП перевернутое изображение. Для того чтобы оно стало прямым, используется либо ЭОП с оборачиванием изображения, либо вместо окуляра применяется микроскоп. В последнем

случае увеличиваются продольные габариты ПНВ и возрастает сложность окулярной системы. Поэтому зеркально-линзовых объективах может быть использовано оборачивание изображения. В частности, в объективе по схеме рис. 2.1.4.6 используется трипель-призма. В данной схеме сочетаются сферическое зеркало и трипель-призма. При большом относительном отверстии объектива не удается вывести изображение через отверстие в зеркале. Оно получается расположенным перед сферическим зеркалом. Для его ввода используется отрицательная линза. Однако при этом происходит увеличение эквивалентного фокусного расстояния. Для его уменьшения применяется бифокальный оптический компонент. В данном объективе используется для защиты от постороннего света бленда. Поскольку в призменный компонент лучи входят на высоте значительно большей, чем на выходе, то бленда может близко подходить к призменному блоку и обеспечить надежную защиту от засветок [2.1.4.1].

Основные параметры объектива приведены в табл. 2.1.4.1. К недостаткам объектива следует отнести большую длину хода луча в стекле, высокие требования к точности углов призмы (порядка 2"), дополнительные блики и соответствующее снижение контраста в изображении из-за большого количества оптиче-



Рис. 2.1.4.1. Оптическая схема объектива, оптический выпуск Л46-74-В1, f' = 80 мм, $O = 1:0.8, 2\omega = 10^{\circ}$



Рис. 2.1.4.2. Оптическая схема объектива с прицельной маркой (показана звездочкой), оптический выпуск Л70-В-8477, f' = 160 мм, $O = 1:1, 2, 2\omega = 8°56'$



Рис. 2.1.4.3. Оптическая схема объектива, оптический выпуск Л46-80-В89, f' = 160 мм, $O = 1:1,18, 2\omega = 8°56'$

переносных и возимых ПНВ	
новные параметры зеркально-линзовых объективов для носимых,	
Таблица 2.1.4.1. Ос	

Масса в стек- Примечание	JIe, r	13 14	23		75			Материал — полиметил- метакрилат	Завод «Диа- проектор», Беларусь	150		130		
L, мм (с блен-	дой, мм)	12	36,72 (51,72)		10,72 (94,12)	139,33	61,36 (79,86)	61,46 (76,45)		62,63 (100,63)	66,8	67,5 (89,5)	67,51	69,2
S _F ',	MM	11	6,24		55,72	5,122	6,08	5,96	15,14	10,3	13,6	7,42	6,54	6 65
си/края штр/мм	50 (40)	10	$0,981/\\0,012$		0,79/0,11					$0,934/\ 0,071$	0,7/0,2	$0,868/\\0,285$	0,95/0,2	0.470.1
г точки на с ния, для N,	30	6	$0,993/\\0,070$		$0,88/\\0,36$		$0,918/\\0,448$	0,93/0,506		$0,976/\\0,248$	0,8/0,2	$0,872/\\0,513$	0,97/0,35	0 65 /0 /
тца (N) для поля зрен	10	8	0,999/ 0,545		0,99/0,79		0,982/0,849	$0,983/\\0,881$		0,997/ 0,735	0,99/0,6	0,966/ 0,856	0,99/0,9	0 02 /0 00
4		7							0,75					
λ _p ,	MKM	9	0,7	0,656	0,7	0,7	0,589	0,589		0,7	0,7	0,589	0,589	0 87
Δλ,	MKM	5	0, 4-0, 9	0,546-0,9	0,486-0,9	0,546-0,9	0, 4-0, 9	0,404-0,9	0,48-0,9	0, 4-0, 9	0,4-0,9	0,404-0,9	0,404-0,9	0 404-0 9
2ω,	град.	4	13,7	12,8	12,8	10	12	12	9	10	10,2	14	14	14
Относительное отверстие гео-	метрическое/ эффективное	3	1:1,2/1:1,434	1:1,31/1:1,55	1:1,2/1:1,49	1:0,8/1:1	1:1,25эф	1:1,25эф	1:1,64эф	1:1,25/1:1,466	1:1,25/1:1,49	1:1,25/1:1,5	1:1,14/1:1,35	1.1 2/-
f'.,	MM	2	50	62,85	80	80	85	85	100	100	100	100	100	100
Наименование (№ оптического	выпуска)	1	Л1105-В-472	С прямым изображением	Л11104-97-В250	Л46-75-В1			ZLO 1,6/100	Л1105-В-471	J11105-95-B459	Л46-80-В134	Лемниската	П1144-В-344



14	Центральное экранирова- ние зрачка по диаметру 0,5			Есть асферика		Материал — полиметил- метакрилат						
13		185	250	184				650	1400	490	450	501
12		78,6 (133,6)	85,8	85,5	90,1 (157,1)		101,3	108,17 (216,17)	152,6 (178,6)	99,3 (125,3)	141,2 (246,2)	105 (206)
11		18,9	15,8	9,7	19,14		25,27	10	15,16	6,317	6,6	12,4
10	$0,88/\\0,47$	0,876/ 0,204		0,39/0,02		$0,833/\\0,531$	$0,807/\ 0,183$	$0,807/\\0,425$	0,648/ $0,466$			
6	0,94/ 0,55	0,947/ 0,301	0,8	0,63/0,51		0,908/ 0,716	0,915/ 0,478	0,89/ 0,661	$0,844/\ 0,777$			$0.97/\\0.85$
8	0,98/ 0,93	0,994/ $0,842$	0,91/-			0,973/ 0,903	0,985/ 0,893	$0.971/\\0.893$	$0,981/\\0,973$			0,98/0
7												
9		0,7		0,59	0,589	0,589	0,589	0,589	0,589	0,589	0,589	0,8
5	0,38-0,78	0, 4-0, 9	0,404-0,951	0, 4-0, 95	0,404-0,9	0,404-0,9	0,404-0,9	0,404-0,9	0,486-0,656	0,404-0,9	0,435-0,9	0,404-0,9
4	6	8,5	11	11	11	11	8	6	6	6	8,7	9
æ	1:1,7	1:1,25/1,482	1:1,5эф	1:1,5эф	1:1,25эф	1:1,25эф	1:1,1/1:1,8	1:1,18/1:1,39	1:1,2/1:1,5	1:1,25/1:1,5	1:1,2/1:1,5	1:1,27/1:1,5
2	102,5	120	124	124	130	130	150	160	160	160	165	165
1	С прямым изображением	Л1105-В-473	Светосильный	Для ПНВ «Luna- Tron»	Л1144-92-В392			Л46-77-В73	Л70-В-8477	JI46-80-B148	Л46-78-В89	Л1104-01-В625

Таблица 2.1.4.1. (Продолжение)





14										С афокальной насадкой					
13	3900	1900	1900	892,2	3444		2850	2522,4	2133,8			1519,6	4000	3850	7300
12	298	145,5 (210,5)	145,5 (175,5)	120,2 (193,2)			133,65 (227,65)				349,5	165,99 (261,99)	394,8	421,8	410,6
11	23,96	11,59	11,12	10,82	15,98	20,62	15,4	24,95	10,2	10,1	3,5	26,99	3,41	3,46	39,61
10	0,573/0,137	0,662/ 0,069	0,684/ 0,115				(0,710/0,0083)								0,397/ 0,141
6	0,812/0,354	$0,812/\\0,273$	$0,814/\ 0,183$	$0,821/\\0,188$	$0,698/\\0,158$		0,777/ 0,077	$0,599/\\0,280$	$0,271/\\0,183$			$0,681/\\0,164$			0,707/ 0,340
8	$0,977/\\0,857$	0,959/ 0,776	$0,959/\\0,681$	0,978/ 0,493	0,909/ 0,796	$0,95/\\0,8$	0,951/0,613	$0,857/\\0,575$	$0,701/\ 0,621$			0,909/ 0,737			$0,962/\\0,910$
7									0,83						
9	0,546	0,589	0,589	0,8	1,7	0,863	0,863	0,863	0,589	0,7	0,7	0,8	0,7	0,7	0,8
5	0,436-1,0	0,404-0,9	0,404-0,9	0,486-0,9	1,3–2,3	0, 7-0, 9	0, 6-0, 88	0,7-0,9	0, 4-0, 9	0,546-0,9	0,546-0,9	0,486-0,9	0,434-0,95	0,434-0,95	$0,486{-}1,05$
4	8	7	7	8	9	3	5	5	7	9	9	7,72	9	9	4,8
3	1:0,866/1:1,04	1:1/1:1,2	1:1/1:1,2	1:1,25/1:1,45	1:0,98/1:1,32	1:0,89/1:1,1	1:0,8/1:1	1:0,8/1:1	1:1/1:1,2	1:1/1:1,25	1:1,035/1:1,3	1:1,3/1:1,54	1:1,04/1:1,3	1:1,04/1:1,3	1:0,7/1:1,3
2	200	200	200	200	200	200	200	200	200	250	250	250	250	250	300
1	Л70-В	JI46-77-B62	Л45-80-В149	Л1104-В-491	Л1144-88-В279	Л1144-93-В438	Л1144-В92-382	Л1104-99-В561	Л1104-99-В566	Л46-7512-В1	Л46-75-В	Л1104-В-495	Л70-В-8720	Л70-В-8719	Л70-В-8624

