
Материалы тест-объектов для настройки авиационных оптико-электронных систем дистанционного зондирования Земли

Е. Б. Баблюк*, Ю. М. Берлад*, А. Г. Летьяго**, А. П. Кондратов*

*Московский политехнический университет
107023, Москва, ул. Б. Семеновская, 38

**Московский научно-исследовательский телевизионный институт
105094, Москва, ул. Гольяновская, 7а, стр. 1

e-mail: apkrezero@mail.ru

Аннотация. Показана возможность изготовления развертываемых тестовых объектов для настройки авиационной оптической аппаратуры дистанционного зондирования Земли в виде комплекта фрагментов из атмосфероустойчивых полимерных материалов путем цифровой струйной печати на полотнах двух типов. Основные фрагменты с фиксированной оптической плотностью содержат изображения светлых штрихов на темном фоне. Фоновые фрагменты монохромны. Предложено рациональное сочетание материалов для фрагментов тестовых объектов, произведена оценка их оптических свойств и светостойкости.

Ключевые слова: тест-объекты для настройки оптической аппаратуры, оптическая плотность полимерных материалов, баннерные ткани, светостойкость, адгезионная прочность.

1. Введение

На смену аналоговым оптико-электронным системам мониторинга земной поверхности (МЗП) приходят цифровые оптико-электронные системы (ОЭС) МЗП. В отличие от пленочных, в цифровых ОЭС в качестве приемника оптического излучения (ПОИ) используются матрицы элементарных светочувствительных элементов со строго упорядоченной регулярной структурой. Используемые в качестве приемника оптического излучения цифровых ОЭС матричные (линейные) фоточувствительные приборы с зарядовой связью (ФПЗС) либо комплементарные структуры металл-оксид-полупроводник (КМОП) имеют определенный физический размер элемента ПОИ. По этой причине для оценки разрешающей способности и настройки цифровых оптико-электронных систем МЗП необходимо создание и использование штриховых тест-объектов с определенной угловой ориентацией полос (штрихов) относительно регулярной структуры приемника оптического излучения.

В качестве основного критерия оценки эффективности ОЭС МЗП используется линейное разрешение бортовой системы на местности L_m .

Линейное разрешение на местности определяют по формуле

$$L_m = \frac{H}{2Rf},$$

где R — разрешающая способность системы, мм^{-1} ; H — высота аэрофотосъемки, м; f — фокусное расстояние системы, мм.

Разрешающая способность является пространственно-частотной характеристикой фотографической системы и определяется методом визуального дешифрирования после фотографирования тест-объектов. Определение разрешающей способности ОЭС МЗП проводится как в лабораторных, так и в летных условиях при натуральных испытаниях.

В состав комплексов для настройки авиационных оптико-электронных систем, расположенных на аэродромах, входят тест-объекты, содержащие калиброванные фотометрические поля [1]. Пространственное разрешение авиационной аппаратуры оценивается с помощью штриховых тест-объектов. Радиометрические свойства оцениваются по фотометрическим полям. Тестовые объекты бывают двух типов: стационарные, изготавливаемые путем нанесения на бетонное основание краски, в состав которой входят добавки для обеспечения требуемой диффузности поверхности, и разворачиваемые — полотна ткани или другого гибкого материала с нанесенным рисунком.

Тестовые объекты являются весьма материалоемкими и должны обладать стабильными измерительными свойствами на протяжении всего периода эксплуатации к их рациональному конструированию, изготовлению, разворачиванию и поддержанию поверхности в рабочем состоянии, к которой предъявляются повышенные требования [1]. При этом важное значение имеет выбор не только материала тест-объекта, но и технологического процесса печати штрихов и полей яркости, обеспечивающего высокую точность и стабильность изображения на больших площадях запечатываемого материала.

Цель работы — обоснование оптимального устройства, выбора материалов и оценка качества печати штрихов и полей яркости на разворачиваемом тест-объекте для настройки авиационных оптико-электронных систем дистанционного зондирования Земли.

2. Объекты и методы исследования

Для исследования оптических свойств отпечатков выбраны баннерные материалы торговой марки BlockOut, ламинированные покрытием из ПВХ (полотно № 1) и баннерные материалы покрытием из ПВХ, полученные по литьевой технологии Blockout S-PRW334240B (полотно № 2).

Измерение спектральных коэффициентов отражения поверхности проводили спектрорадиометром FieldSpec 3. Коэффициенты отражения определяли на чистом баннерном материале до печати и на полях яркости и штриховых элементах с разной интенсивностью тона (30, 55 и 100%).

