

Показатель коррекции неоднородности как критерий качества фотоприемных устройств ИК-диапазона

И. И. Кремис

В работе ставится задача получения критерия качества фотоприемника, определяющего его способность формировать качественное тепловизионное изображение. Рассматривается прямая задача получения тепловизионного изображения при выполнении коррекции сигнала фотоприёмника по одной точке. Критерий качества найден как функционал невязки обратной оптимизационной задачи, а его минимизация является оптимизацией технологии изготовления матрицы фоточувствительных элементов (ФЧЭ). Критерием является величина C_k , равная отношению пространственного шума к временному шуму: если величина C_k стационарна во времени, а ее значение $0 \leq C_k \leq 1$, то фотоприемное устройство способно формировать качественное тепловизионное изображение и технология изготовления матрицы ФЧЭ является оптимальной по критерию минимизации величины пространственного шума. Показано, что для матричных ($C_k \approx 0,9-1,0$) и линейчатого ($C_k \approx 0,9$) фотоприемников «Софрадир» величина $C_k \leq 1$, для линейчатых фотоприемников НПО «ОРИОН» и ИФП СО РАН величина $C_k > 1$ ($C_k \approx 1,1-1,2$). Отечественные матричные фотоприёмники ИФП СО РАН показали перспективу на достижение показателя $C_k \leq 1$ при использовании технологии получения матриц ФЧЭ на подложках из кремния.

Ключевые слова: остаточная неоднородность, чувствительность, фотоприёмник, критерий качества.

Ссылка: Кремис И. И. // Успехи прикладной физики. 2018. Т. 6. № 5. С. 409.

Reference: I. I. Kremis, Usp. Prikl. Fiz. 6 (5), 409 (2018).

Введение

Использование потребителем – производителем тепловизионных приборов (ТВП), фотоприемных устройств ИК-диапазона предполагает их предварительную оценку по таким параметрам как чувствительность, пространственное разрешение (потенциально достижимое в ТВП) и дефектность [1]. Указанные параметры, в том или ином виде, могут приводиться производителями фотоприемных устройств (ФПУ) в сопроводительной документации.

При этом представленные на настоящее время производителями фотоприемников данные позволяют отметить, что существуют отечественные

изделия, не уступающие по характеристикам своим зарубежным аналогам.

Так, сравнение матричного фотоприемного устройства (МФПУ) форматом 320×256 диапазона 8–12 мкм, производства ИФП СО РАН с ФПУ производства «Софрадир» MARS VLW и линейчатого фотоприемного устройства (ЛФПУ) ФЭМ10М форматом 4×288 диапазона 8–12 мкм, производства НПО «ОРИОН» с ЛФПУ производства «Софрадир» PLUTON LW, позволяет говорить о сопоставимых значениях параметров чувствительности, дефектности и пространственного разрешения в канале для данных фотоприемников [2, 4, 5].

Проблема здесь заключается в том, что по итогам сравнения указанных фотоприемников отечественного и зарубежного производства наблюдается существенное отличие качества итогового изображения при их использовании в ТВП. На основании источников [1, 2, 7, 9] можно предположить, что причиной ухудшения изображения при использовании отечественных ФПУ может являться высокая неоднородность чувствительности фотоэлементов.

Кремис Игорь Иванович, зав. отделом, к.т.н.
Филиал ИФП СО РАН «КТИПМ».
Россия, 630090, г. Новосибирск,
просп. Академика Лаврентьева, 2/1.
E-mail: igor21738@ngs.ru

Статья поступила в редакцию 11 сентября 2018 г.

© Кремис И. И., 2018

При этом нужно отметить, что параметры неоднородности фотоприемников производителями могут нормироваться по разным методикам или не нормироваться вовсе [3, 4], что затрудняет их объективную оценку.

В этой связи возникает вопрос введения контроля некоторого параметра, характеризующего способность фотоприемника формировать качественное изображение в тракте тепловизионного канала.

Цель данной статьи – формулирование объективного критерия качества ИК ФПУ, позволяющего оценивать способность фотоприемников формировать качественное изображение как на этапе производства ФПУ, так и на этапе его использования в тепловизионном канале.

Обоснование идеи. Прямая и обратная задачи

В работе [10] были получены результаты исследования метода фильтрации неоднородности с использованием микросканирования, где для оценки качества изображения использовался параметр C_k , равный отношению геометрического (пространственного) шума (ГШ), скорректированного по двум точкам изображения, к временному шуму канала. Значения коэффициента C_k рассчитывались для разных схем включения фильтров, после чего вариации разработанного метода фильтрации сравнивались с методом двухточечной коррекции. Данный подход позволил получить обоснованную количественную оценку качества тепловизионного изображения и подсказал перспективу его использования для оценки качества фотоприемников – по значению коэффициента C_k .

