

# ДВУХКАНАЛЬНАЯ ТЕПЛОВИЗИОННАЯ КАМЕРА С ПРОТИВОФАЗНОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ ТЕПЛООВОГО ПОТОКА

*И.Б.Боженко<sup>1</sup>, С.А.Воронов<sup>2</sup>,  
П.А.Кондратов<sup>1</sup>, В.Ф.Ткаченко<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Национальный университет  
"Львовская политехника"  
г.Львов, ул. Ст.Бандеры, 12  
E-mail: ndki@polynet.lviv.ua

<sup>2</sup>Национальный технический университет  
Украины  
"Киевский политехнический институт"  
г.Киев, просп. Перемоги, 37  
E-mail: voronov@ntu-kpi.kiev.ua

*Для систем дистанционного мониторинга предлагается двухканальная тепловизионная камера на базе пировидикона, в которой не только существенно уменьшено влияние шумов мишени на полезный сигнал, но и компенсируются в реальном времени синхронные и асинхронные помехи. Имеется также возможность получения теплового стереоизображения.*

**Введение.** Применение в дистанционном мониторинге тепловизионных камер (ТПК) на пировидиконах (ПВ) упрощает и удешевляет его процедуру [1]. Вместе с тем на видеосигнал, формируемый ПВ (пиросигнал), негативно влияют:

- геометрическая неравномерность мишени ПВ;
- временная неравномерность т.н. "пьедестала" мишени, на уровне которого формируется информативная компонента ПВ;
- значительные асинхронные и синхронные помехи от внешних энергетических и сигнальных цепей, что является непременной принадлежностью среды, в которой проводится мониторинг;
- акустические помехи (пирозлектрики имеют также и определенные сегнетоэлектрические свойства).

Кроме того, качество теплового изображения существенно ухудшают:

- ряд известных тепловых явлений, в частности, термодиффузия и тепловая маскировка, ведущие к потере контуров элементов воспроизводимого изображения;
- такая общая для всех телевизионных систем проблема, как потеря глубины изображения.

Всё это затрудняет как координатную

привязку участков изображения, так и его идентификацию в целом, что, соответственно, снижает быстродействие и точность работы оператора.

Целью настоящей статьи является рассмотрение возможных путей преодоления указанных проблем на примере предлагаемой двухканальной ТПК.

Известные методы подавления помех в ТПК связаны со спецификой формирования пиросигнала.

Наиболее эффективно ТПК на ПВ работает при обтюрации [2]; её период как правило составляет:

$$T_m = 2T_f = 2(t_{tr} + t_{ri}), \quad (1)$$

где  $T_f$  – период поля развертки;

$t_{tr}$ ,  $t_{ri}$  – продолжительность, соответственно, прямого и обратного хода развертки.

Для двух смежных полей "положительный" ( $U_{S+}$ ) и "отрицательный" ( $U_{S-}$ ) пиросигналы ( $U_{S+} = U_i$ ,  $U_{S-} = U_{i+1}$ ), генерируемые в одной строке развертки (рис.1), можно определить как:

$$U_{S+} = P_+ + S_+ \pm U_n, \quad (2)$$

$$U_{S-} = P_- - S_+ \pm U_n, \quad (3)$$

где  $P_+$ ,  $P_-$  – уровни пьедестала при, соответственно, открытом и закрытом обтюраторе,  $P_+ \approx P_-$ ;

$S_+$ ,  $S_-$  – полезный сигнал,  $S_+ \approx S_-$ ;

$U_n$  – сигнал помехи.

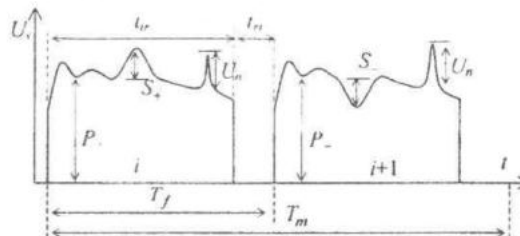


Рис. 1 - Временная диаграмма формирования пиросигнала

Для получения полезного униполярного сигнала обычно используют цифровой видеопроцессор разностной обработки (рис.2):

$$U_{\Sigma} = |U_i - U_{i+1}| = U_{S+} - U_{S-} \approx 2S_+ \pm U_n \quad (4)$$

Для устранения же в данном случае влияния помех высокочастотная фильтрация недостаточно эффективна; поэтому (при случайном характере помехи), применяется и накопление сигналов смежных полей:

$$U_{\Sigma} = \frac{1}{k} \cdot \left| \sum_{i=1}^k [(P_i \pm S_i) - (P_{i+1} \mp S_{i+1}) \pm U_m] \right| \approx S + \frac{\sqrt{k} \cdot U_k}{k} \quad (5)$$

где  $i$  – номер текущего кадра;  
 $k$  – количество накопленных кадров.

