

Виктор Волков, д. т. н., академик РАЕН, профессор | volkvik2009@yandex.ru

Светодиодные излучатели

для приборов ночного видения

Описываются светодиодные излучатели, используемые в приборах ночного видения для обеспечения наблюдения в условиях полной темноты, индикации, отображения и подсвета визирных знаков. Рассматриваются конкретные модели светодиодных излучателей и осветителей на их основе, приводятся их основные параметры, указан характер сопряжения осветителей с приборами ночного видения.

В настоящее время широкое распространение получили приборы ночного видения (ПНВ) для обеспечения наблюдения и прицеливания при низких уровнях естественной освещенности — в сумерках и ночью. ПНВ применяются для охраны, при проведении специальных антитеррористических и спасательных операций, для обеспечения работы пограничных, таможенных служб, при добыче полезных ископаемых, для вождения транспортных средств при неблагоприятных условиях видения, промышленного технологического контроля, обеспечения работы охотничьих хозяйств, служб рыбнадзора и др. [1].

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 инфракрасной областях спектра. Принцип действия ПНВ поясняет рис. 1.

Объектив 1 создает перевернутое изображение объекта на полупрозрачном фотокатоде электронно-оптического преобразователя (ЭОП) 2. Перед фотокатодом ЭОП может быть установлен красный светофильтр 3, который служит для повышения контраста в изображении объекта. Световой поток, попадая на фотокатод 4, воз-

буждает 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 высоковольтного источника питания (ВИП) 6, который подает на экран 7 ЭОП высоковольтное напряжение. Ускоренные фотоэлектроны фокусируются электронной оптикой 5 на катодolumинесцирующий экран 7. Последний под воздействием фотоэлектронов люминесцирует и 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 подключен к первичному источнику питания 9 — бортовой сети транспортного средства или аккумуляторной батарее. В состав ПНВ может входить ИК-осветитель 10. Он состоит из ИК-излучателя 11 (лампа, светодиодный излучатель или полупроводниковый лазерный излучатель), оптики 12 формирования (коллимирования) его излучения и ИК-светофильтра 13 (устанавливаемого только для лампы и подавляющего ее видимое и ультрафиолетовое излучение). Излучатель 11 подключен к блоку его питания 14 (преобра-

зователь напряжения или блок накачки), который питается от автономного источника 15 или от общего источника 9.

Осветитель служит для работы ПНВ в полной или в почти полной темноте. Режим работы прибора со включенным осветителем называется активным, без включения осветителя — пассивным. ПНВ, которые могут работать в обоих режимах, называются пассивно-активными. Они более всего используются на практике.

Чаще в ИК-осветителях для ПНВ используются светодиодные излучатели. Это связано с достаточно высокой мощностью их излучения, отличными эксплуатационными характеристиками, значительным сроком службы, низкой стоимостью.

Рассмотрим типичные ИК-осветители для ПНВ на базе светодиодных ИК-излучателей. Например, «Альфа-8011» [2] предназначен для подсветки объектов, наблюдаемых в следующие ПНВ: ночной монокуляр «Альфа-9022», очки ночного видения «Альфа-1033», ночной бинокль «Альфа-3122» [2]. Осветители используются для подсвета объектов ночью в случае облачности и при отсутствии света луны и звезд, в лесном массиве, в складках рельефа местности, в темных подвалах и туннелях. Осветитель состоит из линзового объектива, ИК-светодиода, электрической схемы стабилизации тока и первичного источника питания, может быть оснащен функцией ступенчатой или плавной регулировки мощности излучения. «Альфа-8011» выпускается в двух модификациях, различающихся конструктивным исполнением и рядом других параметров (таблица 1).

