

УДК 621.397

## Сканирующий тепловизионный прибор на базе отечественного фотоприемного устройства

*И. И. Кремис, В. С. Калинин, В. Н. Федоринин, Ю. М. Корсаков, К. П. Шатунов*

*Представлены результаты разработки тепловизионного прибора на базе ФПУ ФЭМ10М производства АО «НПО «Орион». В результате выполнения мероприятий по доработке конструкции ТПК-3 под отечественный фотоприемник был разработан, настроен и испытан тепловизионный прибор ТПК-3Р на базе отечественной многорядной линейки. Прибор не уступает в характеристиках МРРТ и РТЭШ тепловизору, использующему импортный фотоприемник. Используемый в приборе ТПК-3Р комплекс алгоритмов обработки изображения позволяет получить качество тепловизионного изображения не хуже изображения, получаемого с прибора ТПК-3. Развитием полученного результата может стать выполнение комплекса мероприятий, направленных на достижение полной автоматизации калибровочных процессов в ТВП.*

PACS: 42.30.Va

*Ключевые слова:* фильтрация, двухточечная коррекция, тепловизор.

### Введение

В настоящее время тепловизионные приборы [1—8] являются одним из основных каналов информационных систем, призванных решать задачи обнаружения, наблюдения, прицеливания в любое время суток. и поэтому они широко применяются в различных изделиях специальной техники.

Основой тепловизионного прибора является фотоприемник. При этом он определяет такие основные параметры тепловизора, как дальность действия, чувствительность, спектральную область применения, помехоустойчивость, разрешающую способность и др. характеристики.

На предприятии «КТИПМ», т.е. в Филиале ИФП СО РАН, налажен серийный выпуск тепловизионной камеры (далее по тексту — ТПК-3) на базе линейчатого фотоприемника PLUTON LW LS5 производства фирмы Sofradir (Франция), имеющего диапазон 8—12 мкм и формат 4×288 (см. рис. 1, а).

---

**Кремис Игорь Иванович**, зав. отделом.

**Калинин Виталий Сергеевич**, зав. сектором.

**Федоринин Виктор Николаевич**, руководитель Филиала ИФП СО РАН «КТИПМ».

**Корсаков Юрий Михайлович**, зам. главного конструктора.

**Шатунов Константин Павлович**, зав. отделом.

Филиал ИФП СО РАН «КТИПМ».

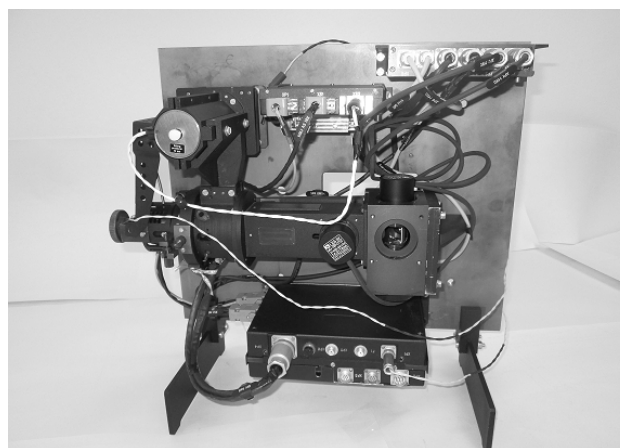
Россия, 630090, Новосибирск, просп. Академика Лаврентьева, 2/1.

E-mail: ktipm@oesd.ru

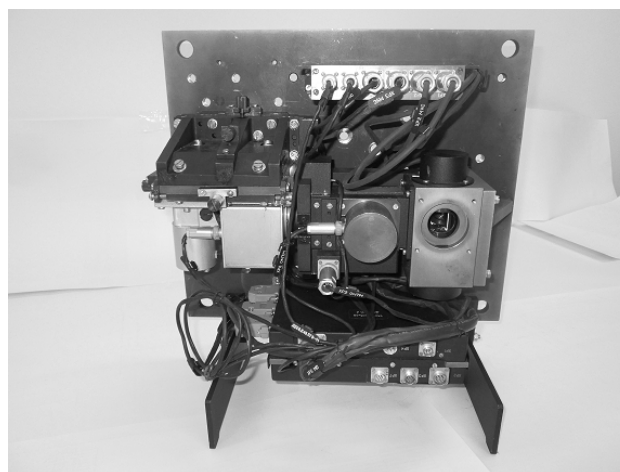
*Статья поступила в редакцию 12 августа 2016 г.*

