

ТЕЛЕВИЗИОННЫЙ СПЕКТРОМЕТР ДЛЯ СПЕКТРАЛЬНО-ТЕКСТУРНОГО ЭКСПРЕСС-КОНТРОЛЯ ПИЩЕВЫХ, БИОЛОГИЧЕСКИХ И ОРГАНИЧЕСКИХ СРЕД

Бондаренко А.В., Дроханов А.Н., Киреев Д.А.,
Компанец И.Н., Краснов А.Е., Михайленко С.А.

Аннотация

Представлены результаты разработки телевизионного спектрометра, предназначенного для спектрально-текстурного экспресс-контроля (квалиметрии) пищевых, биологических и иных сред. В основу работы комплекса положен телевизионный спектрозональный метод получения информации об исследуемых объектах. Описано устройство комплекса и принцип его работы.

Abstract

Presentation of the results of the development of the TV-spectrometer, designed for spectra-textural express control (qualimetry) of food, biological and other products. The basis of the design comes from TV spectra-zonal method of data extraction. Detailed description of the device and its function is given.

Ключевые слова: компьютерная квалиметрия, спектрозональный метод, автоматизация, оптоэлектроника, телевидение, спектрально-текстурные портреты.

Keywords: computer qualimetry, spectral-zonal method, automation, optoelectronics, television, spectral-textural imaging.

Введение

В предыдущей статье была рассмотрена концепция компьютерной квалиметрии, которая может обеспечить оперативную и достоверную оценку качества пищевой продукции на современном техническом уровне [1].

Для практической реализации этой концепции кафедрой «Информационные технологии» Московского государственного университета технологий и управления (МГУТУ) совместно с Отделом оптоэлектроники ОКРФ ФИАН был разработан телевизионный спектрометр для оперативного контроля продуктов

питания, биологических, органических, лекарственных и иных сред. При разработке была поставлена задача создания недорогого, простого и оперативно работающего устройства.

Спектрозональный метод

Известно, что наибольшим быстродействием и оперативностью из всех методов исследования различных сред обладают оптические методы. Один из таких методов реализуется в автоматизированном телевизионном спектрометре.

В основу работы комплекса положен спектрозональный метод получения информации, который используется в аэро- и космической фотографии [2 - 4] и заключается в фотографировании местности через светофильтры, вырезающие узкие участки (зоны) видимого и инфракрасного спектров.

Классический эффект применения спектрозонального метода иллюстрируется на Рис. 1, где приведены спектральные характеристики отражения лиственного и хвойного леса.

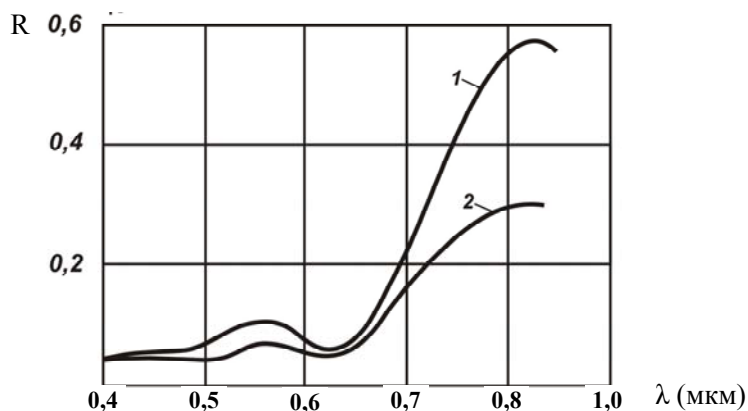


Рис. 1. Спектральные коэффициенты яркости:
1- лиственного леса, 2 – хвойного леса.

Если сфотографировать смешанный лес на панхроматической пленке в видимой части спектра (до 0,7 мкм), то хвойные породы практически будут сливаться с лиственными. Но если сфотографировать тот же лес с помощью светофильтра, пропускающего узкую часть инфракрасного спектра с максимальной прозрачностью в области 0,8 мкм, то разница будет очевидной. Хвой-

ные деревья выглядят на снимке значительно темнее лиственных [2].

Спектрозональный метод позволяет различать такие объекты, которые при обычной фотографии визуально неразличимы. Этот метод дает возможность дифференцировать исследуемые объекты и автоматизировать обработку получаемых данных, основываясь на спектральных образах объектов, формируемых в n -мерном пространстве, где n - число спектральных зон, в которых выполняется съемка.

Ниже описаны устройство и характеристики опытного образца автоматизированного оптоэлектронного телевизионного спектрометра, использующего спектрозональный метод анализа пищевых и биологических сред, а также рассмотрены возможности его дальнейшего развития.

Принцип работы спектрометра

Спектрометр предназначен для оперативного контроля спектров отражения и пропускания жидких и твердых пищевых сред, а также для анализа текстуры поверхности последних. Кроме того, он позволяет оценивать поляризацию отраженного и прошедшего через среду оптического излучения.

Спектрометр может выполнять экспресс-диагностику качества пищевых продуктов и биологических сред путем измерения их отражающей (пропускающей) способности в узких спектральных диапазонах ультрафиолетового, видимого и инфракрасного спектра, и последующего автоматического сравнения полученных данных с данными эталона.