(әпнәж
voродU)
2.1.4.1.
Таблица



14					Материал — кварцевое стекло					
13	5982		2707,9			3270	3731	5475	7200	7000
12	398,9	202,5	201,6 (358,1)		322,7	531	411,1 (539,1)	748,7 (968,7)	566,51 (1026)	557,23 (1026)
11	14,59	38,15	41,6	153,78	16,99	41,66	41,66	98	13,51	8,23
10	0,755/ 0,079	0,53/0,24			0,90/0,90					
6	0,856/ 0,344	0,73/0,13	0,969/		$0,94/\\0,93$	$0,789/\\0,357$	$0,848/\\0,485$	$0,631/\\0,542$		
8	$0,96/\\0,824$	$0,9/\\0,39$	0,99/		0,98/ 0,98	0,92/0,789	0,962/ 0,902	0,929/ 0,903	0,877/ 0,746	$0,879/\\0,745$
7										
9	0,8	0,8	0,8	0,863	0,79	0,589	0,589	0,863	0,863	0,863
5	0,486-1,0	0, 7-0, 92	0,486-0,9	0,589-0,9	0,589-0,9	0,404-0,9	0,404-0,9	0, 7-0, 9	0, 7-0, 9	0, 7-0, 9
4	8	8	4,78	3,8	3	2,8	1,5	1	1	1
e S	1:1,2/1:1,5	1:1,2/1:1,5	1:1,59эф	1:3/1:4	1:2,5эф	1:4/1:4,72	1:4/1:4,3	1:5,4/1:6,5	1:6эф	1:6эф
2	297,8	302	300	420	486,65	800	800	1436	1428	1423
1	JI46-7605-B55	Л1144-90-331	Л1104-96-В488	Л46-84-199	Объектив ПО ГУП НПЗ	Л1532-022-89	Л1532-016-89	Л1532-026-90	Л85-В-14445	Л85-В-14430

Таблица 2.1.4.1. (Окончание)

2.1. Объективы







Рис. 2.1.4.4. Оптическая схема объектива с прицельной маркой (патент Германии № 2515150, м.кл. G 02B, 23/10, 27/34, опубл. 08.04.75 г.)



Рис. 2.1.4.6. Оптическая схема объектива с оборачиванием изображения при наличии трипель-призмы



Рис. 2.1.4.5. Оптическая схема объектива с прицельной маркой (патент Германии № 526119, м.кл. G 02B, 23/10, 17/08, опубл. 03.08.71 г.)



Рис. 2.1.4.7. Оптическая схема объектива с оборачиванием изображения: 1 — положительная линза, 2 — положительное зеркало Манжена, 3 — положительная линза, 4 — положительный мениск, 5 — кольцевая диафрагма, 6 — отрицательное зеркало Манжена, 7 — положительная линза

ских компонентов. В связи с этим была предложена схема другого зеркальнолинзового объектива с оборачиванием изображения (рис. 2.1.4.7). В этой схеме положительная линза 1 в сочетании с зеркалом Манжена 6 компенсирует хроматические аберрации в заданной области спектра. Положительная линза 7 в сочетании с центральной частью зеркала Манжена 6 без зеркального покрытия компенсирует астигматизм и кривизну поверхности изображения. Примежуточное перевернутое изображение, формируемое линзами 3, 4 и зеркалом Манжена 6, расположено между положительным мениском 4 и положительным зеркалом Манжена 2. Прямое изображение формируется линзами 2 и 4, центральной частью зеркала Манжена 6 без зеркального покрытия и линзой 7, компенсируя аберрации перевернутого изображения. Защита от рассеянного света обеспечивается кольцевой диафрагмой 5. Основные параметры объектива при-





Рис. 2.1.4.8. Оптическая схема длиннофокусного объектива по оптическому выпуску Л1532-016-89, f' = 800 мм, $O = 1:4,3, 2\omega = 1,5^{\circ}$



Рис. 2.1.4.9. Оптическая схема длиннофокусного объектива по оптическому выпуску Л85-В14430, f' = 1423 мм, O = 1:6, $2\omega = 1^{\circ}$

ведены в табл. 2.1.4.1. Однако такие объективы не получили широкого распространения в технике ПНВ из-за сложности сборки и юстировки.

В схемах зеркально-линзовых объективов могут быть достигнуты значительные фокусные расстояния и относительные отверстия без существенного увеличения массы и продольных габаритов объектива по сравнению с линзовыми объективами [2.1.4.1].

Список литературы

2.1.4.1. Гейхман И.Л., Волков В.Г. Видение и безопасность. — М.: Новости, 2009. — 840 с.

2.1.5. Объективы с переменным фокусным расстоянием

В практике техники ПНВ могут быть использованы объективы с переменным фокусным расстоянием. Это вызвано необходимостью вести поиск и обнаружение объектов наблюдения в широком поле зрения (т.е. при наличии небольшого фокусного расстояния), а распознавание обнаруженных объектов с большим масштабом изображения в малом угле поля зрения (т.е. при наличии большого фокусного расстояния). Изменение фокусного расстояния может быть обеспечено применением сменных афокальных насадок, использованием объективов с плавно изменяемым фокусным расстоянием (вариообъективы, которые называют также ZOOM-объективами), а также объективов с ступенчато изменяемым фокусным расстоянием. Основные параметры объективов с переменным фокусным расстоянием для ПНВ приведены в табл. 2.1.5.1, а внешний вид типичных объективов — на рис. 2.1.5.1, 2.1.5.2 [2.1.5.1].



Глава 2. Элементы приборов ночного видения



Рис. 2.1.5.1. Оптическая схема линзового объектива с двумя ступенчато изменяемыми фокусными расстояниями по оптическому выпуску Л46-83-192, этого f' = 200/600 мм, $O = 1:1,47/1:4,41, 2\omega = 5^{\circ}/1^{\circ}$

Сменные фокальные насадки (табл. 2.1.5.2), бывают линзовые (рис. 2.1.5.3), реже — зеркально линзовые (рис. 2.1.5.4). Они монтируются непосредственно на объектив ПНВ. При этом фокусное расстояние объектива увеличивается во столько раз, во сколько раз возрастает увеличение ПНВ при установке насадки. Например, при установке насадки с увеличением 4× фокусное расстояние объектива возрастает в четыре раза. При этом если относительное отверстие насадки ки равно относительному отверстию объектива, то оно остается без изменений.



Рис. 2.1.5.2. Оптическая схема зеркально-линзового объектива с двумя ступенчато изменяемыми фокусными расстояниями: компоненты 1 и 2 могут меняться местами; в зависимости от этого f' = 300/1260 мм, O = 1:1,5/1:4,3, $2\omega = 4,5^{\circ}/1^{\circ}$

Однако угол поля зрения объектива при установке насадки, соответственно, уменьшается. Преимуществом насадки является возможность ее быстрой смены в полевых условиях без нарушения герметичности ПНВ. Недостатком применения насадки являются сравнительно большие габариты и масса системы объектив + насадка и худшее качество изображения по сравнению с применением нового более длиннофокусного объектива без насадки с прежней светосилой, а также более узкое поле зрения. Некоторые фирмы по этой причине используют для изменения масштаба изображения ПНВ сменные объективы с различными фокусными расстояниями. Однако это приводит к разгерметизации ПНВ при замене объектива. Поэтому чаще используются именно сменные афокальные насадки. В частности, фирма Litton (США) использует сменные афокальные насадки к ночному монокуляру или к псевдобинокулярным очкам ночного видения. Насадки

Примечание		14	Зеркально- линзовый и линзовый рис.	Зеркально- линзовый рис.	Зеркально- линзовый рис.	Линзовый рис.	Линзовый рис.	Зеркально- линзовый рис.	Зеркально- линзовый рис.	Зеркально- линзовый рис.
Масса в стек- ле, г		13		2300		3400	8140	2500	8080	3450
L, MM		12	162,82	383,1	229,9	320	403	213,4	437,5	300
S _F ., MM		11	20,72	6,71	20,03	60	6'6	7,56/7,48	27,69	46,99
и лія p/мм,	50 (40)	10								
T(N) для точк (а оси/края по ия, для N, шт Для другого f	30	6	0,910/ <u>0,796</u> 0,900/0,246	0,75/0,45 0,80/0,50	0,30/0,23 0,88/0,42	0,50/ <u>0,25</u> 0,35/0,20	0,512/0,33 0,32/0,06	0,71/0,50 0,43/0,25	$\begin{array}{c} 0,443/\underline{0,233}\\ 0,825/\underline{0,56}\end{array}$	0,59/0,36 0,45/0,25
наден	10	8								
μ		7		0,83			0,8		0,78	0,75
λ _p , MKM			0,863	0,589	0,8	0,863		0,863	0,863	0,863
Δλ, MKM		5	0,7-0,9	0,404-0,9	0,404/0,9	0,656-0,9	0,7-0,951	0,7-0,9	0,7-0,9	0,7-0,9
2ю, град.		з	3/12	3,25/9	2/7	1/5	5,25/ 1,75	1/8	1,1/4,5	0,7/5
Относи- тельное отверстие			1:1эф/1:1,8	1:1,67эф./ 1:1,5 эф.	1:3,4эф./ 1:1,1эф.	1:4,41/ 1:1,47	1:3,75/ 1:1,25	1:5эф./ 1:1,1эф.	1:5эф./ 1:1,5эф.	1:7эф./ 1:1,5эф.
f, 06.7 MM		2	200/93	307/160	450/150	600/200	750/250	999/201	1200/300	1500/300
Наименование (№ оптического выпуска)		1	JI1144-93-B438	Л1101-84-193	Л1144-89-В305	Л46-83-192	Л1101-84-210	Л11144-1389-314	Л1101-87-В266	Л1144-В90-332
	Наименование (№ оптического $\tilde{\Gamma}_{06}^{\times}$, \tilde{N}_{0} Относи- тельное 20, MM $\tilde{\lambda}_{p}$, π $\tilde{\lambda}_{p}$, $\tilde{\Lambda}_{p}$, π $\tilde{\lambda}_{p}$, $\tilde{\Lambda}_{p}$, $\tilde{\Lambda}_$	$ \begin{array}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c$	$ \begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	Hannehobahue (Né oritrueckoro) MM $T_{66}^{(6)}$ OTHOCU- 20, TEIDHOG $20,$ MKM $\Delta\lambda,$ MKM τ $T(N)$ JUIS TOYKM HA OGU/KPASI IOIS Spentaria N. IITP/MM, MM $S_{F},$ MM $L,$ B BCTER/ MMMacca MMMacca MMMacca MM(Né oritrueckoro) BBIUYCKB) $T_{66},$ TEIDHOG $20,$ TEIDHOG $\Delta\lambda,$ MKM τ $\Delta\lambda,$ TEIDHOD τ $\Delta\lambda,$ TEIDHOD T_{10} $\Sigma_{6},$ MM $\Sigma_{7},$ MM $\Sigma_{7},$ MM $\Sigma_{7},$ MM $\Sigma_{7},$ MM $\Sigma_{7},$ MM $\Sigma_{7},$ MM $\Sigma_{7},$ $\Sigma_{7},$ MM $\Sigma_{7},$ </td <td>Hammenobalme (Ne outrueccoro Mamenobalme (Ne outrueccoro (Ne outr</td> <td>$\begin{array}{c ccccc} Hankehobantue \\ Hankehobantue \\ Hankehobantue \\ Max \\ neberrue \\ nebe$</td> <td>$\begin{array}{llllllllllllllllllllllllllllllllllll$</td> <td>$\begin{array}{llllllllllllllllllllllllllllllllllll$</td> <td></td> <td>$\begin{array}{llllllllllllllllllllllllllllllllllll$</td>	Hammenobalme (Ne outrueccoro Mamenobalme (Ne outrueccoro (Ne outr	$ \begin{array}{c ccccc} Hankehobantue \\ Hankehobantue \\ Hankehobantue \\ Max \\ neberrue \\ nebe$	$ \begin{array}{llllllllllllllllllllllllllllllllllll$	$ \begin{array}{llllllllllllllllllllllllllllllllllll$		$ \begin{array}{llllllllllllllllllllllllllllllllllll$

