

УДК 621.397.13

*Доктор техн. наук Ю. С. Сагдуллаев,  
кандидат техн. наук С. Д. Ковин*

## ФОРМИРОВАНИЕ И СОВМЕСТНАЯ ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ СПЕКТРОЗОНАЛЬНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Рассмотрены вопросы формирования и совместной обработки сигналов в системах, осуществляющих регистрацию лучистого потока в нескольких зонах оптического спектра. Рассмотрена схема одновременного формирования сигналов цветных, спектрально-зональных и тепловизионных изображений, а также совместной обработки сигналов разносектральных изображений с использованием операций суммирования, вычитания и деления сигналов между собой.

**Ключевые слова:** системы прикладного телевидения, формирование разносектральных изображений, совместная обработка спектрально-зональных сигналов

### Введение

Для наблюдения объектов земной поверхности с летательных аппаратов (ЛА) используют различные прикладные телевизионные (ТВ) системы, каждая из которых имеет свои преимущества и недостатки. При формировании видеосигналов чёрно-белых ТВ изображений в видимом участке спектра, даже с высокой чёткостью, отсутствует возможность дополнительного различения объектов между собой по цветовым признакам. Необходимость перехода от чёрно-белых ТВ изображений к цветным, связана с тем, что при формировании цветных изображений формата *RGB* наиболее полно учитываются специфические особенности зрительного восприятия оптических изображений человеком, который в процессе своей эволюции привык видеть изображения окружающего пространства в цветном виде. Информативность цветного ТВ изображения по сравнению с идентичным чёрно-белым изображением может быть выше в среднем в два раза и зависит от наблюдаемого типа сюжета [1]. Здесь под информативностью понимается общее количество дополнительной различительной информации, которое

может получить потребитель по спектрально-энергетическим и пространственным признакам в цветных изображениях.

Спектрозональные технологии и системы формирования изображений обладают большей информативностью для обнаружения и различения объектов многокомпонентных изображений подстилающей поверхности Земли. Надо отметить, что в спектрозональных изображениях при их отображении в цветном варианте, наблюдаемые объекты имеют «условные» цвета. Например, в одном варианте отображения спектрозональной информации, вода может отображаться красным цветом, а снег зеленым, в другом варианте вода может быть в жёлтом, а снег в синем цвете и т. д. То есть каждый естественный и искусственный объект земной поверхности, в зависимости от алгоритма обработки сигналов, может отображаться в условных цветах и отличаться от реальных. При формировании цветных спектрозональных ТВ изображений (в условных цветах) может быть так, что два объекта будут различаться по цвету, хотя в идентичных цветных RGB изображениях (в реальных цветах) они будут одинаковыми [2]. При этом информативность формируемых спектрозональных ТВ изображений по сравнению с цветными RGB изображениями может быть значительно выше, и особенно, при различении объектов с одинаковыми пространственными признаками (в десятки раз).

С учётом «окон прозрачности» атмосферы спектрозональные ТВ изображения могут быть получены путём регистрации лучистого (светового) потока в ультрафиолетовой (УФ), видимой (ВИ) и инфракрасной (ИК) областях спектра:

- УФ области спектра 0,25...0,37 мкм;
- ВИ области спектра 0,38...0,76 мкм;
- ИК1 области спектра 0,77...2,5 мкм;
- ИК2 области спектра 3,0...5,0 мкм;
- ИК3 области спектра 8,0...14,0 мкм.

Прозрачность дистанционной среды между ЛА (самолетом, космическим аппаратом) и объектами земной поверхности может ухудшаться из-за неблагоприятных погодных условий: дожде, тумане или задымленной атмосфере, – что приводит к наблюдению слабоконтрастных объектов или к их полной потере. Это требует наряду с ВИ и ближней ИК областями спектра, использовать для ТВ наблюдения объектов и другие ИК области спектра. На сегодня существуют большой класс устройств тепловидения, в которых для регистрации излученного лучистого потока от объектов используют матричные фотоприёмники, работающие в кадровом ТВ формате, что делает такие системы в ряде случаев незаменимыми для наблюдения объектов земной поверхности в ночное время суток, даже в их чёрно-белом варианте.

Малая контрастность формируемых ТВ и тепловизионных (ТПВ) изображений, по своей природе может быть обусловлена различными причинами:

- слабой отражательной способностью объекта и фона (фактор  $w_1$ );

- близкими между собой спектральными характеристиками объекта и фона (фактор  $w_2$ );
- выбором не оптимальных спектральных участков (зон) регистрации лучистого потока для данного сочетания класса наземных объектов и фона (фактор  $w_4$ );
- слабой освещённостью объекта и фона (фактор  $w_5$ );
- слабой излучательной способностью объекта и фона (фактор  $w_6$ );
- малой температурной разностью объекта и фона (фактор  $w_7$ );
- плохой прозрачностью дистанционной среды (фактор  $w_8$ );
- неблагоприятными условиями наблюдения объектов (фактор  $w_9$ );
- временными условиями наблюдения объектов – день, ночь (фактор  $w_9$ ) и др.