Поясним идею предлагаемого критерия качества фотоприемников.

Известный метод двухточечной коррекции, используемый в работе [10], является прямой задачей получения скорректированного по смещению b и чувствительности s тепловизионного изображения x :

$$x = (y - b) \frac{1}{s}. \quad (1)$$

При этом индивидуальная картина шумов неоднородности приемников требует расчета коэффициентов $1/s$ для каждого отдельного используемого ФПУ.

Таким образом, можно предположить, что нормирование тестируемых фотоприемников относительно эталонного ФПУ (с рассчитанными коэффициентами) позволит оценивать остаточную неоднородность чувствительности (ОНЧ) в выходном изображении в зависимости от неоднород-

ности фотоприемного устройства. Это позволяет определить задачу контроля качества фотоприемного устройства как обратную задачу: для осуществления контроля качества фотоприемника следует задать эталонное значение остаточного ГШ и, выполнив обратное преобразование выражения (1), получить требуемую неоднородность фотоприемника, которая может быть связана с технологиями его изготовления некоторым функционалом.

Однако очевидно, что использование при контроле качества рассчитываемых коэффициентов $1/s$ некорректно, т. к. они вносят в обратную задачу неоднозначность (несоответствие коэффициентов фотоприемному устройству) и неустойчивость (несоответствие сигналов коэффициентам), т. е. не выполняются второе и третье условие по Адамару [15].

В этой связи для постановки корректной задачи оценки качества фотоприемного устройства предлагается исключить из расчетов (1) требование на использование коэффициентов. В этом случае метод коррекции по двум точкам (1) вырождается в метод коррекции по одной точке – вычитание фона:

$$y = x_1 - x_0 \quad (2)$$

где x_1 и x_0 – сигналы фотоэлементов приемника от объекта и фона соответственно, равные [9]:

$$x = sw + b + h, \quad (3)$$

здесь w – поток на входе приемника, b – составляющая смещения фотодиодов, S – чувствительность фотоэлементов, h – временной шум фотоэлемента.

Таким образом, имеем выражение:

$$y = (s_{об}w_{об} - s_{эт}w_{эт}) + (b_{об} - b_{эт}) + h. \quad (4)$$

Исходя из работ [11, 12], запишем выражение (4) для изменений смещения и чувствительности фотодиодов при $w_{об} = w_{эт}$ в следующем виде:

$$\begin{aligned} \Delta y &= (s_{об}w_{эт} - s_{эт}w_{эт}) + (b_{об} - b_{эт}) + h = \\ &= \Delta s w_{эт} + \Delta b + h. \end{aligned} \quad (5)$$

Учитывая случайный характер изменения приращений сигнала фотоэлементов, перейдем к среднеквадратичным оценкам изменений составляющих при формировании выходного сигнала [10]:

$$\sigma_{онч}^2 = \sigma_{s1-s0}^2 + \sigma_{b1-b0}^2 + \sigma_{вр}^2. \quad (6)$$

Очевидно, что неоднородность фотоприемников некоторым образом зависит от технологий его изготовления. Поэтому представим зависимость

остаточной неоднородности фотоприемника (вектор σ) от технологий (вектор p), определяющих, в конечном итоге, качество изображения, в виде уравнения:

$$F(p) = \delta \quad (7)$$

где $F(p)$ – некоторая функция, связывающая вектор p с ОНЧ. С учетом выражения (2), выражение (7) можно представить как

$$x_1(p) - x_0(p) = \delta. \quad (8)$$

Решением обратной задачи по отношению к (7) является задача нахождения вектора p (значения вектора p – комбинация технологий изготовления фотоприемника) по измеренному выходному процессу – результату δ (значения вектора δ – разнообразие характеристик канала: дефектность, РТЭШ, МРРТ, ОНЧ и др.):

$$\hat{p} = F^{-1}\delta \quad (9)$$

где \hat{p} – найденное решение, отличающееся от p по причине ошибок в измерениях и техпроцессах.

Критерием качества приемника в данном случае является величина функционала невязки Φ найденного и эталонного решений, а его минимизация будет являться оптимизацией технологии изготовления матрицы ФЧЭ. В частности, в рамках данной статьи под величиной δ рассматривается остаточная неоднородность чувствительности $\sigma_{\text{онч}}$ – геометрический шум изображения σ_r [10]:

$$\Phi = \sigma_r - F(\hat{p}). \quad (10)$$

В работах [6, 10] показано, что существенное влияние на качество изображения оказывает величина ГШ. При этом в [10] получены предпосылки идеи оценки качества фотоприемников, а именно: качество изображения тем выше, чем ниже величина отношения геометрического шума к временному шуму $\sigma_{\text{вр}}$ (C_k – коэффициент качества коррекции [13]), т. е. когда временная компонента

общего шума канала будет преобладать над пространственной компонентой.