Таблина 2,1,5,1. Основные параметры объективов с лвумя фокусными расстояниями пля ПНВ

2.1. Объективы



	Примечание	Диапазон рабочих температур –50+50°С,	рассчитана для области спектра 0,4—0,9 мкм					Диапазон рабочих	-51+49°C	Диапазон рабочих	-51+45°C
	Macca, kr	0,25	0,40	0,27	0,30	0, 19	0,3686	0,228	0,528		1,028
	Габариты, диаметр × длина, мм	Ø70×50	Ø81×109,5	Ø56×77	Ø56×98	Ø75×60	Ø90×76				
док	Диапазон фокуси- ровки, м	5 M — ∞	$10~{ m M}-\infty$			$15 \mathrm{m} - \infty$	$25 \mathrm{m} - \infty$	$3 \mathrm{M} - \infty$	$15 \text{ m} - \infty$	$25 \mathrm{m} - \infty$	50 м —∞
еских наса	Относи- тельное отверстие	1:1,5	1:1,5			1:1,5	1:2,4	1:1,35	1:1,6	1:2,7	1:1,8
ьных оптич	Угол поля зрения, град.	10	8	12	7	11,6	7,7	13,5	10,2	7,7	6,6
ы афокал	Увели- чение, крат	2,5	4,0	3,0	5,0	3,0	5,0	3,0	4,0	5,0	6,0
пьные параметр	Модель	HA-2,5	HA-4,0	Насадка 3×	Насадка 5×	ML-3	550-1503-001	3x	4x	5x	6x
Таблица 2.1.5.2. Сравните.	Фирма		ЗАО «Юпитер» (РФ) -		Night Vision Equipment Company (CIIIA)		Litton (CIIIA)				

оптических насадок
афокальных
параметры
Сравнительные
ица 2.1.5.2.







Рис. 2.1.5.3. Оптическая схема линзового объектива с афокальной линзовой насадкой с увеличением $2,5\times$, O = 1:1.4, $2\omega = 10^{\circ}$



Рис. 2.1.5.4. Оптическая схема зеркально-линзового объектива по оптическому выпуску Л1101-84–193 с зеркально-линзовой афокальной линзовой насадкой; с увеличением 1,92× параметры объектива: f' = 160/307 мм, O = 1:1,25/1:1,25, $2\omega = 8°56'/3°16'$ (авторское свидетельство СССР на изобретение № 1422204, м. кл. 4 G 02 B 15/18, 17/08 по заявке № 4154328 с приоритетом от 28.11.86 г.

имеют увеличения 2,25; 3; 4; 6 крат. Их относительные отверстия, соответственно, равны 1:1,35; 1:1,8; 1:1,6; 1:1,8 крат. Если взять объектив для ночного монокуляра или псевдобинокулярных очков ночного видения с фокусным расстоянием 27 мм, то угол поля зрения ПНВ при его увеличении 1× равен 40°. При установке сменных насадок ПНВ приобретает указанные выше увеличения, а его угол поля зрения станет равным, соответственно, $20 \times 17^{\circ}$; $13,5^{\circ}$; $10,2^{\circ}$; $6,6^{\circ}$ [2.1.5.1].

Однако для ПНВ с объективом с фокусным расстоянием порядка 200 мм и выше применение сменной насадки (по крайней мере линзовой) лишено смысла из-за значительных ее массы и габаритов. Здесь следует использовать уже объективы другого типа [2.1.5.1].

В настоящее время существуют объективы с плавно меняющимся фокусным расстоянием (вариообъективы) и с дискретно изменяемым фокусным расстоянием. Вариообъективы достаточно сложны и обладают в связи с этим сравни-



тельно низким пропусканием, значительной массой. Например, вариообъектив P3OX16EP ($f'_{o6} = 16-500$ мм, O = 1:1,8) фирмы Fujnnon (Япония) содержит 11 линз и имеет массу 20,5 кг [2.5.1]. Отечественный светосильный вариообъектив для ПНВ ($f'_{o6} = 44-132$ мм, O = 1:1,5-1:2, 2 ω = 4-12, диапазон ахроматизации 500-900 нм) содержит 12 линз. Естественно, велика и стоимость таких объективов [2.1.5.1].

В связи с этим более целесообразным представляется использование в ПНВ линзовых объективов со ступенчато изменяемым фокусным расстоянием. Из работы [2.1.5.1] следует, что такие линзовые объективы имеют число линз, не превышающее 10. Переключение фокусных расстояний осуществляется простым поворотом группы линзовых компонентов на 90° (рис. 2.1.5.1). При их расположении в ходе лучей имеем максимальное, при выводе из хода лучей — минимальное фокусное расстояние. При смене фокусных расстояний положение плоскости изображения остается стабильным. Управление изменением величины фокусного расстояния здесь осуществляется существенно проще, чем для вариообъектива, где используется обычно перемещение по различным законам двух групп линзовых компонентов [2.1.5.1].

Следующий шаг в развитии объективов с изменяемым фокусным расстоянием заключается в переходе к зеркально-линзовым системам. При этом возможно использование зеркально-линзовых телескопических насадок (рис. 2.1.5.4). Однако они достаточно громоздки, производить их установку и демонтаж неудобно. В этой связи значительно больший интерес представляют зеркально-линзовые объективы со ступенчато изменяемым фокусным расстоянием (рис. 2.1.5.2). Вводом одних компонентов в ход лучей обеспечивается меньшее, а других — большее значение фокусного расстояния. Для таких объективов предъявляются достаточно высокие требования к механической конструкции по прочности и жесткости [2.1.5.1].

Для полностью пассивных или пассивно-активных ПНВ предложены схемы объективов по рис. 2.1.5.5–2.1.5.6 [2.1.5.1]. Зеркально-линзовый объектив по схеме рис. 2.1.5.5 содержит зеркально-линзовый длиннофокусный канал и линзовый короткофокусный канал. Зеркально-линзовый канал содержит кольцевую регулируемую ирисовую диафрагму 1, линзу-зеркало 2, зеркало Манжена 3, двухлинзовый компенсатор 4 полевых аберраций, фильтр 5. Линзовый канал содер-



Рис. 2.1.5.5. Составной объектив с зеркально-линзовым и линзовым концентрическими каналами

жит регулируемую ирисовую диафрагму 6, трехлинзовый компонент 7, образующий вместе с двухлинзовым компенсатором 4 и фильтром 5 линзовый объектив. Фокальные плоскости обоих каналов совпадают. В зависимости от того, какая из диафрагм (1 или 6) открыта, работает либо один канал, либо другой канал. Зеркально-линзовый канал имеет фокусное расстояние 200 мм, угол поля зрения 5°, относительное отверстие 1:2эф., а линзовый канал — соответственно, 98 мм, 12°, 1:1,8. В схеме на рис. 2.1.5.6 [2.1.5.1] в периферической области двухлинзового компенсатора 3 выполнено продольное цилиндрическое отверстие, в которое вмонтирован короткофокусный широкоугольный линзовый объектив 4. Он создает поле зрения 6 в периферической части поля зрения 7, формируемого зеркально-линзовым объ-



Рис. 2.1.5.6. Составной объектив с зеркально-линзовым и линзовым периферическим каналами

