

РАДИОФИЗИКА

УДК 621.397

DOI: 10.34680/2076-8052.2023.5(134).688-699

ГРНТИ 47.51.39

Специальность ВАК 1.3.4

Научная статья

СОВРЕМЕННЫЕ ВИДЕОСПЕКТРАЛЬНЫЕ КОМПАРАТОРЫ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ДОКУМЕНТОВ

Гареев В. М., Гареев М. В., Корнышев Н. П., Серебряков Д. А.,
Карачинов В. А., Гаврушко В. В., Быстров Н. Е.

*Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого
(Великий Новгород, Россия)*

Аннотация Статья посвящена аналитическому обзору состояния и перспектив развития видеоспектральных компараторов, предназначенных для технических исследований документов. Данная аппаратура относится к спектрозональным телевизионным системам, позволяющим получать изображения в различных участках видимого и ближнего инфракрасного диапазона спектра. Телевизионная спектрозональная визуализация в настоящее время является одним из методов системного исследования документов и рукописно-книжных памятников. Развитие спектрозональной визуализации изначально связано с фотографическими методами исследований. Телевизионные и оптико-электронные устройства позволили перейти к принципиально новой аппаратной базе вследствие целого ряда преимуществ: контрастной и спектральной чувствительности, оперативности контроля и обработки изображений. Видеоспектральные компараторы являются примером такой аппаратуры, где в комплексе решаются основные задачи, связанные с техническими исследованиями документов.

Ключевые слова: видеоспектральные компараторы, телевизионная спектрозональная визуализация, техническая экспертиза документов

Для цитирования: Гареев В. М., Гареев М. В., Корнышев Н. П., Серебряков Д. А., Карачинов В. А., Гаврушко В. В., Быстров Н. Е. Современные видеоспектральные компараторы для исследования документов // Вестник НовГУ. 2023. 5(134). 688-699. DOI: 10.34680/2076-8052.2023.5(134).688-699

Research Article

MODERN VIDEO SPECTRAL COMPARATORS FOR INVESTIGATION OF DOCUMENTARY AND HANDWRITTEN MONUMENTS

Gareev V. M., Gareev M. V., Kornyshev N. P., Serebriakov D. A.,
Karachinov V. A., Gavrushko V. V., Bystrov N. E.

Yaroslav-the-Wise Novgorod State University (Veliky Novgorod, Russia)

Abstract The article is devoted to an analytical review of the state and prospects of development of video spectral comparators intended for technical studies of documents. This equipment belongs to the spectrosonal television systems that allow obtaining images in various parts of the visible and near-infrared spectrum. Currently, television spectrosonal visualization is one of the methods of systematic study of documents and handwritten book monuments. The development of spectrosonal imaging is initially associated with photographic research methods. Television and optoelectronic devices made it possible to switch to a fundamentally new hardware base due to a number of advantages: contrast and spectral sensitivity, efficiency of image control and processing. Video spectral comparators are an example of such equipment which completely solves the main tasks related to technical examination of documents.

Keywords: video spectral comparators, television spectrosonal visualization, technical examination of documents

For citation: Gareev V. M., Gareev M. V., Kornyshev N. P., Serebriakov D. A., Karachinov V. A., Gavrushko V. V., Bystrov N. E. Modern video spectral comparators for investigation of documentary and handwritten monuments // Vestnik NovSU. 2023. 5(134). 688-699. DOI: 10.34680/2076-8052.2023.5(134).688-699

Введение

Телевизионная спектрозональная визуализация в настоящее время является одним из методов системного исследования документов и рукописно-книжных памятников. Развитие спектрозональной визуализации изначально связано с фотографическими методами исследований. Телевизионные и оптико-электронные устройства позволили перейти к принципиально новой аппаратной базе вследствие целого ряда преимуществ: контрастной и спектральной чувствительности, оперативности контроля и обработки изображений [1, 2]. Видеоспектральные компараторы являются примером такой аппаратуры, где в комплексе решаются основные задачи, связанные с техническими исследованиями документов. Рассмотрению современного состояния данного вида техники, а также перспективам ее развития и посвящена настоящая обзорная статья.

Современные видеоспектральные компараторы представлены в настоящее время разработками зарубежных фирм Foster&Freeman (Великобритания), «Projectina», Швейцария, «Regula», Беларусь и отечественных фирм ЗАО «ЭВС» и «Вилдис». Ниже рассматриваются основные модели видеоспектральных компараторов и их основные технические характеристики.

