

УДК 621.373.81; 621.384

Лазерный осветитель для приборов ночного видения

В.М. Белоконев, В.Г. Волков, В.Л. Саликов

Рассматривается лазерный осветитель на основе мощного импульсного лазерного полупроводникового излучателя (ИЛПИ), предназначенный для применения в комплексе с прибором ночного видения (ПНВ). Осветитель обеспечивает активный непрерывный или активно-импульсный режим работы ПНВ. Осветитель имеет среднюю мощность излучения 0,15 Вт, рабочую длину волны 820 – 850 нм, угол подсвета 1,5x0,75°, длительность импульса излучения 120 нс, частота 5,2 кГц, энергопотребление не более 100 Вт от сети с напряжением 27 В, масса 7,5 кг. Предложен вариант комбинированного осветителя, объединяющего объединение ИЛПИ и мощного инфракрасного светодиода.

РАС: 85.60.-q

Ключевые слова: лазер, осветитель, прибор ночного видения, мощность излучения, длина волны, угол подсвета.

Введение

Прибор ночного видения (ПНВ) должен работать не только в пассивном режиме, но и в активном режиме, т.е. с прожекторным подсветом для обеспечения требуемой дальности действия в условиях особо темных ночей.

Целью данной работы является рассмотрение возможностей лазерного осветителя на основе мощного импульсного лазерного полупроводникового излучателя (ИЛПИ), предназначенного для применения в комплексе с ПНВ.

Основные характеристики ИЛПИ

Предлагаемая замена прожекторов инфракрасного (ИК) излучения на лампах накаливания и газоразрядных лампах на унифицированный малогабаритный лазерный прожектор на основе эффективного ИЛПИ позволяет не только увеличить дальность видимости в активном режиме работы, но и повысить помехоустойчивость и эффективность работы комплекса в целом в условиях эксплуатации. Преимуществом применения лазерного прожектора является и возможность реализации режима активно-импульсного режима работы ПНВ [1–5].

Белоконев В.М., зам. гендиректора.

Волков В.Г., вед. научн. сотрудник.

Саликов В.Л., начальник КБ-5.

ОАО «НПО «Альфа».

Россия, 111123, Москва, ул. Плеханова, 2/46, стр. 5.

Тел.: (495) 672-31-64.

Статья поступила в редакцию 20 марта 2013 г.

© Белоконев В.М., Волков В.Г., Саликов В.Л., 2013

Лазерный прожектор (рис. 1) представляет собой основанное на базе ИЛПИ новое поколение источников ИК-подсвета [5]. Он содержит единый блок, функционально объединяющий ИЛПИ, блок питания (т.е. блок накачки ИЛПИ) и формирующую оптическую систему, а также систему обогрева защитного стекла. Лазерный прожектор формирует удобное для оператора пятно излучения прямоугольной формы с однородным распределением энергетической яркости излучения, в то время как лампы прожектора формируют колоколообразное распределение (рис. 2) [5]. Лазерный прожектор характеризуется меньшим энергопотреблением и повышенным ресурсом работы по сравнению с существующими аналогами, имеет меньшую массу и габариты. В частности, лазерный прожектор имеет массу 7,0 кг, габариты 246×174×177 мм, энергопотребление 50 Вт, в то время как ламповый прожектор Л4 имеет аналогичные параметры на уровне, соответственно, 20,5 кг, Ø300×280 мм, 400 Вт [5].

При использовании ИЛПИ исключаются такие дефекты ламповых прожекторов, как взрыв лампы, незажигание, нестабильность яркости, разрушение отражателя и др.

Результаты сравнительных испытаний

В результате натурных испытаний ПНВ на базе ЭОП поколения 2⁺ и 3 с объективом, имеющим фокусное расстояние 150 мм и относительное отверстие 1:1,7, дальность распознавания цели ночью, при коэффициенте прозрачности атмосферы на 1 км не менее 0.8 и уровне естественной ночной освещенно-



Рис. 1. Внешний вид лазерного прожектора.

