

УДК 520.3

**Б. Н. Формозов**Балтийский государственный технический университет «Военмех» им. Д. Ф. Устинова  
198005 Россия, Санкт-Петербург, 1-я Красноармейская, 1**Об определении пороговой чувствительности  
матричных приемников инфракрасного излучения***Предлагается критерий для выбора матричного ИК-датчика изображения астрономического назначения. Показано, что для получения эквивалентной мощности шума для одного элемента изображения нужно учитывать среднее время жизни фотогенерированного носителя заряда.**ПРО ВИЗНАЧЕННЯ ПОРОГОВОЇ ЧУТЛИВОСТІ МАТРИЧНИХ ПРИЙМАЧІВ ІЧ-ВИПРОМІНЮВАННЯ, Формозов Б. Н. — Пропонується критерій для вибору матричного ІЧ-давача зображення астрономічного призначення. Показано, що для отримання еквівалентної потужності шуму для одного елемента зображення потрібно враховувати середню тривалість життя фотогенерованого носія заряду.**ON A DEFINITION OF THE TRESHOLD SENSITIVITY OF INFRARED ARRAYS, by Formozov B. N. — A criterium to choose a matrix infrared image sensor for astronomical purposes. It is shown that the mean life time of a photogenerated charge career should be taken into consideration to obtain the noise equivalent power for a single pixel of an array.*В 1953 г. Джонс [6] ввел понятие удельной обнаружительной способности, отнесенной к полосе частот, равной 1 Гц, и площади ИК-приемника 1 см<sup>2</sup>:

$$D^* = \frac{(S_{эл}\Delta f)^{1/2}}{P_n}, \quad (1)$$

где  $S_{эл}$  — площадь одного элемента ИК-приемника,  $\Delta f$  — шумовая полоса,  $P_n$  — пороговый поток.Для линейных ИК-приемников, когда имеет место частота модуляции, с которой обычно связывают  $\Delta f$ , все обстоит благополучно, и формула (1) справедлива.В СССР величину  $D^*$  связали с эквивалентной мощностью шумов ( $NEP$ ) [3] и довели дело до ГОСТ 19852-74, определяющий удельный пороговый поток. При этом было сделано много физически необоснованных предположений и допущений. В итоге  $D^*$  измеряется в см<sup>2</sup>Гц<sup>1/2</sup>Вт<sup>-1</sup>, а  $P_n =$

$= NEP$  — в  $\text{Вт}/\text{Гц}^{1/2}$ , т. е. пороговую чувствительность ИК-приемника стали определять в ваттах на единичную полосу частот.

При использовании в фотоприемном устройстве (ФПУ) матричных ИК-приемников, у которых нет модуляции, шумовую полосу частот можно определить либо через время фотоэлектрической инерционности для фоторезистивных ИК-приемников, либо через время накопления и скорость вывода информации из матрицы для ИК-приемников с накоплением.

Попытка использовать в ИК-астрономии ФПУ с фоторезистивным матричным ИК-приемником с числом элементов матрицы  $256 \times 256$  была предпринята в 1985 г. на телескопе АЗТ-2 Главной астрономической обсерватории НАН Украины сотрудниками лаборатории Л. М. Шульмана, НИИ телевидения и ЦНИИ «Электрон» [1]. При этом в  $K$ -полосе был зарегистрирован пороговый поток  $P_n = 4 \cdot 10^{-14}$  Вт/пкл при аппаратурном фоне  $E_\phi = 5 \cdot 10^{-7}$  Вт/см<sup>2</sup>. Матричный ИК-приемник имел максимальную чувствительность в  $K$ -полосе  $\varphi_k = 5 \cdot 10^4$  А/Вт, а фон формировался фильтром с полосой пропускания  $\Delta\lambda = 1.7...5.5$  мкм, образованным двумя охлаждаемыми до  $T = 77.4$  К пластинами из германия и лейкосапфира [4].

При этом определение пороговой чувствительности не мощностью, эквивалентной шуму, на единичную полосу частот, а пороговым потоком на элемент матрицы значительно удобнее, так как для матричного ИК-приемника величина  $\Delta f$  вообще неизвестна. А для ИК-приемников с накоплением вообще непонятно, какую полосу брать: обратное время накопления, частоту строки, обратное время кадра или частоту считывающего регистра. Поэтому для матричных ИК-астроприемников предпочтительно использовать  $[P_n] = \text{Вт}/\text{пкл}$ , хотя можно использовать и  $NEP$ .