Перед началом каждого измерения определяли оптические характеристики белого эталона. Высота положения объектива оптоволоконного кабеля спектрорадиометра — 15 см.

Для оценки светостойкости использовали отпечаток на литом баннерном материале Blockout S-PRW334240B (полотно № 2).

Светостойкость оценивали путем измерения оптической плотности запечатанных участков с интенсивностью тона 55 и 100% после экспозиции образцов в устройстве по патенту [6].

3. Результаты и обсуждение

Анализ характеристик атмосферостойких запечатываемых материалов, представленных на мировом рынке [5–7], позволяет заключить, что пригодными для изготовления тест-объектов дистанционного зондирования Земли являются баннерные полотна с покрытием из поливинилхлорида. Синтетические баннерные полотна являются слоистыми композиционными материалами и состоят из полиэфирной сетки и монолитного поливинилового покрытия, предназначенного для печати на полиграфическом оборудовании. По технологии производства полотно сетка заливается раствором или пастообразным составом (пластизолом), содержащим поливинилхлорид, а затем пропускается через обогреваемые валы каландра для придания материалу необходимой для печати гладкости поверхности.

Запечатываемый материал для тест-объектов должен обладать светостойкостью, минимальным светопропусканием и равномерными характеристиками отражения ЭМИ в видимом диапазоне спектра до и после печати на нем рисунков (штрихов) различной оптической плотности.

В результате сравнительной оценки показателей физико-механических свойств, объявленных производителями [7], и специфических характеристик качества запечатываемой поверхности для изготовления тестовых объектов и последующих испытаний были выбраны баннерные полотна: BackLit GLK S5251, BlockOut GLK S6151, BlockOut S-PRW334240B, BlockOut GLK S5355M, а также нетканые полотна из синтетических волокон.

Значения спектральных коэффициентов отражения представлены в форме графиков (рис. 1).

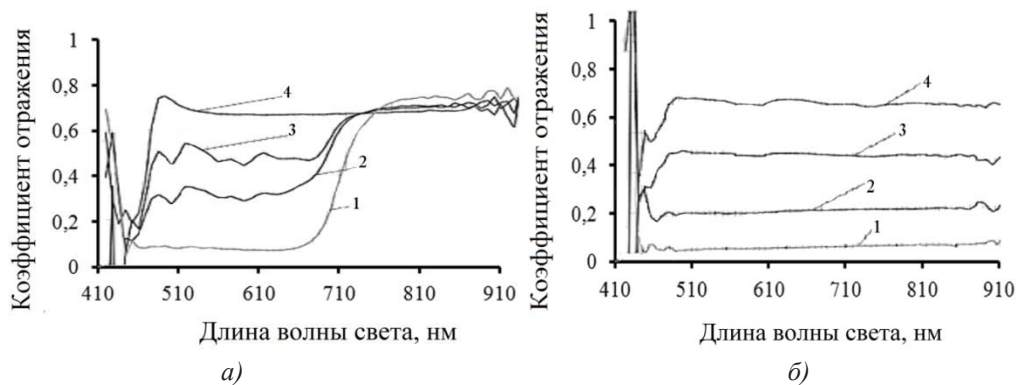


Рисунок 1. Спектр коэффициентов отражения света от отпечатков на образце полотна № 1 (а) и образце полотна № 2 (б) при интенсивности тона: 1 — 100%; 2 — 55%; 3 — 33%; 4 — 1%

Коэффициент отражения света от незапечатанного баннерного материала № 1 (1%) в диапазоне 450–1000 нм имеет постоянное значение. Спектр коэффициентов отражения отпечатков с интенсивностью тона 30 и 55% в диапазоне 400–600 нм нестабилен. Все отпечатки с интенсивностью тона (30, 55 и 100%) полученные на образце баннерного полотна № 2 (рис. 1б), имеют постоянное значение коэффициентов отражения света в диапазоне длин волн 450–1000 нм.

Современные баннерные краски являются УФ-отверждаемыми, т. е. поглощающими свет композициями, резко изменяющими свое агрегатное состояние и физические свойства под действием коротковолнового электромагнитного излучения. Поэтому правомерно предположить, что в процессе производства, сразу после печати и при длительной эксплуатации тестовых объектов, на стабильность оптических свойств, по-видимому, будет оказывать влияние не только ультрафиолетовое излучение, но и дневной солнечный свет.

Установлено, что оптическая плотность отпечатков зависит от вида запечатываемого полотна и заметно изменяется в течение 5 мин (рис. 2). При этом цветовое различие отпечатков, получаемых на баннерной ткани, превышает порог чувствительности глаз человека, т. е. заметно визуально.