Как показала обработка результатов исследований Земли из космоса, при дешифрировании снимков земной поверхности только по спектральному признаку надежность распознавания лесов, открытых пространств, городов и водных поверхностей составила 74 %. Добавление к этому структурного признака привело к повышению достоверности до 99 % [5]. Отсюда следует, что для анализа и идентификации объекта исследования большое значение имеет структура изображения, свидетельствующая о пространственном распределении яркости на объекте съемки.

Как опознавательный признак, текстура объекта может быть ис-

пользована в целях квалиметрии, что и реализовано в спектрометре.

Практика аэрокосмических дистанционных исследований Земли показала, что спектрозональный метод наиболее эффективен при использовании черно-белых телевизионных «цветоделенных» изображений. При этом задача ставится обратная той, которая решается в черно-белом телевизионном вещании. В последнем стремятся сигнал изображения сделать пропорциональным яркости. Для этого спектральную характеристику передающей камеры $\varepsilon(\lambda)$ приближают к кривой видности глаза $k(\lambda)$. Тогда, для случая $\varepsilon(\lambda) = k(\lambda)$ и источника света с распределением $S(\lambda)$ сигнал, при передаче вида какой-либо поверхности со спектральной характеристикой отражения $\sigma(\lambda)$, будет пропорционален яркости объекта:

$$u = q \int_0^{\infty} S(\lambda) \sigma(\lambda) k(\lambda) d\lambda, \quad (1)$$

где q – коэффициент пропорциональности.

Две одинаково освещенные поверхности с различными характеристиками отражения $\sigma_1(\lambda)$ и $\sigma_2(\lambda)$, но такими, что

$$\int_0^{\infty} S(\lambda) \sigma_1(\lambda) k(\lambda) d\lambda = \int_0^{\infty} S(\lambda) \sigma_2(\lambda) k(\lambda) d\lambda, \quad (2)$$

будут иметь одинаковую яркость и не будут различаться в правильно построенной телевизионной системе. В спектрозональном методе, при котором вырезается определенная узкая часть спектра, стремятся к тому, чтобы $\varepsilon(\lambda)$ весьма резко отличалось от $k(\lambda)$. Поэтому сигналы от двух объектов с различными $\sigma(\lambda)$ будут различны и создадут контраст в черно-белом изображении.

Преимущество телевидения по сравнению с аэрофотосъемкой заключается в значительно большей чувствительности телевизионной камеры. Более того, световые контрасты могут быть усилены с помощью регулировок сигнала в электрических цепях. В настоящее время разработаны высокочувствительные преобразователи оптического изображения в телевизионный сигнал (ПЗС-матрицы), которые позволяют использовать узкополосные интерференционные светофильтры, а также акустооптические фильтры.

При разработке спектрометра был учтен опыт фотографической и телевизионной многозональной (спектро- и структурозональной) съемки. С целью обеспечения высокой оперативности и точности работы устройства был выбран метод получения данных об объекте с помощью измерительной черно-белой ТВ-камеры высокой чувствительности и разрешения. С её помощью в узких спектральных диапазонах спектра формируют «цветоделенные» черно-белые телевизионные изображения, которые обладают высокими измерительными свойствами. При этом стабильность работы аппаратуры достигается весьма простыми средствами.

Возможны два вида телевизионной многозональной съемки: активная и пассивная. При активной многозональной съемке для освещения объекта исследования используются специальные источники, излучающие в узких спектральных диапазонах. Для пассивной многозональной съемки необходимы эталонный источник света и узкополосные оптические фильтры для выделения спектральных зон.

В основу работы спектрометра положена активная телевизионная многозональная съемка. При этом в качестве источников света, излучающих в узких спектральных диапазонах, используются калиброванные по цветовому интервалу люминесцентные светодиоды. Выбранный подход значительно упрощает техническую реализацию прибора, уменьшает затраты на его разработку, снижает его стоимость и эксплуатационные расходы по сравнению с аппаратурой, в которой используется пассивная многозональная съемка.

Итак, в рассматриваемом комплексе с помощью черно-белой ТВ-камеры получают изображения $w_1, w_2, w_3, \dots, w_i, \dots, w_n$ контролируемого объекта в различных зонах $\Delta\lambda_1, \Delta\lambda_2, \Delta\lambda_3, \dots, \Delta\lambda_i, \dots, \Delta\lambda_n$ спектра отраженных электромагнитных волн $S(\lambda)$ (Рис. 2), регистрируя при этом сигнал $u(\Delta\lambda_i)$ от каждого элемента светочувствительного датчика ТВ-камеры, которым является ПЗС-матрица. Из полученных черно-белых изображений $w_1, w_2, w_3, \dots, w_i, \dots, w_n$ формируют множество $\{W(\Delta\lambda_i)\}$, которое является спектральным образом объекта в n -мерном пространстве (Рис. 3).

Очевидно, что при разработке спектрозонального метода возникают задачи выбора числа, ширины и расположения спектральных зон, поскольку от этого зависит его чувствительность при определении различий между исследуемым объектом и эталоном.

