

УДК 621.383, 621.375.826, 623.4.023.4

**И.И. ВАСИЛЬЧЕНКО<sup>1</sup>, В.В. ГЛЕБОВ<sup>1</sup>, С.А. РОЛЕНКО<sup>1</sup>, В.В. КИСЛОВ<sup>2</sup>,  
Н.А. ПРОХОРОВ<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> ГП "ХКБМ им. А.А. Морозова", Харьков, Украина

<sup>2</sup> КБ "Щит", Харьков, Украина

## **О ВОЗМОЖНОСТИ СОЗДАНИЯ ИНДИКАТОРОВ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ С КАЧЕСТВЕННО НОВЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ**

*Проведены исследования возможности создания индикаторов лазерного излучения с качественно новыми характеристиками. Сформулированы физические принципы, на основе которых могут быть решены проблемы расширения спектрального диапазона воспринимаемого излучения, обнаружения информационного поля систем наведения оружия, повышения помехозащищенности индикаторов лазерного излучения. Показано, что для создания индикаторов лазерного излучения с расширенным спектральным диапазоном обнаружения излучения необходима разработка специальных приемников на базе «кадмий-ртуть-теллур», фотоприемных устройств или пироэлектрических матриц. Достаточный уровень помехозащищенности индикаторов лазерного излучения может быть обеспечен при проведении последовательной обработки сигнала принятого излучения на основе методов пространственной и спектральной селекции.*

**Ключевые слова:** индикаторы лазерного излучения, фотоприемники, инфракрасный диапазон.

### **Введение**

В системах управления оружием и системах наведения боеприпасов (управляемых ракет, снарядов, мин и т.д.) расширяется использование лазерных приборов – дальномеров, целеуказателей, подсветчиков цели. Дальнейшее развитие указанных приборов продолжается в направлении изменения параметров излучения, расширения применяемого диапазона длин волн и совершенствования алгоритма работы с целью повышения скрытности функционирования, устойчивости наведения к помехам естественного и искусственного происхождения. Растет номенклатура противотанковых управляемых средств поражения с наведением по лазерному лучу. Необходимость обеспечения защищенности основных боевых танков (ОБТ) и других боевых бронированных машин (ББМ) остро ставит проблему своевременного обнаружения излучения таких систем наведения для принятия адекватных мер противодействия.

### **Анализ последних достижений и публикаций**

Адекватным ответом на появление в системах управления огнем лазерных дальномеров является своевременное обнаружение облучения объекта защиты противником и определение направления облучения для принятия соответствующих контрмер.

В 1970-х годах в различных странах начались

работы по созданию систем оповещения о лазерном облучении. К концу 1980-х такие системы в качестве вспомогательного средства защиты стали применять на ОБТ Merkava Mk 3 (Израиль), Chieftain Mk 5 (Великобритания). Позднее ими были оснащены танки тип 90 (Япония), Leclerc (Франция), Challenger 2 (Великобритания). Системы обнаружения о лазерном облучении разработаны и для различных типов ББМ – Puma (Германия), LAV-25 (Канада), VCC-80 (Италия), CV-90 (Швеция), Stryker (США) и др.

В 1993 году в составе российского танка Т-90 принята на вооружение система "Штора-1". Индикаторы обнаруживают излучение лазера-дальномера или лазера-подсветчика в диапазоне (0,65–1,1)мкм (после модернизации (0,65–1,55)мкм) по азимуту – 360°, по углу места – 30° [1].

Датчики израильской системы LWS-2 (фирма Amcogam) позволяют обнаружить облучение лазерного дальномера, лазерного целеуказателя и других источников инфракрасного (ИК) излучения [2].

В системе предупреждения о лазерном облучении UUSCV четыре датчика LWS-300CV и датчик LWS-500 обеспечивают обнаружение облучения в диапазоне (0,5–1,8)мкм со стороны всей верхней полусферы. По сообщению фирмы Avitronics (ЮАР) могут быть обнаружены все типы известных лазерных излучений, применяемых при наведении оружия [3].

Многофункциональная система защиты MUSS [4], разработанная компанией EADS (Германия), имеет в своем составе систему обнаружения лазерного облучения и наведения ракет MILTAS (диапазон  $(0,45-1,65)$  мкм) и систему предупреждения о пуске ракеты AN/AAR-60 MILDS (ультрафиолетовый диапазон с длиной волны  $\lambda \leq 300$  нм). Обеспечивается обнаружение облучения по азимуту –  $360^0$  и по углу места –  $70^0$  (рис. 1).