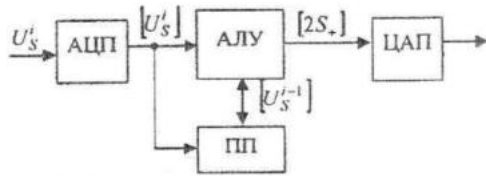


Рис. 2 - Структура цифрового видеопроцессора:  
 АЛУ - арифметико-логическое устройство;  
 ПП - память поля

Однако уровень pedestala, а также его временная и геометрическая неравномерность, как правило, значительно превышают амплитуду полезного сигнала:

$$P \geq (3 \div 10)S \pm 15 \div 30\% \quad (6)$$

Поэтому разностную обработку целесообразнее сделать двухступенчатой, аналого-цифровой. При ней сигнал  $U_s$  через АЦП поступает в память поля (обработка первого уровня), а затем при поступлении  $U_s$ , передается через ЦАП на операционный усилитель для разностной обработки по (4). Тем самым динамический диапазон цифровой обработки второго уровня (накопление и коррекция нерав-

номерности pedestala [3]) используется более эффективно: цифруется лишь полезная компонента.

Но такие методы не в достаточной мере уменьшают влияние асинхронных помех, совсем не компенсируют синхронные (т.к. здесь они воспринимаются как полезная компонента), а многокадровое накопление ведёт к малокадровому воспроизведению, что делает такую процедуру эффективной лишь для малодинамичных объектов.

Для повышения информативности формируемого в таких условиях изображения может быть использована двухдиапазонная ТПК, где второй канал используется для формирования параллельно с тепловым ещё и видимого изображения [4]. В то же время двухканальное построение ТПК с двумя ПВ может быть использовано и для компенсации помех.

Предлагаемая двухканальная структура основана на взаимной разностной обработке пиросигналов обоих каналов ТПК.

В такой ТПК (рис.3) инфракрасное (ИК) излучение объекта через оптико-делительный узел падает на мишени обоих ПВ.

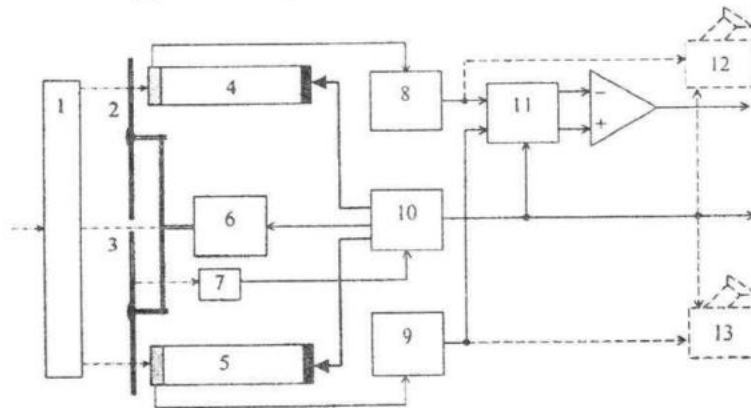


Рис. 3 – Структура двухканальной тепловизионной камеры: 1 - оптико-делительный узел, 2, 3 – обтюраторы, 4, 5 - пировидиконы, 6 - двигатель с системой привода обтюраторов, 7 - датчик положения обтюраторов, 8, 9 - видеоусилители, 10 - блок управления разверткой, 11 - коммутатор, 12, 13 - видеоискатели

Общую синхронизацию ТПК обеспечивает блок управления разверткой.

В результате синхронно-противофазной обтюрации в обоих каналах ТПК одновременно формируются пиросигналы, в которых информативные компоненты имеют противоположную полярность, а компоненты pedestala и помехи сохраняют её

независимо от фазы обтюрации.

Эти сигналы через видеоусилители и коммутатор (который переключается с периодом  $T_m$ ), поступают на соответствующий (прямой или инверсный) вход операционного усилителя; тем самым выполняется процедура (4), но с той разницей, что здесь в качестве  $S$  используется сигнал,

формирующийся во втором канале ТПК одновременно с  $S_+$ .