Или, другими словами, можно сказать, что если при превышении полезного сигнала над шумом улучшаются условия регистрации объекта (вероятность обнаружения), то, аналогично, при превышении пространственного шума над временным шумом первый визуализируется, накладываясь на полезный сигнал. При этом очевидно, что для снижения паразитного воздействия пространственного шума его следует снижать, и предельным оптимальным случаем здесь является величина отношения $\sigma_r/\sigma_{\text{вр}} = 1$ (аналогично соотношению $c/\text{ш} = 1$).

В этой связи за эталонное решение примем величину $C_k = 1$, что означает равенство пространственного и временного шумов, а условие минимизации для Φ по выражению (10) запишем следующим образом:

$$0 \leq 1 - \hat{C}_k \leq 1 \quad (11)$$

где $\hat{C}_k = \hat{\sigma}_r / \hat{\sigma}_{\text{вр}}$, $\hat{\sigma}_r$ и $\hat{\sigma}_{\text{вр}}$ – геометрический и временной шум, полученные при решении (9) и рассчитанные по выражениям из работы [10].

При подстановке предельных значений $\hat{\sigma}_r$ и $\hat{\sigma}_{\text{вр}}$ в выражение (11), а также учитывая диапазон ограничивающий величину \hat{C}_k , выражение (11) можно записать как

$$0 \leq \hat{C}_k \leq 1. \quad (12)$$

Соответственно, выражение функционала невязки (10) вырождается в выражение:

$$\Phi = \hat{C}_k. \quad (13)$$

Алгоритм, отображающий идею оптимизации качества фотоприемных устройств, представлен на рис. 1 в виде графа, где последовательность действий осуществляется последовательно, в цикле до получения требуемого качества ФПУ и в соответствии с приведенной на рисунке нумерацией.