Для использования в системах предупреждения о лазерном облучении компанией Goodrich (США) разработаны датчики, позволяющие фиксировать излучение не только лазерных дальномеров, но и лазерных систем наведения ракет [5]. Системы с датчиками AN/VVR -1, -3 или 318S обеспечивают обнаружение облучения в диапазоне  $(0,5-1,6)$  мкм по азимуту –  $360^0$ , по углу места –  $55^0$ .



Рис. 1. Датчики системы MUSS

Получают распространение индикаторы/датчики, способные обнаружить излучение всех лазерных систем, используемых при наведении оружия и боеприпасов – дальномеров, подсветчиков цели и командно-лучевых систем. Продолжаются разработки средств наведения с использованием газовых лазеров на основе  $CO_2$ , преимуществами которых являются лучшая проходимость излучения через атмосферу и возможность сопряжения с тепловизионной аппаратурой, работающей в диапазоне  $(8-14)$  мкм.

**Целью данной работы** является исследование возможности создания индикаторов лазерного излучения с качественно новыми характеристиками для повышения уровня защищенности отечественной бронетехники.

### Постановка задачи

Широкополосные индикаторы лазерного излучения (ИЛИ) комплексов «Линкей-СПЗ» и «Варта»,

разработанных для установки на отечественные образцы бронетанковой техники (БТТ), обеспечивают обнаружение облучения лазерных дальномеров и лазерных подсветчиков цели в диапазоне  $(0,65-1,9)$  мкм по азимуту –  $360^0$  и углу места –  $30^0$ . Этим обеспечивается защита от существующих средств поражения с системами наведения, использующими лазерное дальнометрирование или лазерную подсветку цели и работающими на длинах волн 1,06 мкм и 1,54 мкм.

В то же время:

1. Применяемые в упомянутых ИЛИ приемники не позволяют обнаружить излучение в дальневолновом ИК диапазоне  $\lambda = (8-12)$  мкм.

2. ИЛИ не обеспечивают обнаружение информационного поля лазерных командно-лучевых систем наведения (ЛКЛ СН) в связи с тем, что в отличие от лазерных дальномеров и подсветчиков цели:

- в ЛКЛ СН используется значительно меньшая мощность излучения;
- создается излучение с высокой частотой следования импульсов;
- центр управляющего луча может быть смещен за контуры цели;
- угол расходимости управляющего луча изменяется.

Таким образом, основными проблемами на сегодня являются расширение спектрального диапазона воспринимаемого излучения, обнаружение информационного поля ЛКЛ СН, повышение помехозащищенности индикаторов лазерного излучения.

### Расширение спектрального диапазона воспринимаемого излучения

Исследование тенденций развития ИК систем показывает, что создание охлаждаемого фотоприемного устройства (ФПУ) в диапазоне  $(8-14)$  мкм с необходимой чувствительностью для ИЛИ комплекса защиты подвижных объектов БТТ проблематично из-за габаритно-массовых ограничений.

В настоящее время интенсивно ведутся работы по созданию многодиапазонных ИК систем третьего поколения (ИКС-3) с ФПУ, которые обеспечивают обнаружение излучения в двух или более спектральных диапазонах:

- матричных;
- неохлаждаемых на базе микроболометров;
- пироэлектрических.

**Матричные ФПУ.** Наиболее перспективными, работающими в средне- и длинноволновом ИК диапазонах, являются приемники на базе тройных соединений: сплава «кадмий-ртуть-теллур» (КРТ-

ФПУ), фотоприемники на квантовых ямах (ФКЯ-ФПУ), ФПУ на квантовых точках (ФКТ-ФПУ) и на суперрешетках с деформированным слоем (strained layer superlattice – SLS) типа II (СР-ФПУ).

На рис. 2 приведены теоретические зависимости удельной обнаружительной способности  $D^*$  при граничной длине волны спектральной характеристики 10 мкм матричных ФПУ с различной квантовой эффективностью  $\eta$  от температуры охлаждения  $T$  [6]:

$$D^* = \sqrt{A \Delta f_{ш} / \Phi_{п}}, \quad (1)$$

где  $A$  – площадь приемника;  $\Delta f_{ш}$  – шумовая полоса пропускания;  $\Phi_{п}$  – пороговый поток фотоприемника в заданной полосе частот.

В приемниках на основе тройных соединений (КРТ-ФПУ) используется подложка из CdZnTe [7–9]. Замена ее на подложку из GaAs позволяет интегрировать фоточувствительный слой, схему накопления и считывания, а также уменьшить потери на отражение и остаточные напряжения.

Одно из преимуществ КРТ-ФПУ – наличие резерва повышения чувствительности в среднем ИК диапазоне за счет увеличения их рабочей температуры (температуры охлаждения). Другим направлением совершенствования является возможность улучшения "спектрального разделения", что позволяет одновременное считывание сигналов в обоих рабочих спектральных диапазонах.