Для экспериментальной оценки светостойкости исследовали отпечаток на баннерном материале Blockout S-PRW334240B.

Светостойкость оценивали путем измерения оптической плотности запечатанных участков с интенсивностью тона 55 и 100% после выдерживания образцов в климатической камере, имитирующей ускоренный износ материала солнечными лучами [6].

Результаты тестирования представлены в таблице 1.

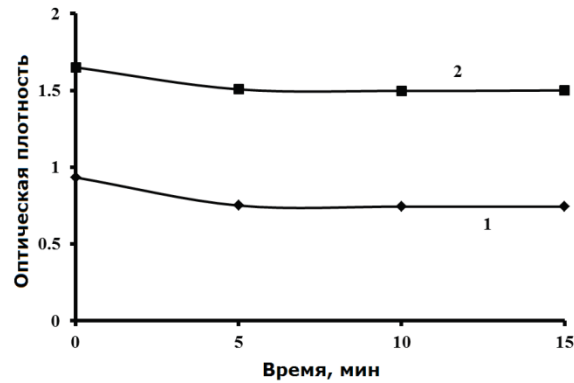


Рисунок 2. Изменение оптической плотности красочного слоя на различных материалах после печати УФ краской: 1 — нетканый материал; 2 — баннерная ткань

Таблица 1 — Значения оптической плотности отпечатков на баннерном материале Blockout S-PRW334240B до и после воздействия УФ-излучения

Оптическая плотность исходных образцов		Оптическая плотность образцов, облученных в течение 96 часов		Оптическая плотность образцов, облученных в течение 180 часов	
55%	100%	55%	100%	55%	100%
0.848	1.226	0.852	1.228	0.846	1.224

Тест-объект по техническому решению [7] состоит из фрагментов с изображением штрихов определенной группы и универсальных фрагментов бокового фона одинаковых геометрических размеров. Фрагменты выполнены из баннерного полотна полиграфическим способом, обеспечивающем точность оптических измерений.

Не менее важной задачей, кроме повышения точности проводимых измерений, является снижение затрат на расходные материалы при изготовлении тест-объектов, уменьшение затрат времени и сил на раскладку модулей, необходимых для проверки конкретных режимов работы бортовой оптико-электронной аппаратуры. Устройство тест-объектов предполагает выкладывание на поверхности Земли оптимального для каждого типа настраиваемых оптико-электронных систем набора модулей, состоящего из одного и более основных фрагментов шириной, кратной трем метрам, с нанесенными на темном фоне светлыми изображениями групп штрихов.

При определении оптимального набора учитывают, что суммарная ширина фрагментов, сформированных в модуль, должна превышать ширину группы штрихов, развернутой относительно длинной стороны модуля под углом 45 или 135°. Количество вспомогательных унифицированных фрагментов бокового фона, кото-

рые примыкают к основным фрагментам, должно обеспечивать не менее, чем двукратное превышение расстояния от изображения штрихов до края модуля.

Вспомогательные фоновые фрагменты, обладающие близкими характеристиками (идентичный спектральный коэффициент отражения) к фону на основных фрагментах со штрихами, могут быть выполнены из нетканого материала меньшей себестоимости, чем баннерное полотно основных фрагментов.

Оценка затрат на изготовление известного [8] и предлагаемого тест-объектов заключается в том, что сравнивают материалоемкость и связанные с этим затраты на изготовление фоновых фрагментов для одного модуля тест-объектов с идентичными штрихами.

В случае изготовления тест-объекта на изготовление фоновых фрагментов потребовалось бы затратить запечатываемого материала трехслойной структуры (включающей армирующую ткань и светостойкое полимерное покрытие) общей площадью 2354 м². При изготовлении фоновых фрагментов одного модуля тест-объекта устройства по [7] используется однослойный нетканый материал без покрытия и расход запечатанного материала на фоновые фрагменты составляет 1325 м². Экономия запечатанного материала достигает 1029 м², что составляет 44% по площади и значительно больше по стоимости.

Печатные свойства материала на фоновых фрагментах существенно отличаются от свойств баннерных полотен с покрытием из поливинилхлорида. Шероховатость полотен с покрытием из поливинилхлорида характеризуется величиной 3–7 мкм. Вследствие высокой прочности поверхности и оптимальной шероховатости баннерных полотен адгезия слоев печатной краски достигает 70,0 ± 0,9 МПа. Адгезионная прочность закрепления слоев печатной краски используемой для печати фона нетканых полотен, составляет лишь 17,0 ± 0,8 МПа. Однако этой величины достаточно для многократного перегибания и сворачивания отпечатков фоновых фрагментов в рулон при их хранении и развертывании на поверхности земли.