При этом, поскольку помехи действуют

$$U_{\Sigma} = |U_{S1} - U_{S2}| = (P_{-1} + S_{-1} + U_{n1}) - (P_{-2} + S_{-2} + U_{n2}) \approx 2S_+, \quad (7)$$

где "1", "2" – индексы компонент сигналов, формирующихся в, соответственно, первом и втором каналах ТПК.

Естественно, данный метод может быть эффективен лишь при условии обеспечения симметричности мишеней обоих ПВ, т.е. при  $P_1 = P_2, S_1 = S_2, U_{n1} = U_{n2}$ .

Компенсация влияния несимметричности необходима, т.к. на практике весьма проблематично обеспечить совпадение параметров обоих ПВ. При этом основной фактор – разность  $P_1 \neq P_2$ , т.к. согласно (6), разность между уровнями полезных сигналов и помех значительно меньше. Конечно, симметричности можно в определенной мере достичь подбором ПВ и режимной коррекцией [5], но, учитывая геометрическую и временную неравномерность чувствительности мишеней, это может оказаться недостаточным.

Пусть в какой-то момент времени разница между уровнями пьедесталов двух ПВ (рис.4 а, б) составляет:

$$P_{2+} = P_{1-} - \Delta P. \quad (8)$$

$$U_{\Sigma I} = (P_{-1} + S_{-}) - (P_{-1} - \Delta P - S_{-}) \approx 2S_{-} + \Delta P, \quad (9)$$

$$U_{\Sigma II} = (P_{-1} - \Delta P + S_{-}) - (P_{-1} - S_{-}) \approx 2S_{-} - \Delta P \quad (10)$$

А наличие разнополярной составляющей  $\pm \Delta P$  в выходном сигнале (рис.4в) ведет к поккадровому изменению фона, т.е. к мерцанию на экране монитора, что существенно усложняет работу оператора.

Для устранения этого эффекта авторы

$$U_{\Sigma} = U_{\Sigma I} + U_{\Sigma II} \approx (2S_{-} + \Delta P) + (2S_{-} - \Delta P) \approx 4S_{-}. \quad (11)$$

Это позволяет изъять из пиросигнала разнополярную составляющую  $\pm \Delta P$ , обусловленную разницей  $P_1 \neq P_2$ , и в определенной мере усреднить неравенства  $S_1 \neq S_2, U_{n1} \neq U_{n2}$ .

Реализация обтюрации выполнена применением двух вращающихся спиралевидных односекторных дисков (как наиболее эффективных и простых в действии). С помощью датчика положения оптико-электронная обратная связь обеспечивает их синхронизацию со строчной разверткой ПВ по фазе и частоте.

на оба канала одновременно и одинаково, результаты их влияния взаимокompенсируются:

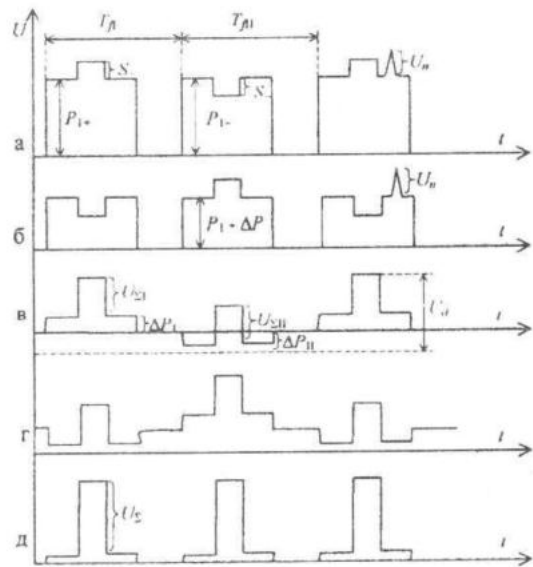


Рис. 4 – Временная диаграмма процесса компенсации несимметричности пьедесталов

Тогда в первой и второй фазах обтюрации (в течение  $T_n$  первый обтюратор открыт, второй закрыт, при  $T_{n1}$  – наоборот) результирующий сигнал составит, соответственно:

предлагают подключить к выходу ТПК цифровой видеопроцессор (с АЦП, настроенным на восприятие сигнала в всем его диапазоне, т.е. в зоне эффективной оцифровки  $U_d$ ) для суммирования сигналов двух смежных полей (рис.4 г, д):

Два диска необходимы во избежание облучения неидентичных участков мишеней во время обтюрации. Применение же лишь одного хотя и позволяет, в принципе, осуществлять одновременную противофазную обтюрацию, но, к сожалению, требует обращения изображения, формируемого вторым каналом. Кроме того, увеличение радиуса диска усугубляет проблемы его балансировки.

