

ПРИБОРЫ НОЧНОГО ВИДЕНИЯ С ФОТОПРИЕМНИКАМИ НА ОСНОВЕ InGaAs



Сегодня широкое распространение получили приборы ночного видения (ПНВ) на основе электронно-оптических преобразователей (ЭОП) поколений 2⁺–3, фотокатоды которых работают в области спектра 0,4–0,9 мкм [1]. Также в последние годы появились полупроводниковые многоэлементные фотоприемные устройства (ФПУ) для работы в области спектра 1,0–1,7 мкм [2]. В этой области спектра по сравнению с традиционной для ПНВ областью 0,4–0,9 мкм [3] достигаются более высокие уровни природных контрастов, на два порядка большая величина естественной ночной освещенности, лучшее пропускание в атмосфере. Кроме того, камуфлирующие покрытия, эффективные в области спектра 0,4–0,9 мкм, теряют свои маскирующие свойства в диапазоне длин волн 1,0–1,7 мкм. Это позволяет, в частности, распознать фигуры людей в камуфлирующей форме на фоне зелени [3]. Авторы предлагают ряд электронно-оптических систем для ПНВ, в которых используется канал в диапазоне 1,0–1,7 мкм.

ФПУ, работающие в области спектра 1,0–1,7 мкм, созданы в США фирмой Goodrich на основе соединения InGaAs [4]. Число пикселей в них составляет 320×240 и 640×480. Правда, размер пикселя равен 40×40 мкм или 25×25 мкм. Поэтому разрешающая способность таких ФПУ не превышает 12,5–20 штр./мм, в то время как разрешающая способность лучших образцов современных ЭОП поколений 2⁺ и 3 доходит до 84 штр./мм [5, 6]. Поэтому, если говорить о предельных дальностях действия, то ТВ-камеры на основе ФПУ на базе InGaAs скорее подходят для обнаружения, чем для распознавания малоразмерных объектов, например фигуры человека. В связи с этим, не исключая самостоятельного применения ТВ-камер на базе InGaAs, представляется целесообразным создать комбинированные ПНВ, которые сочетают ЭОП, работающие в диапазоне 0,4–0,9 мкм, и ФПУ на основе InGaAs – для диапазона 1,0–1,7 мкм. Первый диапазон используется для обнаружения и распознавания объектов в условиях удовлетворительной види-

В.Белоконев, к.т.н., В.Волков, д.т.н.

мости, второй подключается для обнаружения объектов в случае плохой видимости. Область спектра 1,0–1,7 мкм допускает также работу ПНВ совместно с безопасными для зрения лазерными дальномерами, работающими на длине волны 1,54–1,55 мкм [7], позволяя визуализировать их излучение.

Авторы разработали ряд схемных решений ПНВ с использованием канала, функционирующего в области спектра 1,0–1,7 мкм. Для каждого из этих решений создан действующий макет, на котором проверена их работоспособность.

Ночной бинокль с лазерным дальномером (рис.1). В бинокле используются два канала, которые работают в диапазонах 0,4–0,9 мкм и 1,0–1,7 мкм, а также лазерный дальномер, действующий в диапазоне 1,54–1,55 мкм. Схема работы прибора такова. Объектив 1 создает изображение наблюдаемого объекта и окружающего его фона на кремниевой ПЗС-матрице ТВ-камеры 6, работающей в области спектра 0,4–1,1 мкм. Камера может функционировать в дневном и в ночном режиме при нормальной прозрачности атмосферы [8]. Изображение создается на экране жидкокристаллического (ЖК) ТВ-монитора. При плохих условиях видения задействуется канал, содержащий ТВ-камеру 10 на основе InGaAs. Сигнал с этой камеры через блок преобразования частоты 11 поступает на ТВ-монитор. Блок 11 приводит кадровую и строчную частоту ТВ-камеры 10 к ТВ-стандарту. При работе лазерного дальномерного канала включается лазер, излучение которого через линзовый компонент, плоское зеркало 12 и дихроичное зеркало 9 передается в объектив 8, коллимирующий лазерное излучение. Последнее, отразившись от объекта наблюдения, поступает в объектив 1, который с помощью плоских зеркал 2 и 3 оптически сопрягает объектив 1 с ФПУ на основе кремниевое лавинного фотодиода и фокусирует лазерное излучение на его чувствительную площадку. ФПУ преобразует импульсы излучения лазера в электрические сигналы. В блоке 5 они превращаются в цифровой сигнал, пропорциональный дальности до объекта наблюдения. Этот сигнал поступает на ЖК-монитор и отображается на его экране в виде цифрового значения дальности. Дихроичная поверхность зеркала 2 пропускает 85% излучения в области спектра 0,4–1,1 мкм и отражает 95% излучения на длине волны 1,54–1,55 мкм. Дихроичная поверхность зеркала

