

ПРИБОРЫ НОЧНОГО ВИДЕНИЯ ВЧЕРА И СЕГОДНЯ

Ночные операции всегда составляют часть военных действий, а в Афганистане, по сообщениям информационных агентств, вооруженные силы союзников действовали в основном ночью. Установленная на их самолетах и вертолетах ИК-аппаратура переднего обзора (FLIR) позволяла не только “видеть” в ночных условиях наземные цели, но и обнаруживать замаскированные объекты по их излучению в ИК-области электромагнитного спектра. Однако при проведении наземных, а также некоторых воздушных операций использовались и различные приборы ночного видения. В отличие от аппаратуры FLIR, которая работает в дальнем участке ИК-спектра, где энергия излучается в виде тепла, приборы ночного видения усиливают отраженный свет, т. е. для их функционирования необходимо хотя бы слабое освещение объектов. Стоимость таких приборов гораздо ниже стоимости FLIR, поэтому они получили более широкое распространение.

Как известно, все объекты, температура которых выше абсолютного нуля, излучают электромагнитную энергию. Чем выше температура объекта, тем короче средняя длина волны такого излучения. Аппаратура FLIR работает по собственному излучению объектов в дальнем участке ИК-спектра (от 30 до 100 мкм), поэтому ее работа возможна в полной темноте. Приборы же ночного видения улавливают отраженную объектами энергию оптического диапазона. Поскольку глаз человека чувствителен лишь в видимой части спектра (0,4–0,75 мкм), для восприятия им улавливаемой датчиками электромагнитной энергии необходимо использование преобразователей изображения. Поэтому основу приборов ночного видения (ПНВ) составляет усилитель яркости изображения, или усилитель света.

В этом устройстве падающий на него световой поток преобразуется с помощью фотокатода в электрический сигнал, который усиливается, а затем электроны проходят обратное преобразование в фотоны, создающие изображение сцены, воспринимаемое глазом. Это означает, что в современном ПНВ по существу осуществляется наблюдение не за объектом, а за видеоизображением сцены с объек-

том. Все ПНВ монохроматические, они воспроизводят сцену с использованием оттенков зеленого цвета, к которому глаз человека наиболее чувствителен.

ПНВ выпускаются в виде телевизионных систем для низких уровней освещенности, наשלемых устройств ночного видения для водителей грузовых автомобилей и танков, прицелов ночного видения, очков ночного видения для экипажа летательных аппаратов и пехотинцев. Согласно классификации, введенной управлением по приборам ночного видения и электронным датчикам МО США NVESD, ПНВ подразделяются на аппаратуру нескольких поколений в зависимости от типа используемого преобразователя изображения.

Поколение 0. К этому поколению относятся первые ПНВ, которые применялись еще во время второй мировой войны. В типовом ПНВ использовались фотокатод с максимальной чувствительностью в сине-зеленом участке спектра, электростатическая инверсия изображения, а для усиления – ускорение электронов. Чувствительность была низкой, а коэффициент усиления – небольшим. Для работы необходимы были полнолуние или устройства ИК-подсветки размером с прожектор. Аппаратура выполнялась на электровакуумных приборах, была громоздкой, устанавливалась на грузовом автомобиле или на корабле.

Поколение 1. Аппаратура этого поколения, появившаяся в 1960-е годы, представляет собой пассивную систему, способную усиливать свет, отражаемый объектами, освещенными звездным светом. В типовом приборе используется фотокатод с чувствительностью 180–200 мА/лм. Падающий свет приводит к эмиссии электронов в электродах со специальным покрытием (динодах) (рис. 1). Электроны под действием высокого напряжения ускоряются в вакууме и фокусируются магнитным полем. При попадании на люминесцентный экран ускоренные электроны снова преобразуются в фотоны. Коэффициент усиления такой аппаратуры составляет около 1000, а чувствительность 0,01 лк. Несмотря на высокую чувствительность, этим ПНВ свойственны такие недостатки, как большие габариты и масса, а также геометрические искажения. Но аппаратура этого поколения все еще широко представлена на рынке.

