

DOI <https://doi.org/10.30898/1684-1719.2021.5.6>

УДК 681.785.5

## МНОГОСПЕКТРАЛЬНАЯ КАМЕРА С ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОМ ФОРМИРОВАНИЕМ ИЗОБРАЖЕНИЙ

А. В. Овчинников

Тульский государственный университет,  
300012, г. Тула, пр. Ленина, 92

Статья поступила в редакцию 25 мая 20201 г.

**Аннотация.** В работе предложена реализация многоспектральной камеры на основе цифровой видеокамеры и набора интерференционных фильтров, обеспечивающих формирование последовательного потока спектральных изображений. Приведены результаты верификации формируемых спектральных изображений.

**Ключевые слова:** спектральная селекция, многоспектральная съёмка, телевизионные системы, многоспектральная камера, мальтийский механизм.

**Abstract.** The paper proposes the implementation of a multispectral camera based on a digital video camera and a set of interference filters, which provides the formation of a sequential stream of spectral images. The results of verification of the generated spectral images are presented.

**Keywords:** spectral selection, multispectral photography, television systems, multispectral camera, Maltese mechanism.

### Введение

Спектральные методы формирования и обработки информации в настоящее время используются для решения широкого круга прикладных задач в сельском хозяйстве и природоохранной деятельности, медицине, науке и производстве, в военном деле. Вне зависимости от области применения основное назначение данных методов состоит в поиске аномалий на исследуемом объекте или фоне.

Анализ представленных на рынке РФ много- и гиперспектральных камер показал, что подавляющее большинство камер не перекрывают оптический и ближний ИК-диапазоны, имеют порой избыточное количество спектральных каналов и низкое пространственное разрешение изображений, достаточно дороги. Отдельно следует отметить практически полное отсутствие отечественных разработок.

Поэтому автор поставил перед собой задачу разработки многоспектральной камеры для выполнения научных исследований спектров отражения природных и искусственных объектов и фонов.

Для обеспечения простоты реализации и невысокой цены автором было принято решение разрабатывать камеру, содержащую один приёмник оптического излучения с широким рабочим диапазоном и набор узкополосных интерференционных фильтров. При этом механическая часть камеры будет обеспечивать последовательный вывод каждого фильтра на оптическую ось приёмника.

## **1. Аппаратно-конструкторская реализация многоспектральной камеры**

### ***1.1. Основные требования к многоспектральной камере***

Анализ назначения и условий эксплуатации многоспектральной камеры позволил сформировать требования к её основным параметрам и конструкции (табл. 1) и предложить структурную схему (рис. 1).

Таблица 1. Основные требования к многоспектральной камере

№	Наименование	Значение
1	Рабочий диапазон, нм	470 - 900
2	Число каналов	$\geq 10$
3	Полоса пропускания канала,	$\leq 50$
4	Скорость съёмки, кадров/сек	$\leq 1$
5	Разрешение изображений, пикс	не хуже 800x600
6	Возможность смены объектива	да
7	Питание	Автономное, 12В
8	Размещение / установка	На штативе
9	Наличие калибровочной панели	да
10	Наличие осветителя для съёмки при низкой внешней освещённости	да