Обобщенный показатель  $W$ , учитывающий состояние среды между ТВ-камерой и объектом и условия наблюдения, можно представить в виде:

$$W = [(\alpha_1 \cdot w_1) \cdot (\alpha_2 \cdot w_2), \dots, (\alpha_{n-1} \cdot w_{n-1}) \cdot (\alpha_n \cdot w_n)], \quad (1)$$

где  $\alpha_i$  – весовой коэффициент каждого  $w_i$ -го фактора, принимающий значения в интервале  $0 < \alpha_i \leq 1$ ,

На рис. 1 показано состояние прозрачности дистанционной среды для ВИ, ИК<sub>1</sub> и ИК<sub>2</sub> областей спектра в зависимости от условий наблюдения.

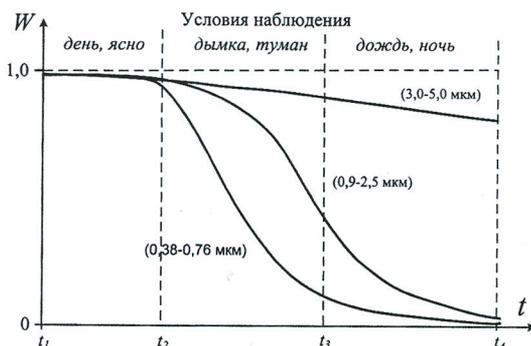


Рис. 1. Прозрачность дистанционной среды для различных участков спектра в зависимости от условий наблюдения

Известные в литературе данные показывают, что самыми высокими контрастами обладают природные образования Земли, либо в дневное время суток в ВИ области спектра, либо ночью в ИК каналах. Надо также отметить, что значение обобщенного показателя  $W$  определяют сезонные вариации (осень, зима, весна, лето). В ТПВ камерах контраст наблюдаемых изображений формируется, в основном, за счёт разности температур между окружающей поверхностью фона и объектом, например при наблюдении автомобиля – областью работы двигателя. В зимних условиях эти контрасты максимальны.

В публикациях [1]–[4] рассмотрены различные аспекты функционирования ТВ и ТПВ систем при различных условиях наблюдения и состоянии дистанционной среды. Важным моментом является использование ТВ-систем для решения задач наблюдения и распознавания объектов в условиях низкой

освещённости. В работах [4], [5] подробно описаны достоинства ближней ИК области спектра для ведения наблюдения в ночное время суток, к которым относятся: высокий уровень естественной ночной освещённости на длине волны  $\lambda = 1,6$  мкм, высокий уровень контраста наблюдаемых объектов, повышенная прозрачность атмосферы и ряд других факторов. При хорошей прозрачности дистанционной среды в дневное время цветные RGB ТВ-камеры обеспечивают более высокую вероятность обнаружения и распознавания объектов, формируя изображения в цветах, привычных для глаза человека-оператора. С другой стороны, при наличии в атмосфере пыли, дыма и аэрозольных частиц, для повышения контрастности изображений целесообразно регистрировать лучистый поток в ближней ИК области спектра в диапазоне длин волн 1,4...1,7 мкм.

Всё это говорит о необходимости построения интегрированных многоканальных ТВ-систем, осуществляющих формирование сигналов с использованием нескольких спектральных зон (участков) регистрации лучистого (светового) потока.

### Способ формирования, обработки и отображения цветных, спектральнональных и тепловизионных изображений

Способы формирования, обработки и передачи сигналов цветных, спектральнональных и ТПВ изображений могут быть:

- последовательными;
- одновременными;
- одновременно-последовательными.

Примем, что спектральнональные ТВ-системы (СТС) могут быть последовательными или одновременными системами по способу формирования спектральнональных сигналов и их передачи по каналу связи. Ниже в табл. 1 показаны основные их разновидности.

Таблица 1

	Способ формирования сигналов	Способ передачи сигналов	Наличие памяти на приёмной стороне
1.	Последовательный	последовательный	+
2.	Одновременный	одновременный	-
		последовательный	+

На рис. 2 показан один из вариантов структурной схемы СТС для формирования, обработки и отображения сигналов цветных, спектральнональных и ТПВ изображений [6].

Схема содержит: объектив 1, устройство расщепления лучистого (светового) потока на два идентичных потока 2, два оптических фильтра (ОФ) 3, три преобразователя «лучистый (световой) поток-сигнал» (матричные фотоприёмники) 4, синхрогенератор 5, три блока *раздельной* обработки цифровых сигналов 6, блок *совместной* обработки цифровых сигналов 7, блок коммутации сигналов 8, блок отображения видеoinформации 9, блок автоматической регистрации видеoinформации 10, исполнительное устройство 11, блок управления 12.