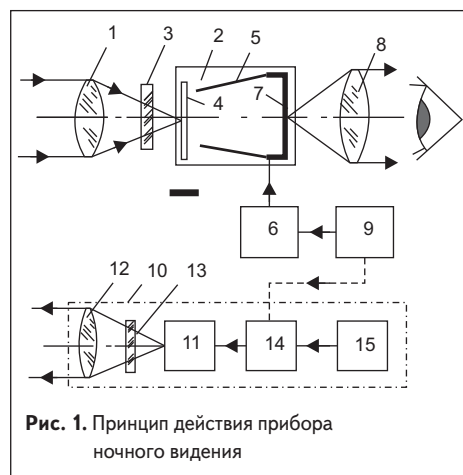


Рис. 1. Принцип действия прибора ночного видения

Таблица 1. Характеристики различных моделей осветителя «Альфа-8011»

Параметры	Модели	
	«Альфа-8011-1»	«Альфа-8011-2»
Внешний вид	рис. 2	рис. 3
Мощность излучения, мВт	20	35
Максимальная длина волны, нм	820	
Угол расходимости излучения, °	4–9 (регулируется фокусировкой объектива осветителя)	
Ток потребления, мА	250–300	160–220
Питание	две батареи типа АА	Одна литиевая батарея 123 А
Время непрерывной работы, ч	1,5–2,5	2–4
Габариты, мм	140×38×33	125×33×22
Вес, г	120	75
Диапазон рабочих температур, °С	–40...+40	



Рис. 2. Светодиодный ИК-осветитель «Альфа-8011-1»



Рис. 3. Светодиодный ИК-осветитель «Альфа-8011-2»



Рис. 4. Характер установки ИК-осветителя на корпусе ПНВ

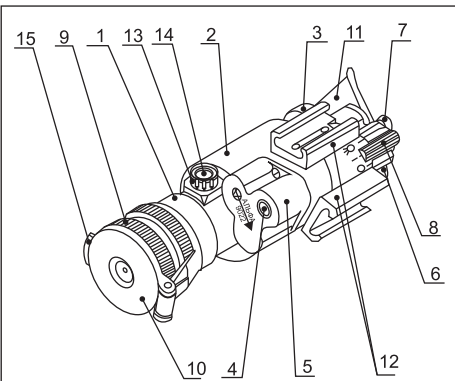


Рис. 5. Общий вид ПНВ «Альфа-9022»:

- 1 — объектив, 2 — корпус прибора,
- 3 — окуляр, 4 — встроенный светодиодный ИК-осветитель,
- 5 — корпус источника питания,
- 6 — крышка, 7 — винт,
- 8 — переключатель,
- 9 — оправа объектива,
- 10 — крышка объектива защитная,
- 11 — наглазник,
- 12 — кронштейн, 13 — патрон осушки,
- 14 — стекло смотровое, 15 — кнопка

Таблица 2. ИК-светодиоды фирмы НПЦ «ОПТЭЛ» с рабочей длиной волны 805 ± 10 нм для осветителей, используемых в ПНВ [3]

Модель светодиода	Типичная мощность излучения, мВт	Типичная энергетическая сила света, мВт/стерадиан	Угол расходимости излучения (по уровню 0,5), °	Прямое напряжение, В	Прямой ток, мА
У-138А	8,5	25	60 ± 10	2,0	50
У-136Е	33	120	25 ± 5	2,2	100
АОИ-190Г	35	—	10 ± 1	2,2	150
У-288А	400	370	40 ± 5	10,0	200
У-200ИК-1	300	65000	$3 \pm 0,5$	$12 \pm 0,5$	200
АОИ195Б	110	300	35 ± 5	3,0	400
У-190А-П	100	1000	10 ± 3	3,0	400
У-234А	620	200	100 ± 10	5,0	600
У-234А-1	610	450	70 ± 5	5,0	600
У-234А-2	610	2200	20 ± 5	5,0	600
У-193А	230	500	30 ± 5	2,2	700
У-224А-1	250	8000	5 ± 1	2,2	700
У-176А	250	5000	7 ± 2	2,2	700
У-236А-1	850	3000	20 ± 5	5,0	1000

На рис. 4 показан характер установки съемного ИК-осветителя на корпусе ПНВ, кронштейн 12 «ласточкин хвост» (рис. 5) предназначен для его крепления.

Дальность распознавания в монокуляр «Альфа-9022» и в очках «Альфа-1033» ростовой фигуры человека в условиях ясной звездной ночи и при нормальной прозрачности атмосферы составляет в пассивном режиме 200 м, в активном режиме при подсветке светодиодным ИК-осветителем — 100 м.