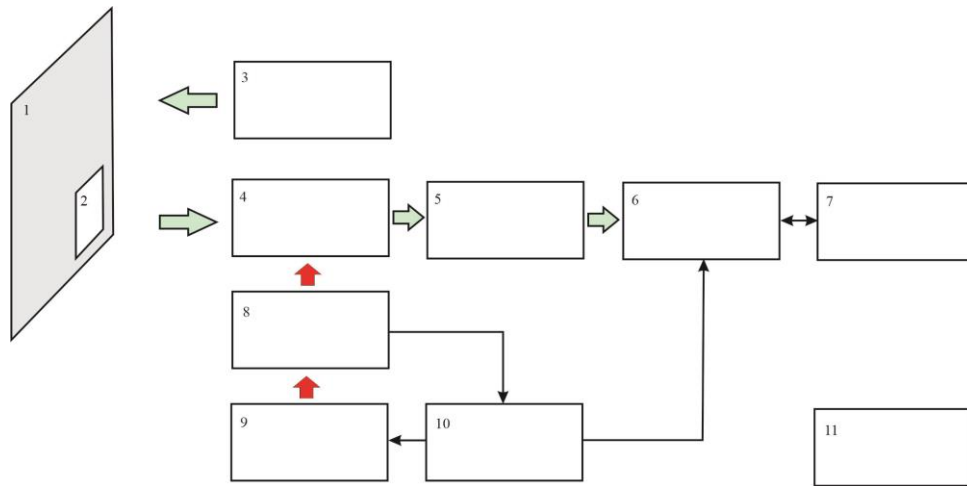


Рис. 1. Структурная схема многоспектральной камеры и процесса получения изображений: 1 – объект / покрытие / материал / фон; 2 – калибровочная панель; 3 – осветитель; 4 – набор интерференционных фильтров; 5 – объектив; 6 – цифровая камера; 7 – ПК (ноутбук); 8 – устройство смены интерференционных фильтров; 9 – электропривод; 10 – устройство управления электроприводом; 11 – источник электропитания.  
*Примечание.* Зелёные стрелки – оптический канал; красные стрелки – механическая передача; чёрные стрелки – электрический канал.

Оптическое излучение от исследуемого объекта (1) и размещенной рядом с ним калибровочной панели (2) подсвеченных осветителем (3) поступает на оптическую систему многоспектральной камеры, состоящую из набора интерференционных фильтров (4), объектива (5) и цифровой камеры (6). С выхода камеры информация поступает на ноутбук (7). Смена фильтров при съемке обеспечивается устройством смены фильтров (8) с электроприводом (9) и устройством управления электроприводом (10). Для обеспечения стабильной работы электропривода во времени, отсчета позиции фильтра предусмотрена обратная связь между устройствами смены интерференционных фильтров и управления электроприводом. Синхронизация съемки с процессом смены интерференционных фильтров обеспечивается формированием управляющих импульсов устройством управления электроприводом. Для питания схемы используется источник электропитания (11).

Реализация многоспектральной камеры по данной схеме потребовала выбора компонентной базы и способа реализации смены интерференционных фильтров.

Основные составные части и их краткие технические характеристики приведены в табл. 2.

Таблица . 2. Составные части многоспектральной камеры

№	Наименование	Основные технические характеристики
1	Цифровая видеокамера Baumer VCXU-13M	1280x1024, 1/2", 222 кадров/сек, 10 бит, C-mount, USB3 и Digital I/Os
2	Объектив: AZURE-0814mm AZURE-5020mm	1/2", 2MP, 8mm, C-mount 2/3", 2MP, 50mm, C-mount
3	Набор интерференционных светофильтров компании MidOpt серии BN (12 шт.)	BN470 (460-490 нм), BN485 (480-490 нм), BN520 (510-545 нм), BN595 (580-610 нм), BN630 (625-645 нм), BN650 (638-672 нм), BN740 (730-755 нм), BN785 (770-790 нм), BN810 (798-820 нм), BN850 (840-865 нм), BN880 (855-890 нм), BN940 (928-955 нм)
4	Калибровочная панель	На основе материала Matte White FiberGlass с широким углом диффузного отражения ( $160^{\circ}$ по уровню 0,7 от максимума)
5	Источник автономного питания (аккумулятор)	Герметичный, 12В, 7А*ч
6	Осветитель	Галогеновый, мощность 300 Вт

Смену интерференционных фильтров можно организовать множеством способов – как чисто механическими решениями, так и электронно-управляемыми механизмами. Учитывая назначение, требования к неподвижности светофильтров в момент съёмки кадра, было принято решение использовать мальтийский механизм, преобразующий постоянное вращение одной оси в прерывистое вращение другой [2].

### ***1.2. Конструкторская реализация многоспектральной камеры***

При проработке конструкции многоспектральной камеры было принято решение о её реализации (рис. 2а) в виде несущей рамы интегрирующей в себя:

- ведомый диск с установленными на него фильтрами;
- ведущий вал, жестко соединённый с электродвигателем;
- блок электроники;
- видеокамеру и каретку для её крепления;
- датчик положения;
- механизм гашения колебаний ведомого диска.

Фильтры расположены на ведомом диске равномерно, по окружности с

радиусом  $R=80$  мм. Диск приводится в движение ведущим валом, соединенным с двигателем постоянного тока через мальтийский механизм (рис. 2б), который преобразует равномерное вращательное движение двигателя в прерывистое вращательное движение ведомого диска. Каждый оборот ведущего вала выводит на оптическую ось следующий фильтр, а конструкция механизма надёжно фиксирует его в этом положении во время съёмки кадра. Питание двигателя осуществляется от аккумулятора. Для регулировки скорости вращения диска, и соответственно, скорости съёмки, предусмотрено управление двигателем с помощью ШИМ-сигнала.