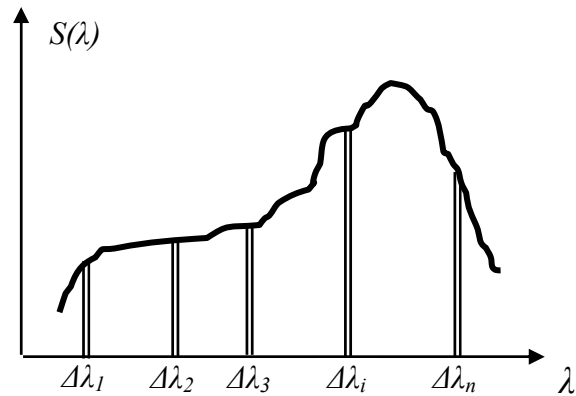


Рис. 2. Распределение энергии по спектру отражения $S(\lambda)$ в исследуемом объекте и зоны регистрации $\Delta\lambda_i$.

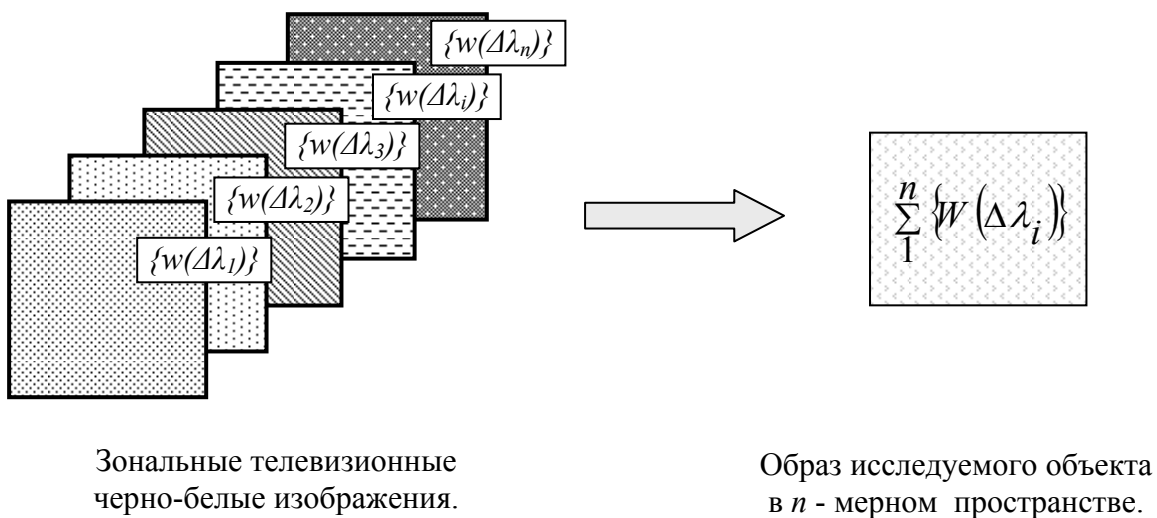


Рис. 3. Телевизионный спектрозональный метод.

Устройство спектрометра

Функциональная схема ТВ – спектрометра показана на Рис. 4. Он содержит датчик ТВ-сигнала в виде ч/б телевизионной камеры на основе ПЗС-матрицы, видеопроцессор с 8-ми битным АЦП [6], персональный компьютер (ПК) с базой данных, необходимой для сравнения исследуемой среды с эталоном, и программное обеспечение.

Структурная схема ТВ – спектрометра приведена на Рис.5, где показана телевизионная головка, система обработки ТВ-сигнала и система питания.

Телевизионная головка, кроме ТВ-камеры, имеет светотехническую полусферу, в стенки которой встроены четыре группы люминесцентных светодиодов, излучающих в узких спектральных диапазонах видимого и инфракрасного спектра.

На основании полусферы размещаются исследуемые твердые светоотражающие объекты. Кроме того, в головке имеются отсеки для установки кюветы для исследования жидких светопропускающих сред и поляризационного фильтра (анализатора).

Светодиоды запитываются от стабилизированного блока питания (Рис.6). Каждую группу светодиодов (R, G, B и IR) включают по отдельности при помощи четырех кнопочных переключателей (K_{NB} , K_{NG} , K_{NR} , и K_{NIR}).

Посредством четырех резисторов (R_R , R_G , R_B и R_{IR}) плавно регулируют силу тока в каждой группе светодиодов для управления интенсивностью их свечения. Резистором $R_{общ}$ регулируют силу тока во всех группах светодиодах одновременно. Необходимость такой регулировки связана с алгоритмом оценки относительных спектральных коэффициентов отражения (пропускания) исследуемых объектов, который будет рассмотрен в следующих статьях.