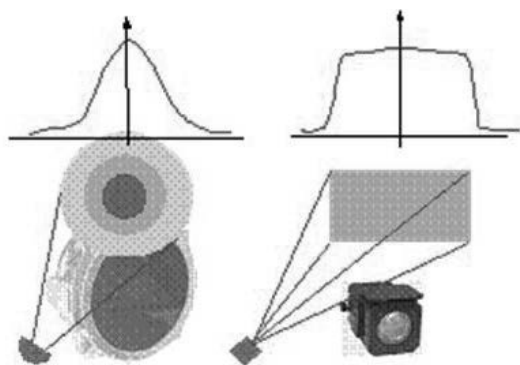


Рис. 2. Распределение интенсивности и форма пятна подсвета излучения ИК лазерного прожектора (справа) в сравнении аналогичной характеристикой лампового прожектора Л4 (слева).

сти местности $(3-5) \cdot 10^{-3}$ лк, соответствовала 1100 – 1200 м в пассивном режиме и 1200 – 1300 м в активном режиме с лазерным прожектором. Это не хуже, чем в случае применения лампового ИК-прожектора Л4 [5].

Следует также отметить хорошее спектральное согласование лазерного прожектора с фотокатодом ЭОП поколения 2+ и 3. В то же время из-за снижения контраста в изображении вследствие влияния эффекта обратного рассеяния излучения подсвета необходимо применение в ПНВ активно-импульсного режима работы. Кроме увеличения дальности распознавания до 2000 м, наличие активно-импульсного режима позволяет повысить степень защиты от локальных световых помех, обеспечить наблюдение при пониженной прозрачности атмосферы и точное измерение дальности до объекта наблюдения. Лазерный прожектор работает в импульсном режиме, соответствующем требованию к реализации активно-импульсного режима работы ПНВ. Требуется незначительная доработка прожектора для обеспечения синхронизации с блоком стробирования ПНВ.

Конструкция ИЛПИ

Лазерный прожектор выполнен на базе ИЛПИ типа ИЛПИ-114 со следующими параметрами: средняя мощность излучения 0,2 Вт (на выходе оптики осветителя – 0,15 Вт) в конусе с углом при вершине 40° , рабочая длина волны – 850 нм, рабочая максимальная частота следования импульсов подсвета – 5,2 кГц, длительность импульса излучения – 130 нс, рабочий ток накачки в импульсе – 50 А на сопротивлении 3,2 Ом [5].

Оптическая схема лазерного прожектора представлена на рис. 3. ИЛПИ 1 создает поток излучения. Фильтр 2 предназначен для коррекции спектра излучения ИЛПИ 1 с целью уменьшения демаскировки работающего прожектора. Дальность видения излучения ИК-прожектора невооруженным глазом не превышает 200 м. Линза 3 служит для формирования пятна подсвета требуемых размеров. Она имеет фокусное расстояние 114,5 мм при относительном отверстии 1:1,4. Прямоугольная форма пятна подсвета определяется формой тела свечения ИЛПИ 1.

Особо следует рассмотреть вопрос об оптике формирования излучения лазерного прожектора [2, 5]. Первоначально в качестве такой оптики использовались трехлинзовые объективы (рис. 4). На рис. 4, а представлена схема объектива с фокусным расстоянием 200 мм, относительным отверстием 1:1,5, углом поля зрения (углом подсвета) $2^\circ 26'$, расчетной длиной волны 863 нм. На рис. 4, б показана схема объектива с фокусным расстоянием 191,7 мм, относительным отверстием 1:1,24, углом поля зрения (углом подсвета) $1^\circ 40' \times 0^\circ 58'$, расчетной длиной волны 900 нм. На рис. 4, в дана схема объектива с фокусным расстоянием 120 мм, относительным отверстием 1:1,1, углом поля зрения (углом подсвета) $1^\circ 30'$, расчетной длиной

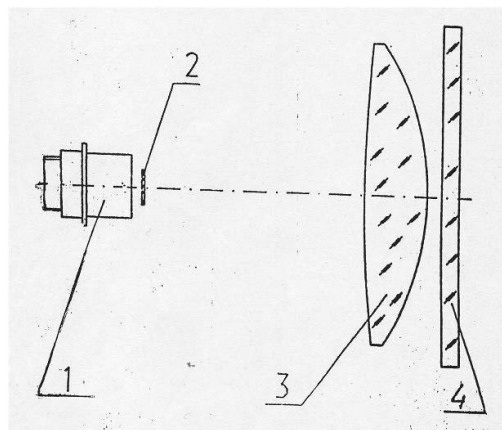


Рис. 3. Оптическая схема лазерного ИК-прожектора: 1 – импульсный лазерный полупроводниковый излучатель, 2 – фильтр, 3 – линза, 4 – защитное стекло.