Кроме съемного автономного ИК-осветителя, ПНВ имеет также встроенный светодиодный ИК-осветитель 4 (рис. 5). Он используется при освещенности, недостаточной для работы ПНВ в пассивном режиме или в полной темноте в неосвещенных помещениях, обеспечивая дальность видения 5–7 м в угле подсвета 40° . Такой осветитель необходим для проведения ночных ремонтных работ, чтения документов и др. Поток излучения направляется на рассматриваемый объект через линзу 4, выполняющую одновременно функцию защитного стекла для осветителя. Включение осуществляется переключателем 8. В качестве встроенного ИК-светодиода используется модель У-138А, а для автономных ИК-осветителей — модели У-136Е и АОИ-190Г НПЦ «ОПТЭЛ» [3]. Эта фирма поставляет ИК-светодиоды для ПНВ (таблица 2).



Рис. 6. Светодиодный ИК-осветитель ELRIRI

Рабочий диапазон температур ИК-светодиодов составляет $-50 \dots +55^\circ\text{C}$, срок службы составляет не менее 5×10^5 часов.

Для достижения значительных дальностей видения в активном режиме используются более мощные светодиодные ИК-осветители. Например, модель ELRIRI (Extended Long Range IR Illuminator) фирмы Night Optics USA [4] (рис. 6) имеет мощность излучения 350 мВт на длине волны 860 нм, обеспечивает распознавание в ПНВ ростовой фигуры человека на дальности свыше 900 м. Масса осветителя 181,6 г, габариты $160 \times 40 \times 35$ мм. Питание осветителя с напряжением 3 В обеспечивается от литиевой батареи CR 123. Мощные светодиодные излучатели необходимы для обеспечения посадки вертолетов ночью. При этом на шлеме пилота, управляющего машиной, установлены бинокулярные очки ночного видения, например «Альфа-2031» (ОВН-1) (рис. 7) [2]. Светодиодный излучатель подсвечивает местность, на которой



Рис. 7. Очки ночного видения «Альфа-2031» (ОВН-1) для пилота вертолета



Рис. 8. Мощные светодиодные ИК-излучатели фирмы НПЦ «ОПТЭЛ»



Рис. 9. Лазерный ИК-целеуказатель «Альфа-7115»

должен приземлиться вертолет. Если над этой местностью протянуты провода, то они будут сильно бликовать при подсветке, что позволит пилоту избежать типичной для вертолета катастрофы — столкновения с проводами при посадке. В качестве вертолетного светодиодного излучателя может быть использована модель У-234А-1 (табл. 2) (рис. 9).

В таблице 3 представлены параметры ИК-осветителей для ПНВ, выпускаемых различными фирмами.

Для индикации включения ПНВ используются такие же светодиоды красного цвета свечения, как и в обычной электронной аппаратуре. Однако есть и исключение. На рис. 8 показан лазерный ИК-целеуказатель «Альфа-7115». Он монтируется на индивидуальном оружии и используется для создания «точечного» пятна подсвета на цели, наблюдаемого вместе с изображением цели в ночной монокуляр или в очки ночного видения, закрепленные на голове оператора. Достаточно придать оружию положение, при котором пятно подсвета совместится с целью, и можно открывать огонь. Это позволяет вести прицельный огонь с ходу. Для индикации включения целеуказателя тоже нужен индикатор. Однако его излучение не должно засвечивать ПНВ. Поэтому в качестве индикатора включения здесь используется светодиод с ультрафиолетовым излучением, а именно модель У-118УФ-1 фирмы НПЦ «ОПТЭЛ» с рабочей длиной волны

405 ± 5 нм, мощностью излучения 5–7,5 мВт, углом расходимости излучения $25 \pm 5^\circ$, прямым напряжением 4,0 В, прямым током 30–35 мА, размерами корпуса $\varnothing 5 \times 8,5$ мм и диапазоном рабочих температур $-60 \dots +70$ °С.