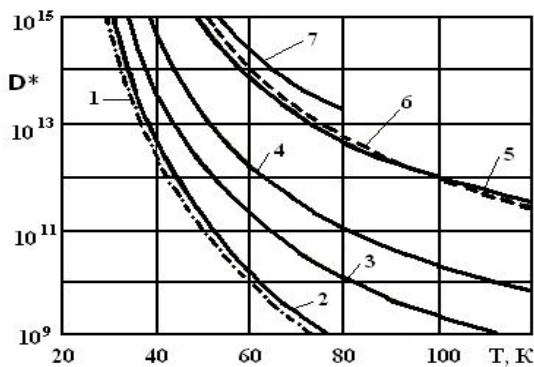


Рис. 2. Теоретические зависимости удельной обнаружительной способности различных ФПУ:

- 1 – фотоэмиссионные приемники ( $\eta=67\%$ );
- 2 – приемники на основе примесной фотопроводимости ( $\eta=35\%$ );
- 3 – приемники на базе квантово-размерных ям ( $\eta=33\%$ );
- 4 и 5 – приемники на базе квантовых точек при  $\eta=2\%$  и  $67\%$ ;
- 6 – КРТ-ФПУ при  $\eta=67\%$ ; 7 – СР-ФПУ

На рис.3 приведены спектральные характеристики приемника формата  $256 \times 256 / 512 \times 512$  с шагом пикселей 30 мкм, работающего при температуре охлаждения 70 К.

Использование кремниевых подложек при изготовлении крупноформатных КРТ-ФПУ ( $1536 \times 1024$  пикселей с размерами 15 мкм), работающих в ближнем и средневолновом ИК диапазонах при температурах охлаждения  $T_{охл}=(140-160)K$ , позволяет при диафрагменном числе  $K=3,4$  достичь режима ограничения фоном до  $\lambda_{гр}=3,7$  мкм в ближнем и до  $\lambda_{гр}=4,8$  мкм в средневолновом ИК диапазонах.

В настоящее время работы по созданию двухдиапазонных КРТ-ФПУ большого формата ( $1000 \times 1000$  пикселей и более), работающих по всей ширине ИК диапазона с высокой квантовой чувствительностью и малым уровнем темного, от теоретических исследований переходят в область разработки технологий.

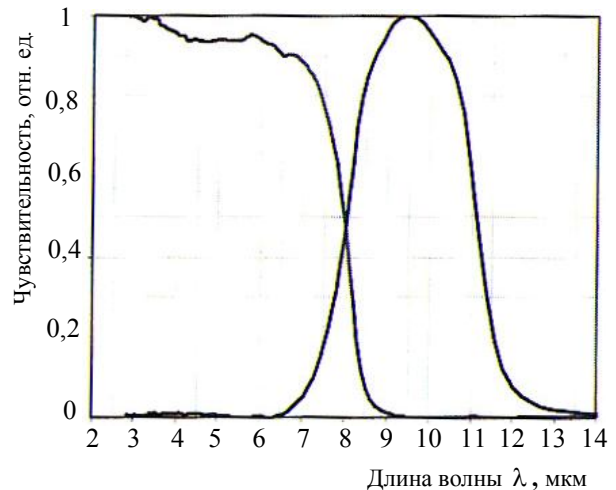


Рис. 3. Спектральные характеристики  $S_{\lambda} = f(\lambda)$  двухдиапазонного КРТ-ФПУ

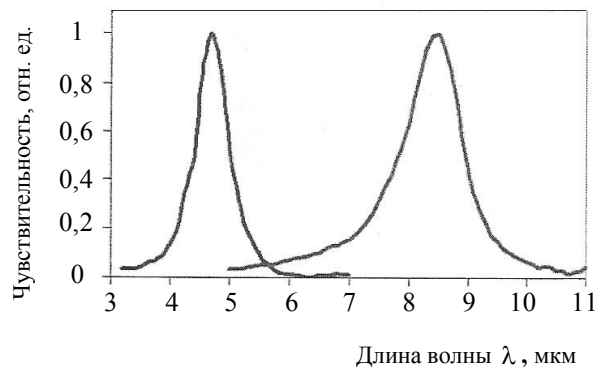


Рис. 4. Спектральная характеристика двухдиапазонного ФКЯ-ФПУ

Приемники на базе квантоворазмерных ям (ФКЯ-ФПУ) в двух или более диапазонах имеют достаточно узкие спектральные характеристики [10–12]. Для увеличения поглощения падающего на приемник излучения фоточувствительный слой в них соединяется с резонатором, как правило, Фабри-Перо, или дифракционной решеткой.