---

© Кремис И. И., Калинин В. С., Федоринин В. Н., Корсаков Ю. М., Шатунов К. П., 2016



а



б

**Рис. 1.** Внешний вид тепловизоров: а — ТПК-3; б — ТПК-3Р.

В связи с проведением мероприятий по модернизации ТПК-3, была выполнена доработка конструкции тепловизора ТПК-3 под отечественный фотоприемник ФЭМ10М производства АО «НПО «Орион», имеющего рабочий диапазон 8—12 мкм и формат 4×288 (см. рис. 1, б). При этом основным требованием, предъявляемым к доработанному тепловизору, являлось следующее: прибор не должен уступать ТПК-3 в характеристиках МРРТ (минимально разрешаемая разность температур), РТЭШ (разность температур, эквивалентная шуму) и визуальном качестве изображения.

В результате был создан прибор (далее по тексту — ТПК-3Р) на базе упомянутого отечественного фотоприемного устройства (ФПУ), являющийся по своим характеристикам аналогом ТПК-3. В приборе использованы одинаковые или близкие по своим характеристикам к ТПК-3: система электронной обработки сигналов [4, 7], сканирующие устройства и объектив.

### Изложение результатов

Обработка тепловизионного изображения в тепловизорах ТПК-3 и ТПК-3Р осуществляется посредством выполнения операций, реализующих алгоритм двухточечной коррекции [1—3]. Для получения коэффициентов неоднородности по смещению используется калибровочный элемент в виде опорного источника требуемой температуры. Коэффициенты неоднородности по чувствительности фотоэлементов рассчитываются однократно, а именно, при калибровке прибора.

Изображения в тепловизорах ТПК-3 и ТПК-3Р, полученные после применения двухточечной коррекции, показаны на рис. 2. При этом приборы использовались одновременно и наблюдали одинаковую сцену. Визуальное сравнение указанных рисунков позволяет отметить, что для ТПК-3 наблюдается большее количество дефектных строк, чем для ТПК-3Р [5, 6, 9].



а



б

Рис. 2. Скорректированное по двум точкам изображение в тепловизорах: а — ТПК-3; б — ТПК-3Р.