ективом (компоненты 1, 2, 3, 5). Потери, вносимые в объектив 1,2,3,5 из-за установки в нем линзового объектива 4, не превышают 10%. Фокусное расстояние зеркально-линзового объектива 200 мм, угол поля зрения 8° 30', относительное отверстие 1:1,2эф, а у линзового объектива — соответственно, 15 мм, 20°, 1:1,3. Аналогичным образом в линзовый объектив 1 (рис. 2.1.5.7) [2.1.5.1] можно ввести линзовый короткофокусный объектив 2 с теми же параметрами, что и у объектива по схеме на рис. 2.1.5.6 [2.1.5.1]. За счет системы плоских зеркал 3, 4 (зеркало 4 может быть выполнено откидным) излучение от сцены наблюдения вводится в объектив 3. Линзовый объектив 1 имеет фокусное расстояние 150 мм, угол поля зрения 10°, относительное отверстие 1:1,5 [2.1.5.1]. Составной линзовый объектив по схеме рис. 2.1.5.8 имеет на входе кольцевой фильтр 1 и круговой фильтр 2. В концентрическом продольном отверстии длиннофокусного линзового объектива 3 содержится короткофокусный линзовый объектив 4. Кольцевой фильтр 1 пропускает в области спектра 0,78-0,91 мкм, фильтр 2 — в области 0,4-0,75 мкм (т.е. излучение для короткофокусного объектива), фильтр 5 — в области 0,4–0,75 мкм, фильтр 6, — в области 0,78–0,92 мкм (т. е. в излучение для длиннофокусного объектива). Таким образом, в центральной части поля зрения 7 формируется узкопольное изображение длиннофокусного объектива 4, а в периферической части 8 поля зрения — широкопольное изображение короткофокусного объектива 4. Последний имеет фокусное расстояние 20 мм, относительное отверстие 1:1,3, угол поля зрения 48°, а объектив 3 — соответственно, 100 мм, 1:1,5, 5° [2.1.5.1].

Рассмотрим специфику построения объективов с двумя фокусными расстояниями для АИ ПНВ.



Рис. 2.1.5.7. Составной объектив с линзовым осевым и линзовым периферическим каналами

Глава 2. Элементы приборов ночного видения



Рис. 2.1.5.8. Составной линзовый объектив с двумя концентрическими каналами

Для АИ ПНВ используются линзовые и зеркально-линзовые объективы.

Специфика построения объективов АИ ПНВ обусловлена необходимостью их работы как в широком диапазоне спектра, определяемом границами спектральной чувствительности фотокатода ЭОП (пассивный режим работы ПНВ), так и в узкой области спектра, соответствующей полосе излучения лазерного осветителя (АИ-режим).

Требования к объективу при его функционировании соответственно пассивному режиму работы ПНВ фактически те же, что и для объективов обычных пассивных ПНВ на основе ЭОП. Относительное отверстие должно быть максимально возможным, однако приемлемое качество изображения обычно может быть обеспечено только для величин 1:1,2–1:1,5. Фокусное расстояние определяется требуемым масштабом изображения и, соответственно, увеличением ЭОП. Угол поля зрения зависит от фокусного расстояния и от рабочего диаметра фотокатода ЭОП [2.1.5.1].

При работе объектива в условиях АИ-режима диапазон ахроматизации резко сокращается. При использовании осветителей на базе твердотельных лазеров с длиной волны 1,06 мкм он составляет всего 5 нм, а для осветителей на базе ИЛПИ — 0,82-0,86 мкм или 0,88-0,91 мкм (в зависимости от типа ИЛПИ, разброса длин волн и их температурного дрейфа со скоростью 2,5 Å/град.). Угол поля зрения в АИ-режиме равен углу подсвета лазерного осветителя и потому значительно меньше, чем для пассивного режима. Требования по качеству изображения (по величине коэффициента передачи контраста для характеристических пространственных частот), при использовании объектива в условиях АИ-режима значительно жестче, чем в условиях пассивного режима. Это вызвано тем, что АИ-режим служит для распознавания объектов на предельных дальностях действия АИ ПНВ, в то время как пассивный режим предназначен главным образом для их обнаружения либо распознавания на промежуточных дальностях. Относительное отверстие объектива при его использовании для АИ-режима может быть ниже, чем для пассивного режима, т.к. недостаточность светосилы может быть компенсирована мощностью излучения лазерного подсвета [2.1.5.1].

Исторически первоначально для АИ ПНВ использовались линзовые объективы, они проще в сборке и юстировке, однако обладают значительной массой и продольными габаритами, качество их изображения сравнительно низко, в особенности на краю поля зрения [2.1.5.1]





Существенно более высокое качество изображения, меньшие массу и продольные габариты имеют зеркально-линзовые объективы. К их недостаткам следует отнести некоторое увеличение поперечных габаритов (по сравнению с линзовыми объективами при одинаковой светосиле), необходимость использования бленд, а также ощутимые потери на виньетирование, что ограничивает их применение в широкоугольных ПНВ [2.1.5.1]

Для реализации повышенных дальностей действия, обеспечиваемых с помощью АИ-режима, требуется большой масштаб изображения и, соответственно, значительное фокусное расстояние объектива. Угол поля зрения последнего может быть небольшим, равным углу подсвета осветителя. Наоборот, для поиска и обнаружения объектов в пассивном режиме необходим больший угол поля зрения, но возможен меньший масштаб изображения, т.к. в распознавании объекта в этом режиме на предельных дальностях нет возможности. Из этого следует, что для АИ ПНВ целесообразно использовать объектив с переменным фокусным расстоянием: верхний его предел с меньшим углом поля зрения соответствует АИ-режиму, нижний предел с широким углом поля зрения — пассивному режиму. Но вариообъективы достаточно сложны и обладают в связи с этим сравнительно низким пропусканием, значительной массой. В связи с этим более целесообразным представляется использование в АИ ПНВ линзовых объективов со ступенчато изменяемым фокусным расстоянием. Из работы [2.1.5.1] следует, что линзовые объективы обычно имеют число линз, не превышающее 10. Переключение фокусных расстояний осуществляется простым поворотом группы линзовых компонентов на 90°. При их расположении в ходе лучей имеем максимальное, при выводе из хода лучей — минимальное фокусное расстояние. При смене фокусных расстояний положение плоскости изображения остается стабильным. Управление изменением величины фокусного расстояния здесь осуществляется существенно проще, чем для вариообъектива, где используется обычно перемещение по различным законам двух групп линзовых компонентов [2.1.5.1].

Следующий шаг в развитии объективов с изменяемым фокусным расстоянием заключается в переходе к зеркально-линзовым системам. При этом возможно использование зеркально-линзовых телескопических насадок. Однако они достаточно громоздки, производить их установку и демонтаж неудобно. В этой связи значительно больший интерес представляют зеркально-линзовые объективы со ступенчато изменяемым фокусным расстоянием. Вводом одних компонентов в ход лучей обеспечивается меньшее, а других — большее значение фокусного расстояния. Для таких объективов предъявляются достаточно высокие требования к механической конструкции по прочности и жесткости [2.1.5.1].

Общим недостатком всех объективов с переменным фокусным расстоянием является необходимость соответствующего перемещения оптических компонентов. Этот недостаток отсутствует в зеркально-линзовых объективах по схеме на рис. 2.1.5.9. В них плоская зеркально отражающая поверхность А выполнена дихроичной: она отражает излучение в области спектра 0,7–0,92 мкм (пассивный режим) за исключением рабочей полосы осветителя (0,82–0,86 мкм), в которой это



Глава 2. Элементы приборов ночного видения



Рис. 2.1.5.9. Зеркально-линзовый объектив с двумя фокусными расстояниями для АИ ПНВ



Рис. 2.1.5.10. Кривые пропускания и отражения покрытия А зеркальнолинзового объектива для АИ ПНВ по схеме на рис. 2.1.5.9

покрытие пропускает. Кривые пропускания (отражения) такого покрытия приведены на рис. 2.1.5.10. При работе объектива в пассивном режиме излучение проходит через линзу-зеркало 1, зеркало Манжена 2, отражается от дихроичного покрытия А, проходит через 2-линзовый компенсатор 3 полевых аберраций и формирует изображение в фокальной плоскости объектива. При его работе в АИ-режиме излучение проходит через линзу-зеркало 1, зеркало Манжена 2, часть линзы-зеркала 4, на которую нанесено дихроичное покрытие А, компоненты 5, отражается от 2-го зеркала Манжена 6, проходит через центральную часть линзы-зеркала 4 без дихроичного покрытия, 2-линзовый компенсатор и формирует изображение в той же фокальной плоскости объектива. При этом оба изображения не мешают друг другу, т.к. при работе в АИ-режиме яркость «пассивного» изображения ослабляется

в число крат, равное скважности. При работе в пассивном режиме длиннофокусный канал также не влияет на изображение короткофокусного канала из-за пренебрежимо малой яркости в изображении длиннофокусного канала, обусловленной как его большим фокусным расстоянием, так и меньшей светосилой [2.1.5.1].

Список литературы

2.1.5.1. Гейхман И.Л., Волков В.Г. Видение и безопасность. — М.: Новости, 2009. — 840 с.

2.1.6. Объективы для осветителей и целеуказателей

Рассмотрим теперь объективы для осветителей и целеуказателей, работающих совместно с ПНВ. Выбор объектива для осветителей и целеуказателей возможен, если установлены требования к его фокусному расстоянию f'_{o6} , относительному отверстию $O = f'_{o6} (D_{\text{вк. зр.}})^{-1}$, интегральному коэффициенту передачи энергии τ_{Σ} , углу поля зрения, равному углу подсвета 2 β' , коррекции (допустимому кружку рассеяния), массе и габаритам [2.1.6.1]. Объективы такого типа обычно называются оптическими системами формирования излучения (ОСФИ) [2.1.6.1].