Видеоспектральные компараторы Foster&Freeman (Великобритания)

Фирма Foster&Freeman (Великобритания) до сих пор является ведущим мировым разработчиком и производителем видеоспектральных систем для технических экспертиз документов: торговая марка VSC™ – VideoSpectral Comparator. В настоящее время линейка видеоспектральных компараторов *Foster&Freeman* представлена моделями VSC 80, VSC 800 и VSC 8000 (рисунок 1) [3, 4].



Рисунок 1. Внешний вид линейки современных видеоспектральных компараторов *Foster&Freeman*: VSC 80, VSC 800 и VSC 8000 (слева направо)

VSC 80 является упрощенным вариантом оборудования и предназначен для экспресс-контроля документов. Обеспечивает формирование изображения в формате Full HD с увеличением до 100 в УФ, видимом и ИК-свете, включая визуализацию люминесценции и функции обработки изображений.

VSC 800 является компактным видеоспектральным компаратором среднего диапазона с высоким разрешением. Имеет автоматическое или ручное управление функциями камеры и всеми источниками света VSC, в частности, настройку контрастности и яркости, параллельное сравнение и наложение изображений, ведение базы данных исследуемых документов.

АПК на базе VSC8000 предназначен для углубленных исследований документов и сочетает в себе технологию формирования и цифровой обработки спектральных изображений и обеспечивает мультиспектральную визуализацию (от ультрафиолетовой до видимой и инфракрасной), 3D топографическую визуализацию, гиперспектральную визуализацию, а также цветовой анализ.

АПК VSC8000 имеет следующие технические характеристики:

- Разрешение видеокамеры 12 Мп
- Увеличение: 25-кратное
- Количество режимов УФ-видимой и ИК-визуализации: 15
- Наличие встроенного микроспектрометра
- Моторизованное позиционирование документов

Программное обеспечение VSC позволяет пользователю управлять всеми функциями VSC с помощью удобной панели инструментов быстрого доступа, а именно:

- Возможность автоматизированной проверки документа
- Возможность формирования 3D-изображения документа
- Гиперспектральная визуализация
- Функции улучшения изображения
- Оптическое распознавание символов

Видеоспектральные компараторы «Projectina», Швейцария

Современные видеоспектральные компараторы от «Projectina», Швейцария в настоящее время представлены аппаратурой среднего класса Spectra Flex (рисунок 2) [5] и аппаратурой для углубленных исследований документов Spectra Pro (рисунок 3) [6].



Рисунок 2. Внешний вид видеоспектрального компаратора Spectra Flex «Projectina», Швейцария



Рисунок 3. Внешний вид видеоспектрального компаратора Spectra Pro «Projectina», Швейцария

Видеоспектральный компаратор Spectra Pro представляет последнее поколение профессионального оборудования для углубленных исследований документов. Spectra Pro имеет высокое качество оптики и высокочувствительную цифровую видеокамеру до 12 Мп.

Технические характеристики Spectra Pro

1. Спектральный диапазон цифровой камеры 350 – 1100 нм
2. Формат изображения 4096x3071
3. Интерфейс камеры USB 3.1
4. Экспозиция камеры 1 мс – 180 сек.
5. Максимальное поле зрения 214x179 мм
6. Максимальное поле зрения при перемещении моторизованного предметного столика по оси X/Y и функции склеивания 354x244 мм
7. Цифровое увеличение до 10x
8. Максимальный размер исследуемого объекта А3

Виды освещения и визуализации:

1. Белый свет верхний, боковой, нижний
2. ИК освещение
3. ИК люминесценция
4. ИК полосовой фильтр
5. УФ свет
6. Ретро-коаксиальный свет
7. Поляризованный свет
8. Визуализация люминесценции УФ, ИК, антистокс
9. Барьерные фильтры от 530 до 1000 нм, и УФ проходящий фильтр
10. Аппаратный спектрометр с разрешением 2,4 нм
11. Гиперспектральная визуализация
12. Обработка изображений

Видеоспектральные компараторы «Regula», Беларусь

Современные видеоспектральные компараторы от «Regula» в настоящее время представлены аппаратурой среднего класса Regula 4307 и аппаратурой для углубленных исследований документов Regula 4308. Их внешний вид показан на рисунке 4 [7].