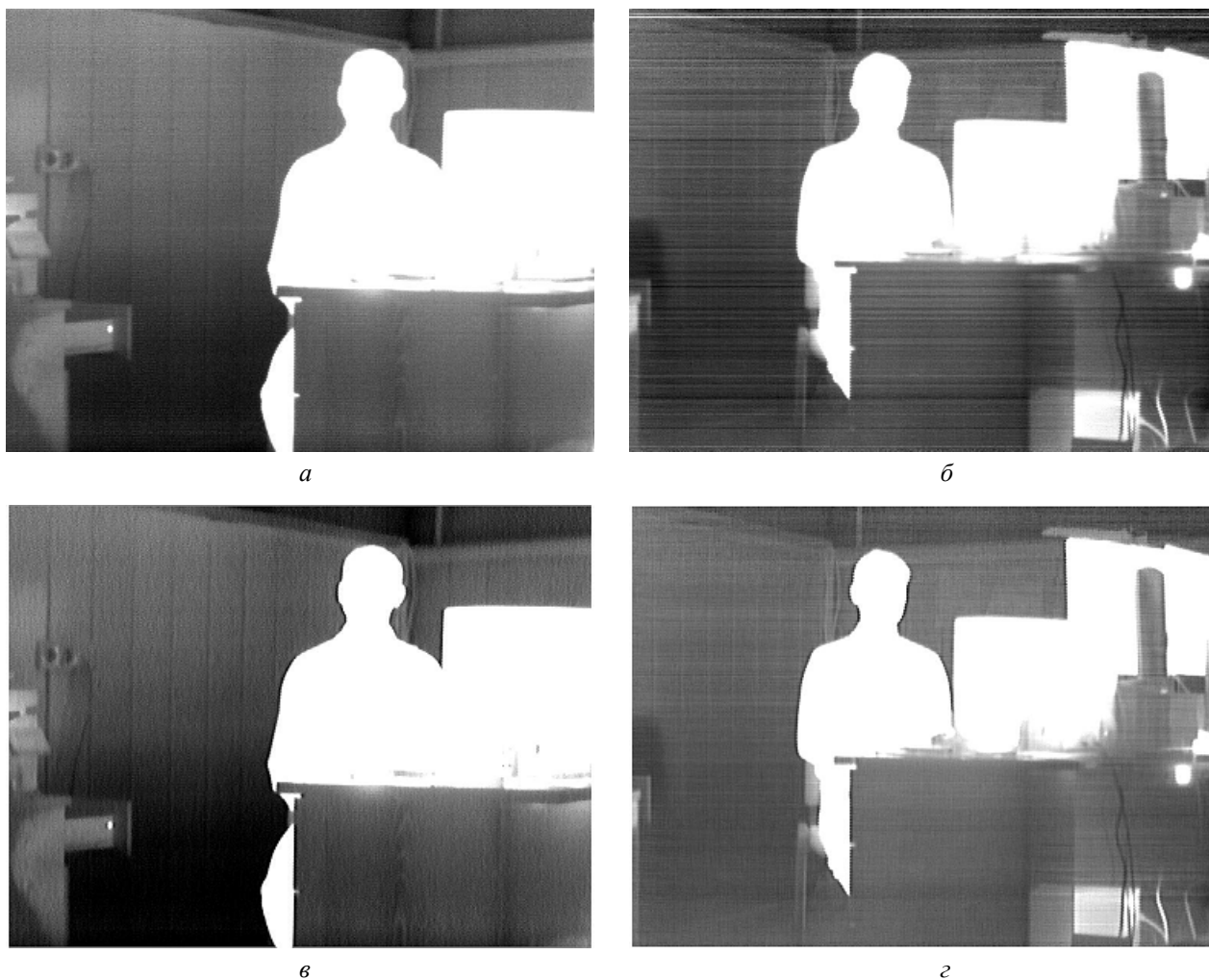
Здесь следует отметить, что изображения, приведенные на рис. 2 и ниже, на рис. 3, получены в режиме АРУ, настроенного на максимум контраста, что позволяет оценивать возможность применения метода и величину остаточной неоднородности при наличии ярких объектов в сцене.

В исследуемых тепловизорах используются линейчатые фотоприемники с расположением фотоэлементов в четыре ряда [10—13]. Для фотоприемника это позволяет получить предельные значения по чувствительности и пространственному разрешению при его использовании в режиме ВЗН (временная задержка с накоплением). В режиме ВЗН сигналы со всех фоточувствительных элементов канала суммируются последовательно, в результате чего отношение сигнал/шум многорядно-

го ФПУ возрастает в корень из  $N$  раз, где  $N$  — количество фоточувствительных элементов в составе ВЗН-канала [8].

При этом наличие дублирующих рядов позволяет оперативно отключать нерабочие (дефектные) фотоэлементы [5, 6, 14] канала, и сигнал после ВЗН в этом случае, будет определяться оставшимися рабочими фотоэлементами. Это позволяет получать фактически бездефектное изображение с линейчатого фотоприемника.

Здесь основная проблема состоит в разработке оптимального критерия обнаружения дефектных элементов и пересчете коэффициентов чувствительности элементов в соответствии с рабочими элементами канала.



**Рис. 3.** Изображение после двухточечной коррекции, дефектные каналы отключены: а — ТПК-3; б — ТПК-3Р; после фильтрации остаточной неоднородности: в — ТПК-3; г — ТПК-3Р.

В данных приборах используется алгоритм автоматического поиска и отключения дефектных элементов фотоприёмника по критерию, описанному в [6]. Алгоритм запускается по требованию оператора, причем время выполнения составляет не более двух минут. На рис. 3, а, б показано скорректированное по двум точкам изображение и с отключенными дефектами каналов.