Синхροгенератор 5 формирует необходимые строчные, кадровые и управляющие импульсы заданной длительности и частоты, которые используются для развёртки (считывания) сигналов изображения в матричных фотоприёмниках  $4_1$ ,  $4_2$  и  $4_3$ , а также в блоках 6 и 7 раздельной и совместной обработки цифровых сигналов. В качестве матричных фотоприёмников  $4_1$ ,  $4_2$  могут быть использованы многосигнальные ПЗС-матрицы, КМОП-фотоприёмники и другие преобразователи лучистого (светового) потока в электрический сигнал изображения с использованием мозаичных фильтров. В качестве датчика  $4_3$  могут быть использованы двухсигнальные матричные фотоприёмники, работающие в ИК<sub>2</sub> и ИК<sub>3</sub> областях спектра.

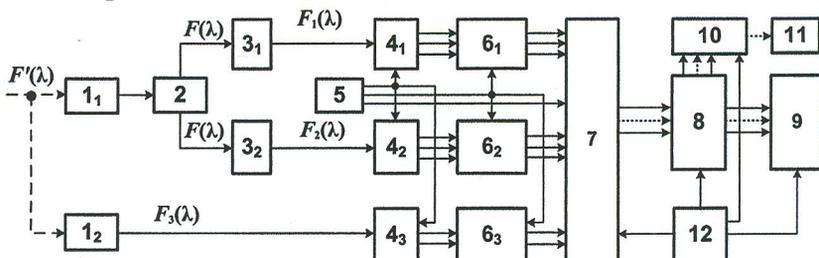


Рис.2. Структурная схема ТВ системы для формирования, обработки и отображения сигналов цветных, спектральнональных и тепловизионных изображений

В СТС (рис. 2) общий входной лучистый поток  $F'(\lambda)$ , пройдя объектив  $1_1$  и устройство расщепления лучистого (светового) потока 2 разбивается на два идентичных потока, каждый из которых проходит через свой ОФ  $3_1$  и  $3_2$ , первый из которых имеет спектральную характеристику  $\Phi_1(\lambda)$ , охватывающей спектральный участок в ВИ области спектра  $0,38...0,76$  мкм и на выходе первого фильтра образуется лучистый поток  $F_1(\lambda)$ , а спектральная характеристика второго фильтра охватывает широкий спектральный участок в ВИ и ближней ИК<sub>1</sub> областях спектра  $0,38...2,5$  мкм и на выходе ОФ<sub>2</sub> образуется лучистый поток  $F_2(\lambda)$ . Пройдя первый ОФ  $3_1$  лучистый поток  $F_1(\lambda)$  проецируется на многосигнальный матричный фотоприёмник  $4_1$ , имеющий на своей рабочей поверхности мозаичные ОФ вида  $RGB$ , соответствующие зонам регистрации светового потока в красной ( $R$ ), зелёной ( $G$ ) и синей ( $B$ ) областях ВИ участка спектра, после которых лучистый поток  $F_R(\lambda)$ ,  $F_G(\lambda)$  и  $F_B(\lambda)$  преобразуются в видеосигналы первичных цветов  $U_R(t)$ ,  $U_G(t)$  и  $U_B(t)$ , то есть сигналов цветного телевидения  $RGB$ , которые согласованы со зрительной системой человека по цветовым и яркостным признакам объектов.

В тоже время лучистый поток  $F_2(\lambda)$  проецируется на многосигнальный матричный фотоприёмник  $4_2$ , имеющий на своей рабочей поверхности мозаичные ОФ со спектральной характеристикой, соответствующей выбранным зонам регистрации лучистого потока, например,  $\Delta\lambda_1$ ,  $\Delta\lambda_2$  и  $\Delta\lambda_3$  в ВИ и ближней ИК областях спектра. После мозаичных ОФ лучистые потоки  $F(\Delta\lambda_1)$ ,  $F(\Delta\lambda_2)$  и  $F(\Delta\lambda_3)$  преобразуются в спектральнональные видеосигналы  $U_{\Delta\lambda_1}(t)$ ,  $U_{\Delta\lambda_2}(t)$  и  $U_{\Delta\lambda_3}(t)$ , которые не согласованы со зрительной системой человека по цветовым и яркостным признакам объектов.