волны 863 нм. Достоинством таких объективов является малый диаметр кружка рассеяния, который не превышает 0,05–0,1 мм. Это позволяет сконцентрировать излучение ИЛПИ практически полностью только в пределах угла подсвета. Однако такие объективы обладают сравнительной сложностью, а также значительной массой в стекле – от 1,5 до 3 кг. Поэтому усилия разработчиков были направлены на создание более простой оптики. В простейшем случае в качестве такой оптики может быть использована указанная выше линза, рассчитанная на минимум сферической aberrации (рис. 3) [5]. Она имеет фокусное расстояние 114,5 мм при относительном отверстии 1:1,4, угле подсвета $1,5 \times 0,75^\circ$, расчетной длине волны 863 нм, массе 154 г. Линза выполнена из оптического стекла К8. Для дополнительного уменьшения

ее массы до 77 г она может быть изготовлена из полимерного материала с таким же показателем преломления, как и у стекла К8 [6]. Такая оптика проста, но из-за значительных aberrаций излучение сильно рассеивается вне заданного угла подсвета, что приводит к энергетическим потерям, доходящим до 25–30 %. Для снижения aberrаций и повышения КПД оптики могут быть рекомендованы линзы с одной асферической поверхностью (рис. 5) [2, 5].

Для еще большего снижения массы линзы одна из оптических поверхностей может быть выполнена киноформной (рис. 6). Эти линзы имеют фокусное расстояние 115 мм (рис. 6, а) и 245 мм (рис. 6, б) и относительное отверстие 1:1,25 (рис. 6, а) и 1:1,4 (рис. 6, б). Максимальный диаметр кружка рассеяния составляет для линзы по рис. 6, а – 0,25 мм, по рис. 6, б – 0,17 мм, по рис. 6, а – 0,1 мм, рис. 6, б – 0,2 мм. В случае применения линз с киноформной поверхностью достигается минимальная масса при минимальных aberrациях. Конкретно, для