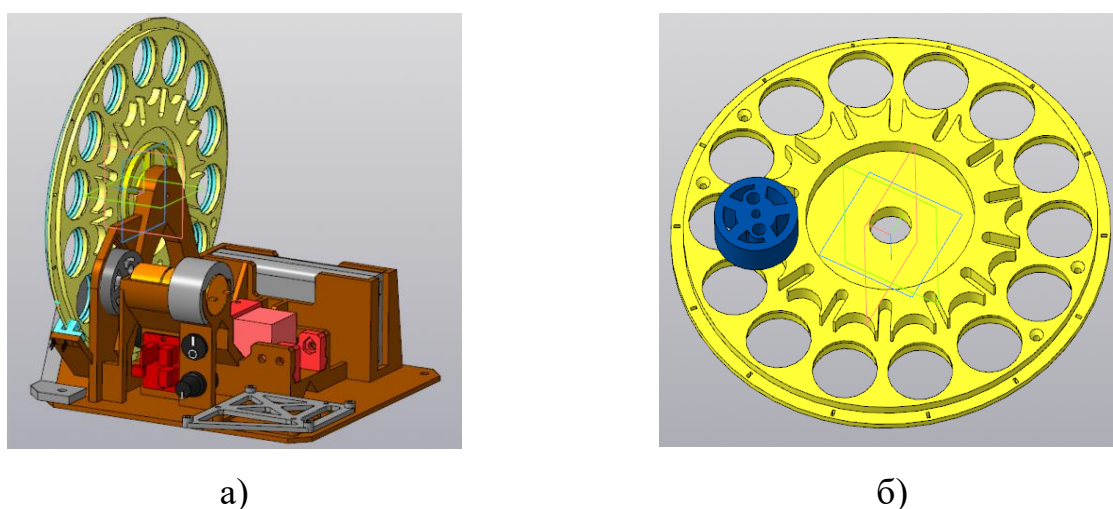


Рис. 2. Эскиз многоспектральной установки (а) и мальтийского механизма (б).

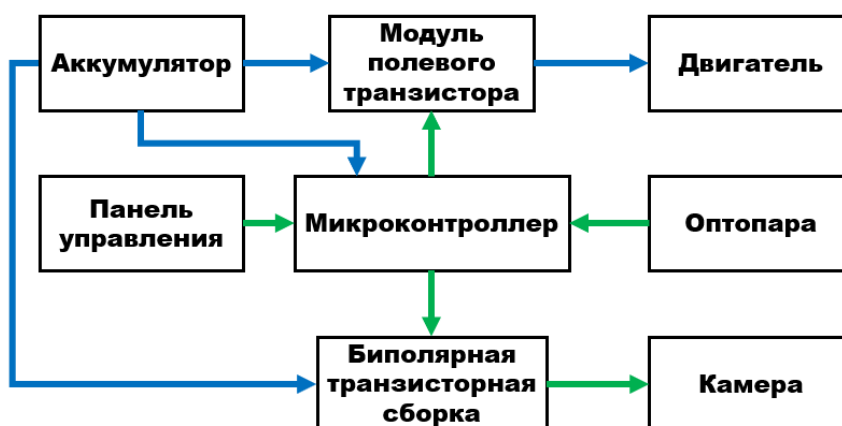


Рис. 3. Структурная схема электрической части многоспектральной камеры

Детали механизма смены фильтров и несущая рама напечатаны на 3D-принтере пластиком HIPS (ударопрочный полистирол). Внизу рамы предусмотрено резьбовое отверстие под стандартный крепёж для камер с резьбой UNC 1/4-20, что позволяет установить её на любой штатив.

Структурная схема электрической части многоспектральной камеры представлена на рис. 3. Синими линиями на схеме выделены цепи питания, зелёными – линии управления.

Взаимодействие всех электрических и механических компонентов обеспечивается микроконтроллером ATmega328P.

## **2. Программное обеспечение многоспектральной камеры**

Программное обеспечение для разработанной многоспектральной камеры представлено двумя продуктами - «2nd Look» компании IO Industries (Канада) и разработанным программным модулем «Гиперспектральная обработка».

«2ndLook» программное обеспечение для записи данных в режиме реального времени на ПК с видеокамеры, поддерживает запись многих распространённых форматов файлов, полностью совместимо с видеокамерой Baumer VCXU-13M и позволяет выполнять «тонкие» настройки её параметров [3].