Технические характеристики видеоспектральных компараторов «Regula»

1. Спектральный диапазон цифровой камеры 350 – 1100 нм
2. Число элементов 5 Мп (Regula 4307), 14,6 Мп (Regula 4308)
3. Размер кадра 2592x1944 (4:3, Full Frame), 2592x1460 (16:9, Extra Full HD)
4. Интерфейс камеры USB 3.0
5. Экспозиция камеры 1 мс – 180 сек.

6. Максимальное поле зрения 228x171 мм
7. Минимальное поле зрения 0,8x0,6 мм
8. Оптическое увеличение до 30x
9. Цифровое увеличение до 8x
10. Максимальный размер исследуемого объекта: А5 (Regula 4307), А4 (Regula 4308)

Виды освещения и визуализации:

1. Белый верхний свет
2. ИК свет 700-1020 нм (5 источников)
3. УФ свет 254-400 нм (4 источника)
4. Боковой свет (белый и ИК)
5. Нижний свет 365-870 нм (6 источников)
6. Ретро-коаксиальный свет
7. Поляризованный свет
8. Точечный свет
9. Визуализация люминесценции УФ и ИК
10. Фильтры камеры 14шт.: пороговые от 580, 600, 630, 650, 670, 685, 700, 715, 730, 780, 850 нм, УФ отсекающий 450-1100 нм, полосовой видимый 370-700 нм, поляризационный
11. Фильтры источников 8шт.: 390-410 нм, 440-460 нм, 460-480 нм, 495-515 нм, 520-540 нм, 580-600 нм, 605-635 нм, 625-655 нм
12. Аппаратный спектрометр 350-1000нм с разрешением 3 нм
13. Гиперспектральная визуализация в спектральном диапазоне 395-950 нм при шаге 1 нм с выводом спектра отражения исследуемого объекта (Regula 4308).



Рисунок 4. Внешний вид Regula 4307 (слева) и Regula 4308 (справа)

Видеоспектральный компаратор "Экспресс-комби", ЗАО «ЭВС»

Видеоспектральный компаратор «Экспресс-Комби» (рисунок 5) предназначен для экспресс исследований документов в видимом отраженном, инфракрасном отраженном, видимом проходящем, инфракрасном проходящем и ультрафиолетовом свете [8].



Рисунок 5. Видеоспектральный компаратор «Экспресс-Комби»

Технические характеристики видеоспектрального компаратора «Экспресс-Комби»

1. Спектральный диапазон цифровой камеры 365 – 1100 нм
2. Число элементов 5 Мп
3. Размер кадра 2592x1920
4. Интерфейс камеры USB 3.0
5. Поле зрения 172x85 мм (возможность увеличения до 330x250 мм)
6. Минимальное поле зрения 16x12 мм
7. Оптическое увеличение до 10x

Виды освещения и визуализации:

1. Белый верхний свет
2. ИК свет 870 нм
3. УФ свет 365 нм
4. Боковой свет (белый и ИК)
5. Нижний свет 400-700 нм, 870 нм
6. Визуализация люминесценции УФ и ИК
7. Автоматическое сканирование
8. Обработка изображений

Видеоспектральные компараторы ООО «Вилдис»

Современные видеоспектральные компараторы от ООО «Вилдис» в настоящее время представлены аппаратурой среднего класса «ДИСТЕХ-ВСК» и программно-аппаратными комплексами для проведения углубленной технико-криминалистической экспертизы документов VC-30A/30M (рисунок 6) [9, 10].



Рисунок 6. Внешний вид ДИСТЕХ-ВСК

*Основные технические характеристики
видеоспектрального компаратора ДИСТЕХ-ВСК*

Технические характеристики 2-х вариантов исполнения видеоспектрального компаратора VC-30 приведены в таблице 1.