Спектральная характеристика ФПУ, построенного по схеме сэндвича и работающего одновременно в средневолновом и длинноволновом ИК диапазонах, представлена на рис.4. Разделительным слоем является тонкий слой (0,5 мкм) легированного GaAs.

В связи с малой квантовой эффективностью ФКЯ-ФПУ из-за невозможности приема нормально падающего на приемник излучения для накопления зарядов необходимо достаточно продолжительное время. Кроме того, из-за необходимости уменьшения темновых токов температура охлаждения ФКЯ должна быть меньше, чем у КРТ.

В ФКТ-ФПУ, по сравнению с ФКЯ, квантовые ямы заменены квантовыми точками, имеющими объемную локализацию во всех направлениях [13]. Приемники излучения на квантовых точках (QDIP) одни из наиболее перспективных, могут работать при температуре охлаждения выше 200 К в средневолновом (3–5) мкм и при 140 К в длинноволновом (8–12) мкм ИК диапазонах.

Практическая реализация таких свойств ФКТ-ФПУ как высокая квантовая чувствительность, малый темновой ток, сравнительно высокая рабочая температура, позволят им конкурировать с КРТ-ФПУ.

Альтернативой ФПУ на основе КРТ и ФКЯ могут являться фотоприемники на суперрешетках СР-ФПУ [14–16]. Они позволяют сравнительно просто получить перестраиваемую длинноволновую границу спектральной характеристики  $\lambda_{гр}$ , обладают высокой поглощательной способностью и, как следствие, высокой квантовой эффективностью, более однородны по фоточувствительному слою, имеют малые темновые токи, поглощают нормально падающее на них излучение. Применения дифракционных структур в отличие от ФКЯ-ФПУ не требуется.

На рис.2 видно, что теоретическое значение удельной обнаружительной способности у СР-ФПУ выше, чем у других типов приемников. Однако в настоящее время создание крупноформатных образцов еще проблематично: подложки из GaSb имеют ограниченные размеры, высокую стоимость, обладают значительным поглощением ИК излучения.

**Неохлаждаемые ФПУ на базе микроболометров** могут быть использованы в качестве отдельного спектрального канала (обычно в длинноволновой ИК области) или для обнаружения излучения в двух сравнительно узких полосах спектра, находящихся внутри длинноволнового ИК диапазона (8–14) мкм. Выделение узких полос осуществляется с помощью оптических фильтров [10,17]. Изменение сопротивления чувствительной площадки описывают выражениями:

где  $\beta_0$  – температурный коэффициент сопротивления (ТКС) при  $T_0$ ;  $\beta_T$  – ТКС при температуре  $T$ .

$$R = R_0 [1 + \beta_0 (T - T_0)] \quad \text{или} \quad \frac{\Delta R}{R} = \frac{\beta_T}{T}, \quad (2)$$

Известные достоинства неохлаждаемых микроболометров сопровождаются рядом недостатков, ограничивающих круг применений этих приемников. К числу последних относятся наличие теплового шума Джонсона, избыточного токового  $\frac{1}{f}$ -шума,

а также возникновение джоулевого нагрева чувствительных элементов, проявляющегося в появлении тока смещения измерительной схемы [18].

**Пирозлектрические приемники** продолжают совершенствоваться, прежде всего, в части расширения полосы пропускания и увеличения быстродействия [19]. Они обладают важными свойствами – возможностью работать без охлаждения при температуре окружающей среды и воспринимать излучение в широкой области спектрального диапазона (от ультрафиолетового до дальнего ИК).

ФПУ на базе пирозлектрической матрицы из LiTaO<sub>3</sub> имеет наиболее высокие пирозлектрические характеристики и способны регистрировать излучение лазеров в диапазоне (0,6–14) мкм.

Чувствительность такой матрицы  $S_q$  определяется как:

$$S_q = \frac{p\varepsilon A_{пр}}{2\pi f C} \left[ 1 + \left( \frac{2\pi n^2 k}{f} \right)^2 \right]^{-1/2} \times \left[ 1 + \left( \frac{G}{2\pi f C} \right)^2 \right]^{-1/2}, \quad (3)$$

где  $p$  – пирозлектрический коэффициент;  $\varepsilon$  – доля поглощенного излучения;  $A_{пр}$  – площадь чувствительного элемента;  $n$  – число пар линий изображения на 1 см матрицы;  $f$  – частота модуляции излучения;  $k$  – коэффициент тепловой диффузии;  $G$  – коэффициент температуропроводности;  $C$  – электрическая емкость чувствительного элемента [20].