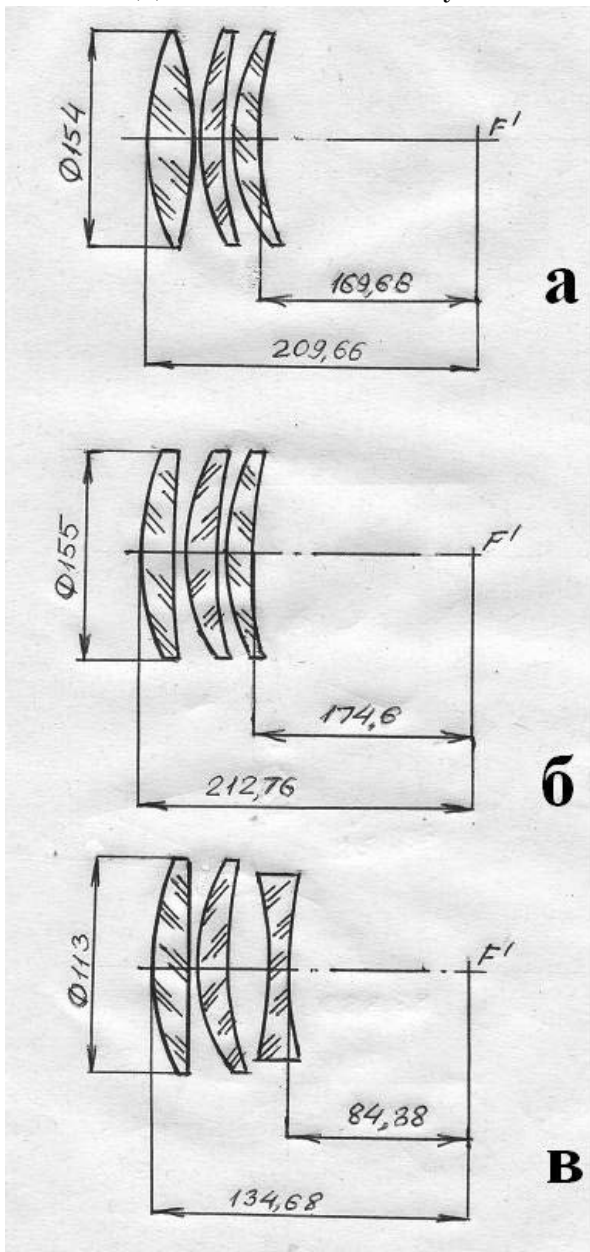


Рис. 4. Трехлинзовые объективы для формирования излучения лазерного ИК-проектора.

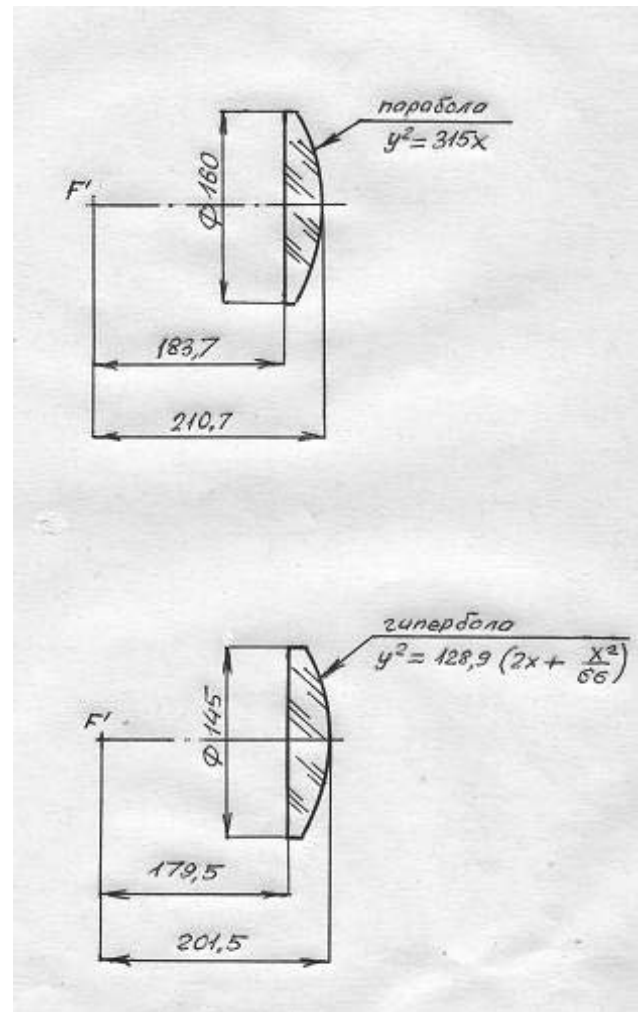


Рис. 5. Асферические линзы для формирования излучения ИК лазерного прожектора: сверху – линза с одной параболической поверхностью, снизу – линза с одной гиперболической поверхностью.

линзы по рис. 6, а масса в стекле составляет 46 г, а по рис. 6, б – 300 г. Кроме того, линзы по рис. 6 изготавливаются из недефицитного стекла марки К8. Применение полимерных материалов позволит снизить массу соответственно до 23 и 150 г. Энергетические потери не превышают 10 %. Для работы на различных дальностях целесообразно соответственно изменять и угол подсвета, который можно функционально связать с соответствующим изменением временной задержки в АИ ПНВ. В принципе, для этого может быть использован вместо линзы вариообъектив с плавно изменяемым фокусным расстоянием [2, 5] при кинематической связи механизма его регулировки с потенциометром регулировки задержки. Фокусное расстояние объектива изменяется в пределах от 60 до 240 мм при относительном отверстии 1:1,4. Угол подсвета соответственно изменяется от

$6 \times 3^\circ$ до $1,5 \times 0,75^\circ$. Масса объектива в стекле составляет 3,2 кг, габариты $\varnothing 180 \times 354,5$ мм.