Поколение 2. В начале 1970-х годов была разработана микроканальная пластина – стеклянная пластинка с миллионами отверстий (каналов). Диаметр канала всего 10–12 мкм, шаг 12 мкм. Внутренняя поверхность каналов покрыта материалом, обеспечивающим высокую эмиссию вторичных электронов (йодидом цезия или йодидом меди). Такую пластину можно представить в виде решетки параллельных умножителей электронов. Объединение микроканальной пластины с фотокатодом высокой чувствительности в диапазоне излучения красного света (свыше 240 мА/лм) и позволяет получить ПНВ поколения 2. Аппаратура обеспечивает получение удовлетворительных характеристик при низких уровнях освещения и низкий уровень искажения. Для достижения необходимого усиления используется комбинация электровакуумного прибора и микроканальной пластины, при этом последняя устанавливается непосредственно за фотокатодом в усилителе изображения (рис. 2). Электроны, испускаемые

Н.Щербак

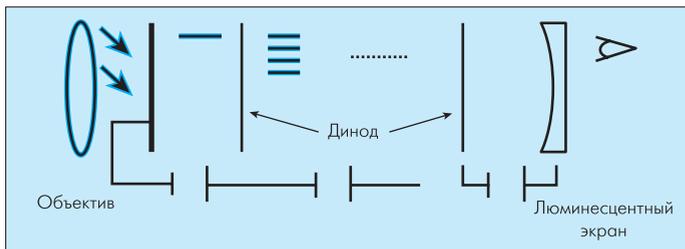


Рис.1. ПНВ первого поколения

фотокатодом, многократно ударяются о стенки каналов пластины и выбивают вторичные электроны, причем на каждый первичный электрон создается примерно $3 \cdot 10^4$ вторичных. Вторичные электроны ускоряются и фокусируются на люминесцентном экране, из которого выбиваются фотоны, т. е. осуществляется обратное преобразование в изображение, пригодное для просмотра. Коэффициент усиления ПНВ второго поколения составляет примерно 20 000, чувствительность 0,001 лк, а срок службы достигает 2,5 тыс. ч. По сравнению с ПНВ первого поколения усилитель изображения обеспечивает более высокую разрешающую способность и более высокую яркость.

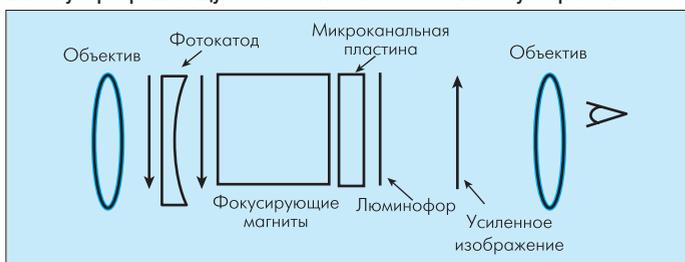


Рис.2. ПНВ второго поколения

Иногда встречаются ссылки на аппаратуру поколения 2+, которая по сравнению с ПНВ поколения 2 обеспечивает изображение более высокого качества, что достигается за счет модификации конструкции и технологии. В частности, используются модифицированные покрытия фотокатода для обеспечения максимальной чувствительности в области ближнего ИК-участка (для военной аппаратуры) или в сине-зеленом участке видимого света для научной аппаратуры.



Рис.3. ПНВ третьего поколения

Поколение 3. В ПНВ третьего поколения все усиление достигается в микроканальных пластинах, причем каналы, диаметр которых понижен до 6 мкм, располагаются под некоторым углом к направлению движения электронов, что гарантирует столкновение первичных электронов с их внутренней поверхностью (рис.3). Использование в фотокатодах поверхности из арсенида галлия и более совершенная конструкция позволили повысить коэффициент усиления до 50 000, а срок службы прибора – до 10 тыс. ч. Такой ПНВ оказывается чувствительным в ближнем участке ИК-диапазона (0,8–3 мкм), а также в видимом диапазоне (рис.4). Высокая чувствительность в ИК-диапазоне позволяет обнаруживать объекты, освещенные ночным небом. ПНВ третьего поколения может работать при уровнях освещенности объектов 10 мклк.

Поскольку арсенидгаллиевое покрытие фотокатода чувствительно к воздействию ионов, обратно рассеиваемых от микроканальной пластины, для предотвращения разрушения такого покрытия и, следовательно, повышения срока службы прибора микроканальная пластина покрывается защитной противоионной металлооксидной пленкой. Это, однако, снижает коэффициент усиления и общую квантовую эффективность примерно на 30%.

Бесспорно, приборы третьего поколения – лучшие из всех ПНВ, однако их стоимость почти в десять раз выше, чем у ПНВ второго поколения. Несколько тысяч долларов – это только возможный минимум.