Однако на рис. 3, а, б видно, что на тепловизионном изображении присутствует помеха в виде горизонтальных полос на изображении. Можно отметить, что для ТПК-3Р эта помеха выражена в большей степени, чем для ТПК-3. Данная помеха является проявлением остаточной неоднородности чувствительности приемника или, другими словами, ошибкой выравнивания, возникающей при выполнении двухточечной коррекции неоднородности фотоэлементов из-за несоответствия модели чувствительности элемента реальному отклику и дрейфа сигнала элемента с течением времени [5, 6, 8].

При сканировании пространства предметов изображение формируется по столбцам и ошибка выравнивания, являясь одинаковой для пикселей

строки, для разных строк различается, поэтому на изображении появляются полосы.

Для устранения остаточной неоднородности изображения был разработан метод фильтрации, основанный на частотном разложении. Метод не требует подстройки параметров к текущей сцене и нечувствителен к распределению интенсивности сигнала по полю изображения. Реализация фильтра не потребовала каких-либо конструктивных изменений в платах системы цифровой обработки сигналов приборов [4, 7]. Программный код фильтра для ПЛИС (программируемая логическая интегральная схема) идентичен при использовании в ТПК-3 и ТПК-3Р. Обработка осуществляется в реальном времени, т.е. применяется к каждому полю ТВ изображения, частота смены полей — 50 Гц.

Применение метода в ТПК-3 позволяет практически полностью удалить полосы остаточной неоднородности из изображения (см. рис. 3, в). Качество изображения ТПК-3Р (рис. 3, г) не уступает изображению с прибора ТПК-3 в режиме двухточечной коррекции, без фильтрации остаточной неоднородности (рис. 3, а).

Разработанные тепловизионные приборы имеют следующие основные характеристики:

Наименование параметра, единица измерения	ТПК-3, ТПК-3Р
Диапазон спектральной чувствительности, мкм	7,7—10,3
Поля зрения, град	24×18
Разность температур, эквивалентная шуму (РТЭШ), мК, не более	55
Минимально разрешаемая разность температур (МРРТ) на частоте 0,44 мрад <sup>-1</sup> , К, не более	0,36
Параметры выходного аналогового сигнала	ГОСТ 7845-92
Время готовности к работе, мин	5
Формат тепловизионного кадра	576×768
Потребляемая мощность, Вт	30
Номинальное напряжение питания, В	27
Диапазон рабочих температур, °С	-40 +50
Габаритные размеры, мм	500×400×250
Масса, кг, не более	11,9

### Заключение

В результате выполнения мероприятий по доработке конструкции тепловизора ТПК-3 под отечественный фотоприемник был разработан, настроен и испытан тепловизионный прибор ТПК-3Р на базе отечественной многорядной линейки ФЭМ10М производства АО «НПО «Орион», имеющей рабочий диапазон 8—12 мкм и формат 4×288.

Прибор ТПК-3Р не уступает в характеристиках МРРТ и РТЭШ тепловизору ТПК-3, используемому импортный фотоприемник PLUTON LW LS5 производства фирмы Sofradir (Франция). Примененный в приборе ТПК-3Р комплекс алгоритмов обработки изображения позволяет получить качество тепловизионного изображения не хуже изображения, получаемого с прибора ТПК-3.

Развитием полученного результата может стать выполнение комплекса мероприятий, направленных на достижение полной автоматизации калибровочных процессов в тепловизионном приемнике.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Борзов С. М., Козик В. И., Потатуркин О. И. // Изв. вузов. Приборостроение. 2009. Т. 52. № 6.
2. Жегалов С. И., Соляков В. Н., Фетюхина В. Г. // Прикладная физика. 2011. № 2. С. 80.