Ещё более эффективным и дешевым решением является создание комбинированного прожектора, состоящего из канала на базе ИЛПИ и 4-х каналов на основе мощных ИК-светодиодов, например, У-224А-1 [7]. Такой светодиод имеет мощность излучения в непрерывном режиме 250 мВт, рабочую длину волны 805 нм или 870 нм (по выбору), угол подсвета $5 \pm 1^\circ$, энергетическую силу света 8 Вт/ср, напряжение питания 2,2 В при токе 0,7 А. Благодаря такой схеме прожектор может при включенном ИЛПИ работать с углом подсвета $1,5 \times 0,75^\circ$, а при включенных светодиодах – $5 \pm 1^\circ$. Диаметр светодиода составляет 20 мм, продольный габарит – 36 мм. Схема проста, компактна, светодиоды значительно дешевле, чем вариообъектив. Кроме того, срок их службы превышает $5 \cdot 10^4$ часов.

Функциональная схема

Функциональная схема лазерного прожектора представлена на рис. 7. Фильтр низкочастотных помех предназначен для подавления помех по цепи питания при работе блока питания ИЛПИ. Фильтр снижает уровень помех до значений, не влияющих на нормальную работу радиостанции и переговорного устройства объекта установки прожектора. Блок питания ИЛПИ предназначен для формирования импульсов тока накачки ИЛПИ. В блоке питания предусмотрена система управления амплитудой импульсов тока накачки в зависимости от температуры окружающей среды. Амплитуда настраивается индивидуально для каждого конкретного ИЛПИ в соответствии с его температурной характеристикой. Конструкция прожектора дана на рис. 8 [5]. Его основными узлами являются корпус 1, задняя 2 и защитная 3 крышки. В корпусе прожектора установлены ИЛПИ 4, светофильтр 5 в оправе, линза 6 в оправе, блок питания ИЛПИ 7, влагопоглотитель 10 и терморегулятор 12. Передняя часть корпуса закрыта защитным стеклом 8 в оправе. Для предохранения стекла 8 от запотевания и заиндевления используется терморегулятор в сочетании с нагревательным элементом, т.е. токопроводящим покрытием, нанесенным на внутреннюю поверхность стекла 8. В крышке 2 установлен дроссель 9, являющийся фильтром низких частот. Защитная крышка 3 в закрытом и открытом состоянии крепится на корпусе винтом 11.