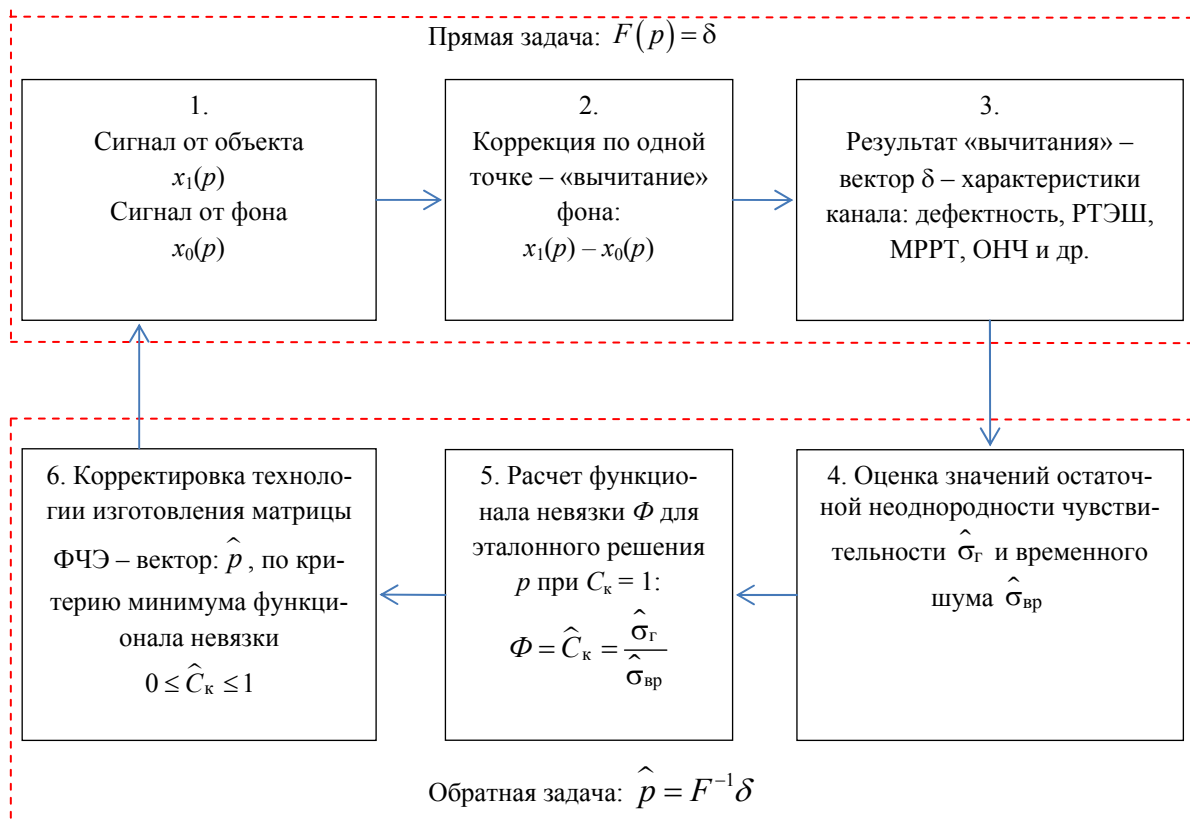


Рис. 1. Граф алгоритма оптимизации качества ФПУ по критерию минимума C_k .

Эксперимент

На основании изложенного выше был поставлен эксперимент по оценке качества фотоприемных устройств с использованием выражения (11).

Список используемых фотоприемных устройств приведен в табл. 1.

Материал фоточувствительных элементов – КРТ (кадмий-ртуть-теллур). Время накопления

и напряжение смещения фотоэлементов ФПУ были установлены в соответствии с рекомендациями производителей. При расчете временного и пространственного шума на входном зрачке оптической системы тепловизионного канала формировался однородный поток заданной температуры – 25 °С.

Таблица 1

№	Производитель	Год производства	Формат матрицы	Диапазон чувствительности, мкм	Шаг фотоэлемента, мкм	Материал подложки
1	Софрадир «Mars»	2005	320×256	8–12	30×30	CdZnTe
2	Софрадир «Epsilon»	2008	384×288	3–5	15×15	CdZnTe
3	ИФП СО РАН	2011	320×256	8–12	30×30	GaAs
4	ИФП СО РАН	2011	320×256	8–12	30×30	GaAs
5	ИФП СО РАН	2016	320×256	3–5	30×30	Si
6	ИФП СО РАН	2017	320×256	8–12	30×30	Si
7	ИФП СО РАН	2017	320×256	8–12	30×30	GaAs
8	ИФП СО РАН	2018	320×256	8–12	30×30	Si
9	ОРИОН «ФЭМ10М»	2015	4×288	8–12	42×56	GaAs
10	Софрадир «PLUTON LW»	2015	4×288	8–12	43×56	CdZnTe
11	ИФП СО РАН	2014	4×288	8–12	43×56	GaAs

Для фотоприемников из табл. 1 осуществлялась выборка $K = 1000$ кадров выходного видеопотока приемника (в течение 20 секунд), после чего выполнялся расчет кадров ОНЧ по формуле:

$$y_n = x_n - x_0, \quad (14)$$

где x_0 – нулевой кадр выборки K (начало выборки), x_n – кадр n выборки K , y_n – результат вычитания нулевого кадра из каждого последующего кадра выборки K (или иначе: y_n – кадр n остаточной неоднородности в выборке K).

Здесь нужно отметить, характерную особенность при коррекции в ТВП по выражениям (1) или (2): с течением времени, после обновления составляющей фона b , на изображении проявляются темные и светлые пиксели, их кластеры – сигналы от дефектных фотоэлементов [1, 11, 12]. В этой связи очевидным является влияние ДЭ на уровень σ_r фотоприемника: чем больше процент дефектности ФПУ или больше их интенсивность,

тем больше их влияние на результат расчетов C_k . В этом случае величина C_k сдвигается в большую сторону, тем самым занижая качество фотоприемника. В то же время неоднородность недефектных фотоэлементов может удовлетворять выражению (11), характеризуя их качество как приемлемое. Следовательно, целесообразно рассчитывать величину C_k для двух вариантов: с учетом ДЭ – $C_{кд}$ и без их учета – $C_{кнд}$. Это позволит оценивать качество формирования изображения сцены (величина $C_{кнд}$) при понимании вклада сигналов ДЭ в величину пространственного шума.

С учетом изложенного, по выражениям для расчета σ_r и $\sigma_{вр}$ из [10] были получены значения $C_{кд}$ и $C_{кнд}$ для матричных фотоприемников, представленные на рис. 2 и 3 соответственно. Для линейчатых фотоприемников существенной разницы между значениями $C_{кд}$ и $C_{кнд}$ не наблюдалось, поэтому для анализа качества ЛФПУ использовались значения $C_{кд}$ (см. рис. 4).