В данной схеме дополнительно организован третий канал. Для этого входной лучистый поток  $F'(\lambda)$  пропускают через объектив  $l_2$ , спектральная характеристика которого охватывает спектральный участок от ИК<sub>2</sub> до ИК<sub>3</sub> области спектра. На выходе ОФ<sub>3</sub> образуется лучистый поток  $F_3(\lambda)$ . Этот поток проецируется на третий двухсигнальный матричный фотоприёмник  $4_3$ , рабочий диапазон которого соответствует двум зонам регистрации лучистого потока  $\Delta\lambda_3$  и  $\Delta\lambda_4$  в ИК областях спектра (3,0...5,0 и 8,0...14 мкм). Далее лучистые потоки  $F_3(\lambda)$  и  $F_4(\lambda)$  преобразуются в соответствующие ТПВ видеосигналы  $U_{\Delta\lambda 4}(t)$  и  $U_{\Delta\lambda 5}(t)$ , которые не согласованы со зрительной системой человека по цветовым и яркостным признакам объектов.

После осуществления указанных операций, все сформированные видеосигналы преобразуют в цифровую форму в блоках *раздельной* обработки цифровых сигналов цветных, спектральнозональных и тепловизионных изображений  $b_1$ ,  $b_2$  и  $b_3$ . В этих блоках проходит предварительное усиление аналоговых видеосигналов, их преобразование в цифровую форму с формированием двоичных сигналов в многоразрядном коде. Осуществляется цифровая коррекция сигналов (гамма-коррекция, апертурная коррекция) и другие виды цифровой обработки видеосигналов. С выхода блоков  $b_1$ ,  $b_2$  и  $b_3$  видеосигналы поступают на блок *совместной* обработки цифровых сигналов 7, с выхода которого видеосигналы поступают на входы блока коммутации видеосигналов 8 и далее на входы блока отображения видеоинформации 9 [6]. С блока 12 управляющие сигналы поступают на блоки 7, 8, 9 и 10, которые задают алгоритм совместной обработки цифровых видеосигналов от цветного, спектральнозонального и ТПВ каналов, а также различные варианты подачи исходных и вновь сформированных видеосигналов на входы блока отображения видеоинформации, который может включать один или несколько цветных видеоконтрольных устройств (ВКУ), а также на вход блока автоматической регистрации видеоинформации (например, анализатора спектрального и пространственного портрета объектов) 10. Формируемый сигнал с выхода блока 10 поступает на вход исполнительного устройства 11. Наличие блока 10 позволяет решать задачи, связанные с автоматическим обнаружением и распознаванием объектов в поле зрения спектральнозональной ТВ-системы, которые наделены определёнными спектрально-энергетическими и пространственными признаками.

Использование рассмотренной схемы построения многоканальной СТС обеспечит повышение видеоинформационного обеспечения и эффективности наблюдения объектов земной поверхности. Она может быть применена для решения широкого круга задач визуального или автоматического анализа объектов многокомпонентных изображений. Это будет достигаться за счёт получения разносектральной видеоинформации в ВИ, ближней и средней ИК области спектра или выборки только отдельных спектральнозональных сигналов. Объединение сигналов разносектральных изображений, получаемых в тех или иных зонах регистрации (например, в ВИ и ИК области спектра), позволяет сформировать результирующее изображение, обладающее большей информативностью для различения и селекции заданных классов





ками (рис. 3) [1]. Регистрация лучистого потока осуществляется в спектральном интервале длин волн от  $\lambda_1$  до  $\lambda_n$  в четырёх зонах регистрации  $\Delta\lambda_1$ ,  $\Delta\lambda_2$ ,  $\Delta\lambda_3$  и  $\Delta\lambda_4$ . Примем, что приведённые спектрально-энергетические характеристики объектов характерны для некоторого конечного множества классов объектов  $N = \{A, B, C, D\}$ . После регистрации лучистого (светового) потока в зонах регистрации  $\Delta\lambda_1$ ,  $\Delta\lambda_2$ ,  $\Delta\lambda_3$  и  $\Delta\lambda_4$  и их преобразования образуются сигналы спектрозональных ТВ изображений в виде

$$U(x,y)_{\Delta\lambda_1}, U(x,y)_{\Delta\lambda_2}, U(x,y)_{\Delta\lambda_3}, U(x,y)_{\Delta\lambda_4}. \quad (4)$$

Для примера выберем две зоны регистрации лучистого потока, например,  $\Delta\lambda_1$  и  $\Delta\lambda_4$ , для которых формируются спектрозональные сигналы изображения  $U(x,y)_{\Delta\lambda_1}$  и  $U(x,y)_{\Delta\lambda_4}$ . Визуальные изображения объектов для этих зон регистрации показаны на рис. 4. При этом принимается, что для первой зоны регистрации  $\Delta\lambda_1$  амплитуда сигнала ТВ изображения минимальна для объекта класса  $A$  и максимальна для объекта класса  $D$ . Для зоны регистрации  $\Delta\lambda_4$  ситуация будет обратной. Для объектов класса  $B$  и  $C$  амплитуда сигнала ТВ изображения будет примерно одинаковой для зон регистрации  $\Delta\lambda_1$  и  $\Delta\lambda_4$ .