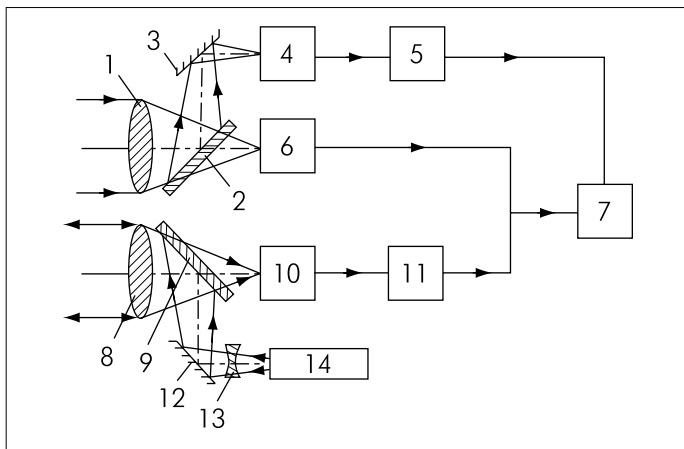


Рис. 1. Блок-схема ночного бинокля с лазерным дальномерным каналом: 1, 8 – объективы; 2, 9 – дихроичные зеркала; 3, 12 – плоские зеркала; 4 – ФПУ; 5 – электронный блок; 6, 10 – ТВ-камеры; 7 – ТВ-монитор; 11 – электронный блок преобразования в ТВ-стандарт; 13 – линзовый компонент; 14 – лазер

ла 9 пропускает 90% излучения в области спектра 1,0–1,7 мкм и отражает 95% излучения на длине волны 1,54–1,55 мкм. Дальность распознавания фигуры человека в полный рост в нормированных условиях составляет 500 м, увеличение – 4^x, угол поля зрения 10°, масса прибора не превышает 1,7 кг.

Очки ночного видения со "сквозным" зрением (рис.2). Этот прибор допускает как наблюдение с экрана ЭОП, так и непосредственное наблюдение без применения оптико-электронных каналов. Очки имеют два канала: на базе ЭОП и с ТВ-камерой на основе матрицы InGaAs для работы в ухудшенных условиях видения. При наблюдении левым глазом в канале на базе ЭОП объектив 1 создает изображение на входе бипланарного ЭОП поколения 2⁺ или 3. Линзовые компоненты 4, 6 оборачивающей системы с помощью плоских зеркал 3, 5, 7 сопрягают экран ЭОП с окуляром 8. Он, в свою очередь, сопряжен с глазом с помощью дихроичного зеркала 9. Оно пропускает видимый свет в области спектра 0,38–0,75 мкм и отражает в ра-

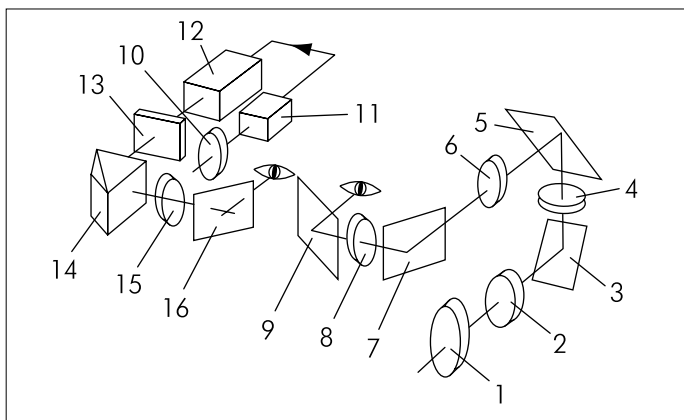


Рис.2. Блок-схема очков ночного видения со "сквозным" наблюдением: 1, 10 – объективы; 2 – ЭОП с оборачиванием изображения; 3, 5, 7 – плоские зеркала; 4, 6 – линзовые компоненты системы переноса; 8, 15 – окуляры; 9, 16 – дихроичные зеркала; 11 – ТВ-камера; 12 – электронный блок преобразования в ТВ-стандарт; 13 – ЖК-монитор; 14 – призма АКР-90°