4. Вывод

Показана возможность изготовления развертываемых тестовых объектов для настройки авиационной оптической аппаратуры дистанционного зондирования Земли. Предложено рациональное сочетание запечатываемых материалов для изготовления основных штриховых и однотонных фоновых фрагментов способом цифровой струйной печати на баннерных полотнах с литым покрытием из поливинилхлорида.

Литература

- [1] *Goryl F., Burini A.* Calibration Test Sites and Cal/Val Portal Renovation. IVOS 21. — University of Lethbridge, Canada, 11/13 August 2009.
- [2] *Киппхан Г.* Энциклопедия по печатным средствам информации. — М. : МГУП, 2003.
- [3] *Шадрина С. А., Чуркин А. В.* Широкоформатные принтеры с УФ-отверждаемыми чернилами // *Полиграфия.* 2014. № 9. С. 17–20.
- [4] *Чуркин А. В.* Цифровая печать. Основные технологии и оборудование // *Материалы всероссийской конференции — Цифровая печать. Вопросы техники и технологии.* — М : Федеральное агентство по печати и массовым коммуникациям, 2014. С. 14–16.
- [5] *Чуркин А. В.* Получение точных колориметрических изображений на цифровых печатных машинах // *Полиграфия.* 2015. № 4. С. 39–40.
- [6] *Кондратов А. П.* Устройство для определения химической стойкости и светостойкости красок оттиска на полимерной упаковке // Патент РФ 153923, МПК G01N 17/02, 2016.
- [7] *Алтухов Е. В., Баблюк Е. Б. и др.* Мира для настройки и определения параметров опико-электронных систем // Пат. РФ 153923, МПК G 01M 11/02, 2016.
- [8] *Веселов Ю. Г., Тихоночев В. В., Данилин А. А.* Выбор тест-объекта для оценки разрешающей способности цифровых опико-электронных систем мониторинга земной поверхности // *Наука и образование.* 2012. Вып. 4.

Авторы:

Евгений Борисович Баблюк — доктор технических наук, старший научный сотрудник, заведующий кафедрой инновационных технологий в полиграфическом и упаковочном производстве, Московский политехнический университет

Юрий Милославович Берлад — аспирант кафедры инновационных технологий, Московский политехнический университет

Александр Григорьевич Летяго — доктор технических наук, профессор; Московский научно-исследовательский телевизионный институт

Александр Петрович Кондратов — доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой инновационных материалов принтмедиаиндустрии, Московский политехнический университет

Materials for Configure Aviation Optoelectronic Earth Remote Sensing Systems

*E. B. Bablyuk**, *Yu. M. Berlad**, *A. G. Letyago***, *A.P. Kondratov**

**Moscow Polytechnic University
107023 Moscow, Russia*

***Moscow Scientific-Research Television Institute
105094 Moscow, Russia*

e-mail: e-mail: apkrezero@mail.ru

Abstract. The paper illustrates the possibility of manufacturing deployable test objects to configure aviation optical equipment for remote sensing of the Earth in the form of a set of fragments made of weatherproof polymeric materials using the method of digital inkjet printing of two types of prints. The main fragments with a fixed optical density include images of light bars against a dark background. Background fragments are monochrome. We have suggested a reasonable combination of materials for test objects fragments, and assessed their optical parameters and lightfastness.

Key words: test objects for configuring optical devices, the optical density of the polymer materials, banner cloth, light resistance, adhesive strength.

References

- [1] *Goryl F., Burini A. (2009) Calibration Test Sites and Cal/Val Portal Renovation. IVOS 21. University of Lethbridge, Canada*
- [2] *Kipphan H. (2003) Handbuch der Printmedien*
- [3] *Shadrina S. A., Churkin A. V. (2014) Poligrafija, 9:17–20 [In Rus]*
- [4] *Churkin A. V. (2014) Cifrovaja pechat'. Osnovnye tehnologii i oborudovanie. In Proc. conf. Cifrovaja pechat. Voprosy tehniki i tehnologii. Moscow, pp. 14–16 [In Rus]*
- [5] *Churkin A. V. (2015) Poligrafija, 4:39–40 [In Rus]*
- [6] *Kondratov A. P. (2016) Patent RF 153923, MPK G01N 17/02*
- [7] *Altuhov E. V., Babljuk E. B. et al. (2016) Pat. RF 153923, MPK G 01M 11/02*
- [8] *Veselov Y. G., Tihonychev V. V., Danilin A. A. (2014) Nauka i obrazovanie, 4 [In Rus]*