Примером ПНВ третьего поколения могут служить очки ночного видения AN/PVS-7B американской компании Aspect Technology & Equipment. Эти приборы широко используются в войсках, правоохранительными органами, таможенными службами, пограничными дозорами, службами противодействия незаконному обороту наркотиков, при выполнении ночных операций поиска и спасения, при обнаружении очагов возгорания в лесу, для передвижения в ночных условиях. Высокие коэффициент усиления изображения и разрешающая способность обеспечивают видимость при освещении звездным небом. Возможно использование как при закреплении на голове, так и в носимом портативном варианте. Очки снабжены автоматическим регулятором коэффициента усиления в соответствии с освещенностью сцены, имеют встроенный индикатор степени разряда батареек электропитания, а также встроенное устройство ИК-подсветки. Технические характеристики:

Материал фотокатода	.....арсенид галлия
Разрешающая способность	.....45 пар строк/мм
Фоточувствительность	.....1200 мА/лм
Коэффициент усиления изображения	.....35000
Регулировка диоптрий	.....от -6 до +2
Диаметр объектива	.....27 мм
Поле зрения	.....40°
Фокусное расстояние	.....от 3 м до бесконечности
Сигнал/шум	.....18
Коэффициент усиления системы	.....3200
Материал экрана	.....люминофор P-20
Электропитание	.....батареи типа AA
Срок службы батареи электропитания	.....20 ч
Диапазон рабочих температур	.....-51...+46°С
Габариты	.....149x149x91 мм
Масса	.....680 г

Поколение 4. Недавно появились сообщения о разработке электронно-оптических усилителей изображений для ПНВ четвертого поколения (компания Litton Electro-Optical Systems, США). В таких усилителях использованы новые технологические достижения и конструкция, обеспечивающие более высокую квантовую эффективность в большей части видимого участка и ближнего ИК-участка электромагнитного спектра и позволившие отказаться от противоионной защитной пленки. В ПНВ американской компании Roger это стало возмож-