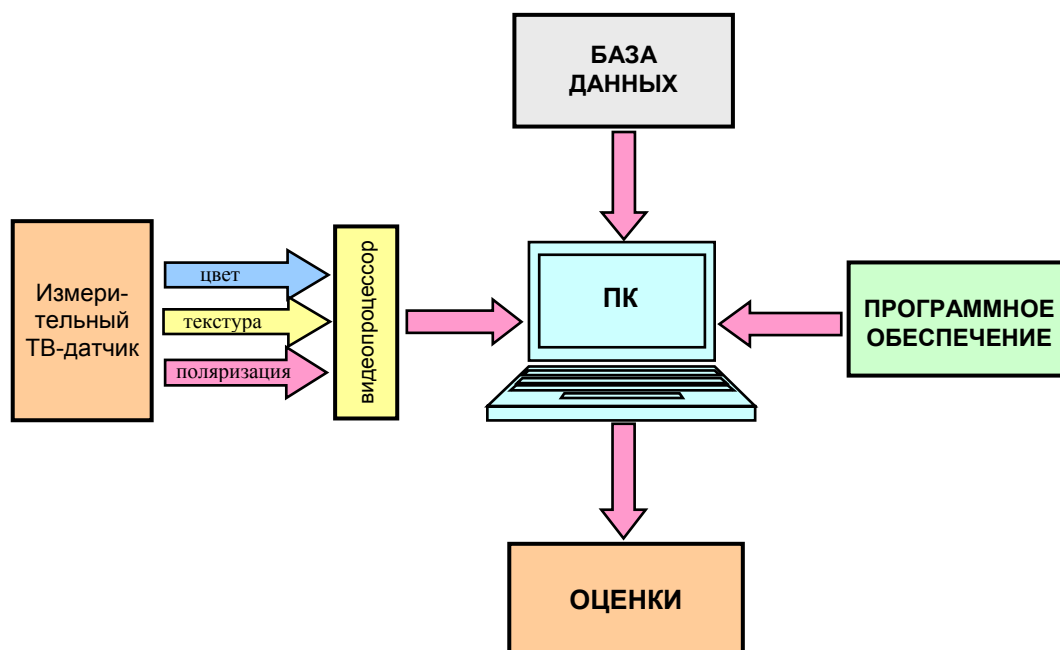


Рис. 4. Функциональная схема ТВ-спектрометра

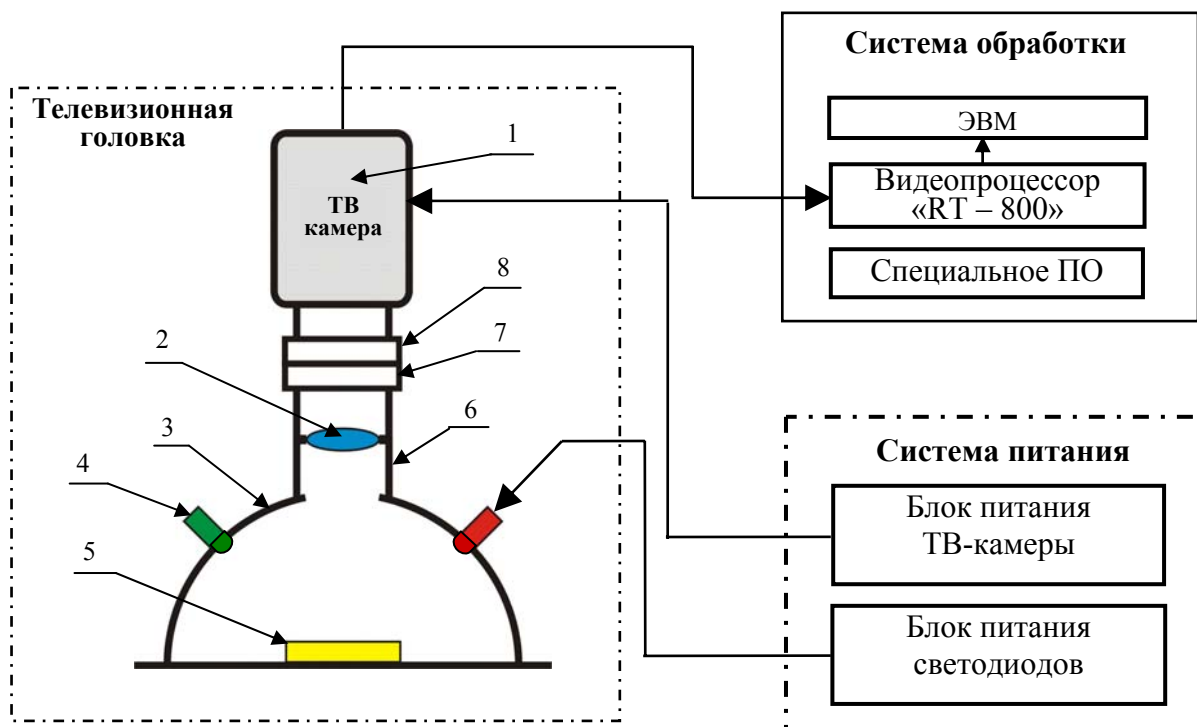


Рис.5. Структурная схема ТВ-спектрометра.

Телевизионная головка. Система обработки. Система питания.

1. ТВ-камера на ПЗС-матрице. 2. Объектив. 3. Светотехническая полусфера. 4. Люминисцентные светодиоды. 5. Исследуемый объект (твердая среда). 6. Тубус. 7. Отсек для кюветы с жидкой средой. 8. Отсек для поляризационного светофильтра.