Учитывая, что матрица должна быть многоэлементной, для достижения требуемой чувствительности необходимо решить задачу тепловой изоляции большого количества фоточувствительных элементов с учетом уровней возникающих шумов.

**Обнаружение информационного поля ЛКЛ СН.** Индикаторы, основанные на методах спектральной или пространственной селекции, не позволяют регистрировать излучение с амплитудно-частотной характеристикой и изменяемым по времени уровнем облученности – излучение ЛКЛ СН.

Проблема может быть разрешима при использовании интерференционного модулятора когерентного излучения с переменной разностью хода оптических лучей и просмотром пространства путем сканирования всей оптической системы по азимуту [21].

Интенсивность излучения  $I_{пр}$  на выходе интерферометра, работающего на пропускание, определяется следующим соотношением:

$$I_{пр} = \frac{I_0 \chi T_1 T_2}{(1 - \chi \sqrt{R_1 R_2})^2 + 4 \chi \sqrt{R_1 R_2} \sin \delta / 2}, \quad (4)$$

где  $I_0$  – интенсивность излучения на входе интерферометра;  $R_1, R_2, T_1, T_2$  – коэффициенты отражения и пропускания первого и второго зеркальных покрытий интерферометра, соответственно;  $\chi$  – коэффициент пропускания среды между зеркальными покрытиями;  $\delta$  – фазовая функция.

При этом

$$\delta = \frac{4\pi}{\lambda} d n \cos \Theta' = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta l, \quad (5)$$

где  $d$  – расстояние между зеркальными покрытиями;

$\lambda$  – длина волны падающего излучения;

$\Theta'$  – угол падения лучей на поверхность зеркала;

$\Delta l$  – разность хода лучей;  $n$  – показатель преломления.

Если  $R_1 = R_2$  и  $T_1 = T_2$ , из уравнения (4) получим зависимости для расчета модуляционной характеристики интерферометра  $S$ :

$$S = \frac{I_{пр}}{I_0} = \frac{\chi T^2}{(1 - \chi R)^2 + 4 \chi R \sin^2 \frac{\delta}{2}}. \quad (6)$$

Отсюда видно, что модуляция обеспечивается за счет изменения величины  $\delta$ . В то же время, при

использовании метода последовательного просмотра пространства сканированием модуляцию излучения целесообразно осуществлять изменением угла  $\Theta'$ . Если вращающийся интерферометр имеет постоянный угол наклона  $\Theta_0$  нормали к его поверхности относительно оси вращения, то

$$\cos \Theta' = \sin \Theta_0 \cdot \cos \omega t + \cos \Theta_0 \cdot \cos a, \quad (7)$$

где  $a$  – угол наклона оси относительно падающего излучения;  $\omega$  – угловая скорость вращения.

Естественно, что для увеличения  $\cos \Theta'$  необходимо увеличивать угол  $\Theta_0$ . Но увеличение угла имеет предел, т.н. угол Брюстера, при приближении к которому резко возрастают потери на отражение. Достижение максимально возможного угла  $\Theta_0$  ведет к более эффективному разделению частоты модуляции источника лазерного излучения  $\omega_{ли}$  относительно частоты модуляции фонового излучения:

$$\omega_{\phi} : \omega_{\phi} = 2\pi \frac{360}{\delta\phi_{мгн}} N, \quad (8)$$

$$\omega_{ли} = \frac{d\delta}{dt} = \frac{4\pi}{\lambda} d \omega_0 \cos \varepsilon \sin(\omega_0 t + \Theta_0) \quad (9)$$

где  $\delta\phi_{мгн}$  – мгновенное поле зрения аппаратуры;

$N$  – частота сканирования;

$\omega_0$  – угловая скорость сканирования;

$\varepsilon$  – угол падения лучей на интерферометр в вертикальной плоскости.

**Повышение помехозащищенности ИЛИ** с использованием спектральной фильтрации ведет к уменьшению абсолютной величины сигнала и, как следствие, к снижению чувствительности. Учитывая это, селекцию сигналов в ИЛИ целесообразно осуществлять последовательно в несколько этапов. В качестве основного может быть метод пространственной фильтрации/селекции, основанный на различии пространственно-частотных спектров излучения лазеров систем наведения противотанковых средств и окружающего фона – Солнца, Луны, облачного покрова, ландшафта и т.п. И уже после этого использовать метод спектральной селекции излучения в зависимости от спектров генерации типовых лазеров систем наведения оружия и боеприпасов, при этом настроив поисковую систему на конкретные спектральные полосы и длительность сигналов.