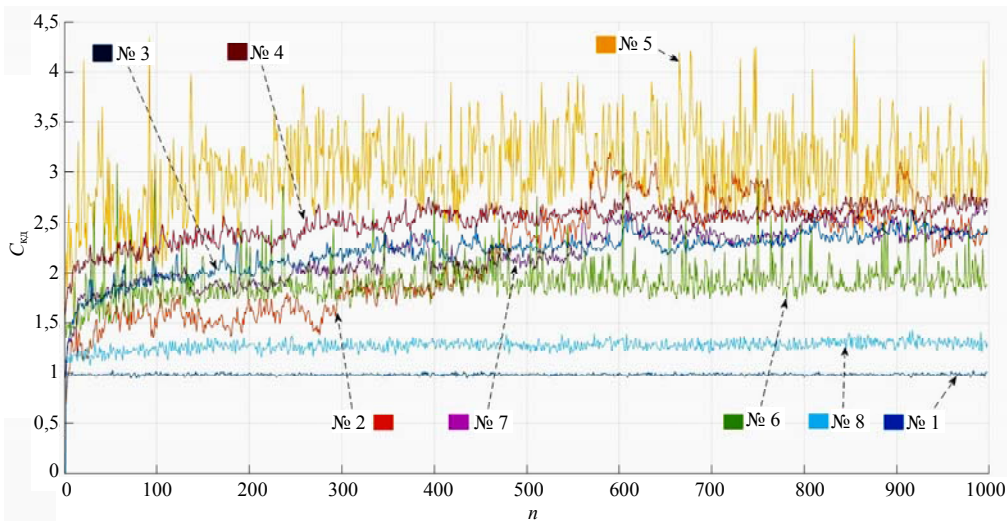


Рис. 2. Изменение величины $C_{кд}$ матричных фотоприемников во времени, т. е. по порядковому номеру кадра n .

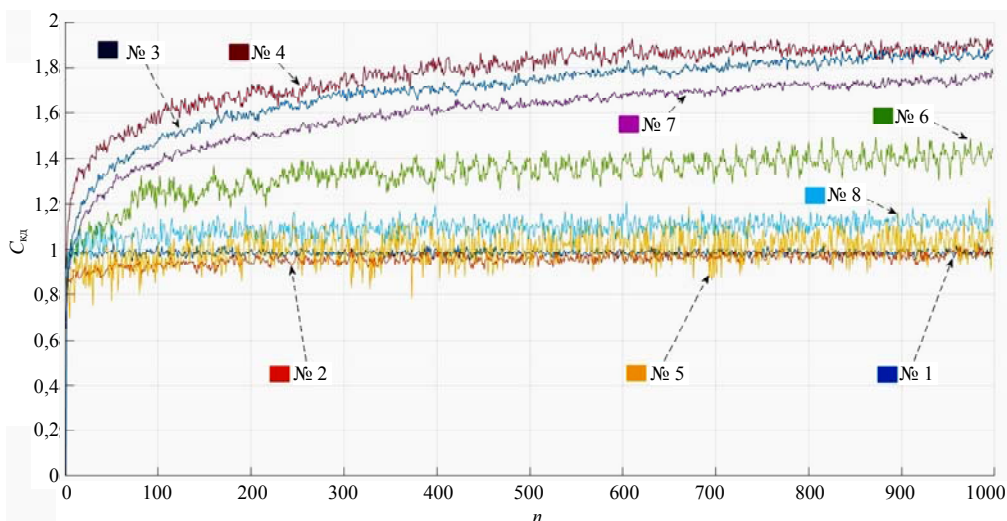


Рис. 3. Изменение величины $C_{кнд}$ матричных фотоприемников во времени, т. е. по порядковому номеру кадра n .

Анализ графиков, представленных на рис. 2 и 3

1. Фотоприемники производства «Софрадир» № 1 «Mars» и № 2 «Epsilon».

Для ФПУ № 1 и № 2 величина $C_{кнд} \approx 1$, причем по недефектным элементам преимущество у ФПУ № 2 ($C_{кнд} \text{ ФПУ № 2} < C_{кнд} \text{ ФПУ № 1}$). При этом нестабильность $C_{кд}$ – высокая (нестабильность по кадрам от 300 до 400 СКО $\approx 0,1$, за всю выборку СКО $\approx 0,35$), интенсивность – высокая, с нарастанием по времени (в 2 раза за 20 с). Для ФПУ № 1 вклад сигнала ДЭ в ГШ незначителен (менее 1 %). Преимущество по ДЭ – у ФПУ № 1.

ФПУ № 1 – наилучшее качество по критерию (11).

2. Фотоприемники № 3, № 4 и № 7. Производство ИФП СО РАН, 2011 г. и 2017 г., формат 320×256, 8–12 мкм.