Для отображения визирных знаков в ПНВ могут быть использованы светодиоды фирмы НПЦ «ОПТЭЛ» [3] красного цвета свечения (длина волны 650 ± 10 нм). Мощность излучения модели У-336А составляет не менее 3 мВт, прямое напряжение — не более 2,5 В, прямой ток — не более 10 мА. Форма и размеры светодиодного визирного знака показаны на рис. 10. Визирный светодиодный знак отличается высокой контрастностью, возможно электронное управление его формой. Корпус светодиода с размерами $\varnothing 8,4 \times 5$ мм содержит четыре вывода для управления тремя формами знака. Для подсвета визирных знаков (рис. 10) также могут использоваться светодиоды, например модель У-346А фирмы НПЦ «ОПТЭЛ» [3], красного цвета свечения (длина волны 650 ± 10 нм), имеющие силу света не менее 10 кд, угол расходимости излучения на уровне $0,5 I_{\max} — 100 \pm 10^\circ$, прямое напряжение не более 2 В, прямой ток 20 мА.

Все рассмотренные выше светодиодные излучатели работают в непрерывном режиме. Однако возникает необходимость использования ИК-излучателей для работы в импульсном режиме

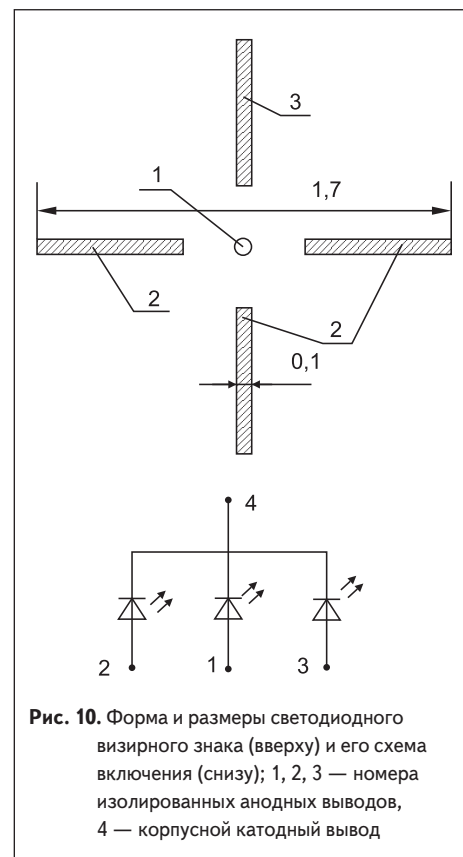


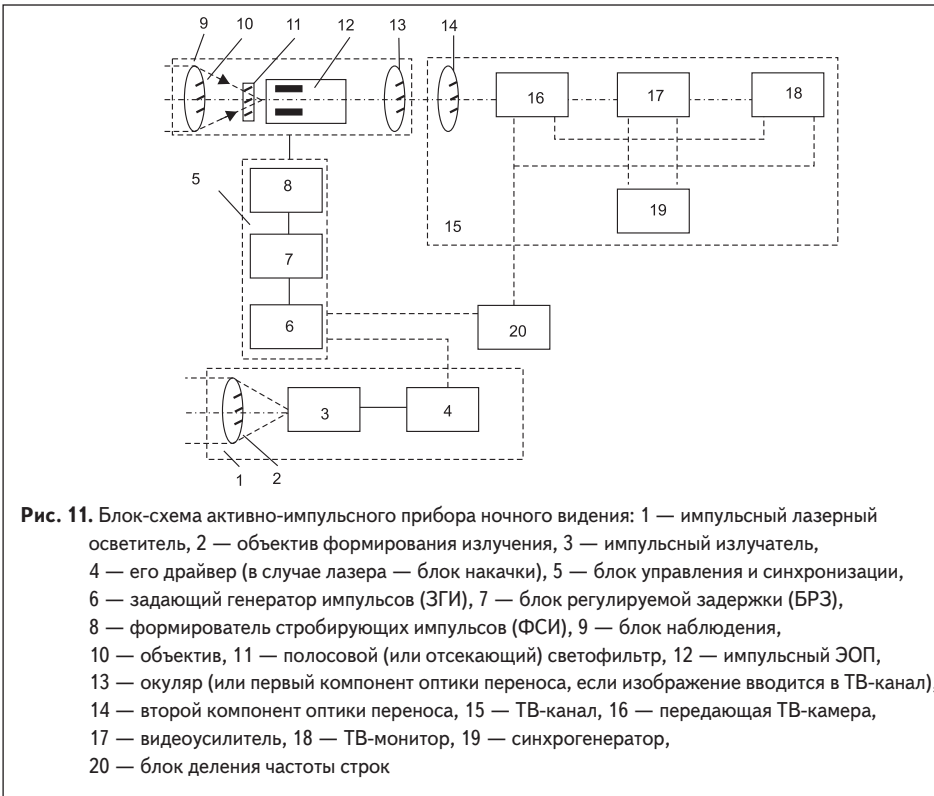
Рис. 10. Форма и размеры светодиодного визирного знака (вверху) и его схема включения (снизу); 1, 2, 3 — номера изолированных анодных выводов, 4 — корпусной катодный вывод