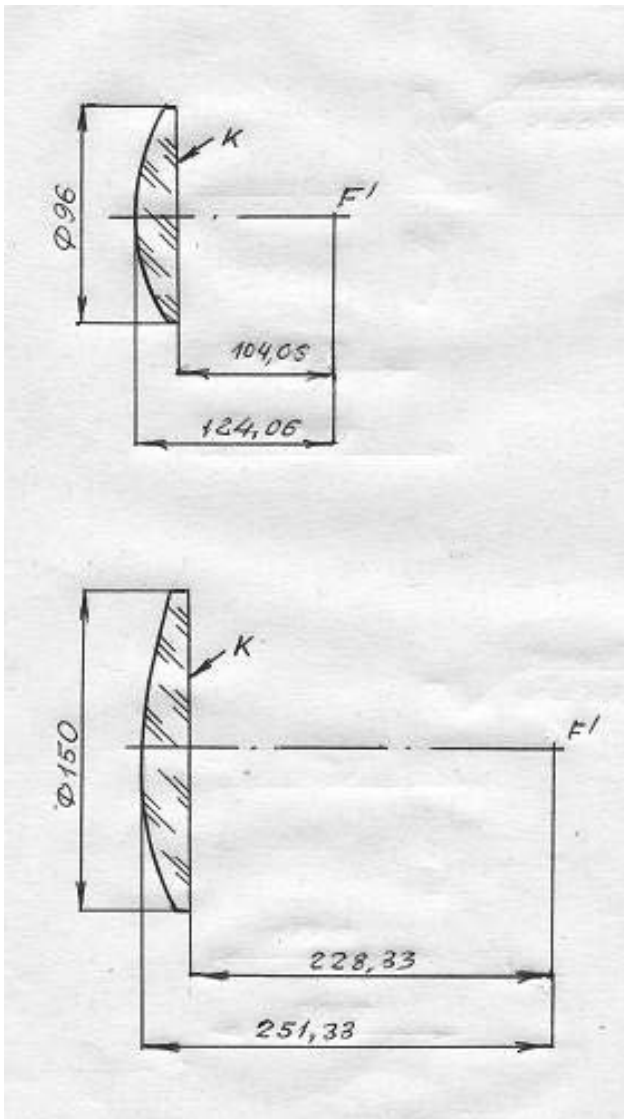


Рис. 6. Линза для формирования излучения ИК прожектора с одной киноформной поверхностью: с фокусным расстоянием 115 мм (сверху); и 245 мм (снизу), где К – киноформная поверхность.

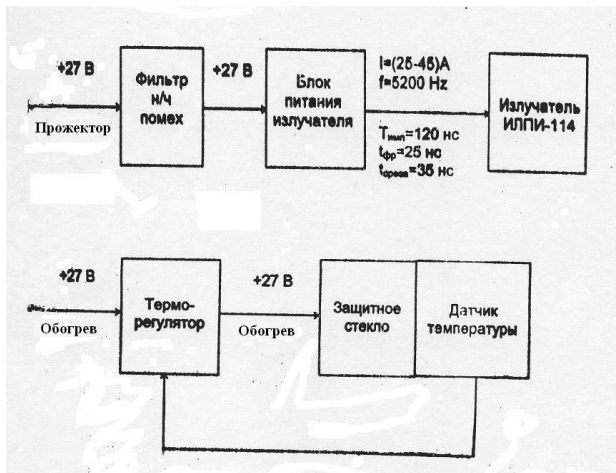


Рис. 7. Функциональная схема лазерного ИК-прожектора.

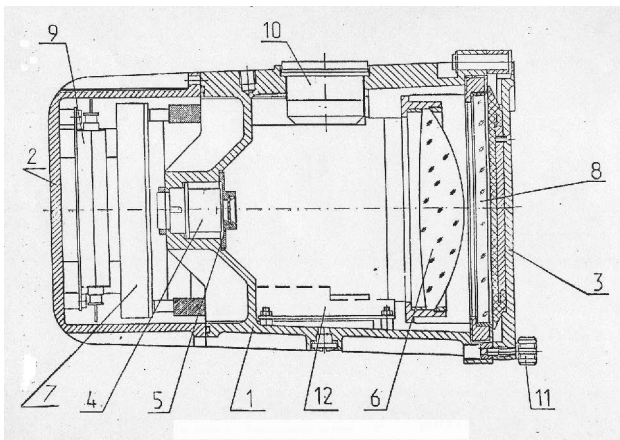


Рис. 8. Конструкция ИК лазерного прожектора: 1 – корпус, 2 – крышка, 3 – защитная крышка, 4 – лазерный излучатель, 5 – фильтр в оправе, 6 – линза в оправе, 7 – блок питания, 8 – защитное стекло, 9 – дроссель, 10 – влагопоглотитель, 11 – винт, 12 – терморегулятор.

Все системы прожектора работоспособны при напряжении питания 27^{+2}_{-5} В, а также сохраняют работоспособность после воздействия импульсного перенапряжения амплитудой до 70 В длительностью до 3 мс, или при снижении напряжения питания до 10 В длительностью до 1 мин, а также после воздействия напряжения обратной полярности 30 В длительностью до 1 мин [5].

Перспективные направления

Дальнейшим развитием схемы данного прожектора следует считать лазерные прожектора с возможностью слежения за оптической осью ПНВ по горизонту и по вертикали [5]. Это достигается с помощью электромеханического привода. При этом может быть реализовано автоматическое удержание перемещающегося по фронту объекта наблюдения в пределах пятна подсвета за счет формирования вспомогательных пятен подсвета, расположенных по

периметру основного пятна. Для этого по периметру основного ИЛПИ следует расположить четыре вспомогательных ИЛПИ. Их рабочая частота должна быть пренебрежимо малой по сравнению с рабочей частотой основного ИЛПИ, чтобы оператор не видел через ПНВ эти пятна подсвета.