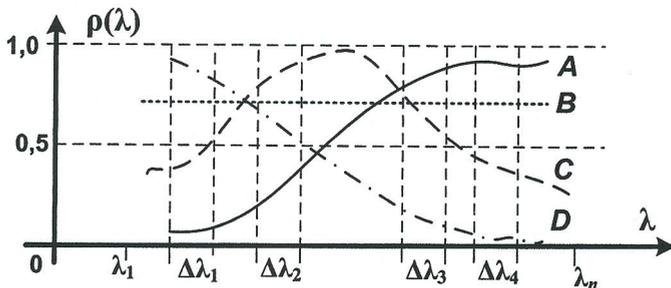


Рис. 3. Спектрально-энергетические характеристики некоторых классов объектов



Рис. 4. Вид спектрозональных черно-белых изображений наблюдаемых объектов для двух зон регистрации

В качестве примера совместной обработки сигналов спектрозональных ТВ изображений рассмотрим случай, когда используются простейшие операции, включающие суммирование двух исходных сигналов, их вычитание, а затем и их деление как показано на рис. 5, которые предусматривают формирование результирующего изображения на основе исходных.

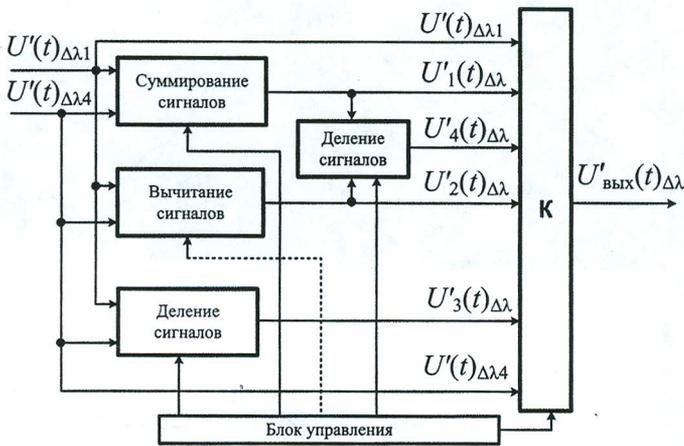


Рис.5.Схема совместной обработки двух сигналов спектрозональных изображений

Значение результирующего сигнала  $U'_1(t)_{\Delta\lambda}$  после выполнения операции суммирования двух спектрозональных ТВ сигналов составит величину

$$U'_1(t)_{\Delta\lambda} = [\alpha_1 \cdot U'(t)_{\Delta\lambda 1} + \alpha_4 \cdot U'(t)_{\Delta\lambda 4}], \quad (5)$$

а значение результирующего сигнала  $U'_2(t)_{\Delta\lambda}$  после выполнения операции вычитания двух исходных спектрозональных ТВ сигналов составит величину

$$U'_2(t)_{\Delta\lambda} = |[\beta_1 \cdot U'(t)_{\Delta\lambda 1} - \beta_4 \cdot U'(t)_{\Delta\lambda 4}]|. \quad (6)$$

Значение результирующего сигнала  $U'_3(t)_{\Delta\lambda}$  после выполнения операции деления двух исходных спектрозональных ТВ сигналов составит величину

$$U'_3(t)_{\Delta\lambda} = [v_1 \cdot U'_1(t)_{\Delta\lambda 1}] / [v_4 \cdot U'_2(t)_{\Delta\lambda 4}]. \quad (7)$$

Значение результирующего сигнала  $U'_4(t)_{\Delta\lambda}$ , после выполнения операции суммирования, вычитания и деления двух спектрозональных ТВ сигналов составит величину

$$U'_4(t)_{\Delta\lambda} = [\gamma_1 \cdot U'_1(t)_{\Delta\lambda}] / [\gamma_4 \cdot U'_2(t)_{\Delta\lambda}]. \quad (8)$$

Значения нормирующих коэффициентов могут распределяться в области  $0 < \alpha_i, \beta_i, v_i, \gamma_i \leq 1$ . Примем, что их значения равны  $\alpha_i, \beta_i, v_i, \gamma_i = 1$  и амплитуда спектрозональных ТВ сигналов после преобразования лучистого потока объектов и выполнения операций суммирования, вычитания и деления сигналов будет иметь значения, как показано в табл.1.