Фокусное расстояние объектива и его относительное отверстие могут быть определены по следующим формулам (рис. 2.1.6.1) [2.1.6.1]:

$$f'_{ob} = a (2 tg \beta')^{-1},$$
 (2.1.6.1)

$$f'_{o6}(D_{BX,3p})^{-1} = (2(tg\beta' + tg0,5\theta))^{-1}, \qquad (2.1.6.2)$$

где а — габаритный размер излучающей поверхности импульсного лазерного полупроводникового излучателя (ИЛПИ) или выходного торца его интегратора, мм [2.1.6.1] либо лазерного полупроводникового излучателя, работающего в непрерывном режиме (ИЛПН), θ — угол расходимости лазерного излучения, град.

Значением tg β' в формуле (2.1.6.2) можно пренебречь, если соответствующий спад облученности на краю пятна подсвета не приводит к потере видимости в ПНВ.

Интегральный коэффициент передачи энергии непосредственно связан со схемой объектива и определяется по формуле:

$$\tau_{\Sigma} = \tau_{o} \tau_{3}, \qquad (2.1.6.3)$$

$$\tau_{o} = \Pi (1 - \rho_{p}) \Pi (1 - \alpha_{m})^{dm}, \qquad (2.1.6.4)$$

$$\tau_{g} = \left(\int d\Phi \int L_{i} S_{BX, gp} Sin\beta' Cos\beta' d\beta\right) \left(\int d\Phi \int L_{i} S_{BX, gp} Sin\beta' Cos\beta' d\beta\right)^{-1}.$$
 (2.1.6.5)

При $\beta' \leq 3$ и L_i = const:

$$\tau_{a} \approx (2\beta') (2\beta' + 2\Delta\beta'), \qquad (2.1.6.6)$$

где τ_0 — коэффициент пропускания с учетом потерь на отражение и поглощение излучения, τ_2 — коэффициент передачи

излучения, $t_3 = -$ коэффициснт передачи энергии излучения с учетом аберрационного рассеяния вне заданного угла подсвета, р, т — число отражающих и преломляющих поверхностей соответственно, ρ_p , α_m — коэффициент отражения и поглощения соответственно, dm — длина хода осевого луча в оптической детали, L_i — яркость входного зрачка объектива в данном направлении /BT/M²/Cp/, S_{вх.зр} — площадь входного зрачка объектива /мм/, $\Delta\beta'$ —



Рис. 2.1.6.1. К расчету интегрального коэффициента передачи энергии объектива формирования излучения

72



Рис. 2.1.6.2*a*. Лазерный осветитель с единым объективом для двух ИЛПИ (ИЛПН): 1 — объектив ОСФИ, 2 — ИЛПИ (ИЛПН) с длиной волны 850±10 нм, 3 — дихроичное зеркало, 4 — ИЛПИ (ИЛПН) с длиной волны 820₋₂₀ нм



Рис. 2.1.6.26. Спектральная характеристика дихроичного покрытия зеркала 3 по рис. 2.4.29*a*: 1 — пропускание покрытия в области спектра 800-820 нм, 2 — отражение в области спектра 840-900 нм

приращение угла подсвета, обусловленное аберрационным рассеянием излучения.

Роль остальных составляющих формулы 2.1.6.5. ясна из рассмотрения рис. 2.1.6.1. Реальные относительные отверстия объективов могут составлять 1:1,8–1:1,3 при наиболее вероятном значении 1:1,5. С учетом разброса длин волн от 820 до 860 нм и от 870 до 920 нм потребуется ахроматизация. Поскольку обычно $2\beta' \leq 3^\circ$, то при исправлении монохроматических аберраций главную роль будет играть коррекция сферической аберрации и комы.

Считая, что излучение равномерно распределено на выходном торце интегратора ИЛПИ или ИЛПН, имеем:

$$\tau_{a} = A (A + \delta A)^{-1},$$
 (2.1.6.7)

где А — площадь излучающей поверхности интегратора (мм), δA — эквивалентное приращение площади этой поверхности, обусловленное аберрациями объектива (мм).

Объектив изображает каждую точку излучающей поверхности в виде кружка рассеяния, диаметр которого определяется главным образом аберрациями объектива. За счет этого объектив изображает некоторую эквивалентную поверхность, размеры которой являются суммой ее естественных размеров и размера наибольшего кружка рассеяния [2.1.6.1].

Обозначим через ∆ приращение излучающей поверхности в обоих направлениях, вызывающее увеличение ее площади на величину δА. Легко показать, что:

$$\Delta = (0,25(a+b)^2 + \tau_{9}ab)^{0.5} - 0,5(a+b), (2.1.6.8)$$

где a, b — максимальный и, соответственно, минимальный размеры излучающей поверхности /мм/.

При этом:

$$d' = ((b + \Delta)^2 - b)^{0.5}.$$
 (2.1.6.9)

Таким образом, задавая из энергетических соображений величину τ_3 , получим по формулам 2.1.6.8. и 2.1.6.9 значение допустимого максимального кружка рассеяния d'.
Таблица 2.1.6.1. Основные параметры оптических систем формирования излучения лазерных осветителей и целеуказателей для ПНВ

Примечание	14		Оптический журнал, 1994. № 8. С. 54–56																	
Масса в стекле, г	13	4				8		2	3	1,55	5,6			27	45	45,6	50	300	1584	2500
L, мм	12	11,03		10,2	22,63	22,67			21,8	24,48	21,2	49,1	72,4	65,5	64,36	62,93	113,3	112,5	114	105
S _F , MM	6	0,93	6,33	4,3	12,8	17,07	13,6	15,47	16,9	9,14	15,08	27,2	59,1	53,79	54,65	51,18	74,06	74,05	8,56	4,02
Диаметр максималь- ного кружка рассеяния, мм	8	0,005	0,05	0,05	0,05	0,1	0,05	0, 1	0,1	0,2	0,006	0,4	0,05	0,4	0,2	0,02	0,05	0,2	0,5	0,1
ч	7																			
λ _p , MKM	9	0,863	0,82	0,8	0,91	0,91	0,83	0,83	0,863	0,83	0,91	0,863	0,863	0,9	0,9	0,9	0,863	0,863	0,863	0,9
Δλ. MKM	5	0,83-0,87		0,67-0,8	0,87-0,93	0,87-0,92	0, 8-0, 863	0, 8-0, 863	0,8-0,9	0, 8-0, 863	0,87-0,91	0,83-0,9		0,863 - 0,951	0,863 - 0,951	0,863 - 0,951	0,83-0,87	0,83-0,9	0,83-0,87	0,863-0,92
20, град.	4	-	1	-	с С	з	1	0,92	9	3,2	ю	4	0,3	-	1	1	3	4	1×0.5	1
Относительное отверстие	e	1:0,85	1:1,8	1:1,4	1:1,8	1:1,8	1:2	1:2	1:1,4	1:0,88	1:1,5	1:1,1	1:2	1:1,4	1:1,4	1:1,4	1:1,3	1:1,1	1:0,8	1:0,7
f, MM	2	3,02	7,02	8	20,2	20,2	20	20	20	20,31	25	43	64	60	60	60	107,6	101, 4	114	114
Наименование (№ оптического выпуска)	1	Л1101-87-В-257	Градиентная линза	Л1144-В91-355	Л71-В-6744			Л1104-99-В553	Л1104-01-В624	Л1144-89-В299	Л-467402-В1	Л1104-99-В558		Л46-76-В45	Л46-76-В44	Л46-76-В51		Л46-78-В92	Л46-77-В68	Л46-77-В68

2.1. Объективы



14																						
13	408	446		2685	687						2300	8224	1200	2373		750	6788	5100	19800	7500	3200	
12	122,5	123,6	134,68	212,8	174,9	201,5	212,6	210,7	213	284,5	266,9	275,4	251,3	292, 285	297,7	308,7	376,8	340,7	419,4	405	354,5	
6	102,5	103,6	84,38	14,26	131,8	179,5	174,6	183,7	169,7	29	208	290	228,3	214,19	219,1	284	276,3	297,5	338,4	375	75×90,7	
8	0,03	0,2	0,1	0,4	0,1	0,45	0,5	0,4	0,1	0,1	0,1	0,7	0,8	0,05	0,1	0,89	0,82	0,5	0,1	0,3	0,4	
7																						
9	0,863	0,863	0,863	0,863	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,863	0,863	0,91	0,91	0,863	0,863	0,863	0,863	0,863	0,863	0,863
5			0,83-0,9	0,83-0,9	0,87-0,9	0,87-0,93	0,87-0,93	0,87-0,93	0,83-0,89		0,83-0,89	0,83-0,9		0,87-0,93	0,87-0,93	0,83-0,87	0,7-0,9	0,83-0,87	0,83-0,89	0,83-0,89	0,83-0,90	
4	1,8	1,8	1,5	з	0,75	3	3	3	2,5	-	3	30	1,5×1	0,25	0,25	ю	$0,5 \times 0,2$	1	2,5	2,5	6×1,5	40×6,6
3	1:1,25	1:1,25	1:1,1	1:0,71	1:1,5	1:1,23	1:1,24	1:1,25	1:1,5	1:0,7	1:1,4	1:1,4	1:1,4	1:1,8	1:1,4	1:2,1	1:1,5	1:1,5	1:1,5	1:1,5	1:1,4	1:1,5
2	115	115	120	125,1	150	179,5	191,7	197,8	200	200	245	245	245	250	250	298	320	320	400	400	60×240	12×72
1	Л1101-87-B273 «Лазофор-1»	Л1101-87-B273 «Лазофор-2»	Л1104-99-В557	Л46-80-В131	Л46-76-В63	3231 024 000	323 1023 003	323 1024 000	Л46-06-73-В3	Л45-76-В57	Л46-78-В86	Л46-80-В132	Л1144-В303-89	Л46-74-09-В1					Л46-06-73-В3		Л46-79В-111	Valpey Corp. (CIIIA)

Таблица 2.1.6.1. (Окончание)





В целях сокращения массы и габаритов осветителя рекомендуется его построение по схеме на рис. 2.1.6.2*a*. Здесь за счет использования зеркала 3 с дихроичным покрытием происходит суммирование излучения обоих ИЛПИ (ИЛПН) 2 и 4, генерирующих в разных областях спектра. Объектив 1, сфокусированный

на оба ИЛПИ (ИЛПН), охватывает их излучение. Потери в зеркале не превышают 10 - 15%. Спектральная характеристика дихроичного покрытия зеркала 3 дана на рис. 2.1.6.26 [2.1.6.1]. Благодаря такой схеме вдвое уменьшается требуемое количество объективов группового излучателя. Обычно в современных осветителях используют ИЛПИ (ИЛПН) co встроенным интегратором [2.1.6.1].