Пусть частота вспомогательных ИЛПИ, находящихся слева и справа от основного ИЛПИ, составляет, соответственно, 3 и 5 Гц, а находящихся сверху и снизу от основного ИЛПИ, соответственно, 7 и 9 Гц. При этом на выходе ПНВ установлен фотоприемник для регистрации сигналов с этими частотами. Фотоприемник подключен к компаратору, который через регистр управления связан с приводом перемещения оси прожектора по горизонту и вертикали.

Предположим, что объект наблюдения сместился вправо от пятна подсвета, формируемого основным ИЛПИ. Тогда объект попадет в пятно подсвета, формируемого вспомогательным ИЛПИ с рабочей частотой 5 Гц. Фотоприемник воспримет этот сигнал с экрана ЭОП и преобразует его в электрический сигнал, который поступит в компаратор. Последний выработает разностной сигнал по отношению к частоте основного ИЛПИ и будет через регистр управлять работой привода в направлении устранения сигнала с частотой 5 Гц. Это произойдет тогда, когда объект снова окажется в пределах основного пятна подсвета. Аналогичным образом осуществляется управление приводом при попадании объекта в другие вспомогательные пятна подсвета. Таким образом, привод осуществляет слежение за объектом наблюдения, обеспечивая его постоянное положение в пределах основного пятна подсвета.

Предложенные схемы как лазерного прожектора на базе ИЛПИ, так и комбинированного прожектора допускают модульное исполнение устройства. Вместо модуля объектива с фокусным расстоянием 114,5 мм при относительном отверстии 1:1,4, угле подсвета $1,5 \times 0,75^\circ$ могут быть использованы, например, модули объективов с тем же относительным отверстием и с фокусным расстоянием 250 мм, 200 мм, 60 мм при углах подсвета, соответственно, $0,69 \times 0,345^\circ$, $0,57 \times 0,285^\circ$, $1,9 \times 0,95^\circ$. В последнем случае в комбинированном прожекторе вместо светодиодов У-224А-1 [7] могут быть использованы, например, светодиоды АОИ190Г с мощностью излучения в непрерывном режиме 20 мВт, рабочей длиной волны 805 нм или 870 нм (по выбору), углом подсвета

$7 \pm 2^\circ$, энергетической силой света 0,25 Вт/ср, напряжением питания 2,2 В при токе 0,05 А. диаметром корпуса 5 мм [7]. Благодаря этому соответственно изменятся масса и габариты прожектора применительно к различным его применениям. В частности, для комбинированного прожектора на основе объектива с фокусным расстоянием 60 мм, ИЛПИ-114 и 4-х светодиодов АОИ190Г масса прожектора не превысит 1 кг, габариты 100x50x50 мм.

Лазерный прожектор и другие подобные малогабаритные осветители на его основе могут быть благодаря модульному исполнению использованы совместно не только с возимыми, но с переносными и носимыми ПНВ или с низкоуровневыми телевизионными системами (НТВС) на базе матриц ПЗС. В последнем случае рабочая длина волны осветителя может быть 940 нм. Это позволяет практически исключить возможность наблюдения излучения осветителя невооруженным глазом.

В дальнейшем, по мере освоения НТВС, работающих в области спектра 800–1700 нм, возможно применение осветителей с длиной волны 1550 нм. Средняя величина естественной ночной освещенности в безлунную ночь для области спектра 400–900 нм (фотокатод ЭОП поколений 2,2⁺, 3) достигает $(1,5-3) \cdot 10^{-9}$ Вт/(см² мкм), а в области спектра 1400–1800 нм – $(1,5-2) \cdot 10^{-7}$ Вт/(см² мкм), т.е. на два порядка выше [2]. Кроме того, улучшается прозрачность атмосферы: при метеорологической дальности видимости 10 км пропускание толщи атмосферы 1 км на длине волны 600 нм составляет 0,72, а в центре области спектра 1400–1800 нм даже 0,93. При этом яркость атмосферной дымки снижается больше чем на порядок в области спектра 1400–1800 нм по сравнению с видимой областью спектра. Величина контраста объекта наблюдения с фоном в этой области спектра более стабильна и выше в 1,4–1,5 раза, чем в области спектра 400–900 нм. Кроме того, если в этой области спектра освещенность ночью меняется от 10^{-5} до $2,5 \cdot 10^{-9}$ Вт/см², то в области 1400–1800 нм – от $1,6 \cdot 10^{-4}$ до $(3-4) \cdot 10^{-7}$ Вт/см² при тех же условиях освещенности, т.е. почти на два порядка. Процент обеспеченности освещенностью в течение всего года для естественной ночной освещенности в пределах $5 \cdot 10^{-3}$ – $5 \cdot 10^{-4}$ лк для области спектра 1400–1800 нм также почти в 2 раза выше, чем для 400–900 нм [2]. В области спектра 1400–1800 нм можно работать до определенной степени в некоторых дымах и в пыли, а также визуализировать излучение современных лазерных целеуказателей-дальномеров, работающих на длине волны 1550 нм и 1700 нм.