Таблица 1

Класс объектов	$U'(t)_{\Delta\lambda 1}$	$U'(t)_{\Delta\lambda 4}$	$U'_1(t)_{\Delta\lambda}$	$U'_2(t)_{\Delta\lambda}$	$U'_3(t)_{\Delta\lambda}$	$U'_4(t)_{\Delta\lambda}$
	Амплитудное значение сигналов, В					
A	0,05	0,9	0,95	0,85	0,05	1,11
B	0,75	0,70	1,45	0,05	1,07	29
C	0,4	0,35	0,75	0,05	1,14	15
D	0,9	0,05	0,95	0,85	18	1,11

Рассмотрим величину контрастности при нахождении объекта одного класса на фоне другого класса, например, объекта D на фоне объектов класса

$A, B$  и  $C$  и т.д. Вычисление контрастности будем проводить для спектрозональных ТВ сигналов, полученных в зонах регистрации  $\Delta\lambda_1$  и  $\Delta\lambda_4$ , а также для результирующих сигналов  $U'_1(t)_{\Delta\lambda}$ ,  $U'_2(t)_{\Delta\lambda}$ ,  $U'_3(t)_{\Delta\lambda}$  и  $U'_4(t)_{\Delta\lambda}$  согласно выражению

$$k = [(U'(t)_{\Delta\lambda})_i - (U'(t)_{\Delta\lambda})_j] / (U'(t)_{\Delta\lambda})_i \text{ при } (U'(t)_{\Delta\lambda})_i > (U'(t)_{\Delta\lambda})_j \quad (9)$$

$$k = [(U'(t)_{\Delta\lambda})_j - (U'(t)_{\Delta\lambda})_i] / (U'(t)_{\Delta\lambda})_j \text{ при } (U'(t)_{\Delta\lambda})_j > (U'(t)_{\Delta\lambda})_i.$$

где  $(U'(t)_{\Delta\lambda})_i$ ,  $(U'(t)_{\Delta\lambda})_j$  – амплитудные значения сигналов  $i$ -го и  $j$ -го объектов при использовании совместной обработки сигналов, согласно выражениям (5)–(8).

В табл. 2 показаны значения величины контрастности, когда объект класса  $D$  будет находиться на фоне объектов других классов ( $A, B, C$ ). При этом выигрышными являются операции обработки спектрозональных ТВ сигналов, когда осуществляется формирование результирующего сигнала вида  $U'_2(t)_{\Delta\lambda}$  и  $U'_3(t)_{\Delta\lambda}$ .

Таблица 2

Объект класса $D$ на фоне других объектов	Амплитудное значение исходных сигналов		Амплитудное значение сигналов после совместной обработки			
			Суммирование, вычитание и деление исходных сигналов, деление сигналов после их вычитания и деления			
	$U'(t)_{\Delta\lambda 1}$	$U'(t)_{\Delta\lambda 4}$	$U'_1(t)_{\Delta\lambda}$	$U'_2(t)_{\Delta\lambda}$	$U'_3(t)_{\Delta\lambda}$	$U'_4(t)_{\Delta\lambda}$
	Контрастность объекта класса $D$ на фоне других объектов					
	$k_{\Delta\lambda 1}$	$k_{\Delta\lambda 4}$	$k_1$	$k_2$	$k_3$	$k_4$
$D/A$	0,94	0,944	0,00	1,0	0,99	0,00
$D/B$	0,27	0,928	0,34	0,94	0,94	0,96
$D/C$	0,55	0,85	0,21	0,94	0,93	0,97

В табл. 3 показаны значения величины контрастности, когда объект класса  $B$  будет находиться на фоне объектов других классов ( $A, C, D$ ).

Таблица 3

Объект класса $B$ на фоне других объектов	Амплитудное значение исходных сигналов		Амплитудное значение сигналов после совместной обработки			
			Суммирование, вычитание, деление исходных сигналов, деление сигналов после их вычитания и деления			
	$U'(t)_{\Delta\lambda 1}$	$U'(t)_{\Delta\lambda 4}$	$U'_1(t)_{\Delta\lambda}$	$U'_2(t)_{\Delta\lambda}$	$U'_3(t)_{\Delta\lambda}$	$U'_4(t)_{\Delta\lambda}$
	Контрастность объекта класса $B$ на фоне других объектов					
	$k_{\Delta\lambda 1}$	$k_{\Delta\lambda 4}$	$k_1$	$k_2$	$k_3$	$k_4$
$B/A$	0,93	0,22	0,35	0,94	0,95	0,96
$B/C$	0,46	0,5	0,48	0,00	0,06	0,48
$B/D$	0,16	0,92	0,52	0,94	0,94	0,96

При этом выигрышными являются операции обработки сигналов, когда вначале осуществляется суммирование и вычитание исходных спектрозональных ТВ сигналов, а затем их деление между собой, то есть формирование

результатирующего сигнала вида  $U'_4(t)_{\Delta\lambda}$  по сравнению с использованием других операций обработки исходных спектрозональных ТВ сигналов.