Разработанный модуль «Гиперспектральная обработка» реализован с использованием среды Matlab и позволяет:

- сопровождать съёмку для обеспечения единства методики, выявления изображений, характеристики которых не удовлетворяют требуемым, ведения и обслуживания базы данных спектральных изображений;
- выполнять анализ спектральных изображений.

## **3. Апробация и верификация многоспектральной камеры**

Для оценки погрешности измерений разработанной многоспектральной камеры были выполнено сравнительное исследование спектральной яркости 4-х образцов цветного матового картона различной окраски (красный, синий, зелёный, фиолетово-сиреневый). Один и тот же образец картона разделялся на две равные части, одна из которых исследовалась на спектрофотометре

Shimadzu UV-3600, а вторая – на разработанной многоспектральной камере.

На рис. 4 приведены результаты измерений спектральной яркости цветного картона, полученные на спектрофотометре.

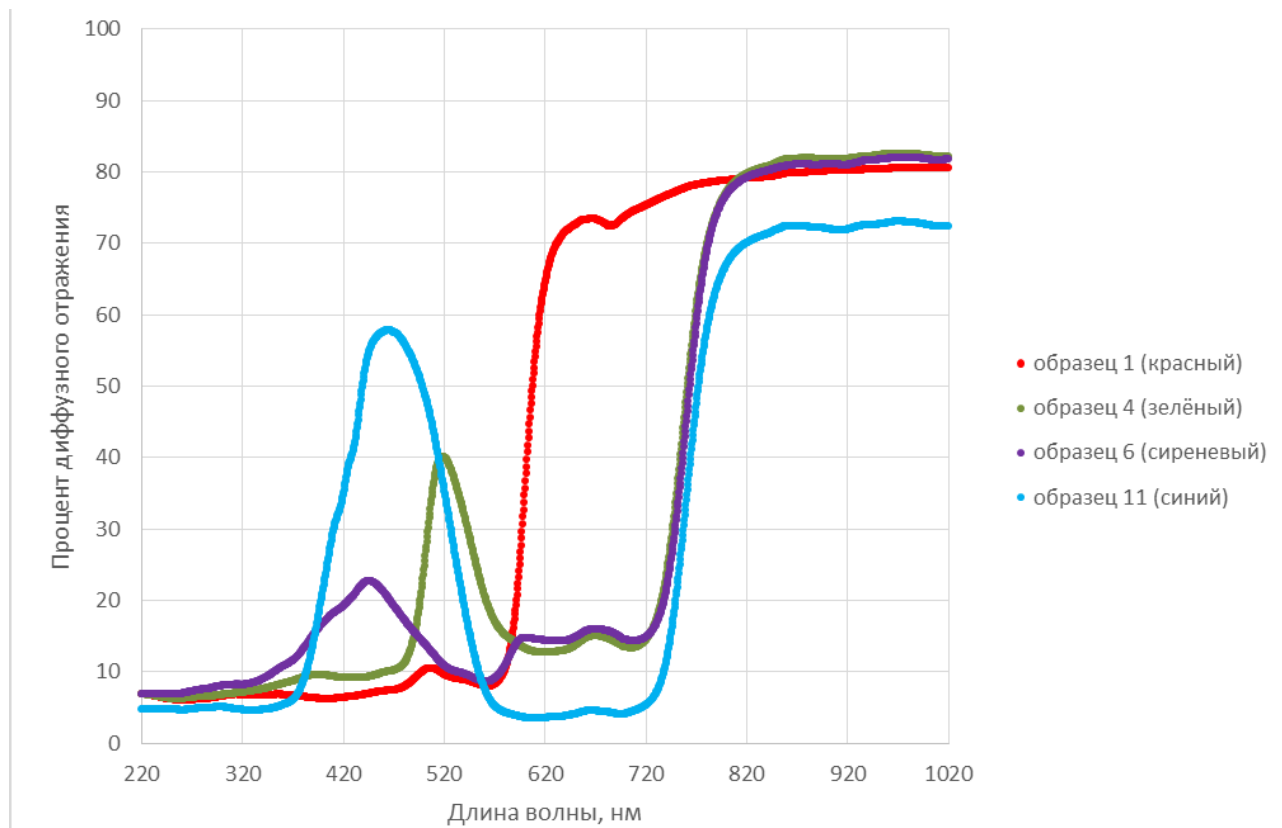


Рис. 4. Результаты измерений спектральной яркости цветного картона, полученные на спектрофотометре Shimadzu UV-3600.