Таблица 1. Технические характеристики аппаратуры VC-30А и VC-30М

Характеристика	VC-30А	VC-30М
отраженный свет	Видимый диапазон: белый, 630 нм, 590 нм, 525 нм, 470 нм, УФ: 365 нм (лампы 2х9 Вт), 313 нм (лампы 2х9 Вт), 254 нм (лампы 1х9 Вт), ИК: 850 нм, 940 нм	Видимый диапазон: белый, 630 нм, 590 нм, 525 нм, 470 нм, УФ: 365 нм (лампы 2х9 Вт), 313 нм (лампы 2х9 Вт), 254 нм (лампы 1х9 Вт), ИК: 850 нм, 940 нм, 980 нм (лазер)
наклонный свет	белый, ИК (850 нм)	
проходящий свет	белый, ИК (850 нм)	
Видеокамера верхняя	Цветная цифровая с матрицей 1/2" разрешением 2048x1536 (3 Мп)	
Объектив верхней видеокамеры	Увеличение до 10х с моторизованным приводом регулировок диафрагмы, масштаба и фокусировки изображения.	
Диапазон увеличения	10х – оптическое, цифровое – не ограничено, 30-кратное увеличение при наблюдении на мониторе с диагональю экрана 19".	
Видеокамера боковая	Цветная цифровая с матрицей 1/2" разрешением 2048x1536 (3 Мп)	
Объектив боковой видеокамеры	постоянное фокусное расстояние f=25 мм (увеличение 4х) или f=50 мм (увеличение 6х)	
Оптические фильтры верхней видеокамеры	отсекающие 400 нм, 440 нм, 470 нм, 520 нм, 540 нм, 560 нм, 590 нм, 610 нм, 630 нм, 645 нм, 700 нм, 740 нм, 830 нм, 860 нм, 1000 нм, полосовой 420-640 нм	
Интерфейс связи с ПК	USB 2.0	
Потребляемая мощность	не более 50 Вт	
Размер поля зрения	170 мм x 130 мм	
Размер предметного стола	600x327 мм	600x420 мм
Габаритные размеры	620x515x465 мм	810x555x710 мм
Масса	40 кг	70 кг

Видеоспектральный компаратор VC-30 обеспечивает проведение углубленных исследований документов с использованием 10 видов подсветки видимого, инфракрасного и ультрафиолетового излучения в отраженном, наклонном и проходящем свете, с применением 15 отрезных и 1 полосового фильтров.

Прибор оснащен двумя цветными цифровыми камерами с матрицей 1/2" и разрешением 2048x1536 (3 млн. пикселей). Основная камера установлена вертикально, оснащена оптическое увеличение 10х (цифровое увеличение не ограничено) и моторизованным приводом регулировок диафрагмы, масштаба,

фокусировки изображения и механизмом смены светофильтров, что позволяет получить высококачественное изображение участка материала с 30-кратным увеличением при наблюдении на мониторе с диагональю 19”.

Камера бокового обзора имеет объектив с фиксированным фокусным расстоянием $f=25$ мм, возможность ручной регулировки диафрагмы и переменный угол установки (от 0 до 30 град). Камера предназначена для проведения экспертизы в отраженном либо наклонном белом свете. Конструктивное решение корпуса, включающее моторизованный столик, обеспечивает возможность исследования документа любого формата, не превышающего А4, с сохранением и воспроизведением координат исследуемой области.

Сравнительный анализ технических характеристик рассмотренных выше зарубежных видеоспектральных компараторов показывает их практическую равноценность при некоторых особенностях каждой модели, выражающихся в основном в сервисных функциях. Отечественные видеоспектральные компараторы, имея практически одинаковый спектральный диапазон с зарубежными, в настоящее время уступают им, как по разрешающей способности, так и по количеству сервисных функций. Основные технические характеристики видеоспектральных компараторов, предназначенных для углубленных исследований документов, сведены в таблицу 2.

Таблица 2. Сравнительный анализ основных технические характеристики идеоспектральных компараторов

Параметр	Модель				
	VSC 8000	Spectra Pro	Regula 4308	Экспресс-комби	VC-30
Разрешение видеокамеры, Мп	12	12	14,6	5	3
Масштабирование оптическое+цифровое, крат	25+10	20+10	30+8	10	10+30
Спектральный диапазон,нм	365-1100	350-1100	350-1100	365-1100	365-1100
Количество режимов визуализации	15	15	15	8	8
Гиперспектральная визуализация	есть	есть	есть	нет	нет

Заключение

Анализ состояния современных видеоспектральных компараторов показывает на существенное повышение их технических характеристик, в частности, разрешающей способности, а также контрастной чувствительности, что связано со значительным улучшением параметров цифровых видеокамер. Необходимо отметить на имеющий место компромисс между разрешающей способностью и чувствительностью.