в осветителях активно-импульсных (АИ) ПНВ. Блок-схема АИ ПНВ представлена на рис. 11 [1]. АИ ПНВ работает следующим образом. Блок накачки 4 импульсного осветителя 1 возбуждает импульсами тока импульсный полупроводниковый излучатель (ИПИ) 3, который генерирует импульсы излучения. Объектив 2 формирует требуемый угол подсвета и направляет излучение осветителя 1 на объект наблюдения. Импульсы излучения, отразившись от объекта, поступают в блок 9 наблюдения. Объектив 10 создает изображение объекта на фотокатоде импульсного

Таблица 3. Основные параметры ИК-осветителей для ПНВ, выпускаемых различными фирмами

Наименование параметра	Модели светодиодных ИК-осветителей							
	IR-530-3(800)	Барс ИК Vary+	L05	IR75A	LWT STLED ULTRA II (IR)*	LWT STLED ULTRA (IR)*	MRIRI	LRIRI
Максимальная длина волны, нм	800	805, 860	805 ± 10	805	850		860	860
Мощность излучения, мВт	100	90–120	170	75	1800	5400	75	200
Угол подсвета, °	5–8	2–8	3–10	5–20				
Дальность действия, м	400						200	450
Напряжение питания, В	3							
Время непрерывной работы, ч	4–20		3–12	1–7	8–206	1,5–34		
Диапазон рабочих температур, °С	$-30 \dots +40$		$-40 \dots +50$	$-40 \dots +50$	$-40 \dots +85$	$-40 \dots +85$		
Масса, г	140	150	100	130	95	96	136	136
Габариты, мм	$\varnothing 32 \times 130$	$\varnothing 31 \times 150$	$110 \times 28 \times 28$	$185 \times 22 \times 27$			$140 \times 30 \times 35$	$140 \times 30 \times 35$
Источник информации	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]	[9]	[4]	[4]

Примечание: * — данные модели являются радиоуправляемыми с дальностью радиоприема не менее 7 м и ресурсом работы пульта дистанционного управления 5 000 подач команд.



ЭОП 12. Светофильтр 11 служит для спектральной селекции объекта на фоне световых помех. До прихода импульса излучения на фотокатод ЭОП затвор последнего заперт. В момент прихода импульса он открывается на время, равное или несколько превышающее длительность этого импульса. Для обеспечения указанной синхронной работы блок 4 накачки с другого своего выхода запускает задающий генератор импульсов (ЗГИ) 6, работающий в ждущем режиме. ЗГИ формирует синхронизирующие импульсы, которые задерживаются в блоке регулируемой задержки (БРЗ) 7 на время, равное прохождению импульсом излучения расстояния от АИ ПНВ до объекта наблюдения и обратно. С выхода БРЗ синхроимпульсы возбуждают формирователь стробирующих импульсов (ФСИ) 8, который создает стробирующие импульсы, отпирающие затвор ЭОП 12. Последний усиливает изображение по яркости, преобразуя его в видимое. Изображение наблюдается оператором через окуляр 13. Оператор, плавно регулируя задержку, может перемещать зону просматриваемого пространства по глубине до тех пор, пока в ее пределы не попадет наблюдаемый объект. Если в АИ ПНВ введен телевизионный (ТВ) канал 15, то изображение с экрана ЭОП переносится на светочувствительный элемент передающей ТВ-камеры 16 с помощью первого и второго (13 и 14) компонентов оптики переноса. ТВ-камера преобразует изображение в электрический сигнал, который усиливается в видеоусилителе 17 и передается в ТВ-монитор 18, где видеосигнал преобразуется в оптическое изображение. Синхрогенератор 19 служит для кадровой и строчной синхронизации работы блоков 16–18, а также для синхронизации ЗГИ. Для выполнения последней функции служит сигнал строчной синхронизации с синхрогене-

ратора 19, поступающий в блок 20 деления частот. Последний делит частоту строк до уровня, близкого к частоте работы осветителя 1 и кратного ей.