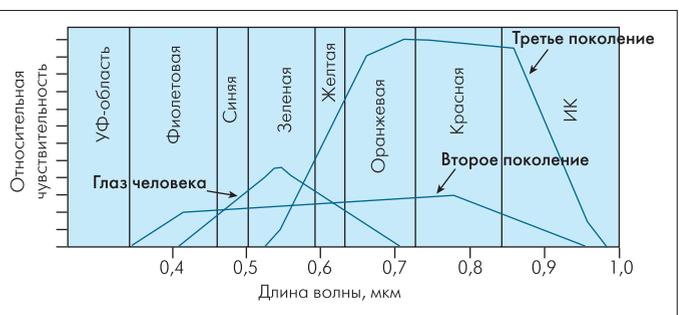


Рис.4. Чувствительность ПНВ второго и третьего поколений

Характеристики приборов ночного видения

Модель (фирма, страна)	Принцип работы	Участок спектра, длина волны, мкм	Датчик	Оптическая система (поле зрения, мрад)	Конфигурация
Dark Invader 5003 (B. E. Meyer & Co., США)	Усилитель изображения	БИК/визуальный	Поколение 3+	ФР	Портативный прибор/установка на оружии
Dark Invader OWL (B. E. Meyer & Co., США)	Усилитель изображения	БИК/визуальный	Поколения 2 и 3	ФР	Портативный прибор
Nightsight 200 (B. E. Meyer & Co., США)	–	–	–	(0,65)	Для установки на транспортном средстве
Nightsight PalmIR 200 (B. E. Meyer & Co., США)	Тепловизор	7–14	Ферроэлектрический неохлаждаемый/(320x240) элементов	ФР	Портативный прибор или установка на треноге
BIRC (Celsius Tech Electronics AB, Швеция)	Тепловизор	8–12	ИК-фотодетектор с квантовой ямой	ФР(0,13x0,13)/(0,25x0,25)	Устанавливается на прицеле противотанковых управляемых боеприпасов ATWG
EOI (Celsius Tech Electronics AB, Швеция)	Тепловизор	8–12	ИК-фотодетектор с квантовой ямой	ФР(5x3,8)/(14x10)	Портативный прибор/установка на лазерном прицеле
ИК-визуализатор NightConqueror (Cincinnati Electronics, США)	Тепловизор	3–5	InSb, 640x512 элементов	ФР(0,11/0,56)	–
ИК-камера Nightmaster (Cincinnati Electronics, США)	Тепловизор	3,6–5	InSb, 256x256 элементов	ФР(0,12/0,6)	–
SHD-3 (Delft Electronic Products BV, Нидерланды)	Усилитель изображения	P20	–	ФР	Портативный прибор
XD-4 (Delft Electronic Products BV, Нидерланды)	Усилитель изображения	P20	–	ФР	Портативный прибор/установка на оружии
Nightstar (DRS Optronics, США)	Усилитель изображения	–	Поколение 3	ФР	Биноклярная конфигурация
ElectroViewer 7215C (Electrophysics, США)	Тепловизор	0,4–1,3	–	ФР(40)	Портативный прибор/установка на треноге
ИК-очки 6100M/EV-2S (Electrophysics, США)	Преобразователь изображения	0,4–1,3	–	ФР(40)	Портативный прибор/монтаж в шлеме летчика
Очки ночного видения Cyclops (Electrophysics, США)	Усилитель изображения	–	Поколения 2 и 3	ФР	Монтаж в шлеме летчика
MOSP(IAI/TAMAN, Израиль)	Тепловизор/ТВ	(8–12)/(3–5)	ПЗС/FLIR/лазерный целеуказатель	ФР(3 значения)	Подвесной контейнер
POP(IAI/TAMAN, Израиль)	Тепловизор/ТВ	3–5	ПЗС/FLIR/лазерный целеуказатель	ФР(3 значения)	Подвесной контейнер
Тепловизор третьего поколения (Kollsman, США)	Тепловизор	3–5	InSb	ФР(1,85x1,39)/(6,2x 4,6)	Установка на транспортном средстве
Прицел ночного видения AN/TAS-4A (Kollsman, США)	Тепловизор	8–12	HgCdTe	Сканирование (1,1x2,2)/(3,4x 6,8)	Установка на треноге/установка на транспортном средстве
Прицел ночного видения AN/TAS-4B (Kollsman, США)	–	8–12	HgCdTe	Сканирование (1,1x2,2)/(3,4x 6,8)	Установка на треноге/установка на транспортном средстве
Более 20 приборов военной номенклатуры (Litton Electro-Optical Systems, США)	Усилитель изображения/Тепловизор	(3–5)/(8–12)	Различные	Различные	Различная
Дисплей EyeGlass для работы с тепловизором(MicroOptical, США)	Тепловизор	ИК	Различные	(11)	С окуляром
Очки ночного видения Dativisor, монтируются в шлеме летчика(N-Vision, США)	1-дюймовая ЭЛТ	–	–	(11)	Для монтажа в шлеме летчика
AN/PAS-13(Raytheon, США)	–	–	–	ФР	Установка на оружии
AN/PAS-18(Raytheon, США)	Тепловизор	ИК	–	ФР	Установка на оружии
W1000(Raytheon, США)	Тепловизор	–	ФР, 245x328 элементов	ФР(15/9)	Портативная аппаратура/установка на оружии
IRIS(SAGEM, Франция)	Тепловизор	8–12	ИК-ПЗС/ФР	ФР	Для установки на транспортном средстве/оружии
МАТепловизорS(SAGEM, Франция)	Тепловизор	3–15	InSb или HgCdTe / поколение 3	ФР(2,5x1,6)/(12x8)	Портативная аппаратура/для установки на оружии
ТОPOWL(Thomson-CSF Sextant, Франция)	–	–	–	(40)	Для установки в шлеме летчика
TOPSIGHT-E (Thomson-CSF Sextant, Франция)	–	–	–	(20)	Для установки в шлеме летчика



Габариты, мм (масса, кг)	Мощность электропитания, Вт	Примечания
–	–	С полным стробированием/отфильтровыванием прямого солнечного света
–	–	Факультативная система подсветки
190,5x198x224 (3,4)	6–25	Обнаружение человека на расстоянии 720 м. Автоматическая регулировка контрастности и яркости
241x100x100 (1,2)	3,5 в режиме готовности	Обнаружение человека на расстоянии 720 м
483x259x432 (8,9)	<35	При установке на прицел не требует дополнительной регулировки
(<6,6)	<45	Встроенное охлаждающее устройство
178x89x86 (<1,3)	16	Встроенный температурный датчик для калибровки
250x91x127 (2,7)	10	Установка в шлеме летчика
(0,08)	–	Может работать при высоких уровнях освещенности
(0,08)	–	Может работать при высоких уровнях освещенности
246x224x84 (1,6)	–	В комплекте – лазерный дальномер и цифровой компас
99x79x51	Батарейное/от напряжения 120–240 В переменного тока	–
(0,72)	Батарейное/от напряжения 120–240 В переменного тока	Фокусное расстояние от 15 см до бесконечности
–	3 В постоянного тока	Быстросъемный соединитель со шлемом
381 (диам.) x x 508(31,5)	280	Многофункциональная стабилизированная оптоэлектронная аппаратура (MOSP)
259 (диам.) x x 381(14,9)	120	Встраиваемая оптоэлектронная аппаратура (POP)
(15,9)	70	Двукратное электронное изменение фокусного расстояния. Для легких бронированных машин и пр.
(9,9)	30	–
(9,9)	30	Используется для управления огнем вместе с лазерным целеуказателем
Различные	В основном батарейное питание	С возможностью работы в дневных/ночных условиях; используются в 37 странах мира
(33-62 г)	2,9; 9 В	Позволяет наблюдать за ИК- изображением, проектируемым очками ночного видения
(0,9)	60	При обучении летчиков пользованию очками ночного видения
–	–	Прицел ночного видения/сменный телескопический прицел
Небольшие (легкий прибор)	Напряжение 6–24 В постоянного тока	Прицел ночного видения для UP Stinger
(1,4)	Напряжение 12–40 В постоянного тока	Может обнаруживать объект размерами с человека на расстоянии 690 м
–	–	С микроохладителем, работающим по циклу Стирлинга
–	–	С микроохладителем, работающим по циклу Стирлинга
(1,98)	–	Электронные схемы – в составе бортовой аппаратуры. Модульная конструкция, модули могут входить в состав прицела и дисплея
(1,49)	–	Электронные схемы – в составе бортовой аппаратуры. Модули могут входить в состав дисплея/устанавливаться в защитном козырьке/входить в состав очков ночного видения