Основные схемы и параметры разработанных объективов ОСФИ приведены в работах [2.1.6.1, 2.1.6.11, 2.1.6.18]. На рис. 2.1.6.3–2.1.6.13 приведены схемы объективов ОСФИ, а их основные параметры даны в табл. 2.1.6.1.

Снижения массы объективов можно добиться применением вместо традиционных 2- и 3-линзовых объективов со сферическими оптическими поверхностями однолинзовых с одной асферической (рис. 2.1.6.8) или одной киноформной поверхностью (рис. 2.1.6.9) [2.1.6.1, 2.1.6.18]. В последнем случае масса минимальна, и возможно простое тиражирование объектива. Снижение массы и габаритов в сочетании с большим углом охвата излучения и высоким качеством изображения достигается за счет использования предложенных нами зеркально-линзовых объективов ОСФИ [2.1.6.1] (рис. 2.1.6.10). Их недостатком



Рис. 2.1.6.3. Оптические схемы объективов ОСФИ с f' от 3 до 25 мм



Рис. 2.1.6.4. Оптические схемы объективов ОСФИ с f' от 60 до 100 мм



Рис. 2.1.6.5. Оптические схемы объективов ОСФИ с f' от 150 до 245 мм





Рис. 2.1.6.6. Оптическая схема широкоугольного объектива ОСФИ

является центральное виньетирование пучка, что вносит энергетические потери до 30%. Для их снижения используется сужающийся интегратор, на выходе которого угол расходимости увеличивается с 40° до 80° , что уменьшает продольные габариты объектива.

Еще большее снижение габаритов и массы может быть достигнуто за счет применения в качестве объективов ОСФИ пластмассовых линз Френеля

[2.1.6.11]. Исследования, выполненные нами, показали возможность такого их использования. При этом энергетические потери (для достигнутого уровня отечественной технологии) составляют 30-40% [2.1.6.11]. Мелкодискретные линзы Френеля с конусной формой рабочих зон, изготавливаемые из полиметилметакрилата и его сополимеров, обладают существенно малыми аберрациями, связанными со структурой [2.1.6.1]. Зональная система расчета линз Френеля позволяет делать их дискретную поверхность эквивалентной асферическим поверхностям, исправлять сферическую аберрации и дисторсию [2.1.6.11]. Схема прохождения луча в линзе Френеля, используемой в качестве ОСФИ, показана на рис. 2.1.6.14. Основные параметры линз Френеля, используемых в качестве объективов ОСФИ, аналогичны параметрам обычных линзовых объективов, за исключением массы, которая не превышает нескольких десятков грамм. Однако при повышенных температурах преимущество имеют линзовые объективы из традиционного оптического стекла. Применение линз Френеля в качестве объективов ОСФИ позволяет оптимизировать и схему объектива ПНВ. На рис. 2.1.6.15 представлены эти схемы. Зеркально-линзовый объектив с однолинзовым компенсатором 2 на входе показан на рис. 2.1.6.15а, и без него — с плоскопараллельной пластиной (защитным стеклом — плоским зеркалом) 2 на входе — на рис. 2.1.6.16 [2.1.6.4]. В первом случае линза Френеля 6 расположена на некотором расстоянии от линзового компенсатора 2 и сопряжена с ИЛПИ (ИЛПН) 5 через отверстие в центральной нерабочей части компенсатора 2. Во втором случае линза Френеля 6 своей плоской поверхностью приклеена к первой оптической поверхности защитного стекла 2 (плоскопараллельной пластины) и сопряжена непосредственно через него с ИЛПИ (ИЛПН) 5. В варианте на рис. 2.1.6.15а возможна модернизация серийных зеркально-линзовых объективов ПНВ, а в варианте на рис. 2.1.6.156 достигаются минимальные масса и габаритные размеры.



Рис. 2.1.6.7. Оптические схемы объективов ОСФИ с f' 320 мм (a) и 400 мм 9 (б)



Для осветителя с плавно изменяемым углом подсвета (который можно связать с соответствующим изменением временной задержки) могут быть использованы вариообъективы с плавно изменяемым фокусным расстоянием (рис. 2.1.6.11) [2.1.6.1]. По сравнению с вариообъективами для приемной части ПНВ такие системы получаются более простыми как за счет узкого диапазона ахроматизации, соответствующего рабочему спектру излучения ИЛПИ (ИЛПН), так и менее жестких требований к качеству изображения.

Для эффективного снижения массы и габаритов наиболее целесообразно использование комбинированных зеркально-линзовых объективов (рис. 2.1.6.12, 2.1.6.13) [2.1.6.1]. В фокальной соответствующей плоскости, точке фокуса F₁, устанавливается фотокатод ЭОП, а в точке фокуса F₂ – ИЛПИ (ИЛПН). В объективе по схеме на рис. 2.1.6.12 используются как для передачи, так и для приема излучения одни и те же крупногабаритные компоненты объектива, только разные их участки. В схеме на рис. 2.1.6.13 используется независимый ход лучей. И в том, и в другом случае рационально используется



Рис. 2.1.6.8. Оптические схемы объективов ОСФИ с одной асферической поверхностью: *a*) парабола; *б*) гипербола



Рис. 2.1.6.9. Оптические схемы объективов ОСФИ с одной киноформной поверхностью (К — киноформная поверхность)



Рис. 2.1.6.10. Оптические схемы зеркально-линзовых объективов ОСФИ



Рис. 2.1.6.11. Оптические схемы вариообъективов ОСФИ: *a*) отечественная модель; *б*) модель фирмы Valpey Corp., США





Рис. 2.1.6.12. Оптическая схема комбинированного зеркально-линзового объектива ОСФИ с общим зеркалом Манжена и однолинзовым компенсатором полевых аберраций



Рис. 2.1.6.14. Схема прохождения луча в линзе Френеля, используемой в качестве ОСФИ



Рис. 2.1.6.13. Оптическая схема комбинированного зеркально-линзового объектива ОСФИ с нерабочим центральным участком линзы-зеркала для использования в качестве параболического зеркала объектива ОСФИ

центральная часть первого компонента однолинзового компенсатора полевых аберраций, являющаяся нерабочей для обычного приемного зеркально-линзового объектива.

Для лазерных целеуказателей (используемых обычно в комплексе с наголовным ночным монокуляром или с очками ночного видения) и малогабаритных лазерных осветителей целесообразно применение малогабаритной оптики ОСФИ. Оптические схемы таких объективов приведены на рис. 2.1.6.16–2.1.6.18. При проектировании данных объективов следует учесть, что защитное

стекло полупроводникового лазерного излучателя, работающего, как правило, в непрерывном или в квазинепрерывном режиме (ИЛПН), имеет толщину от 0,17 до 0,8 мм. Поэтому необходимо не только предусмотреть соответствующее заднее



Рис. 2.1.6.15. Зеркально-линзовый объектив с однолинзовым компенсатором 2 на входе (*a*) и без него (δ) — с плоскопараллельной пластиной (защитным стеклом — плоским зеркалом) 2 на входе



вершинное фокусное расстояние, но и выполнить плоской оптическую поверхность, обращенную к защитному стеклу ИЛПН. Среднеквадратическая погрешность волнового фронта должна быть не более 0,05 от длины волны ИЛПН (<0,05 λ). Желательно, чтобы габаритные размеры такого объектива не превышали Ø8×12 мм. С учетом этих требований фирма Melles Griot (США) разработала ряд объективов для лазерных целеуказателей. Объективы имели расчетную длину волны 0,83 мкм, числовую апертуру от 0,62 (при фокусном расстоянии 6,5 мм, диаметре входного зрачка 8 мм, максимальном искажении волнового фронта 0,04) до, соответственно, 0,2 (при фокусном расстоянии 50 мм, диаметре входного зрачка 20 мм, максимальном искажении волнового фронта 0,07). На рис. 2.1.6.19 представлены различные схемы объективов для лазерных целеуказателей. На рис. 2.1.6.19а дана схема объектива, допускающая получение максимального заднего вершинного фокусного расстояния. На рис. 2.1.6.196 дана схема объектива с плоскопараллельной пластиной. Схема позволяет уменьшить сферическую аберрацию, снизить требования к децентрировке линз, обеспечивает небольшую стоимостью изготовления объектива. Линзовые дублеты по схемам (рис. 2.4.46в, г) позволяют добиться также невысокой стоимости изготовления объектива при условии сохранения достаточно высокого качества изображения. При условии добавления к этим схемам апланатического мениска (рис. $2.1.6.19\partial_{e}$)



Рис. 2.1.6.16. Оптическая схема объектива целеуказателя лазерного, оптический выпуск Л1144-В91-355, f' = 8 мм, $O = 1:1,4, 2\omega = 1^{\circ}$



Рис. 2.1.6.17. Оптическая схема объектива целеуказателя лазерного, f' = 5 мм, $O = 1:1,6, 2\omega = 1^{\circ}$



Рис. 2.1.6.18. Оптическая схема объектива целеуказателя лазерного, $f' = 20 \text{ мм}, O = 1:2, 2\omega = 1^{\circ}$

хорошо исправляются сферическая аберрация и кома. Фирма Micro Laser Systems (США) разработала объектив по схеме «Петцваль» (рис. 2.1.19 \mathcal{M}) для расчетной длины волны 0,83 мкм с числовой апертурой от 0,62 при фокусном расстоянии 8,2 мм, диаметре входного зрачка 6 мм, максимальном искажении волнового фронта 0,05 λ , заднем вершинном фокусном расстоянии 2,92 мм. Все линзы выполнены из стекла БК7. Объектив для обеспечения круглого пятна подсвета содержит цилиндрическую линзу для устранения астигматизма, возникающего в лазерном пучке из-за различных расходимостей излучения в вертикальной и горизонтальной плоскости.