АИ ПНВ позволяет повысить контраст в изображении наблюдаемого объекта, а следовательно, и дальность действия прибора при наблюдении в условиях как нормальной, так и пониженной (дымка, туман, дождь, снегопад и пр.) прозрачности атмосферы за счет:

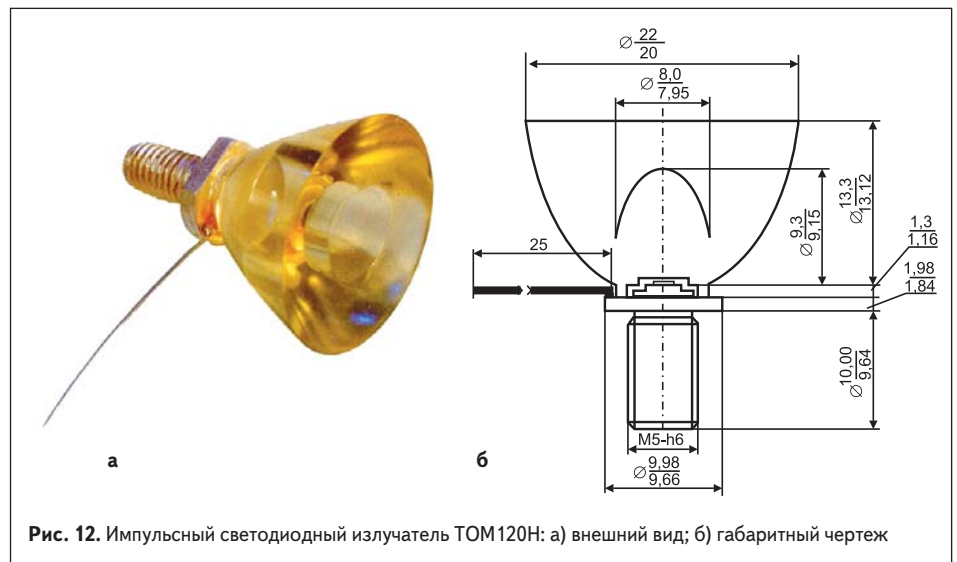
- отсекающего задержкой излучения обратного рассеяния, которое в обычных активных ПНВ с непрерывным во времени подсветом накладывается на изображение наблюдаемого объекта и снижает контраст в его изображении даже при нормальной или при незначительно ухудшенной прозрачности атмосферы;

- ослабления (равного скажности работы АИ ПНВ) рассеянного в атмосфере излучения, определяемого уровнем естественной ночной освещенности; это излучение в обычных пассивных ПНВ при пониженной прозрачности атмосферы также резко снижало контраст в изображении наблюдаемого объекта.

Поскольку изображение объекта наблюдения появляется только при определенной величине задержки, соответствующей дальности до объекта, то по ее величине можно измерить расстояние до этого объекта. Точность измерения дальности обычно достигает ± 10 или ± 5 м, но при необходимости может быть и выше не менее чем на порядок.

За счет работы в импульсном режиме любая длительная световая помеха (излучение прожекторов, фар, пламя костров и пр.) ослабляется в число крат, равное скажности работы АИ ПНВ (при условии достаточно надежного запирающего затвора ЭОП). Так осуществляется временная селекция наблюдаемого объекта на фоне помех. Дополнительная помехозащитность достигается за счет применения в блоке наблюдения полосового (или отсекающего) фильтра с полосой пропускания, соответствующей рабочей области спектра осветителя. Прибор может работать в пассивном, активно-непрерывном (без импульсного управления ЭОП) и в АИ режимах (в зависимости от внешних условий).