В табл. 4 показаны значения величины контрастности, когда объект класса  $A$  будет находиться на фоне объектов других классов ( $B, C, D$ ). При этом выигрышными являются операция обработки спектрозональных ТВ сигналов, когда осуществляется деление исходных сигналов, то есть формирование результирующего сигнала вида  $U'_3(t)_{\Delta\lambda}$ .

Таблица 4

Объект класса $A$ на фоне других объектов	Амплитудное значение исходных сигналов		Амплитудное значение сигналов после совместной обработки			
			Суммирование, вычитание, деление исходных сигналов, деление сигналов после их вычитания и деления			
	$U'(t)_{\Delta\lambda 1}$	$U'(t)_{\Delta\lambda 4}$	$U'_1(t)_{\Delta\lambda}$	$U'_2(t)_{\Delta\lambda}$	$U'_3(t)_{\Delta\lambda}$	$U'_4(t)_{\Delta\lambda}$
	Контрастность объекта класса $A$ на фоне других объектов					
	$k_{\Delta\lambda 1}$	$k_{\Delta\lambda 4}$	$k_1$	$k_2$	$k_3$	$k_4$
$A/B$	0,93	0,22	0,345	0,94	0,95	0,96
$A/C$	0,875	0,61	0,21	0,94	0,96	0,92
$A/D$	0,94	0,94	0,00	0,00	0,99	0,00

В табл. 5 показаны значения величины контрастности, когда объект класса  $C$  будет находиться на фоне объектов других классов ( $A, B, D$ ). Здесь выигрышным является формирование результирующего сигнала вида  $U'_4(t)_{\Delta\lambda}$  путем выполнения операций суммирования, вычитания и деления двух спектрозональных ТВ сигналов. Он обеспечивает максимальное значение контрастности в результирующем спектрозональном ТВ изображении для представленных классов сочетаний объектов.

Таблица 5

Объект класса $C$ на фоне других объектов	Амплитудное значение исходных сигналов		Амплитудное значение сигналов после совместной обработки			
			Суммирование, вычитание, деление исходных сигналов, деление сигналов после их вычитания и деления			
	$U'(t)_{\Delta\lambda 1}$	$U'(t)_{\Delta\lambda 4}$	$U'_1(t)_{\Delta\lambda}$	$U'_2(t)_{\Delta\lambda}$	$U'_3(t)_{\Delta\lambda}$	$U'_4(t)_{\Delta\lambda}$
	Контрастность объекта класса $C$ на фоне других объектов					
	$k_{\Delta\lambda 1}$	$k_{\Delta\lambda 4}$	$k_1$	$k_2$	$k_3$	$k_4$
$C/A$	0,875	0,61	0,21	0,94	0,95	0,92
$C/B$	0,46	0,50	0,48	0,00	0,06	0,48
$C/D$	0,55	0,857	0,21	0,94	0,93	0,92

В табл. 6 представлены итоговые данные по выбору необходимого вида совместной обработки спектрозональных ТВ сигналов при нахождении объекта одного класса на фоне других. Анализ данной таблицы показывает, что для одного вида сочетаний объектов целесообразно использовать операцию вычитания сигналов, для других операцию деления, для третьих операцию деления сигналов после их суммирования и вычитания. Максимальная контрастность селективируемых объектов в результирующем спектрозональном

ТВ-изображении будет определяться классом объекта, подлежащего селекции на фоне других объектов и используемой операцией обработки сигналов для элементов всего кадра спектрально-зонального ТВ изображения или какого-либо отдельного участка, например, размерностью  $(n \cdot c) < Z^2$  элементов.

Таблица 6

Нахождение объекта одного класса на фоне других	Необходимый вид совместной обработки спектрально-зональных ТВ сигналов		
	Вычитание сигналов	Деление сигналов	Деление сигналов после их суммирования и вычитания
	$U'_2(t)_{\Delta\lambda}$	$U'_3(t)_{\Delta\lambda}$	$U'_4(t)_{\Delta\lambda}$
$A/B, C, D$	-	+	-
$B/A, C, D$	-	-	+
$C/A, B, D$	-	-	+
$D/A, B, C$	+	+	-

В реальной обстановке оператор, осуществляющий визуальный анализ наблюдаемого пространства, перебором выбирает те изображения, где достигается максимальное различие большего числа объектов между собой по спектрально-энергетическим и иным признакам.