Разрешающая способность цифровых видеокамер, устанавливаемых в видеоспектральные компараторы, составляет в настоящее время от 5 до 14 Мп, что, очевидно, не является пределом для дальнейшего повышения разрешения аппаратуры. Что касается чувствительности, то для цветных 5 Мп видеокамер она может составлять до 10^{-3} лк [11]. Таким образом, следует ожидать дальнейшего улучшения данных параметров в перспективных образцах видеоспектральных компараторов.

Диапазон спектральной чувствительности видеокамер в видеоспектральных компараторах пока остается без существенных изменений 390-1100 нм. Однако, расширение спектральной чувствительности, как в более коротковолновую, так и в более длинноволновую область спектра, представляет практический интерес [12, 13]. Технические возможности для этого имеются, поэтому увеличение диапазона спектральной чувствительности также следует отнести к перспективному направлению совершенствования видеоспектральных компараторов.

Во всех видеоспектральных компараторах в настоящее время в основном используются светодиодные источники спектрально-подсветки, что также связано с расширением номенклатуры светодиодов и повышением яркости их свечения. Ультрафиолетовый диапазон имеющихся в настоящее время ультрафиолетовых светодиодов ограничен длиной волны 365 нм, однако, в перспективе следует ожидать появления светодиодов среднего и коротковолнового диапазона, что позволит заменить ультрафиолетовые лампы на длинах волн 312 и 254 нм. Инфракрасный диапазон применяемых в настоящее время светодиодов ограничен длинами волн 910-940 нм, однако, при расширении диапазона спектральной чувствительности возможно применение лазерных источников света ИК диапазона, что в частности уже используется в аппаратуре ООО «Вилдис».

Все современные видеоспектральные компараторы отличает большой набор сервисных функций по обработке изображений, автоматизации процесса исследований и управления режимами работы, что решается путем разработки специализированного программного обеспечения. Очевидно, что в этом направлении также следует ожидать дальнейшего прогресса.

Новым направлением развития видеоспектральных компараторов является режим гиперспектральной визуализации, реализованный в ряде моделей аппаратуры от «Foster&Freeman», «Projectina» и «Regula». Основной тенденцией развития методов гиперспектральной визуализации является увеличение числа спектральных каналов и повышение быстродействия. В видеоспектральных компараторах это возможно путем сканирования по спектральному диапазону за счет использования электрически перестраиваемых оптических фильтров, устанавливаемых перед фотоприемником и/или после широкоспектрального источника света. Такие фильтры могут быть выполнены, в частности, на базе интерферометров Фабри-Перо, с регулированием воздушного зазора при помощи

электрически управляемы пьезоактюаторов [14-18]. Таким образом, совершенствование метода гиперспектральной визуализации и его широкое использование в видеоспектральных компараторах следует также указать в качестве перспективного направления развития данного вида техники.

Список литературы

1. Балаченкова А. П., Ляховицкий Е. А., Цыпкин Д. О. Проблемы и перспективы применения спектрозональной визуализации в исследованиях памятников письменности // Вестник Санкт-Петербургского университета. История. 2021. 66(3). 950-970. DOI: 10.21638/spbu02.2021.315
2. Балаченкова А. П., Ляховицкий Е. А., Цыпкин Д. О. Проблемы и перспективы применения спектрозональной визуализации в исследованиях памятников письменности // Вестник Санкт-Петербургского университета. История. 2021. 66(3). 950-970. DOI: 10.21638/spbu02.2021.315
3. Foster+freeman: официальный сайт. URL: <https://fosterfreeman.com> (Дата обращения: 05.07.2023).
4. Нестандартное применение видеоспектрального компаратора VSC8000 Foster+Freeman для исследования образцов из дикой природы // Foster+freeman: официальный сайт. URL: https://studylib.ru/doc/2532718/primenenie-videospektral_nogo-komparatora-vsc8000 (Дата обращения: 05.07.2023).
5. Projectina: официальный сайт. URL: <https://www.projectina.ch/products/document-examination/spectra-flex> (Дата обращения: 05.07.2023).
6. SpectraPro. When details matter: The ultimate document examination system // Projectina: официальный сайт. URL: <https://www.projectina.ch/products/document-examination/spectra-pro> (Дата обращения: 05.07.2023).
7. Продукция // Regula: официальный сайт. URL: <https://regula.by/ru/products/> (Дата обращения: 05.07.2023).
8. ЭВС: официальный сайт. URL: <https://www.evs.ru/> (Дата обращения: 05.07.2023).
9. VC-30A/30M программно-аппаратные комплексы для проведения углубленной технико-криминалистической экспертизы документов, банкнот, ценных бумаг, защищенной полиграфической продукции и других материалов // Вилдис: официальный сайт. URL: <http://www.vildis.ru/product/videokompleksy-vc30avc30m/> (Дата обращения: 05.07.2023).
10. Видеоспектральные компараторы «Дистех-ВСК» // Вилдис: официальный сайт. URL: <http://vildis-tech.ru/products-1> (Дата обращения: 05.07.2023).
11. Products // GPIXEL: официальный сайт. URL: https://www.gpixel.com/en/pro_details_1193.html (Дата обращения: 31.10.2023).
12. Корнышев Н. П., Калитов М. А., Сенин А. С. Особенности формирования сигнала изображения при инфракрасной рефлектографии в среднем и дальнем диапазоне спектра // Фотография. Изображение. Документ. Санкт-Петербург, 2018. Вып. 8(8). 35-39.
13. Корнышев Н. П. Новые возможности телевизионных спектральных систем // Фотография. Изображение. Документ. Санкт-Петербург, 2015. 6(6). 89-93.
14. Giovannelli L., Berrilli F., Moro D. Hyperspectral camera based on a Fabry-Pérot with varying beam incidence // Journal of Physics: Conference Series. 2017. 841. 012003. DOI: 10.1088/1742-6596/841/1/012003