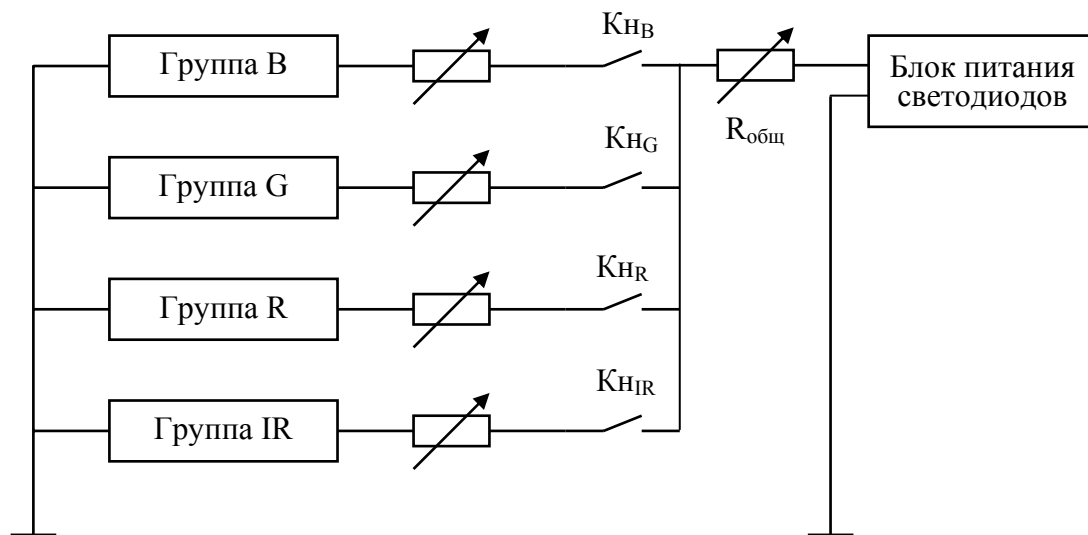


Рис.6. Блок- схема включения групп светодиодов.

Спектры излучения применяемых люминесцентных светодиодов показаны на Рис.7.

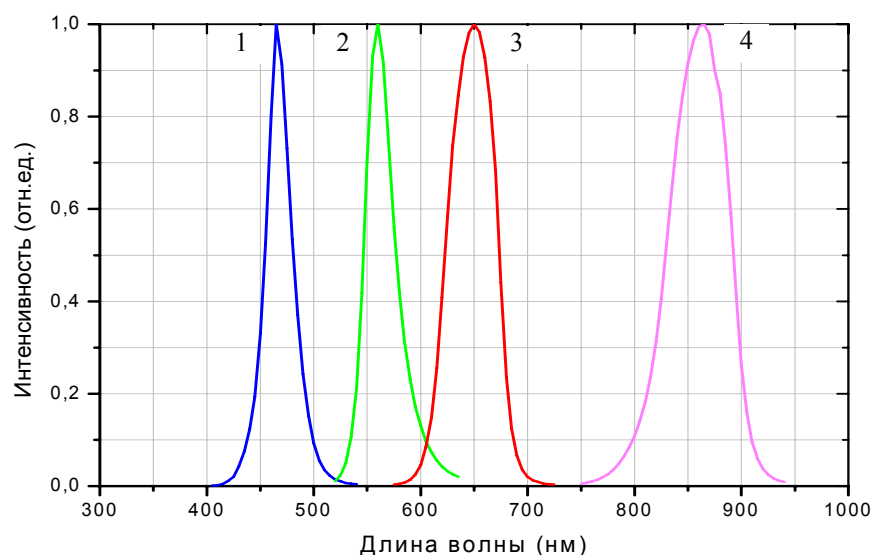


Рис. 7. Спектры излучения люминесцентных светодиодов: 1-синяя группа (B); 2- зеленая группа (G); 3- красная группа (R); 4-инфракрасная группа (IR).

Общий вид лабораторного макета ТВ-спектрометра приведен на Рис. 8.

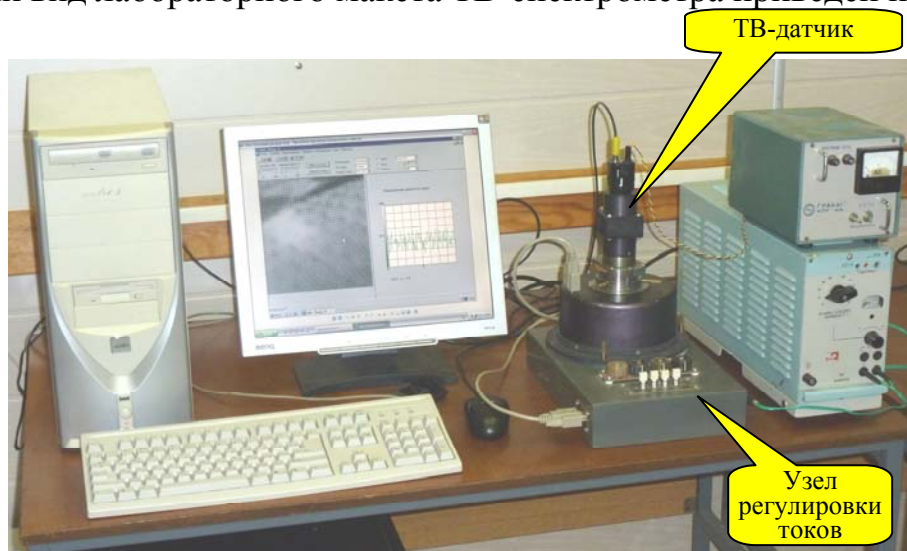
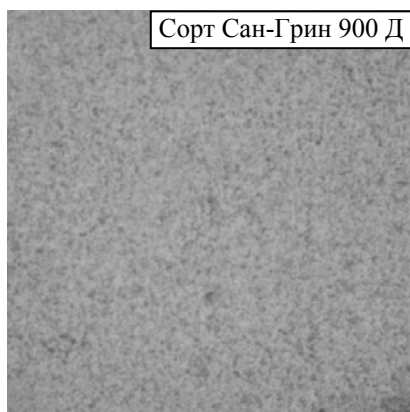
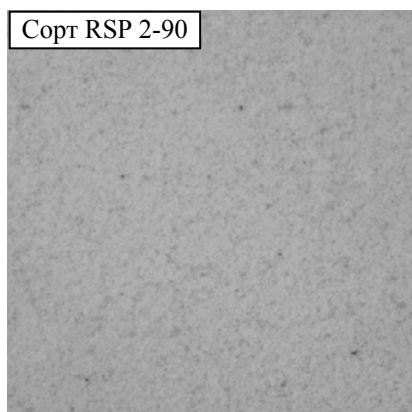