### Заключение

Предложенная схема формирования цветных, спектрально-зональных и тепловизионных изображений позволит обеспечить повышение информационного обеспечения и эффективности ТВ наблюдения объектов земной поверхности с использованием средств прикладного телевидения. Она может быть применена для решения широкого круга задач визуального и автоматического анализа объектов многокомпонентных изображений. Объединение сигналов разноспектральных изображений, получаемых в тех или иных зонах регистрации (например, в ВИ и ИК областях спектра), позволяет формировать результирующее изображение, обладающее большей информативностью для различения и селекции объектов. При этом важное место занимает использование известных методов отдельной цифровой обработки спектрально-зональных ТВ сигналов. Например, таких как разделение сигналов ТВ изображений на высокочастотную и низкочастотную составляющие, селекцию контуров и прямых линий, выделение объектов заданной формы, а также поэлементного сравнения текущих значений видеосигналов каждой спектральной зоны с эталонными и др.

При совместной обработке рассмотренных многоканальных сигналов цветного телевидения  $U_R(t)$ ,  $U_G(t)$ ,  $U_B(t)$ , спектрально-зонального телевидения  $U_{\Delta\lambda 1}(t)$ ,  $U_{\Delta\lambda 2}(t)$ ,  $U_{\Delta\lambda 3}(t)$  и тепловидения  $U_{\Delta\lambda 4}(t)$ ,  $U_{\Delta\lambda 5}(t)$  вновь сформированные результирующие видеосигналы могут подаваться на входы  $RGB$  цветных ВКУ в различных сочетаниях и полярности при их отображении на основе принятого алгоритма коммутации и инверсии видеосигналов соседних зон регистрации лучистого потока в спектральном интервале длин волн от  $\lambda_1$  до  $\lambda_n$ .

Эффективность функционирования СТС для решения задач дистанционного зондирования и наблюдения объектов (обнаружения, селекции, измерения параметров, распознавания), в первую очередь, зависит от выбранных зон регистрации  $\Delta\lambda_i$  из  $\{M\}$  и их возможного числа. Совместная обработка

сигналов спектрзональных ТВ изображений, включающая рассмотренные операции суммирования, вычитания или деления двух спектрзональных сигналов уже позволяет сформировать результирующие спектрзональные ТВ изображения, в которых достигается повышение контрастности между отдельными классами объектов по сравнению с исходными изображениями. Использование предлагаемых способов обработки сигналов возможно для характерных случаев, когда:

- известно число, а также распределение спектральных характеристик наблюдаемых объектов;
- имеются общие сведения о количестве и ходе спектральных характеристик объектов или отсутствуют достоверные данные и сведения о них.

Для последнего случая, используя операции коммутации (выборки) сигналов, последовательно анализируются изображения (исходные и вновь сформированные результирующие) и оставляются только те, которые обеспечивают максимальное различие большего числа объектов между собой по яркостным (цветовым) признакам в изображениях. Увеличение контрастности изображений позволит уменьшать время, затрачиваемое на зрительное дешифрирование и селекцию отдельных объектов, а также будет способствовать повышению достоверности наблюдения и контроля состояния объектов, находящихся в поле зрения многоканальной спектрзональной ТВ камеры.

### Литература

1. Сагдуллаев Ю. С., Ковин С. Д., Сагдуллаев Т. Ю., Смирнов А. И. Информационно-измерительные системы телевидения М.: «Спутник +», 2013. – 199 с.
2. Ковин С. Д., Сагдуллаев Ю. С. Спектрзональное телевидение и тепловидение в задачах идентификации объектов // Вопросы радиоэлектроники, сер. Техника телевидения, 2013, вып.2. С. 123–136
3. Ковин С. Д., Сагдуллаев Ю. С., Галиев А. Л. Телевизионные датчики для визуального анализа объектов земной поверхности // Промышленные АСУ и контроллеры. 2014., № 9. С. 68–71
4. Тарасов В. В., Якушенков Ю. Г. Инфракрасные системы «смотрящего» типа. М.: Логос, 2004. 444 с.
5. [http://www.proximasp.ru/teplovizionnoe\\_videonablyudenie.html](http://www.proximasp.ru/teplovizionnoe_videonablyudenie.html)
6. Патент РФ №2546982. Способ формирования и отображения сигналов цветных, спектрзональных и тепловизионных изображений / Ковин С. Д., Сагдуллаев Ю. С. Оpubл. 10.04.2015. Бюл. № 10
7. Ковин С. Д., Сагдуллаев Ю. С. Способы обработки и отображения разноспектральных ТВ изображений. Материалы научно-технической конференции «Системы наблюдения, мониторинга и дистанционного зондирования Земли». М.: МНТОРЭС им. А. С. Попова, 2014. С. 257–261
8. Ковин С. Д., Сагдуллаев Ю. С. Формирование и обработка спектрзональных изображений. Современные проблемы науки и образования в техническом вузе. Материалы Всероссийской научно-практической конференции. Часть 1 (24–26 июня, г. Стерлитамак). Уфа: УГАТУ, 2015. С. 29–34

Статья поступила 19 августа 2015 г.