До недавнего времени для импульсного осветителя в качестве ИК использовались импульсные лазерные полупроводниковые излучатели. Их достоинствами, по сравнению со светодиодными, являлись малая длительность импульса излучения, его высокая импульсная мощность, малые размеры тела свечения, узкая полуширина спектра. Однако при сравнительно небольших дальностях действия АИ ПНВ (100–200 м), широким угле подсвета (порядка нескольких градусов) и в случае необходимости обеспечения низкой стоимости и высокого срока службы АИ ПНВ преимущество имеют светодиодные осветители. Для их построения может быть использована модель мощного светодиодного излучателя ТОМ120Н [10, 11] (рис. 12). Такой излучатель может работать как в непрерывном, так и в импульсном режиме. На рис. 12 видно,



что светодиодный излучатель содержит концентратор излучения, оптический концентратор в виде центральной эллиптической линзы, а также параболоид вращения. Фокус эллиптической линзы совмещен с фокусом параболоида, в котором находится полупроводниковый кристалл. Параболическая поверхность обеспечивает формирование направленного пучка за счет полного внутреннего отражения от поверхности параболоида. Его эллиптическая поверхность обеспечивает большую апертуру вывода излучения и наименьшую расходимость сформированного пучка лучей за счет устранения сферической аберрации. Концентратор излучателя выполнен из традиционного эпоксидного компаунда.

В НИИ ЭПР (РФ) был разработан телевизионный АИ ПНВ для вождения легковой автомашины. Прибор состоит из ТВ-камеры, импульсного осветителя на основе ИК-светодиодов ТОМ120Н и ТВ-монитора. ТВ-камера выполнена на базе объектива с фокусным расстоянием 50 мм и относительным отверстием 1:1,5, импульсного ЭОП «Затвор» [12] с кольцевым электронным затвором и ТВ-камеры (модель КС-1001С фирмы Sony [13]). Изображение с экрана ЭОП передается на ма-

трицу ПЗС ТВ-камеры с помощью линзовой оптики переноса. ТВ-камера формата 1/2" имеет чувствительность 5×10^{-3} лк при разрешении 600 ТВ-линий. Импульсный осветитель выполнен из четырех стандартных модулей со взаимно параллельными осями. Длина волны осветителя равна 810 ± 10 нм, угол подсвета $6-9^\circ$ (оптики формирования излучения нет), средняя мощность излучения 75 мВт при частоте 3 кГц и длительности импульса излучения 100 нс. Масса ТВ-камеры вместе с блоком стробирования 2,7 кг, осветителя — 0,4 кг. ТВ-монитор (модель ТС 4410 [14]) имеет диагональ экрана 9". Длительность импульса строга 0,1–0,3 мкс. Это соответствует глубине просматриваемого пространства 150–450 м. Дальность видения при работе в тумане около 100 м. Прибор потребляет ток 2 А при питании от бортсети 12 В. Для более эффективного подавления световых помех от фар встречного транспорта перед фотокатодом ЭОП установлен узкополосный светофильтр с полосой пропускания, равной рабочей полосе спектра осветителя.

Таким образом, существуют разносторонние возможности применения светодиодных излучателей в технике ночного видения. ●

Литература

1. Гейхман И. Л., Волков В. Г. Видение и безопасность. М.: Новости. 2009.
2. Специальные наблюдательные приборы предупреждения катастроф и обеспечения аварийно-спасательных работ. Каталог ОАО «НПО «Альфа». Москва. 2011.
3. http://www.optelcenter.ru/ru/prodSection1_1.htm.
4. <http://www.nightoptics.com>.
5. <http://www.optic4u/catalogue/index>.
6. [http:// optic-live.ru](http://optic-live.ru).
7. [http:// opticstrade.com](http://opticstrade.com).
8. [http:// www.okular.ru](http://www.okular.ru).
9. [http:// www.inwetechnology.ru](http://www.inwetechnology.ru).
10. <http://www.niipp.ru>.
11. Виллисов А. А., Белоцерковский А. Г., Захарова Г. Н., Куклев С. В., Соколов Д. С., Лежнин П. А., Черненко Н. Д. Активно-импульсные приборы ночного видения // Электронная промышленность. 2002. № 2.
12. Электронно-оптические преобразователи. Каталог НИИ ЭПР. Москва. 2002.
13. CCTV cameras. Каталог фирмы SONY. Япония. 2002.
14. TV-monitors. Проспект фирмы Samsung. Южная Корея. 2002.