Рис. 8. Общий вид лабораторного макета ТВ-спектрометра.

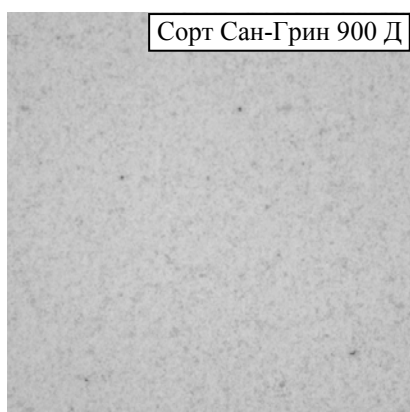
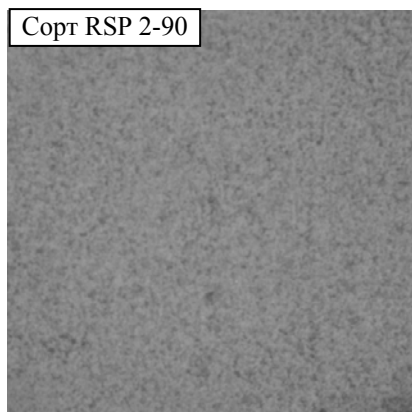
В результате работы комплекса формируются оценки, которые предъявляются оператору (или автомату) для принятия решения. Использование видео-процессора с 8-ми битным кодированием исходного изображения позволяет настраиваться на входной телевизионный сигнал, обрабатывать и анализировать слабоконтрастные изображения исследуемых объектов [7, 8].

Спектрально-текстурные портреты

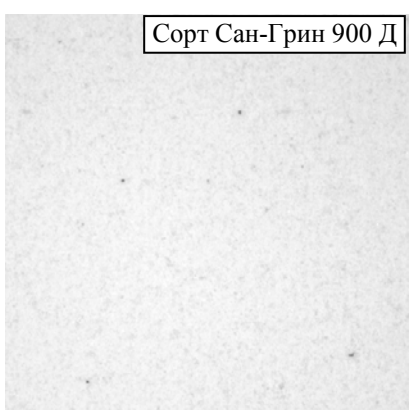
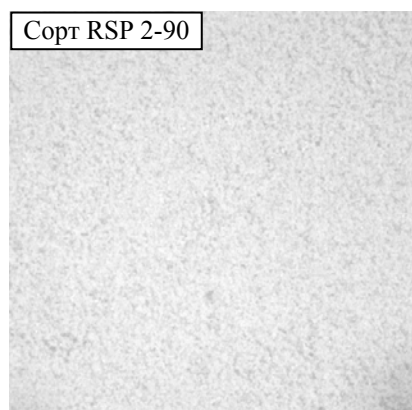
На выходе телекамеры ТВ-спектрометра формируются спектрально-текстурные портреты исследуемых объектов. Их примеры показаны на Рис. 9.



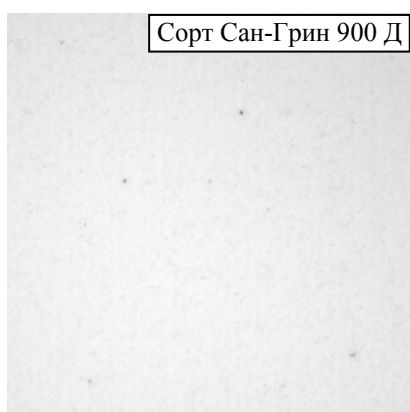
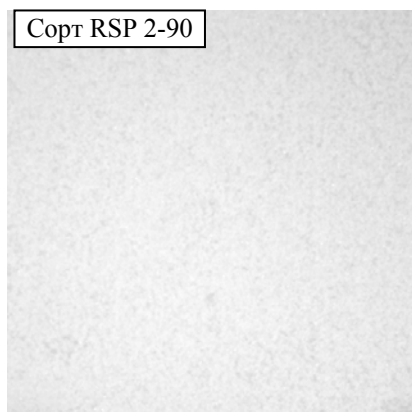
Синий диапазон
(B)



Зеленый диапазон
(G)



Красный диапазон
(R)



Инфракрасный
диапазон (IR)

Рис. 9. Спектрозональные портреты и текстуры двух сортов соевой муки в различных спектральных диапазонах.