ФПУ выполнены на подложке из GaAs, что, возможно, определяет приблизительно равное поведение и величину $C_{кд}$ и $C_{кнд}$. Так, величина $C_{кнд}$ в 1,5 раза больше, чем для приемников № 1 и № 2. ДЭ увеличивают величину $C_{кд}$ в 1,7 раза, что больше уровня $C_{кд}$ приемника № 1 и сопоставимо с уровнем $C_{кд}$ приемника № 2. Характер нестабильности для $C_{кд}$ и $C_{кнд}$ значительно ровнее, чем у приемника № 2. Изменение неоднородности $C_{кнд}$ по кадрам сопоставимо по характеру и величине (СКО $\approx 0,15$) с фотоприемником № 1. По недефектным элементам $C_{кнд} \text{ ФПУ № 4} < C_{кнд} \text{ ФПУ № 3} < C_{кнд} \text{ ФПУ № 8}$, по $C_{кд}$ фотоприёмники имеют приблизительно равные значения. Являются ранними изделиями ИФП СО РАН (приемник № 7 характеризуется близкими к № 3, № 4 значениями неоднородности, что подтверждает изготовление матрицы ФЧЭ в 2011 г.) и по качеству значительно уступают импортным матрицам.

3. Фотоприемник № 5. Производство ИФП СО РАН, 2016 г., формат 320×256, 3–5 мкм, подложка из Si.

Качество по недефектным элементам сопоставимо с фотоприемниками № 1 и № 2, но при немного большей нестабильности по кадрам. Вклад ДЭ в неоднородность существенный – увеличение $C_{кд}$ в 3,0 раза. Нестабильность по кадрам $C_{кд}$ высокая, наибольшая из исследуемых МФПУ, а именно, СКО $\approx 0,3$, за всю выборку СКО $\approx 0,5$.

Аналогично приемнику «Epsilon», показал низкую неоднородность фотоэлементов при большой интенсивности и нестабильности дефектов.

4. Фотоприемник № 6. Производство ИФП СО РАН, 2017 г., формат 320×256, 8–12 мкм, подложка из Si.

Промежуточный вариант по неоднородности: уровни $C_{кд}$ и $C_{кнд}$ находятся между ФПУ «Софрадир» и ФПУ № 3, № 4, № 7. С 400-го кадра изменение $C_{кнд}$ приобретает характерную периодичность, что указывает на возможное наложение на $C_{кнд}$ помехи от электрических схем. Является экспериментальным образцом использования подложки из Si, что может объяснять его высокую неоднородность при относительной стабильности.

5. Фотоприемник № 8. Производство ИФП СО РАН, 2018 г., формат 320×256, 8–12 мкм, подложка из Si.

Наиболее близкий к ФПУ № 1 и № 2 по величине $C_{кд}$ и $C_{кнд}$ фотоприёмник. Превышение по $C_{кнд}$ – в 1,1 раза, по $C_{кд}$ – в 1,2 раза, воздействие ДЭ на величину $C_{кд}$ минимально. Изменение по кадрам $C_{кнд}$ сопоставимо по характеру и величине СКО $\approx 0,23$ с фотоприемником № 4. Изменение по кадрам $C_{кд}$ сопоставимо по характеру с фотоприемником № 6 и величине СКО $\approx 0,23$ с фотоприемником № 3, № 4, № 5, № 7. Имеет лучшее качество из представленных отечественных МФПУ.

6. Величина $C_{кнд}$ для МФПУ изменяет свое значение по зависимости, близкой к корню степени m . Причем степень m тем выше, чем более пологой является кривая $C_{кнд}$ или чем более высокое качество показывает МФПУ.

Выводы по анализу МФПУ

Из представленных МФПУ приемники «Софрадир» показывают лучшие характеристики и могут быть приняты за эталон при решении обратной задачи (9). Наблюдается улучшение характеристик ФПУ при использовании технологии получения матриц ФЧЭ на подложках из кремния [14].

Образец МФПУ 2018 г. на подложке из кремния наиболее близок по характеристике $C_{кд}$ к эталону, что подтверждает высокую эффективность найденных решений \hat{p} .