ным в результате существенного снижения количества абсорбированных газов во внешних слоях стеклянной подложки ПНВ (такие газы, а это в основном водород и кислород, и создают ионы, повреждающие фотокатод). Благодаря новому усилителю без противоионной пленки в очках ночного видения удалось значительно повысить дальность обнаружения объектов и разрешающую способность, особенно при очень низких уровнях освещенности. В ПНВ четвертого поколения применены микроканальные пластины с отверстиями диаметром 6 мкм.

Для повышения динамического диапазона и разрешающей способности коэффициент усиления изображения должен быстро изменяться в соответствии с изменением освещенности сцены. Это возможно путем быстрого стробирования включения усилителя, при котором отношение периодов включенного и выключенного состояний обратно пропорционально освещенности объекта. Стробирование осуществляется переключением полярности напряжения смещения, подводимого к фотокатоду, – при отрицательном смещении электроны поступают на микроканальную пластину, а при положительном – нет.

Однако даже такое совершенствование приборов не помогает обнаруживать объекты в полной темноте и при равенстве значений температуры объекта и окружающей среды. В таких случаях приходится прибегать к активным устройствам подсветки. Эти устройства выполняются в виде целеуказателей, прожекторов, осветительных ракет или гранат, световой поток которых находится в основном вне видимой части оптического диапазона. Задача состоит в освещении цели при одновременном сохранении скрытности источника облучения.

К другим особенностям ПНВ, которые могут повлиять на выбор системы, относится режим обзора – без сканирования или со сканированием. К преимуществам решеток без сканирования, называемых также фокальными решетками, относятся минимальное число движущихся деталей (или их полное отсутствие) и непрерывное перекрытие зоны обзора. В такой оптической системе матрица детекторных элементов размещается в фокальной плоскости и обеспечивает мгновенное перекрытие всей сцены.

В приборе со сканированием оптическая система для просмотра большой зоны обзора использует фокусирование изображения на одном детекторе или на узкой линейке детекторов. Зеркала сканирования в горизонтальной и вертикальной плоскостях создают проекцию детектора в предметном пространстве. Поскольку для системы требуется лишь относительно небольшое число детекторов, не возникает проблем, связанных с выходом годных детекторных матриц, равномерностью рабочих характеристик детекторов в пределах матрицы, а также с высокой стоимостью. В системах со сканированием сцена просматривается последовательно во времени, поэтому принятие решения должно основываться на меньшем числе принимаемых импульсов.

В таблице представлены сведения почти о 30 различных ПНВ, в том числе телевизионных (ТВ), с преобразователями изображения, усилителями изображения, а также тепловизорами. (Использованы следующие сокращения: ФР – фокальная решетка; БИК – ближний ИК-участок спектра; ПЗС – прибор с зарядовой связью.)

Laser Focus World, 2001, October.

Journal of Electronic Defense, 2000, 23, №1; 2001, 24, № 7 и 9.

www.micro.magnet.fsu.edu/primer/java/photomicrography/

www.micro.magnet.fsu.edu/primer/photomicrography/concepts/

Материал компании Aspect Technology & Equipment.

www.tasco.com.au/night.htm

www.eriflescopes.com/Terminologie.html