Спектрально-текстурные объемные (3D) портреты фрагментов вышеприведенных изображений соевой муки (образец *Сан-Грин 900 Д*) приведены в условных цветах на Рис.10. Они несут информацию об отражательной способности и текстуре образца в синем (*B*), зеленом (*G*), красном (*R*) и инфракрасном (*IR*) спектральных диапазонах.

Указанные портреты получены обработкой программой *Origin* фрагментов ТВ-изображений размером 100 тв. эл. x 100 строк. По оси *Z* отложены уровни сигнала. Из этих портретов следует, что усредненный коэффициент спектрального отражения (пьедестал) для данного образца возрастает при переходе от коротко- к длинноволновой области видимого и инфракрасного спектра. Кроме того, наблюдается изменение текстуры, сигнал от которой уменьшается с увеличением длины волны света. Указанные признаки могут быть использованы для целей идентификации и сравнения объектов исследования.

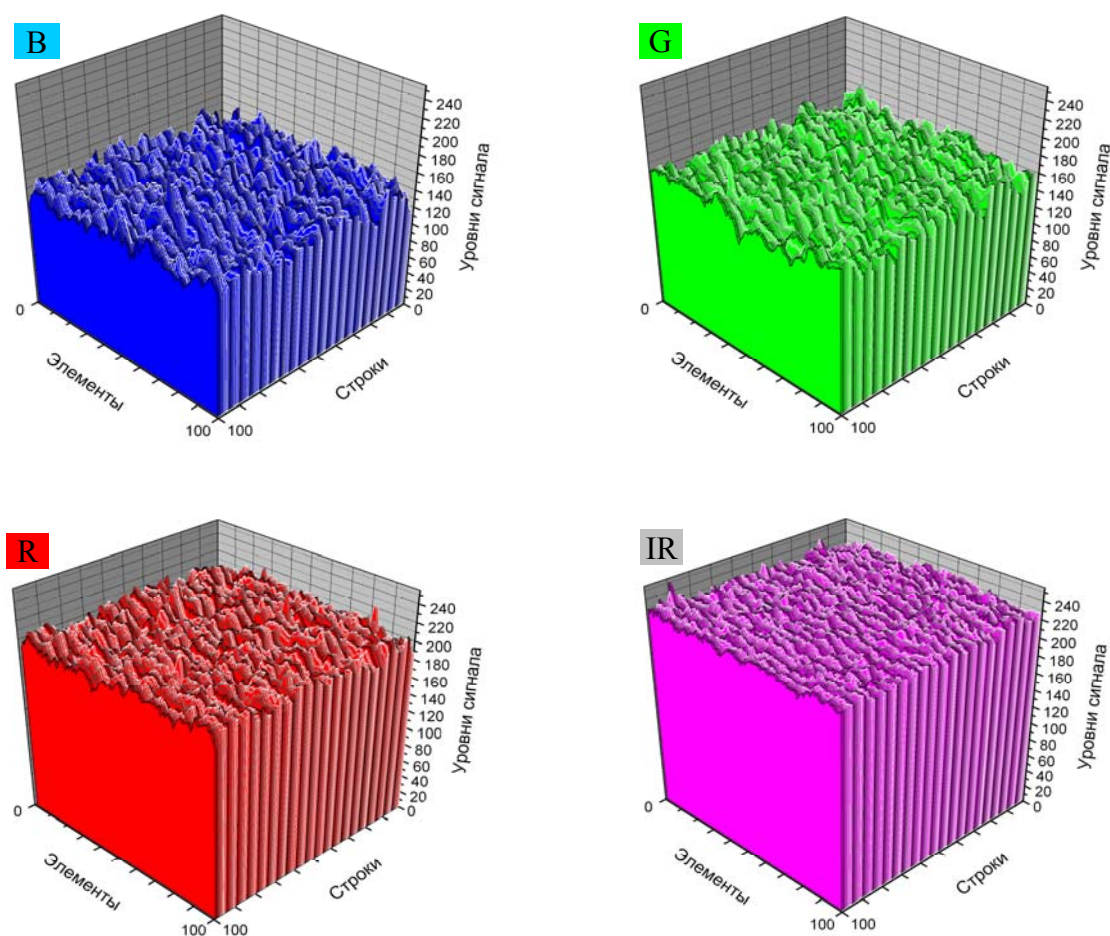


Рис. 10. Спектрально-текстурные портреты соевой муки в спектральных диапазонах *R*, *G*, *B* и *IR*

Для обработки полученных данных были разработаны алгоритмы и соответствующее программное обеспечение, которое позволило оперативно сравнивать исследуемые образцы с эталонами по спектральным и текстурным признакам [9]. В качестве примера на рис. 11 приведены результаты такого сравнения по спектральному признаку. Подробно алгоритмы обработки спектрально-текстурных портретов будут рассмотрены в следующих статьях.