Метод пространственной фильтрации подразумевает проведение селекции излучения по углу. Она необходима для устранения неопределенности при определении спектрального состава излучения конкретного источника. Для эффективной работы соот-

ветствующего устройства важен размер щелевой диафрагмы  $D_1$ , величина которого выбирается из условия:

$$D_1 d_1 \approx 2\lambda_{\max} \frac{F_1}{A_1}, \quad (10)$$

где  $\lambda_{\max}$  – максимальная длина волны в спектре анализируемого излучения;

$F_1$  – фокусное расстояние входной линзы;

$A_1$  – апертура входной линзы.

Оптическое усиление устройства угловой селекции определяется коэффициентом  $\gamma$ :

$$\gamma = \frac{A_1^2}{A_2^2} = \frac{F_1^2}{F_2^2}, \quad (11)$$

где  $F_2$  – фокусное расстояние выходной линзы;

$A_2$  – апертуры выходной линзы.

Для спектральной селекции, приняв за основу акустооптического взаимодействия режим Рамана-Ната, получим, что относительную интенсивность дифракционного порядка можно определить следующим образом:

$$\frac{I_d}{I_i} = I_1^2(a_0), \quad (12)$$

где  $I_i$  – интенсивность оптического монохроматического луча прошедшего среду в отсутствие управляющего сигнала;

$I_d$  – функция Бесселя первого порядка;

$a_0$  – индекс модуляции.

Величина  $a_0$  рассчитывается следующим образом:

$$a_0 = \frac{\pi}{\lambda} \sqrt{M_2 P_a \frac{L}{2h}}, \quad (13)$$

где  $M_2$  – добротность среды модулятора (определяется свойствами материала, из которого он изготовлен);

$P_a$  – акустическая мощность управляющего сигнала;

$L, h$  – сечение акустического пучка.

Диафрагма  $D_2$ , установленная на входе в ФПУ, позволит выделить из спектрального распределения участок, формирующий точку отсчета в отображении спектра излучения. Для минимизации

размеров оптических распределений в плоскости ФПУ может быть применена интегрирующая линза.

Размер диафрагмы  $D_2$  определяет разрешающую способность на этапе спектральной селекции:

$$D_2 = \frac{\Delta\lambda f_0}{vN} F_{\text{инт}}, \quad (14)$$

где  $\Delta\lambda$  – диапазон анализируемых длин волн;

$f_0$  – среднее значение частоты управляющего сигнала;

$F_{\text{инт}}$  – фокусное расстояние интегрирующей линзы;

$v$  – скорость акустической волны в модуляторе;

$N$  – число отсчетных точек, необходимых для корректного отображения спектра анализируемого излучения.

Обработка полученного сигнала может быть осуществлена различными способами:

1. С использованием временного принципа согласования положения экстремумов в отображении спектра излучения с опорным импульсным сигналом. Совпадение точек в принятом и опорном сигналах свидетельствует о фиксации искомого излучения.

2. С помощью спектрального метода, отображающего спектральное распределение. Идентификация осуществляется по наличию характерных точек в распределении Фурье – сигнал, который должен быть принят, априори известен и может быть разложен в ряд Фурье.

В первом случае ограничено время согласованной обработки, но полоса пропускания достаточно широкая. При этом возрастает шумовая составляющая, что затрудняет обработку слабых оптических сигналов.

При использовании второго метода полоса воспроизводимых частот существенно сужается, но и время, необходимое для согласованной обработки сигналов, соответственно увеличивается.

Основным параметром при спектральной селекции является аппаратная функция:

$$g(\lambda, f) = I_1(a_0) \int_{x_0 - \frac{D_2}{2}}^{x_0 + \frac{D_2}{2}} \frac{\sin^2 \pi D \left( \frac{x}{\lambda F_{\text{инт}}} - \frac{f}{v} \right)}{\left[ \pi D \left( \frac{x}{\lambda F_{\text{инт}}} - \frac{f}{v} \right) \right]^2} dx, \quad (15)$$

где  $D$  – апертура модулятора.

В этом случае

$$x_0 = \frac{\lambda_0 f_0}{v} F_{\text{ил}}. \quad (16)$$

Отношение между частотой управляющего сигнала и длиной волны принимаемого излучения определяют разрешение ИЛИ по длине волны  $S_\lambda$ :

$$S_\lambda = \lambda_0 \frac{S_f}{f_0}, \quad (17)$$

где  $S_f$  – расчетное разрешение при заданной частоте управляющего сигнала.