Глава 2. Элементы приборов ночного видения

80



Рис. 2.1.6.19. Различные оптические схемы объективов целеуказателя лазерного

Фирма Wild Heerbrugg (Швейцария) для лазерного целеуказателя REM 007 разработала объектив для расчетной длины волны 0,83 мкм с относительным отверстием 1:1,3 при фокусном расстоянии 9 мм, угле подсвета 2,6 мрад, заднем вершинном фокусном расстоянии 2,92 мм (рис. 2.1.6.193). Практика показала, что оптимальным решением являются 3- или 4-линзовые объективы, т. к. система из пяти линз не обеспечивает необходимой величины среднеквадратической по-грешности волнового фронта.

Этому требованию удовлетворяют схемы отечественных объективов (рис. 2.1.6.16–2.1.6.18).

Для снижения стоимости объективов фирма Eastman Codak Co. (США) разработала одноэтапный технологический процесс отливки линз FLM. Этот процесс позволяет получить отливки пластмассовых линз с асферическими поверхностями с помощью высокоточного литья под давлением без дальнейшей обработки. При этом возможно объединение оптически контролируемых пластмассовых линз в единый линзовый компонент и уменьшить число линз в схеме объектива. На рис. 2.1.6.196. представлены объективы, выполненные по этой технологии в однолинзовом (рис. 2.1.6.19и) и двухлинзовом (рис. 2.1.6.19к) исполнении. При этом двухлинзовая схема соответствует требованиям к 4-линзовой схеме, среднеквадратическая погрешность волнового фронта менее 0,04λ (на отдельных образцах — менее $0,02\lambda$) для рабочей длины волны 0,828 мкм. Фирма Philips (Нидерланды) также выпускает серийные пластмассовые объективы, изготовленные по той же технологии FLM. Объективы, линзы которых выполнены из радиационно стойкого поликарбоната, имеют для расчетной длины волны 0,83 мкм числовую апертуру 0,45 при фокусном расстоянии 4,5 мм, максимальном искажении волнового фронта $0,05\lambda$, заднем вершинном фокусном расстоянии 1,9 мм. Рабочая температура объектива составляет -40...+50°C, температура хранения -30...+85°C.





Для указанных объективов может быть использована градиентная оптика [2.1.6.25, 2.1.6.26]. В работе [2.1.6.25] показана возможность создания градиентного объектива с внутренними асферическими поверхностями и с радиально распределенным показателем преломления (рис. 2.1.6.20а). Изготовленный градиентный объектив имеет фокусное расстояние 0,36 мм при световом диаметре 0,62 мм, угловом поле зрения в пространстве предметов 70°. Изготовлен также объектив с фокусным расстоянием 2,0 мм, диаметром 2,7 мм при угловом поле зрения в пространстве предметов 60°. Для лазерных целеуказателей были также изготовлены высокоапертурные граданы с фокусным расстоянием 3 мм при диаметре 1,75 мм и длине 5 мм. В работе [2.1.6.26] показана возможность создания градиентной линзы со сфероконцентрическим распределением показателя преломления для коллимации излучения ИЛПН в лазерном целеуказателе. Внешний вид этой линзы дан на рис. 2.1.6.206, а характер распределения показателя преломления п вдоль оптической оси *z* градиентной линзы — на рис. 2.1.6.20*в*. Линза была рассчитана для ИЛПН типа ИЛПН-108 с углом расходимости излучения в плоскости, параллельной *p*-*n*-переходу, равном 5°, а в плоскости, перпендикулярной *p-n*-переходу, равном 22°. Линза имеет фокусное расстояние 7,02 мм при относительном отверстии 1:1,8 и рабочем отрезке 6,33 мм. По своим аберрационным характеристикам этот объектив эквивалентен трехлинзовому объективу, но имеет существенно меньшие массу и габариты. На расстоянии до 25 м 80% лазерного излучения было сконцентрировано в круге диаметром 50 мм [2.1.6.1].

На основе рассмотренных объективов возможно построение осветителя с уменьшенными продольными габаритами за счет его построения на базе



Рис. 2.1.6.20. Объектив градиентный (*a*), плосковыпуклая градиентная линза (*б*) и распределение показателя преломления п вдоль оптической оси *z* этой линзы (*в*)





Рис. 2.1.6.21. Схема суммирования диаграмм направленности элементарных лазерных диодов в решетке ИЛПИ (ИЛПН) (*a*) и элементарных лазерных модулей (*б*) лазерного осветителя, построенного по схеме группового излучателя

группового излучателя [2.1.6.1, 2.1.6.19] (рис. 2.1.6.21). Такой излучатель состоит из отдельных стандартных модулей, каждый из которых содержит объектив ОСФИ и ИЛПИ (ИЛПН). Оптические оси отдельных модулей взаимно параллельны, так что излучение суммируется в едином угле подсвета, равном углу подсвета отдельного модуля.

При этом излучающая поверхность решетки ИЛПИ (ИЛПН) устанавливается на расстоянии Δ от фокальной плоскости объектива. На этом расстоянии суммируются элементарные диаграммы направленности решетки, образуя распределение, проецируемое на местность объективом. Величина Δ соответствует пересечению диаграмм направленности элементарных областей решетки на уровне половинной интенсивности (рис. 2.1.6.21*a*) и определяется по формуле;

$$\Delta = a \left(2 \operatorname{tg} 0, 5 \,\theta_{0.5} \right)^{-1}. \tag{2.1.6.10}$$

Соответственно (см. рис. 2.1.6.48а):

$$a' = a + 2\Delta tg U.$$
 (2.1.6.11)

$$2\beta' = 2 \arctan a'/2 f'_{OB}$$
 (2.1.6.12)

От величины 2 U зависит светосила объектива и дистанция формирования излучения группового модуля (l_0), с которой начинает соблюдаться закон обратных квадратов (рис. 2.1.6.21 δ):

2.1. Объективы



$$l'_{0} = l_{0} = G/2 \operatorname{tg} \beta' = S f'_{0 b b} (S + f'_{0 b})^{-1} + G(2 \operatorname{tg} \beta')^{-1},$$

$$S = f'_{0 b} + a(2 \operatorname{tg} 0, 5 \theta')^{-1}.$$
(2.1.6.13)

Излучение всех модулей, входящих в состав группового излучателя, суммируется в едином угле подсвета 2 β' , равном углу подсвета элементарного модуля.

На дистанции $l_2 = 2l_1 = G(tg\beta')^{-1}$ образуется гомогенное пятно подсвета. Характер распределения излучения элементарных ИЛПИ (ИДПН) практически не сказывается на гомогенности единого пятна подсвета за счет наложения пятен подсвета от отдельных модулей. Групповой излучатель обладает рядом преимуществ, так как позволяет использовать несколько маломощных и более дешевых ИЛПИ (ИЛПН) вместо одного мощного и более дорогого. Групповой излучатель позволяет сократить продольные габариты и массу осветителя по сравнению с вариантом единого излучателя, так как фокусные расстояния объективов модулей могут быть значительно меньше фокусного расстояния объектива единого излучателя для обеспечения одной и той же энергетической силы света. Повышается ремонтопригодность осветителя за счет замены отдельных отработавших модулей,



Рис. 2.1.6.22. Общий вид прожекторов ОУ-ЗГ (*a*), Л-2Г (*б*), ОУ-5 (*в*) и Л-4 (*г*): 1 — корпус, 2 — блок ИК-фильтра. 3 — отражатель, 4 — источник света, 5 — патрон, 6 — задняя крыш-ка. 7 — анодный узел лампы, 8 — токоведущая шина [2.1.6.27]



Рис. 2.1.6.23. Зависимости спектрального распределения чувствительности S_{λ} (1,2) многощелочного (1) и кислородно-цезиевого (2) фотокатодов, сила излучения дуговой ксеноновой лампы типа ДксЭл-450 (3) и влияние температуры нагрева на степень пропускания (τ_{λ}) излучения фильтром ИКС-970, температура равна 20(I), 50 (II), 100 (III), 150 (IV), 200 (V), 250 (VI), 300 °C (VII) [2.1.6.27]



а также удобство его компоновки в аппаратуре за счет взаимного пространственного разделения отдельных модулей (при условии сохранения взаимной параллельности их оптических осей). Недостатком группового модуля по сравнению с вариантом использования только одного мощного ИЛПИ (ИЛПН) является усложнение конструкции осветителя и трудность его юстировки при большом количестве модулей. Поэтому применение группового модуля оправдано в случае, если указанные недостатки компенсируются перечисленными достоинствами осветителя, в первую очередь снижением его массы и габаритов.

Все рассмотренные оптические системы могут в равной мере применяться и в качестве ОСФИ светодиодных излучателей [2.1.6.1].