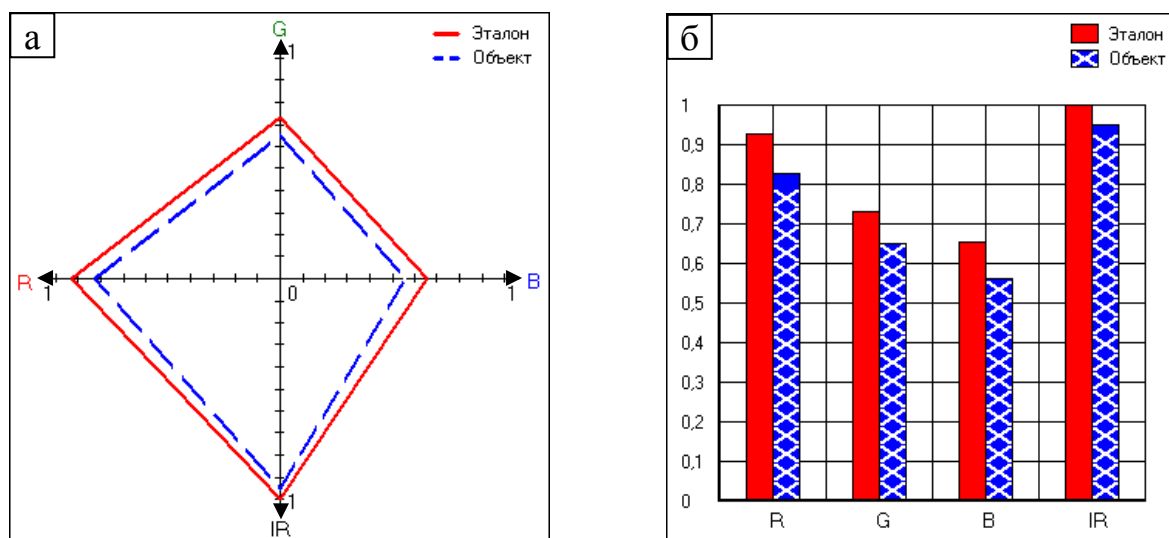


Рис. 11. Результат сравнения спектральных коэффициентов отражения двух сортов соевой муки в графическом виде:
а – лепестковая диаграмма; б – гистограмма.

Заключение

В результате проделанной работы разработан и изготовлен лабораторный макет телевизионного спектрометра, в котором используется телевизионный активный спектрональный метод получения и обработки изображений фрагментов исследуемых пищевых сред.

ТВ-спектрометр позволяет оперативно сравнивать исследуемые образцы с эталонами с целью оценки качества пищевых и биологических объектов.

Литература

1. *Дроханов А.Н., Киреев Д.А., Компанец И.Н. Краснов А.Е. Михайленко С.А.* Компьютерная квалиметрия пищевых и биологических сред. Электронный журнал «Оптоэлектронные методы и технологии получения, обработки и визуализации информации». [Выпуск 1](#), 2012.
2. *Михайлов В.Я.* Фотография и аэрофотография. Изд. геодезич. и картографич. литературы. 1952.
3. *Иорданский А.Н.* Спектрзональная фотография. Труды ЦНИИ геодезии, аэросъемки и картографии. 1955. Вып. 107.
4. Союз 22 исследует Землю. Совместное издание АН СССР и АН ГДР. М.: Наука, 1980. С. 234.
5. *Дроханов А.Н.* Анализатор структуры аэрокосмических фотоизображений. Журнал Геодезия и картография. № 5. 1998 г., с.39-44.
6. Техническая документация и руководство пользователя на видеопроцессоры серии RT-8xxVP. М.: ООО «РАСТР ТЕХНОЛОДЖИ». 2008 г. URL: www.rastr.net/product/video-proc.html
7. *Бондаренко А. В., Докучаев И.В., Стешенко В.Б.* Аппаратная реализация систем ввода, обработки, хранения и вывода изображений различных телевизионных форматов и стандартов. Журнал ЦОС № 1, 2003 г., с. 27.
8. *Бондаренко А.В., Докучаев И. В., Князев М.Г.* Расчёт пороговых значений потока излучений и освещённости для ПЗС матриц Kodak KAI-1003M, KAI-1020M и Philips FTF-3020M. Журнал CCTV focus, № 4, 2006 г., с. 24.
9. *Бондаренко А.В., Дроханов А.Н., Компанец И.Н., Краснов А.Е., Михайленко С.А.* Спектрально-текстурный экспресс-контроль пищевых сред. Препринт ФИАН №15. М.: 2008.

Авторы:

Бондаренко Андрей Викторович.
ООО «РАСТР ТЕХНОЛОДЖИ».
Генеральный директор.
e-mail: rastermsk@gmail.com

Дроханов Алексей Никифорович.
МГУТУ им. К.Г. Разумовского. Кафедра ИТ.
К.т.н., зав. лабораторией МНИЛОК.
e-mail: adrohan@mail.ru

Киреев Дмитрий Александрович.
МГУТУ им. К.Г. Разумовского. Кафедра ИТ.
Аспирант.
e-mail: dkireev@vectra21.ru

Компанец Игорь Николаевич.
Физический институт им. П.Н.Лебедева РАН.
Д.ф.-м.н., профессор, зав.отделом Оптоэлектроники.
e-mail: kompan@sci.lebedev.ru

Краснов Андрей Евгеньевич.
МГУТУ им. К.Г. Разумовского. Кафедра ИТ.
Д.ф.-м.н., профессор, зав. кафедрой.
e-mail: krasnovmgutu@yandex.ru

Михайленко Сергей Анатольевич.
МГУТУ им. К.Г. Разумовского. Кафедра ИТ.
Аспирант.
e-mail: serg231@bk.ru