Как видно из рис. 4, исследованные образцы картона имеют существенно различные характеристики спектрального отражения.

На рис. 5 – 8 приведены результаты сравнения результатов, полученных с помощью разработанной экспериментальной установки (дискретные точки) для 12 спектральных каналов и спектрофотометра (непрерывная линия).

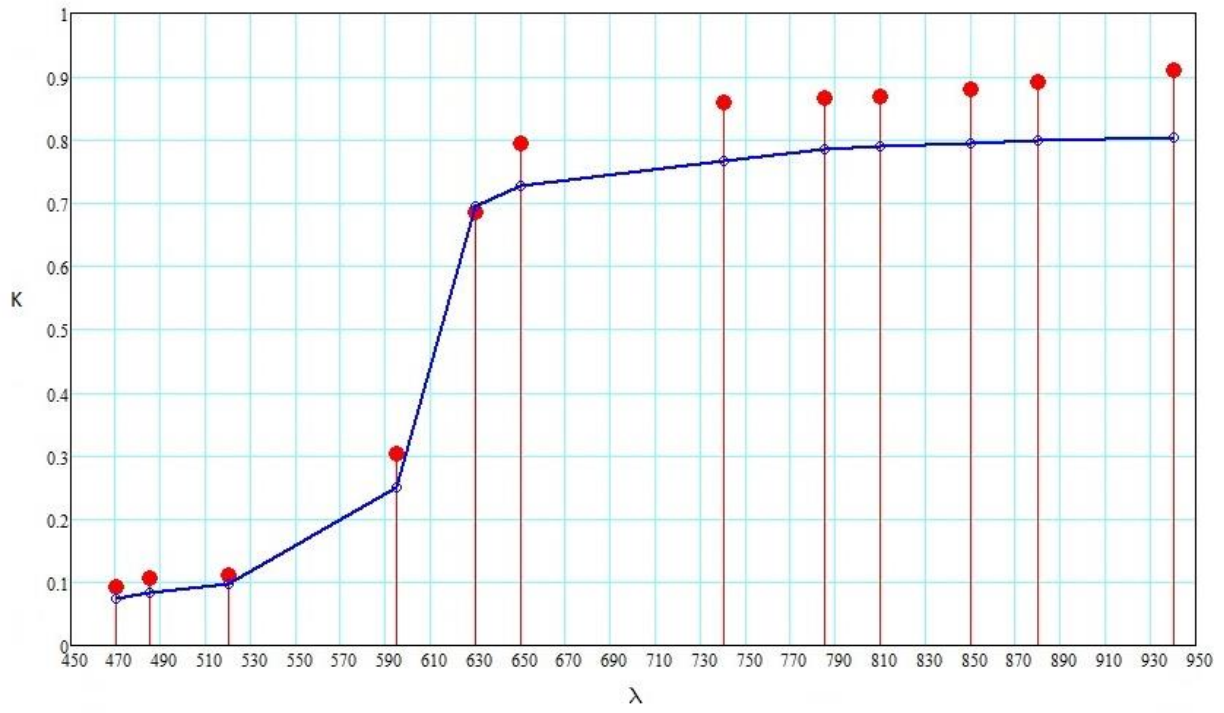


Рис. 5. Спектральная яркость красного картона.