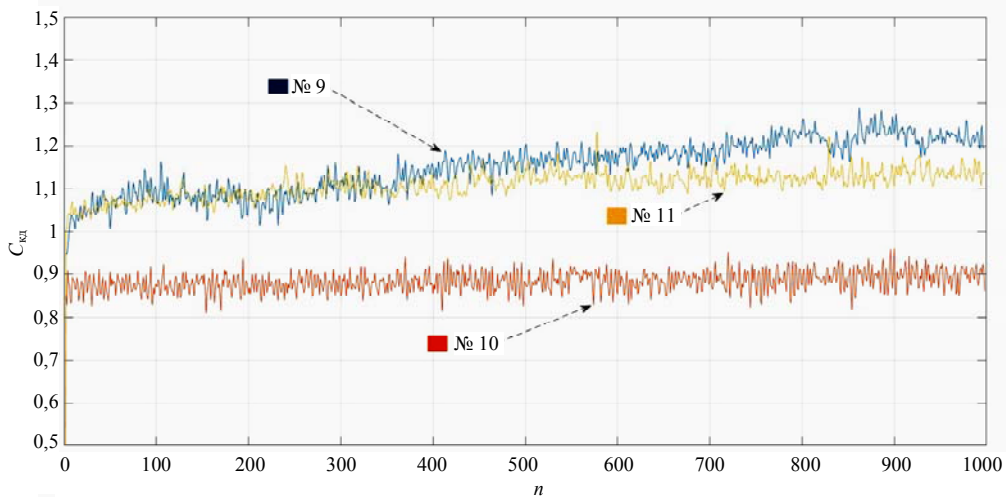


Рис. 4. Изменение величины $C_{кд}$ линейчатых фотоприемников во времени, т. е. по порядковому номеру кадра n .

Анализ графиков, представленных на рис. 4

Фотоприемники производства НПО «ОРИОН» № 9 «ФЭМ10М», ИФП СО РАН № 11 и «Софрадир» № 10 «PLUTON».

Для ФПУ № 10 средняя величина $C_{кд}$ стабильна в течении выборки K и равна 0,9, увеличение величины $C_{кд}$ незначительное – с 0,88 в начале выборки и до 0,9 в конце выборки. Для фотоприемника № 9 величина $C_{кд}$ в течении выборки K возрастает от 1,05 до 1,12, дрейф $C_{кд}$ наибольший из линейчатых ФПУ. Для ФПУ № 11 дрейф $C_{кд}$ меньше, чем ФПУ № 9, но незначительно – с 1,05 в начале выборки и до 1,12 в конце выборки. ФПУ № 11 имеет сопоставимое качество по величине $C_{кд}$ с матричным фотоприёмником № 8.

Вывод по анализу ЛФПУ

Линейчатый фотоприёмник «Софрадир» показал лучшее качество из всех исследуемых в данной работе фотоприемников. В сравнении с зарубежным аналогом ФПУ № 9 и ФПУ № 11 отечественного производства имеют более низкое качество неоднородности – в 1,2 раза (на начало выборки).

На основе проведенного анализа данных рис. 2–4 и с учетом выражения (11), окончательно, критерий качества фотоприемного устройства можно сформулировать следующим образом: если величина C_k стационарна во времени, а ее значение $0 \leq C_k \leq 1$, то фотоприемное устройство способно формировать качественное тепловизионное изображение и технология изготовления матрицы ФЧЭ является оптимальной по критерию минимизации величины пространственного шума.

Заключение

В работе получен объективный критерий качества фотоприемного устройства, в его основе – использование коэффициента качества коррекции неоднородности C_k , позволяющего оценивать способность фотоприёмников формировать качественное изображение.

Критерий получен как функционал невязки обратной оптимизационной задачи с учетом анализа ранее изложенных материалов [10], опробован и уточнен в ходе проведения эксперимента по измерению пространственного шума фотоприёмников.

Показано, что величина пространственного шума современных импортных МФПУ ($C_k \approx 0,9–1,0$) и ЛФПУ ($C_k \approx 0,9$) не превышает уровня временного шума, что соответствует требованиям к неоднородности фотоприёмников, сформулированным в [6].

При оценке отечественных МФПУ производства ИФП СО РАН получены значения величины $1 \leq C_k < 2$. При этом перспективу на достижение показателя C_k с уровнем менее единицы (соизмеримого с C_k импортных фотоприемников) показали фотоприемные устройства, полученные по технологии роста матриц ФЧЭ на подложках из кремния [14].

Отечественные линейчатые фотоприёмники производства НПО «ОРИОН» и ИФП СО РАН по показателю C_k уступают в 1,1–1,2 раза фотоприемнику «PLUTON» производства «Софрадир». В этой связи для удовлетворения критерия (11) при использовании отечественных ЛФПУ в ТВП могут использоваться дополнительные специальные меры коррекции изображения [2].