Рассмотрим вопрос о сущности и размерности  $NEP$  с позиций статистической физики [2], не учитывая тип ИК-приемника.

Если взять в качестве материала ИК-приемника полупроводник с собственной проводимостью и предположить, что приемник работает в режиме ВЛР [3], то единственным источником шума в нем будут флуктуации фонового излучения. При этом фон может быть как внешним, так и аппаратурным. Длины волн фона и полезного сигнала одинаковы.

Определим число фотогенерированных носителей  $N_{\text{еп}}^c$ , эквивалентное числу фотогенерированных носителей от фона, облученность от которого создает на элементе ИК-приемника поток, равный  $P_n$ :

$$\overline{N}_{\text{еп}}^c = \sqrt{\eta_{\text{max}} \bar{\tau}_{\text{фгн}} (\overline{\Delta N_\phi})^2 S_{\text{эл}}} = \sqrt{\eta_{\text{max}} \bar{\tau}_{\text{фгн}} \overline{N_\phi} S_{\text{эл}}}, \quad (2)$$

где  $\eta_{\text{max}}$  — квантовая эффективность фотоэлектрического ИК-приемника на длине волны  $\lambda_{\text{max}}$ , соответствующей максимуму чувствительности ИК-приемника,  $\bar{\tau}_{\text{фгн}}$  — среднее время жизни фотогенерированного носителя (от первой фотогенерации до его первой рекомбинации),  $(\overline{\Delta N_\phi})^2$  — дисперсия флуктуации фонового потока,  $N_\phi$  — среднее число фотонов от фона за время  $\bar{\tau}_{\text{фгн}}$ . Здесь использован тот факт, что поток фотонов подчиняется распределению Пуассона при любых плотностях потока фотонов [1], на что также в 1909 г. в одной из своих работ указывал А. Эйнштейн [3, 5]:

$$(\overline{\Delta N_\phi})^2 = \overline{N_\phi}. \quad (3)$$

С другой стороны,

$$\overline{N}_{\text{еп}}^c = P_n \frac{\lambda_{\text{max}}}{hc} \eta_{\text{max}}, \quad (4)$$

где  $h$  — постоянная Планка,  $c$  — скорость света.

Приравняв правые части (2) и (4), получим выражение

$$P_n = NEP = \frac{hc}{\lambda_{\max}} \sqrt{\frac{\bar{\tau}_{\text{фгн}} N_{\text{ф}} S_{\text{эл}}}{\eta_{\max}}}. \quad (5)$$

Но

$$\bar{N}_{\text{ф}} = E_{\text{ф}} \frac{\lambda_{\max}}{hc}, \quad (6)$$

где  $E_{\text{ф}}$ , Вт/см<sup>2</sup> — облученность фоном. Подставляя (6) в (5), получим

$$P_n = NEP = \sqrt{\frac{hc E_{\text{ф}} \bar{\tau}_{\text{фгн}} S_{\text{эл}}}{\lambda_{\max} \eta_{\max}}}, \text{ Вт/Гц}^{1/2}.$$

При этом единственным феноменологическим допущением в приведенных рассуждениях является введение  $\bar{\tau}_{\text{фгн}}$  в выражение (2). Справедливость его можно проверить экспериментально, если согласовать при измерениях шума от фона полосу пропускания детектирующего усилителя с обратной величиной  $\bar{\tau}_{\text{фгн}}$ . Размерность же  $[NEP] = \text{Вт/Гц}^{1/2}$  получается без каких-либо ограничений, упомянутых выше при обосновании ГОСТ 19852-74, для всех типов приемников.

1. Агранов Г. А., Галяткин И. А., Гуляев В. И. и др. // Твердотельные и вакуумные телевизионные приемники света и методы обработки изображений: Тез. докл. на Всесоюз. совещании. — Киев, 1985.—С. 2.
2. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Статистическая физика. — М.: Наука, 1964.—568 с.
3. Мирошников М. М. Теоретические основы оптико-электронных приборов. — Л.: Машиностроение, 1977.—600 с.
4. Формозов Б. Н. Введение в криогенную микроэлектронику. — Санкт-Петербург: Наука, 2002.—328 с.
5. Хадсон Р. Инфракрасные системы. — М.: Мир, 1972.—534 с.
6. Jones R. C. Performance of detectors for visible and infrared radiation // Adv. Electron.—1953.—5, N 1.

Поступила в редакцию 03.03.03