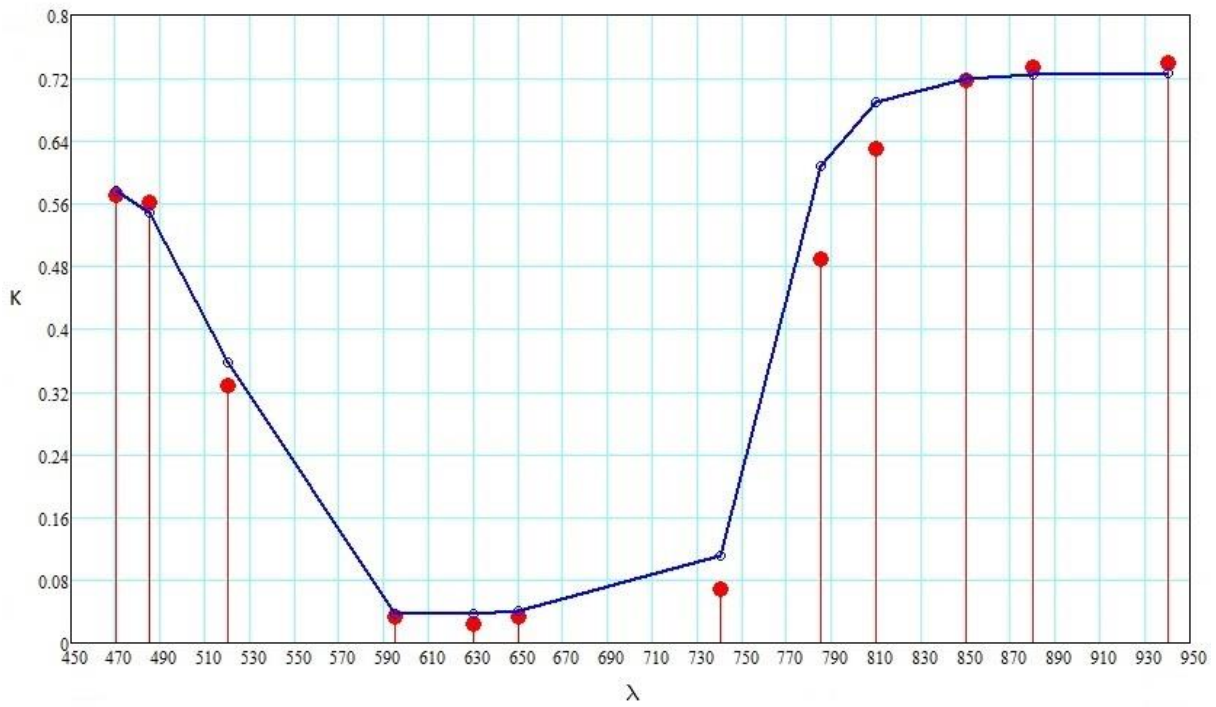


Рис. 6. Спектральная яркость синего картона.



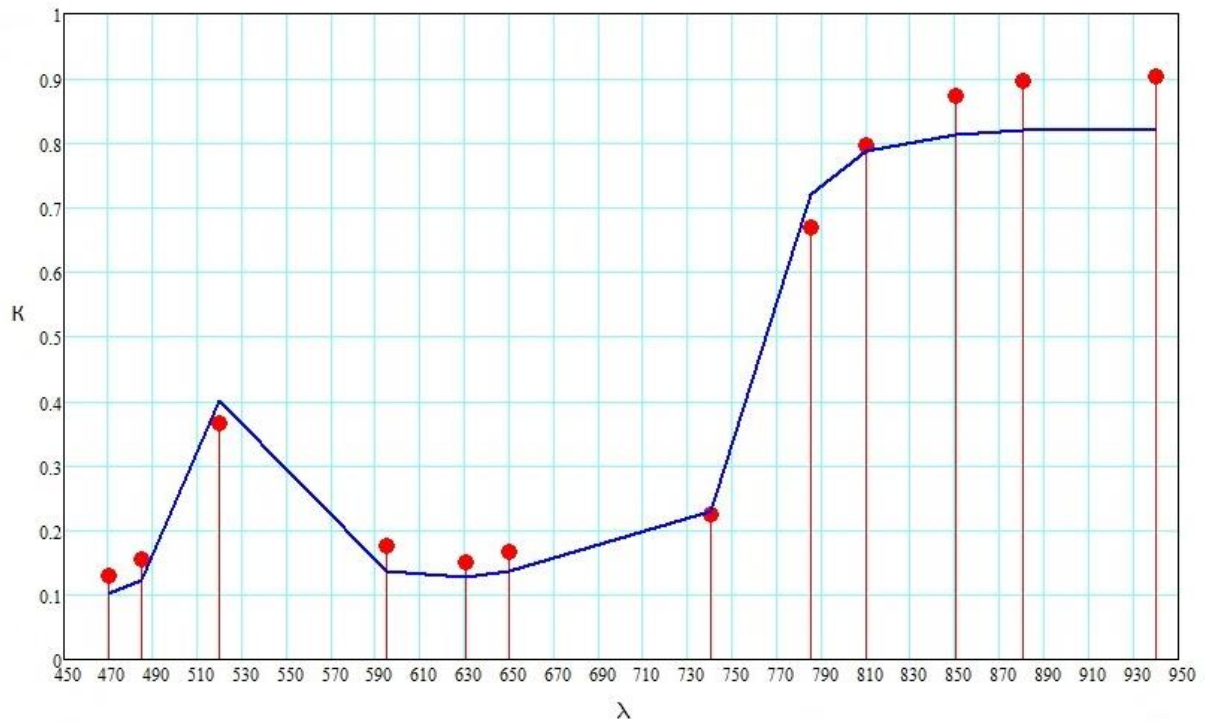


Рис. 7. Спектральная яркость зелёного картона.