Развитием работы представляется поиск прогнозных признаков для оценки надежности матрицы фотоприёмника в условиях длительной эксплуатации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кремис И. И., Толмачев Д. А., Гладков Р. А. // Прикладная физика. 2017. № 1. С. 58.
2. Кремис И. И. // Прикладная физика. 2016. № 6. С. 109.
3. Электронный ресурс: <http://orion-ir.ru>
4. Электронный ресурс: <http://www.sofradir.com/products>
5. Сидоров Ю. Г. / Труды XXV Международной научно-технической конференции по фотоэлектронике и приборам ночного видения (в 2-х томах). Том 1. – М.: АО «НПО «Орион», 2018.
6. Ллойд Дж. Системы тепловидения. – Изд-во «Мир», 1978.
7. Соляков В. Н., Жегалов С. И., Морозова В. Г. // Прикладная физика. 2009. № 5. С. 99.
8. Триболе Ф., Дестефанис Ж. // Прикладная физика. 2007. № 2. С. 54.
9. Жегалов С. И., Соляков В. Н., Фетюхина В. Г. // Прикладная физика. 2011. № 2. С. 80.
10. Кремис И. И. // Успехи прикладной физики. 2018. Т. 6. № 3. С. 252.
11. Кремис И. И. // Прикладная физика. 2010. № 4. С. 91.
12. Кремис И. И. // Научно-технические технологии. 2010. Т. 11. № 2. С. 53.
13. Driggers R. G. et al. // Optical Engineering. 1999. Vol. 38. No. 5. P. 46. doi.org/10.1117/1.602249
14. Якушев М.В., Брунев Д.В., Варавин В.С., Васильев В.В., Дворецкий С.А., Марчишин И.В., Предеин А.В., Сабина И.В., Сидоров Ю.Г., Сорочкин А.В. // Физика и техника полупроводников. 2011. Т. 45. Вып. 3. С. 396.
15. Якубов В. П. Обратные задачи радиофизики. – Томск, Изд-во НТЛ, 2016.

PACS: 07.07.Df, 07.57.- c, 81.05.Ea, 81.65.Rv

Index of inhomogeneity correction as a criterion of quality of infrared photodetectors

I. I. Kremis

Novosibirsk Branch of the Institute of Semiconductor Physics
of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences
«Technological Design Institute of Applied Microelectronics»
(NB ISP SB RAS TDIAM)
8 Nikolaeva str., Novosibirsk, 630090, Russia
Email: igor21738@ngs.ru

Received September 11, 2018

The aim of the work is to obtain the quality criterion of the photodetector determining its ability to form a high-quality thermal image. The quality criterion is found as the residual functional of the inverse optimization problem, and its minimization is the optimization of the manufacturing technology of the matrix of photosensitive elements. The criterion is the value of C_k equal to the ratio of spatial noise to time noise: if the value of C_k is stationary in time, and its value is $0 \leq C_k \leq 1$, then the photodetector is able to form a high-quality thermal image and the manufacturing technology of the pche matrix is optimal for the criterion of minimizing the value of spatial noise.

Keywords: residual heterogeneity, the sensitivity of the photodetector, the criterion of quality.

REFERENCES

1. I. I. Kremis, Prikl. Fiz., No. 1, 58 (2017).
2. I. I. Kremis, Prikl. Fiz., No. 6, 109 (2016).
3. <http://orion-ir.ru>
4. <http://www.sofradir.com/products>
5. U. G. Sidorov, in Proc. International Scientific and Technical Conference on Photoelectronics and Night Vision Devices. Vol. 1 (Moscow, NPO ORION, 2018).
6. J. M. Lloyd. Thermal Imaging Systems. (Mir, Moscow, 1978) [in Russian].
7. V. N. Soliakov, S. I. Zhegalov, and V. G. Morozova, Prikl. Fiz., No. 5, 99 (2009).
8. F. Tribole and J. Destifanis, Prikl. Fiz., No. 2, 54 (2007).
9. S. I. Zhegalov, V. N. Solyakov, and V. G. Fetyukhina, Prikl. Fiz., No. 2, 80 (2011).
10. I. I. Kremis, Usp. Prikl. Fiz. 6 (3), 252 (2018).
11. I. I. Kremis, Prikl. Fiz., No. 4, 91 (2010).
12. I. I. Kremis, Naukoemkie Tekhnologii 11 (2), 53 (2010).
13. R. G. Driggers et al., Optical Engineering 38 (5), 46 (1999). doi.org/10.1117/1.602249
14. M. V. Yakushev, D. V. Brunev, V. S. Varavin, et al., Semiconductors 45 (3), 396 (2011).
15. V. P. Yakubov, Inverse problems of Radiophysics (Tomsk, Publishing house of NTL, 2016) [in Russian].