## Выводы

Результаты исследования показали возможность создания индикаторов лазерного излучения с качественно новыми характеристиками в части расширения воспринимаемого спектрального диапазона излучения, обнаружения информационного поля ЛКЛ СН и повышения помехозащищенности:

1. Для создания ИЛИ с расширенным до 12 мкм спектральным диапазоном обнаружения излучения необходима разработка специальных приемников на базе КРТ-ФПУ или пироэлектрических матриц.

При этом важной задачей является выравнивание чувствительностей отдельных элементов, связанное с несоответствием между направлением общего поля обзора ФПУ и оптической осью каждого элемента, т.н. «геометрическим шумом».

2. Решить проблему обнаружения информационного поля ЛКЛ СН представляется возможным с помощью метода сканирования пространства с использованием интерференционного модулятора когерентного излучения.

3. Достаточный уровень помехозащищенности ИЛИ может быть обеспечен при проведении последовательной обработки сигнала принятого излучения на основе методов пространственной и спектральной селекции.

Полученные результаты позволяют сформулировать концепцию построения индикаторов лазерного излучения с качественно новыми характеристиками и провести анализ возможных технических путей ее реализации.

## Литература

1. Комплекс оптико-электронного подавления «Штора-1» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://btvt.narod.ru/4/shtora1/shtora1.htm>. – 15.02.2013.

2. Foss, C.F. ARPAM demonstrator unveiled [Электронный ресурс] / C.F. Foss // *Janes Defense*. –

*Weekly 4 November 1995*. – Режим доступа: <http://armor.kiev.ua/ptur/armor/arpam.html>. – 15.02.2013.

3. Ogorkiewicz, R.M. Detection and Obscuration Counter Anti-Armor Weapons. Development of active protection systems for combat vehicles is slowly gathering momentum [Text] / R.M. Ogorkiewicz // *Jane's International Defense Review*. – January 2003. – P. 49-53.

4. Multifunction Self Protection System (MUSS): (KMW / EADS / Buk) [Электронный ресурс] // – 2004. – Режим доступа: <http://www.defense-update.com/products/m/muss.htm>. – 15.02.2013.

5. Средства активной обороны бронированных машин [Текст] // *Иностранная печать об экономическом, научно-техническом и военном потенциале государств – участников СНГ и технических средствах его выявления. Серия: "Вооруженные силы и военно-промышленный потенциал"*, 2006. – № 3. – С. 18 – 29.

6. Martyniuk, P. Comparison of performance of quantum dot and other types of infrared photodetectors [Text] / P. Martyniuk, A. Rogalski // *SPIE Proc.* – 2008. – V. 6940. – P. 694004 – 1...10.

7. MCT IR detection modules with 15 mcm pitch for high reliability applications [Text] / R. Breiter, T. Ihle, J. Wendler et al // *SPIE Proc.* – 2010. – V. 7660. – P. 766039 – 1...11.

8. Advances in dual-band IRFPAs made from HgCdTe grown by MOVPE [Text] / P. Abbott, L. Pillans, P. Knowles, R.K. McEwen // *SPIE Proc.* – 2010. – V. 7660. – P. 766035 – 1...11.

9. High operating temperature MWIR detectors [Text] / M.A. Kinch, H.F. Schaake, R.L. Strong et al. // *SPIE Proc.* – 2010. – V. 7660. – P. 76602V – 1...13.

10. Тарасов, В.В. Двух- и многодиапазонные оптико-электронные системы с матричными приемниками излучения [Текст] / В.В. Тарасов, Ю.Г. Якушенко. – М.: Логос, 2007. – 192 с.

11. Large format multicolor QWIP focal plane arrays [Text] / A. Soibel, S.D. Gunapala, S.V. Bandara et al. // *SPIE Proc.* – 2009. – V. 7298. – P. 729806 – 1...8.

12. QWIP focal plane arrays performances from MWIR to VLWIR [Text] / J.A. Robo, E. Costard, J.P. Truffer et al. // *SPIE Proc.* – 2009. – V. 7298. – P. 72980F – 1...12.

13. Martyniuk, P. Comparison of performance of quantum dot and other types of infrared photodetectors [Text] / P. Martyniuk, A. Rogalski // *SPIE Proc.* – 2008. – V. 6940. – P. 694004 – 1...10.

14. Delaunau, P.Y. Background limited performance of long wavelength infrared focal plane arrays fabricated from Type-II InAs/GaSb M-structure superlattice [Text] / P.Y. Delaunau, B.M. Nguyen, M. Razeghi // *SPIE Proc.* – 2009. – V. 7298. – P. 72981Q – 1...9.