15. Zubko M., Pisani M., Karikato V., Egidi A. Hyperspectral thermal imager based on the Fabry-Perot interferometer with dielectric mirrors // *Optics Express*. 2014. 22(2). 1824-1834. DOI: 10.1364/OE.22.001824
16. Чесноков В. В., Чесноков Д. В., Кочкарев Д. В., Никулин Д. М., Шергин С. Л. Гиперспектральные видеоанализаторы на основе электроуправляемых интерферометров Фабри-Перо // *Интерэкспо Гео-Сибирь*. 2015. 5(1). 3-11.
17. Гареев В. М., Гареев М. В., Корнышев Н. П., Серебряков Д. А. Особенности формирования изображений в гиперспектральной системе на базе интерферометра Фабри-Перо // *Вопросы радиоэлектроники. Серия. Техника телевидения*. 2023. 1. 128-133.
18. Гоголева Е. М., Фарафонтова Е. П. *Прикладная оптика*. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2016. 183 с.

References

1. Balachenkova A. P., Liakhovitskii E. A., Tsytkin D. O. Problemy i perspektivy primeneniia spektrozonal'noi vizualizatsii v issledovaniikh pamiatnikov pis'mennosti [Problems and prospects of application of multispectral imaging in the manuscript studies] // *Vestnik of Saint Petersburg University. History*. 2021. 66(3). 950-970. DOI: 10.21638/spbu02.2021.315
2. Kornyshev N. P., Lifar A. V., Liakhovitskii E. A., Rodionov I. S., Tsytkin D. O., Shein G. M. Televidenie v issledovanii istoricheskikh bumag [Television in study of the history papers] // *Voprosy radioelektroniki. Seriya. Tekhnika televideniia*. 2014. 1. 30-37.
3. Foster+freeman. Official website. Available at: <https://fosterfreeman.com> (Accessed: 05.07.2023).
4. Nestandartnoe primeneniie videospektral'nogo komparatora VSC8000 Foster+Freeman dlia issledovaniia obraztsov iz dikoi prirody [Unconventional application of the video spectral cmparator VSC8000 Foster+Freeman for investigating samples of the wild] // Foster+freeman. Official website. Available at: <https://studylib.ru/doc/2532718/primeneniie-videospektral'nogo-komparatora-vsc8000> (Accessed: 05.07.2023).
5. Projectina. Official website. Available at: <https://www.projectina.ch/products/document-examination/spectra-flex> (Accessed: 05.07.2023).
6. SpectraPro. When details matter: The ultimate document examination system // Projectina. Official website. Available at: <https://www.projectina.ch/products/document-examination/spectra-pro> (Accessed: 05.07.2023).
7. Produktsiia [Products] // Regula. Official website. Available at: <https://regula.by/ru/products/> (Accessed: 05.07.2023).
8. EVS. Official website. Available at: <https://www.evs.ru/> (Accessed: 05.07.2023).
9. VC-30A/30M programmno-apparatnye komplekсы dlia provedeniia uglublennoi tekhniko-kriminalisticheskoi ekspertizy dokumentov, banknot, tsennykh bumag, zashchishchennoi poligraficheskoi produktsii i drugikh materialov [Hardware and software systems VC-30A/30M for a profound technical and criminalistic examination of documents, bank notes, security papers, and protected printed products] // Vildis. Official website. Available at: <http://www.vildis.ru/product/videokomplekсы-vc30avc30m/> (Accessed: 05.07.2023).
10. Videospektral'nye komparatory «Distekh-VSK» [Video spectral cmparators "Дистех-ВСК"] // Vildis. Official website. Available at: <http://vildis-tech.ru/products-1> (Accessed: 05.07.2023).
11. Products // GPIXEL. Official website. Available at: https://www.gpixel.com/en/pro_details_1193.html (Accessed: 31.10.2023).