Весьма результативно использование ПНВ, работающих в области спектра 1400–2000 нм, для демаскировки объектов. Известно, что камуфляж позволяет замаскировать различные объекты на фоне окружающего пространства. Однако камуфляж, разработанный для видимой области спектра, может быть неэффективен для области спектра 1400–1800 нм. Для нее узор камуфляжа исчезает, и обнаруживается силуэт замаскированного объекта [2].

В области спектра 1400–1800 нм можно эффективно видеть в тумане, в также обнаруживать следы льда на крышах самолетов в аэропортах. Это похоже на «черный» лед на дорогах. Его нельзя заметить в видимой области спектра, но можно увидеть в области спектра 1400–1800 нм. В этой области можно обнаружить на картинах более раннюю живопись, скрытую под слоем масляных красок. Достигается это благодаря тому, что многие пигменты масляных красок, окрашивающие свет в видимой области спектра, прозрачны в области 1000–2000 нм [2]. Кроме того, исполнение лазерного прожектора на базе ИЛПИ с длиной волны 1550 нм позволит создать АИ ПНВ с повышенными возможностями при наблюдении в ухудшенных условиях.

Заключение

Проведенные анализ и расчеты показывают, что существуют значительные перспективы дальнейшего развития лазерных прожекторов и малогабаритных осветителей на базе ИЛПИ.

Литература

1. Волков В.Г. // Специальная техника. 2004/ № 5. С. 2.
2. Гейхман И.Л., Волков В.Г. Основы улучшения видимости в сложных условиях. —М.: Недра, 1999
3. Гейхман И.Л., Волков В.Г. Видение и безопасность. —М.: Новости, 2009
4. Приборы для бронетанковой техники. Проспект ФГУП ПО «НПЗ», Новосибирск, 2004
5. Архутин С.Т., Волков В.Г., Зайцева Е.И. и др. // Специальная техника. 2005. № 2. С.2.
6. Полимерные оптические материалы и оптические элементы. Каталог фирмы ЗАО ИнтерОПТИК, Р, М., 2012.
7. Мощные излучающие диоды инфракрасного диапазона для техники ночного видения и видеонаблюдения. Проспект фирмы НПЦ ОЭП «ОПТЭЛ». М., 2012.

Laser illuminator for night vision devices

V.M. Belokonov, V.G. Volkov, and V.L. Salikov

Alpha Research-and-Production Association, Inc.
2/46 Plekhanov str., Moscow, 111123, Russia
Phone: +7 (495) 672-31-64.

The laser illuminator on the base of power impulse laser semiconductor shiner (ILSS) for using in the complex with night vision device (NVD) are presented. The illuminator secured active uninterrupted or gated viewing mode of NVD. The illuminator has output shiner power 0.15 W, works length wave 820 – 850 nm, angle of shining $1.5 \times 0.75^\circ$, time of shining impulse 120 ns, frequent 5.2 kHz, power supple not more than 100 W from net = 27 V, mass 7.5 kg. The variant of combined illuminator, united ILSS and power infrared light diode are offered.

PACS: 85.60.-q

Keywords: laser, illuminator, night vision device, shiner power, length wave, angle of shining.

Bibliography – 7 references

Received March 20, 2013