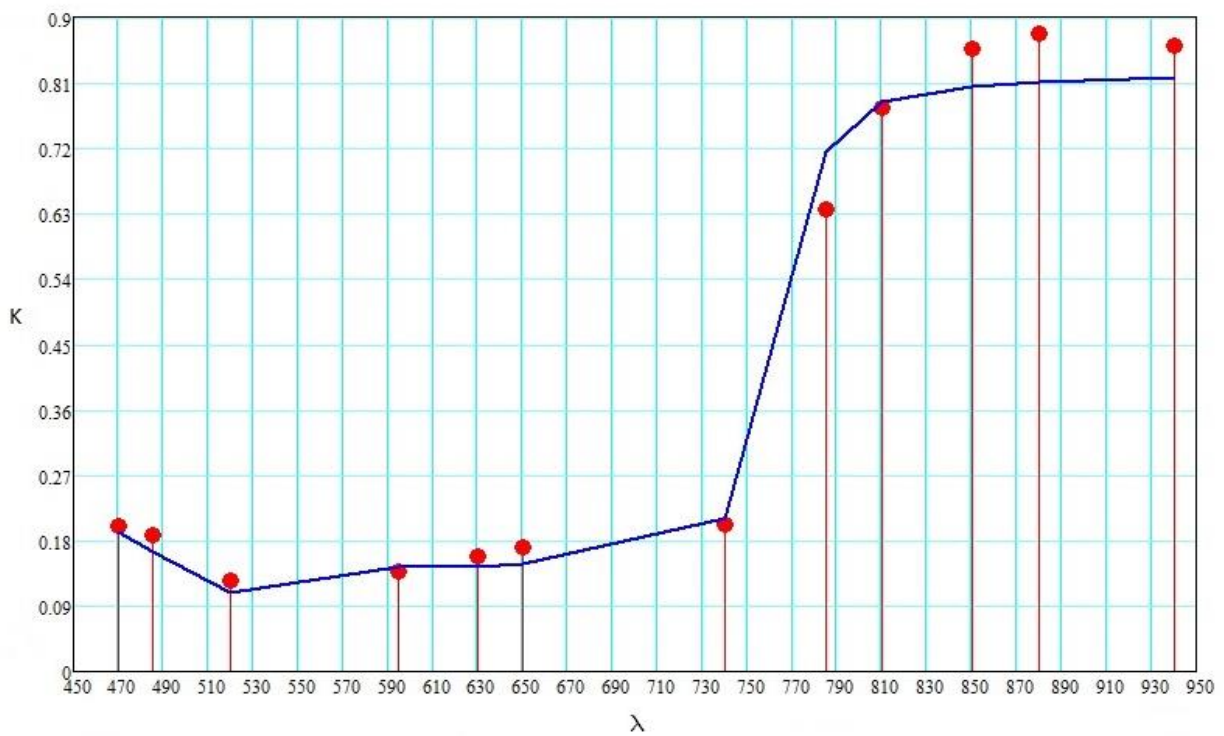


Рис. 8. Спектральная яркость фиолетового картона.

На рис. 9 приведены средние значения погрешности измерений коэффициента спектральной яркости от длины волны, а в табл. 3 приведены значения СКО измерения коэффициента спектральной яркости образцов.