бочей области спектра экрана ЭОП 0,53–0,56 мкм. Это позволяет одновременно видеть изображение на экране ЭОП и непосредственно наблюдать сцену, минуя ЭОП. Так обеспечивается "сквозное" видение. В ТВ-канале объектив 10 создает изображение на матрице InGaAs ТВ-камеры, которая преобразует изображение в видеосигнал. Его частоты преобразуются в ТВ-стандарт в блоке 12. Далее видеосигнал поступает на ЖК-монитор. Изображение с его экрана с помощью призмы АКР-90°, окуляра 15 и дихроичного зеркала 16 передается в правый глаз оператора. Зеркало 16 пропускает видимый свет в области спектра 0,38–0,75 мкм и отражает его в рабочей области спектра экрана 0,53–0,56 мкм, обеспечивая "сквозное" видение. Дальность распознавания ростовой фигуры человека в нормированных условиях составляет 200 м, увеличение – 1^x, угол поля зрения 40°, масса – не более 1,2 кг. Поскольку основная масса очков располагается на боковых поверхностях головы оператора, то его лицо и шейные мышцы находятся в не нагруженном состоянии.

ТВ-прибор для ночного вождения транспортных средств (рис.3). В состав прибора входят две ТВ-системы и лазерный проектор, который формирует изображение на лобовом стекле автомашины. Вся аппаратура находится во внутренней части салона автомобиля. В условиях недостаточной видимости может работать либо одна, либо другая ТВ-камера. ТВ-система для просмотра дальней зоны содержит объектив 3, создаю-

DC/DC ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ КЛАССА «MILITARY»

- Низкая стоимость!
- Мощнейший ряд 3...1000 Вт
- Рабочий температурный диапазон -60°C...+125°C
- Полный комплекс защит и сервисных функций
- Приемка «ОТК» и «ВЗП»

Выполнено по заказу Минобороны России
 ООО «АЛСЕРВИС ЭЛЕКТРОН»
 Москва
 Тел: (495) 336-14-72
 alser@yandex.ru
 Пресс-релиз
 Тел: (495) 336-14-72
 alser@yandex.ru

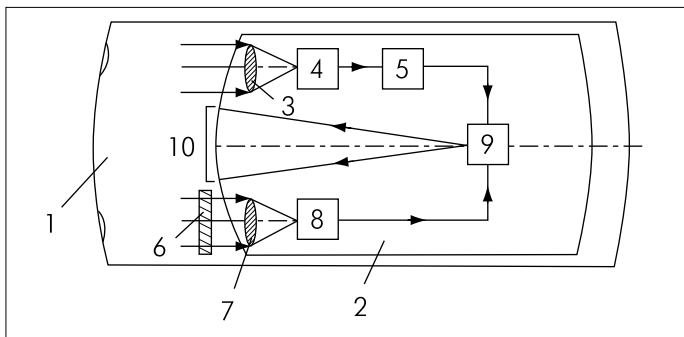


Рис.3. Блок-схема прибора ночного вождения при пониженной прозрачности атмосферы: 1 – автомашина; 2 – внутренняя часть салона автомашины; 3, 7 – объективы; 4, 8 – ТВ-камеры; 5 – электронный блок преобразования в ТВ-стандарт; 6 – кремниевый отсекающий фильтр; 9 – лазерный проектор; 10 – центральная часть лобового стекла

щий изображение сцены на матрице InGaAs ТВ-камеры 4. Видеосигнал с ее выхода передается в блок 5, где преобразуется в ТВ-стандарт, а затем поступает в лазерный проектор. Для просмотра ближней зоны служит другая ТВ-камера 8, выполненная на основе кремниевой ПЗС-матрицы, которая работает в области спектра 0,4–1,1 мкм. При пониженной прозрачности атмосферы эффективность такой ТВ-камеры ниже, чем у ТВ-камеры на основе матрицы InGaAs. Поэтому на входе объектива 7 ТВ-камеры 8 установлен кремниевый фильтр, отсекающий излучение менее 1,0 мкм. Это позволяет подавить излучение, рассеянное в атмосфере, и повысить контрастность объектов. Сигнал с выхода ТВ-камеры 8 поступает на другой вход лазерного проектора. В проекторе оба изображения суммируются и проецируются на центральную часть лобового стекла. Оно имеет дихроичное покрытие, пропускающее в видимой области спектра и отражающее в рабочей области спектра лазерного проектора. В верхней части изображения на лобовом стекле можно наблюдать дальнюю зону, в нижней части – ближнюю. Система имеет угол поля зрения в ближней зоне 40×20°, в дальней зоне 15×7,5°, увеличение 1^x. Скорость вождения транспортного средства в тумане при использовании данной системы – до 50 км/ч.