Реализация оптико-делительного узла может быть осуществлена на базе одного (рис.5а) или двух (рис.5б) ИК объективов.

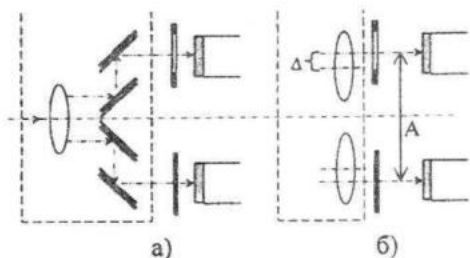


Рис. 5 – Варианты реализации оптического узла

Первый вариант требует большего фокусного расстояния объективов из-за наличия двух пар плоских зеркал с внешними слоями отражения. Эти пары симметричны относительно оптической оси объектива (главная оптическая ось ТПК). В каждой из них первые зеркала расположены на соответствующей оптической оси ПВ под углом  $45^\circ$  к ней.

Во втором варианте два объектива смещены относительно оптической оси ПВ на:

$$\Delta = A/2Q, \quad (12)$$

где  $A$  – расстояние между оптическими осями ПВ;

$Q$  – коэффициент усиления обоих объективов.

Преимущество первого варианта состоит в возможности иметь два тепловых изображения с только одним объективом. Преимущество второго – в лучшей функции передачи модуляции.

Задача создания теплового стереоизображения в случае применения варианта рис.5б может быть решена относительно просто. Для этого необходимо:

- обеспечить действие обоих обтюраторов в одной фазе;
- для приема бинокулярного изображения оборудовать ТПК двумя видеоискателями, подсоединенными к видеоусилителям ТПК (на рис.3 показаны штриховыми линиями).

При этом для получения униполярного полезного сигнала видеоискатели можно оборудовать цифровыми либо аналого-цифровыми видеопроцессорами, выполняющими процедуры (4) или (5).

Еще одна возможность создания стереоэффекта появляется при использовании двух объективов с разными фокусными расстояниями. При этом объектив первого

канала может быть сфокусирован на переднем плане объекта, а объектив второго – на заднем. Совмещение переднего и заднего планов (из-за инерционности зрения человека) в единое изображение позволит оператору более точно ориентироваться в состоянии исследуемого объекта.

**Выводы.** Предлагаемая пировидиконная двухканальная тепловизионная камера позволяет сравнительно просто выполнять разностно-суммарную обработку в течение одного-двух полей развертки. Это делает возможным эффективный контроль не только статических, но и динамических тепловых объектов. Вместе с тем обеспечивается компенсация влияния синхронных и асинхронных помех. Кроме того, данная структура делает возможным создание теплового стереоизображения, что значительно повышает возможности оператора при контроле состояния исследуемого объекта.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Госсорг Ж. Инфракрасная термография. - М.: Мир, 1988. - 216 с.
2. Боженко И.Б., Гой В.М., Кондратов П.А. Расширение функциональных возможностей тепловизионной камеры для инфракрасной термографии морских объектов// Системы контроля окружающей среды. Сборник научных трудов НАНУ. Севастополь: МГИ, 1999. - С.130-132.
3. Боженко И.Б., Воронов С.А., Кондратов П.А., Шаблатович А.Н. Видеопроцессор суммарно-разностной обработки для системы тепловизионного мониторинга энергетических объектов// Реестрация, зберігання та обробка даних. - 2003. - №2. - С.79-84.
4. Боженко И.Б., Гой В.М., Клушин Ю.С., Кондратов П.А. Процессорный тепловизионный комплекс с дополнительным каналом изображения в видимом диапазоне спектра// Системы контроля окружающей среды. Сборник научных трудов НАНУ. - Севастополь: МГИ, 2002. - С.272-273.
5. Боженко И.Б., Кондратов П.А., Ткаченко В.Ф. Усовершенствование режима работы высокочувствительного пировидикона в системе тепловизионного мониторинга// Системы контроля окружающей среды. Средства и мониторинг. Сборник научных трудов НАНУ. - Севастополь: МГИ, 2004. - С.146-148.