12. Kornyshev N. P., Kalitov M. A., Senin A. S. Osobennosti formirovaniia signala izobrazheniia pri infrakrasnoi reflektografii v srednem i dal'nem diapazone spectra [Mid-wave and long-wave infrared reflectography: special aspects of signal formation] // Photography. Image. Document. 2018. 8(8). 35-39.

13. Kornyshev N. P. Novye vozmozhnosti televizionnykh spektral'nykh sistem [New possibilities of television spectrum systems] // Photography. Image. Document. 2015. 6(6). 89-93.

14. Giovannelli L., Berrilli F., Moro D. Hyperspectral camera based on a Fabry-Pérot with varying beam incidence // Journal of Physics: Conference Series. 2017. 841. 012003. DOI: 10.1088/1742-6596/841/1/012003

15. Zubko M., Pisani M., Karikato V., Egidi A. Hyperspectral thermal imager based on the Fabry-Perot interferometer with dielectric mirrors // Optics Express. 2014. 22(2). 1824-1834. DOI: 10.1364/OE.22.001824

16. Chesnokov V. V., Chesnokov D. V., Kochkarev D. V., Nikulin D. M., Shergin S. L. Giperspektral'nye videoanalizatory na osnove elektroupravliaemykh interferometrov Fabri-Pero [The hyperspectral video analyzer on base of electric driven Fabry-Perot interferometer] // Interexpo GEO-Siberia. 2015. 5(1). 3-11.

17. Gareev V. M., Gareev M. V., Kornyshev N. P., Serebriakov D. A. Osobennosti formirovaniia izobrazhenii v giperspektral'noi sisteme na baze interferometra Fabri-Pero [Features of image formation in a hyperspectral system based on the Fabry-Perot interferometer] // Voprosy radioelektroniki. Seriya. Tekhnika teledeniia. 2023. 1. 128-133.

18. Gogoleva E. M., Farafontova E. P. Prikladnaia optika [Applied optics]. Ekaterinburg, Izd-vo Ural. Un-ta, 2016. 183 p.

Информация об авторах

Гареев Владимир Михайлович – кандидат технических наук, доцент, заведующий лабораторией «Техническое зрение», Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого (Великий Новгород), ORCID: 0009-0003-1585-6792, Vladimir.Gareev@novsu.ru

Гареев Михаил Владимирович – ведущий инженер лаборатории «Техническое зрение», Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого (Великий Новгород, Россия), ORCID 0009-0007-1392-2169, Mikhail.Gareev@novsu.ru

Корнышев Николай Петрович – доктор технических наук, доцент, профессор, инженер лаборатории «Техническое зрение», Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого (Великий Новгород), ORCID: 0009-0005-3177-2040, Nikolai.Kornishev@novsu.ru

Серебряков Дмитрий Александрович – инженер лаборатории «Техническое зрение», Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого (Великий Новгород, Россия), ORCID: 0009-0000-5994-5090, s231099@std.novsu.ru

Карачинов Владимир Александрович – доктор технических наук, профессор, профессор, ведущий научный сотрудник, Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого (Великий Новгород, Россия), ORCID: 0000-0001-9252-2233, Vladimir.Karachinov@novsu.ru

Гаверушко Валерий Владимирович – доктор технических наук, профессор, профессор, Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого (Великий Новгород, Россия), ORCID: 0000-0002-8704-6751, Valery.Gavrushko@novsu.ru

Быстров Николай Егорович – доктор технических наук, доцент, главный научный сотрудник, профессор, Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого (Великий Новгород, Россия), ORCID: 0009-0009-1998-8868, Nikolay.Bystrov@novsu.ru