Переносной прибор наблюдения со средней дальностью действия (рис.4). Прибор выполнен на основе зеркаль-

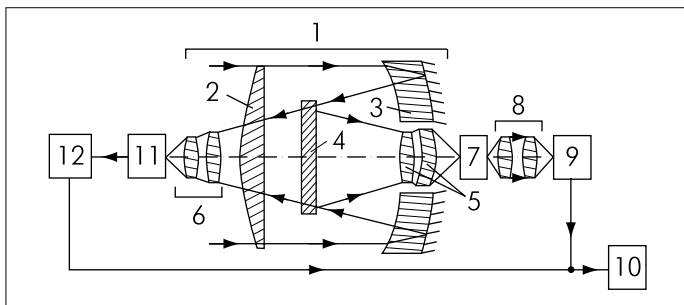


Рис.4. Блок-схема переносного прибора наблюдения со средней дальностью действия: 1 – зеркально-линзовый объектив; 2 – линза-зеркало; 3 – зеркало Манжена; 4 – плоское дихроичное зеркало; 5, 6 – компенсаторы полевых aberrаций; 7 – ЭОП; 8 – оптика переноса; 9, 11 – ТВ-камеры; 10 – ТВ-монитор; 12 – электронный блок преобразования в ТВ-стандарт

но-линзового объектива. Излучение сцены проходит через линзу-зеркало, отражается от зеркала Манжена и передается на плоское зеркало с дихроичным покрытием. Оно отражает в области спектра 0,4–0,9 мкм и пропускает в области 1,0–1,7 мкм. Излучение, отраженное от зеркала 4, с помощью линзового компенсатора полевых aberrаций 5 передается в плоскость фотокатода ЭОП. Изображение с его экрана с помощью оптики переноса передается на ПЗС-матрицу ТВ-камеры 9. Видеосигнал с ее выхода поступает на ТВ-монитор. Излучение, прошедшее через зеркало, с помощью линзового компенсатора 6 передается в плоскость матрицы InGaAs ТВ-камеры 11. Видеосигнал с ее выхода преобразуется в ТВ-стандарт в блоке 12 и передается на ТВ-монитор. Наличие двух ТВ-камер обеспечивает работу как при нормальной, так и при пониженной прозрачности атмосферы. Дальность обнаружения автомашины при использовании ТВ-камеры 11 со-

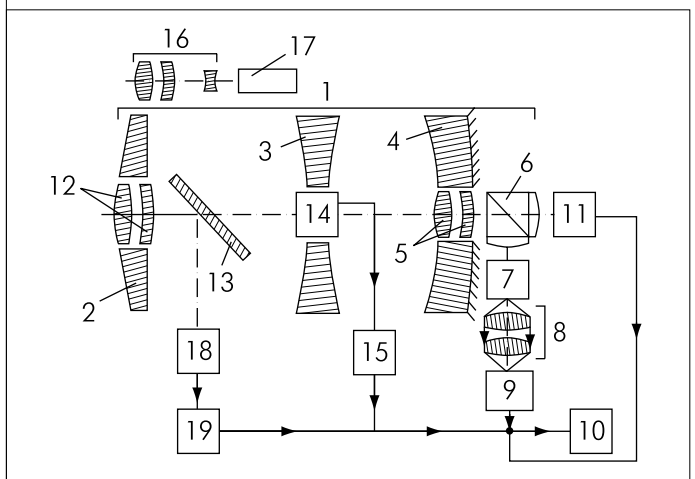


Рис.5. Блок-схема ПНВ с повышенной дальностью действия: 1 – зеркально-линзовый объектив; 2 – линза; 3 – линза-зеркало; 4 – зеркало Манжена; 5 – линзовый компенсатор полевых aberrаций; 6 – куб-призма с линзами; 7 – ЭОП; 8 – оптика переноса; 9, 11, 14 – ТВ-камеры; 10 – ТВ-монитор; 12 – объектив линзовый; 13 – зеркало дихроичное; 15 – электронный блок преобразования в ТВ-стандарт; 16 – объектив лазера; 17 – лазер; 18 – ФПУ; 19 – электронный цифровой блок

ставляет 2 км при угле поля зрения 10×5°, а дальность распознавания автомашины при использовании ТВ-камеры 9 – 1,5 км при том же угле поля зрения. Масса прибора не превышает 12 кг. Точность измерения дальности до 4 км составляет ±5 м. Прибор переносит с места на место и устанавливает на треноге.