15. Antimony-based superlattices for high-performance infrared imagers [Text] / M. Walther,

R. Rehm, J. Schmitz et al. // *SPIE Proc.* – 2008. – V. 6940. – P. 69400A – 1...8.

16. High performance antimony based Type-II superlattice photodiodes on GaAs substrates [Text] / B.M. Nguyen, D. Hoffman, E.K. Huang et al. // *SPIE Proc.* – 2009. – V. 7298. – P. 72981T – 1...12.

17. Crastes, A. Uncooled amorphous silicon  $\frac{1}{4}$  VGA IRFPA with 25  $\mu\text{m}$  pixel-pitch for high end applications [Text] / A. Crastes, J.L. Tissot // *SPIE Proc.* – 2008. – V. 6940. – P. 69401V – 1...6.

18. Тарасов, В.В. Инфракрасные системы 3-го поколения [Текст] / В.В. Тарасов, И.П. Торшина, Ю.Г. Якушенко. – М.: Логос, 2011. – 242 с.

19. Рябов, С.Г. Приборы квантовой электроники (характеристики, применение, тенденции развития) [Текст] / С.Г. Рябов, Г.Н. Торонкин, И.Ф. Усольцев; под ред. М.Ф. Стельмаха. – М.: Сов. радио, 1976. – 312 с.

20. Богомолов, П.А. Приемные устройства ИК-систем [Текст] / П.А. Богомолов, В.И. Сидоров, И.Ф. Усольцев; под ред. В.И. Сидорова. – М.: Радио и связь, 1987. – 208 с.

21. Калитеевский, Н.И. Волновая оптика [Текст] / Н.И. Калитеевский. – М.: Наука, 1971. – 376 с.

Поступила в редакцию 15.02.2013, рассмотрена на редколлегии 27.02.2013

**Рецензент:** д-р физ.-мат. наук, проф., заведующий кафедрой теоретической радиофизики Н.Н. Колчигин, Харьковский национальный университет имени В.Н. Каразина, Харьков.

## ПРО МОЖЛИВІСТЬ СТВОРЕННЯ ІНДИКАТОРІВ ЛАЗЕРНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ З ЯКІСНО НОВИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

*І.І. Васильченко, В.В. Глебов, С.О. Роленко, В.В. Кислов, М.О. Прохоров*

Проведено дослідження можливості створення індикаторів лазерного випромінювання з якісно новими характеристиками. Сформульовано фізичні принципи, на основі яких можуть бути вирішені проблеми розширення спектрального діапазону сприйманого випромінювання, виявлення інформаційного поля систем наведення зброї, підвищення перешкодозахищеності індикаторів лазерного випромінювання. Показано, що для створення індикаторів лазерного випромінювання з розширеним спектральним діапазоном виявлення випромінювання необхідна розробка спеціальних приймачів на базі «кадмій-ртуть-телур», фотоприймальних пристроїв чи піроелектричних матриць. Достатній рівень завадозахищеності індикаторів лазерного випромінювання може бути забезпечений при проведенні послідовної обробки сигналу прийнятого випромінювання на основі методів просторової та спектральної селекції.

**Ключові слова:** індикатори лазерного випромінювання, фотоприймачі, інфрачервоний діапазон.

## ON THE POSSIBILITY OF CREATING INDICATORS OF LASER RADIATION WITH QUALITATIVELY NEW CHARACTERISTICS

*I.I. Vasilchenko, V.V. Glebov, S.A. Rolenko, V.V. Kislov, N.A. Prokhorov*

A research of the possibility of developing laser warning sensors with considerably new characteristics has been conducted. Physical principles that can be used for solving problems of enlargement of spectral range of the irradiation being detected, detection of the information field of the weapons guidance systems, and enhancement of the jamming immunity of the laser warning sensors, have been formulated. It is shown that for the creation of indicators of laser radiation with high spectral range of radiation detection requires the development of special receivers on the basis of «cadmium-mercury-tellurium», photodetector devices or of pyroelectric matrices. Adequate level of immunity indicators of the laser radiation can be provided in a coherent signal processing the received radiation on the basis of methods of spatial and spectral selection.

**Key words:** indicators of the laser radiation, the photodetectors, infrared range.

**Васильченко Иван Иванович** – канд. техн. наук, ведучий спеціаліст ГП "ХКБМ ім. А.А. Морозова", Харьков.

**Глебов Василий Васильевич** – канд. техн. наук, с.н.с., зам. головного конструктора ГП "ХКБМ ім. А.А. Морозова", Харьков.

**Роленко Сергей Александрович** – начальник отдела ГП "ХКБМ ім. А.А. Морозова", Харьков.

**Кислов Вячеслав Владимирович** – канд. техн. наук, директор КБ «Щит», Харьков.

**Прохоров Николай Алексеевич** – ведучий спеціаліст КБ «Щит», Харьков.