В технике ночного видения применяются и ламповые источники света: ксеноновые и галогенные лампы. Их применяют как для возимых, так и для портативных ПНВ. В работе [2.1.6.27] рассмотрены прожекторы для возимых ПНВ (рис. 2.1.6.23). Они выполнены на основе параболического отражателя и инфра-



Рис. 2.1.6.24. Различные схемы построения оптических систем ИК-прожекторов [2.4.29]



красного фильтра (рис. 2.1.6.22). В зависимости от температуры излучателя оптические характеристики ИК-прожектора претерпевают изменения [2.1.6.29]. Возможно сочетание параболического отражателя и линз Френеля различного типа [2.1.6.28]. Типичные схемы построения оптических систем прожекторов представлены на рис. 2.1.6.22, 2.1.6.24 [2.1.6.26].

Вопросы проектирования всех указанных выше оптических систем изложены в [2.1.6.1–2.1.6.7, 2.1.6.9–2.1.6.11, 2.1.6.18, 2.1.6.19, 2.1.6.25, 2.1.6.26].

Для резкого сокращения массы и габаритов объективов НТВС и малогабаритных ПНВ за последние годы предложена технология создания так называемых «многократно сложенных» кольцевых построителей изображения» [2.1.6.29]. В таком асферическом объективе излучение входит через внешнюю кольцевую оптическую поверхность и фокусирутся серией концентрических зональных отражателей в плоскости изображения. При этом продольные габариты объектива, например, с фокусным расстоянием 35 мм и относительным отверстием 1:1,4 не превышают 5 мм при весьма высокой разрешающей способности. Однако технология изготовления подобных объективов достаточно сложна и требует серьезной проработки.

Список литературы

- 2.1.6.1. Гейхман И.Л., Волков В.Г. Основы улучшения видимости в сложных условиях. — М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 1999. — 286 с.
- 2.1.6.2. Панов В.А, Кругер М.Я., Кулагин В.В. и др. Справочник конструктора оптико-механических приборов / Под общ. ред. В.А. Панова. Л.: Машиностроение, 1980. 742 с.
- 2.1.6.3. Турыгин И.А. Прикладная оптика. Часть I, 1965 г. 243 с., часть II, 1966. 431 с. М.: Машиностроение.
- 2.1.6.4. Бегунов Б. Н., Заказнов Н. Л., Кирюшин С. И. и др. Теория оптических систем. Л.: Машиностроение, 1969. 670 с.
- 2.1.6.5. Слюсарев Г. Г. Расчет оптических систем. Л.: Машиностроение, 1969. 670 с.
- 2.1.6.6. Слюсарев Г. Г. Расчет оптических систем. Л.: Машиностроение, 1975. 540 с.
- 2.1.6.7. Русинов М. М., Грамматин А.П, Иванов П.Д. и др. Вычислительная оптика: Справочник. Под общ. Ред. М. М. Русинова. Л.: Машиностроение, 1984. 423 с.
- 2.1.6.8. Волков В. Г. Приборы подводного видения. Специальная техника, 2003. № 3. — С. 2–15, № 4. — С. 2–10.
- 2.1.6.9. Архутик С. Т., Волков В. Г., Козлов К. В., Саликов В. Л., Украинский С. А. Инфракрасные лазерные прожекторы // Специальная техника, 2005. № 2. С. 6–11.
- 2.1.6.10. Архутик С.Т., Волков В.Г., Зайцева Е.И., Козлов К.В., Саликов В.Л., Украинский С.А. Модернизация приборов ночного видения // Специальная техника, 2005. — № 3. — С. 8–14.



- 2.1.6.11. Волков В. Г. Применение линз Френеля в качестве объективов формирования излучения лазерных осветителей, используемых в технике ночного видения. Вопросы оборонной техники, серия 11, 1976 г. Вып. 1 (148) 2 (149). С. 33–36.
- 2.1.6.12. Гринкевич А. В. Оптические системы приборов ночного видения // Оптический журнал, 1999. Т. 6. № 12. С. 17–20.
- 2.1.6.13. Гринкевич А. В. Светосильный объектив с подвижным компонентом для приборов ночного видения // Оптический журнал, 2003. — Т. 7. — № 9. — С. 43–46.
- 2.1.6.14. Объективы светосильные. Проспект фирмы Kollsman Corp. США, 1976.
- 2.1.6.15. Объективы светосильные. Проспект фирмы KOWA American Corp. США, 1992.
- 2.1.6.16. Богачев Д.Л. Объектив прямого изображения с трипель-призмой // Оптический журнал, 1997. — Т. 64. — № 7. — С. 68–69.
- 2.1.6.17. Бабинцев В.Ф., Волков В.Г., Кощавцев Н.Ф. Оптические системы приемной части активно-импульсных оптико-электронных приборов наблюдения. Вопросы оборонной техники, серия 11, 1994. — Вып. 1–2 (140–141). — С. 28–33.
- 2.1.6.18. Волков В. Г. Объективы формирования излучения осветителей, выполненных на базе полупроводниковых лазерных излучателей // Вопросы оборонной техники, серия 11, 1994. — Вып. 1–2 (140–141). — С. 28–33.
- 2.1.6.19. Волков В. Г. Оптические системы осветителей на базе групповых полупроводниковых лазерных излучателей // Вопросы оборонной техники, серия 11, 1994. — Вып. 1–2 (140–141). — С. 34–36.
- 2.1.6.20. Волков В.Г., Добровольский Ю.А., Кощавцев Н.Ф., Кускова М.А., Объедкова Т.Г. Низкопрофильные очки ночного видения модульной конструкции // Прикладная физика, 2000. — № 5. — С. 38–44.
- 2.1.6.21. Волков В.Г., Добровольский Ю.А., Кощавцев Н.Ф., Кускова М.А., Объедкова Т.Г. Новые объективы с двумя фокусными расстояниями для приборов ночного видения // Прикладная физика, 2000. — № 5. — С. 44–49.
- 2.1.6.22. Волков В. Г. Приборы ночного видения новых поколений // Специальная техника, 2001. — № 5. — С. 2–8.
- 2.1.6.23. Волков В. Г. Наголовные приборы ночного видения // Специальная техника, 2001. — № 5. — С. 2–8.
- 2.1.6.24. Волков В.Г., Кощавцев Н.Ф., Кускова М.В., Леонова Г.А., Соколов Д.С. Миниатюрные приборы ночного видения // Оборонный комплекс научно-техническому прогрессу России, 2001. № 1. С. 81–86.
- 2.1.6.25. Архипова Л. Н. Новые схемы объективов на основе градиентных материалов и компонентов с внутренними асфериками // Оптический журнал, 1994. № 8. С. 77–80.



- 2.1.6.26. Прокофьев А.Е., Осомкин А.В., Палашов В.Н., Сизов О.В., Чистяков С.О. Линза со сфероконцентрическим распределением показателя преломления для коллимации излучения полупроводникового лазерного диода // Оптический журнал, 1994. — № 8. — С. 54–56.
- 2.1.6.27. Басов Ю. Г., Раквиашвили А. Г., Сысун В. В. Инфракрасные прожекторы постоянного излучения // Оптический журнал, 2003. Т. 70. № 3. С. 59–64.
- 2.1.6.28. Справочная книга по светотехнике. Под ред. Ю.Б. Айзенберга. М.: Энергоатомиздат, 1995. 528 с.
- 2.1.6.29. Tremblay E.J., Stack R.A., Morrison R. L., Ford J. E. Ultrathin cameras using annular folded optics. Applied Optics, 2007. Vol. 46. № 4. P. 463–471.

2.2. Фильтры

2.2.1. Фильтры для ПНВ

Для ПНВ большое значение имеет применение фильтров, которые способны подавлять световые помехи. Конкретным примером является фильтр «хамелеон», выполненных на основе ЖК [2.2.1.1]. Такие фильтры используются для защиты зрения сварщика от ослепления интенсивным видимым светом сварки. Под действием напряжения ЖК ориентируются так, что они подавляют поляризованный свет [2.2.1.2]. Такой фильтр защищает также от УФ- и ИК-излучения. Время срабатывания фильтра составляет менее 1 мс. Однако при температуре -5 °C время срабатывания становится менее 0,5-0,9 с. Такие фильтры поэтому эксплуатируют при температуре не ниже -10 °C [2.2.1.2]. Фильтр «хамелеон» маски сварщика «Корунд» имеет размеры 110×90 мм, время срабатывания 0,2-0,5 мс при температуре эксплуатации -5...+55 °C и массе 490 г [2.2.1.3]. Фильтр Speedglass 9100X фирмы 3М (Швеция) [2.2.1.4] размером 107×54 мм имеет время срабатывания 0,1 мс при температуре эксплуатации -5...+55 °C и массе 425 г.

Для защиты ПНВ от избыточного света используют нейтральные фильтры. Они дают возможность наблюдать в ПНВ в дневное время суток при полностью открытом входном зрачке объектива. Эти же фильтры защищают объектив ПНВ от механических повреждений, пыли, грязи, влаги и пр.

Для работы ПНВ совместно с лазерными полупроводниковыми или светодиодными излучателями используются полосовые фильтры с полосой пропускания, близкой к рабочей спектральной области этих излучателей. В частности, фирма «Фотоник-фильтры» выпускает полосовые фильтры для видимой, УФ-, ИК-области спектра с полушириной спектра 5–10 нм, 6–8 нм и с пропусканием до 80% [2.2.1.1]. Однако спектр пропускания полосовых фильтров смещается в сторону коротких длин волн при увеличении угла падения излучения, хотя пропускание фильтра (форма его спектральной характеристики) в диапазоне углов падения излучения 0–30° почти не меняется (рис. 2.2.1.1) [2.2.1.1]. При работе фильтра в коническом пучке для квазимонохроматического (лазерного) излучения лучи,