Прибор круглосуточного наблюдения с повышенной дальностью действия (рис.5). В основе прибора – зеркально-линзовый объектив. Излучение от сцены проходит через линзу 2, линзу-зеркало 3, отражается от зеркала Манжена, затем от зеркальной поверхности линзы-зеркала 3, проходит через линзовый компенсатор полевых aberrаций 5 и попадает в куб-призму 6 с приклеенными к ее выходным поверхностям плоско-выпуклыми линзами. Гипотенузная грань куб-призмы отражает в области спектра 0,7–0,9 мкм и пропускает в области спектра 0,38–0,69 мкм. После отражения от гипотенузной грани куб-призмы излучение фокусируется на фотокатоде ЭОП. Изоб-



ражение с его экрана с помощью оптики переноса 8 передается на матрицу ПЗС ТВ-камеры 9. Видеосигнал с ее выхода поступает на ТВ-монитор. Излучение, прошедшее через гипотенузную грань куб-призмы, фокусируется на цветной ПЗС-матрице ТВ-камеры 11. Видеосигнал с ее выхода поступает на ТВ-монитор. Объектив 12 через дихроичное зеркало 13 оптически сопряжен с ТВ-камерой 14 на базе InGaAs, работающей в области спектра 1,0–1,7 мкм. Видеосигнал с ее выхода через блок приведения к ТВ-стандарту передается на ТВ-монитор. Прибор содержит также лазерно-дальномерный канал. С помощью оптической системы 16 излучение лазера с длиной волны 1,54–1,55 мкм коллимируется и направляется на объект наблюдения. Отразившись от него, лазерное излучение поступает в объектив 12. Дихроичное покрытие зеркала 13 пропускает в области спектра 1,0–1,7 мкм и отражает на длине волны 1,54–1,55 мкм. Отразившись от зеркала 13, излучение с этой длиной волны поступает в ФПУ. Электрический сигнал с его выхода обрабатывается в блоке 19 и передается на ТВ-монитор. На его экране отображается при этом цифровое значение дальности до объекта наблюдения. Дальность обнаружения автомашины в области спектра 1,0–1,7 мкм составляет 3 км, дальность распознавания в области спектра 0,7–0,9 мкм – 2,5 км. Углы поля зрения ТВ-камер: 9 – $4 \times 3^\circ$, 11 – $6 \times 4^\circ$, 14 – $6 \times 4^\circ$. Масса ПНВ не превышает 20 кг. Точность измерения дальности до 10 км составляет ± 5 м. Прибор можно переносить с места на место и устанавливать на треноге.

Таким образом, мы предложили целый ряд схемных решений для электронно-оптических систем, которые позволяют создавать ПНВ всепогодного и круглосуточного действия, применяя канал на основе ТВ-камеры с матрицей InGaAs.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гейхман И.Л., Волков В.Г. Основы улучшения видимости в сложных условиях. – М.: Недра-Бизнесцентр, 1999.
2. Волков В.Г. Многоэлементные фотоприемные устройства для области спектра 0,8 – 2,6 мкм и их применение в ИК-камерах. – Электронные компоненты, 2007, № 9.
3. Волков В.Г. Приборы ночного видения новых поколений. – Специальная техника, 2001, № 5.
4. InGaAs detectors. – Каталог фирмы Goodrich Corp., США, 2007.
5. Image Intensifier. – Каталог фирмы Delft, Нидерланды, 2006.
6. Image intensifier. – Каталог фирмы ИТТ, США, 2005.
7. Волков В.Г. Малогабаритные лазерные дальномеры. – Специальная техника, 2007, № 5, № 6.
8. Волков В.Г. Сверхвысокочувствительные телевизионные системы. – Специальная техника, 2002, № 4.