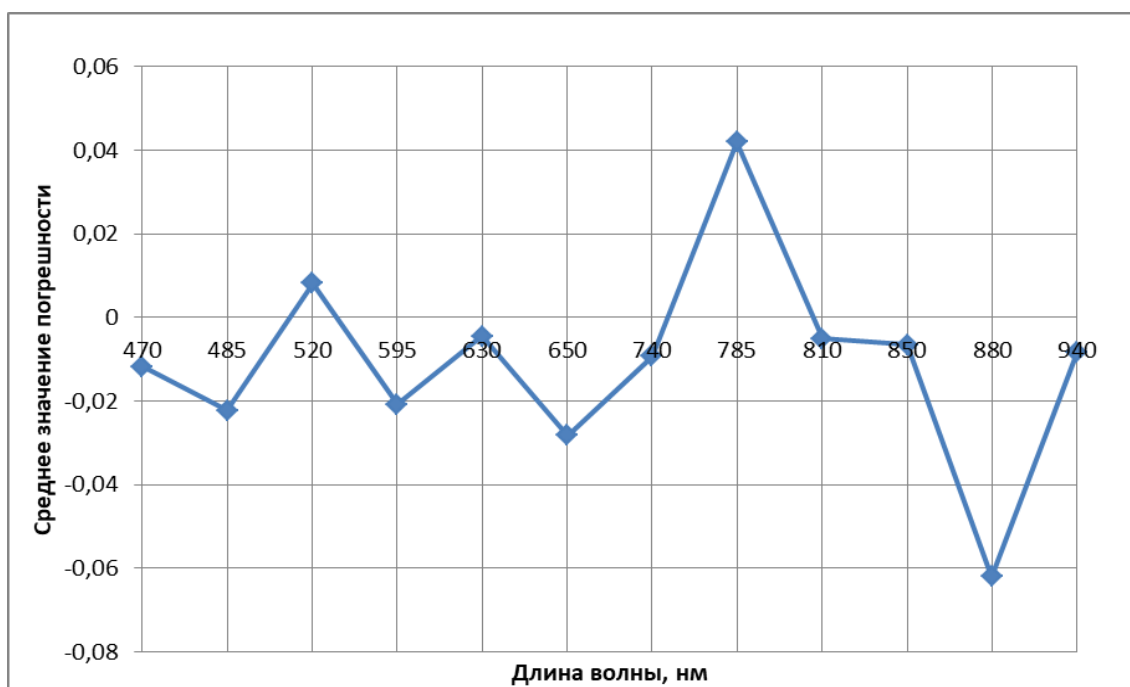


Рис. 9. Зависимость среднего значения погрешности измерений коэффициента спектральной яркости от длины волны.

Таблица 3. Значения СКО измерения коэффициента спектральной яркости образцов

Образец	Красный	Синий	Зелёный	Фиолетовый
СКО	0,037	0,038	0,040	0,037

Полученные результаты позволяют сделать следующие выводы:

- наблюдается как качественная, так и количественная сходимость результатов измерений для всех образцов;

- для всех образцов СКО измерения во всём диапазоне приблизительно одинаковы и составляет 0,037...0,04, что свидетельствует о достаточно равномерной точности измерений в диапазоне независимо от типа спектра отражения;

- наибольшие значения погрешностей имеют место на длинах волн 785 и 880 нм.

В целом полученные результаты показывают, что разработанная многоспектральная камера обеспечивает измерение спектральных

характеристик яркости образцов в диапазоне 470...940 нм с погрешностью, не превышающей 10...12%

### **Заключение**

Рассмотренная в данной статье многоспектральная камера разработана на кафедре «Радиоэлектроника» Тульского государственного университета в рамках НИР и прошла апробацию в ходе экспериментального исследования спектров отражения фонов и объектов [4], чем доказала свою эффективность и работоспособность при различных погодных условиях и внешней освещенности.

### **Литература**

1. Тарасов В. В., Якушенков Ю. Г. *Двух- и многодиапазонные оптико-электронные системы с матричными приёмниками излучения*. Москва, Университетская книга; Логос. 2007. 192 с.
2. Овчинников А.В., Макарецкий Е.А. Концепция реализации механизма смены фильтров многоспектральной камеры. *Наука, образование, общество: сборник научных трудов по материалам всероссийской научно-практической конференции 30 сентября 2019 г. Часть 3*. Тамбов: Консалтинговая компания Юком, 2019. 135 с. – С.133-135.
3. *Удобное ПО для записи видео IO Industries 2ndLook* [Электронный ресурс] URL: <https://www.cameraiq.ru/catalog/series/2ndLook-po-dlia-zapisi-video> (дата обращения: 24.05.2021 г.)
4. Погорельский С.Л., Макарецкий Е.А., Понятский В.М., Овчинников А.В., Гублин А.С., Шилин А.А. Результаты экспериментального исследования спектров материалов и сложных фонов. *Известия Тульского университета. Технические науки*. 2020. Вып.11. С.85-91.

### **Для цитирования:**

Овчинников А.В. Многоспектральная камера с последовательным формированием изображений. *Журнал радиоэлектроники* [электронный журнал]. 2021. №5. <https://doi.org/10.30898/1684-1719.2021.5.6>