3. Борзов С. М., Козик В. И., Феоктистов А. С. // Изв. вузов. Приборостроение. 2013. Т. 56. № 12.
4. Пат. № 98311. Российская Федерация, МПК Н04N5/33. Электронная система визуализации инфракрасного изображения для матричных тепловизоров. Кремис И. И.; заявитель и патентообладатель Учреждение Российской академии наук Институт физики полупроводников им. А. В. Ржанова СО РАН — № 2010116724/09; заявл. 27.04.2010; опубл. 10.10.2010.
5. Кремис И. И. // Прикладная физика. 2010. № 4. С. 91.
6. Кремис И. И. // Научные технологии. 2010. № 2. Т. 11. С. 59.
7. Пат. № 2423016. Российская Федерация, МПК Н04N5/33. Способ обработки сигналов фотоприемника и устройство для его осуществления / Кремис И. И. Заявл. 22.12.2009. Опубл. 27.06.2011.
8. Балиев Д. Л., Болтарь К. О. // Прикладная физика. 2015. № 3. С. 57.
9. Сидоров Г. Ю., Сабина И. В., Васильев В. В., Сидоров Ю. Г., Марчишин И. В., Предеин А. В., Якушев М. В., Базовкин В. М., Половинкин В. Г. / Тезисы докладов «ФОТОНИКА-2015».
10. Козлов К. В., Кузнецов П. А. // Прикладная физика, 2015. № 3. С. 61.
11. Васильев В. В., Предеин А. В., Варавин В. С., Михайлов Н. Н., Дворецкий С. А., Рева В. П., Сабина И. В., Сидоров Ю. Г., Сизов Ф. Ф., Суляков А. О., Асеев А. Л. // Оптический журнал. 2009. Т. 76. № 12.
12. Козлов А. И. // Оптический журнал. 2010. Т. 77. № 7.
13. Головин С. В., Мезин Ю. С., Седнев М. В., Еремчук А. И., Корнеева М. Д. // Прикладная физика. 2015. № 6. С. 74.
14. Акимов В. М., Болтарь К. О., Васильева Л. А., Демидов С. С., Иродов Н. А., Климанов Е. А. // Прикладная физика. 2015. № 1. С. 51.

## The scanning thermal imaging device on the basis of a domestic photodetector device

*I. I. Kremis, V. S. Kalinin, V. N. Fedorinin, Yu. M. Korsakov, and K. P. Shatunov*

Technological and Design Institute of Applied Microelectronics (TDIAM)  
as Novosibirsk Branch of the Institute of Semiconductor Physics,  
Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences  
8 Nikolaeva str., Novosibirsk, 630090, Russia  
Email: ktipm@oesd.ru

*Received August 12, 2016*

***Consideration is given to results of the development of thermal imaging device on the basis of a domestic sensor for infrared range.***

PACS: 42.30.Va

*Keywords:* filtering, two-point correction, thermal imager.

### REFERENCES

1. S. M. Borzov, V. I. Kozik, and O. I. Potaturkin, *Izv. Vuzov. Priborostromie* **52** (6), (2009).
2. S. I. Zhegalov, V. N. Solyakov, and V. G. Fetyukhina, *Prikl. Fiz.*, No. 2, 80 (2011).
3. S. M. Borzov, V. I. Kozik, and A. S. Feoktistov, *Izv. Vuzov. Priborostromie* **56** (6), (2013).
4. RF Patent No. 98311. April 27, 2010.
5. I. I. Kremis, *Prikl. Fiz.*, No. 4, 91 (2010).
6. I. I. Kremis, *Naukoemk. Tekhnol.* **11** (2), 59 (2010).
7. RF Patent No. 2423016. December 22, 2009.
8. D. L. Baliev and K. O. Boltar, *Prikl. Fiz.*, No. 3, 57 (2015).
9. G. Yu. Sidorov, P. V. Sabinina, V. V. Vasil'ev, et al., in *Proc. FOTONIKA-2015*.
10. K. V. Kozlov and P. A. Kuznetsov, *Prikl. Fiz.*, No. 3, 61 (2015).
11. V. V. Vasil'ev, A. V. Predein, V. S. Varavin, et al., *Optich. Zhurnal* **76** (12), (2009).
12. A. I. Kozlov, *Optich. Zhurnal* **77** (7), (2010).
13. S. V. Golovin, Yu. S. Mezin, M. V. Sednev, A. I. Eremchuk, M. D. Korneeva, *Prikl. Fiz.*, No. 6, 74 (2015).
14. V. M. Akimov, K. O. Boltar, L. A. Vasil'eva, S. S. Demidov, N. A. Irodov, and E. A. Klimanov, *Prikl. Fiz.*, No. 1, 51 (2015).